

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Ben Yahia -Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : des Sciences de la Terre et de l'Univers

كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau et environnement

## Thème

**Vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil**

**Wilaya de Jijel (N.E.Algérien)**

### Membres de Jury

Président :

Examineur :

Encadrant : Mahdid. S

### Présenté par :

Kerdoud Amina

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....

# Dédicaces

*Louange à Dieu Le Tout Puissant Miséricordieux*

*Je Dédie Ce Travail*

*A Mon chère papa Amar Et Ma chère maman*

*Hadjira qui n'ont jamais cessé de me chérir et me soutenir durant toutes mes années d'études. Je leur dédie ce travail et que Dieu vous garde. À mes frères Samir, Ismaïl, Yahia, Ahmed, Nadji Mes sœurs Leïla, Yasmîna, chahra.*

*à Mon Mari Hamza pour son soutien durant mes années d'études A mes collègues de ma promotion d'Eau et Environnement 2017.*

*Spécialement :*

*marwa, samah, souheïla , Yasmine ,Ibtisseme ,Maha, Imane ,fatîma , Wahîba ,Zahia ,Dalîla, pour leurs Soutiens moral.*

*A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.*





## *REMERCIEMENT*

*Tout d'abord et avant tout, nous remercions DIEU le Tout Puissant qui nous a donné la force, la volonté, la patience et le courage d'avoir accompli ce travail.*

*Ces remerciements vont alors au corps professionnel et administratif du département de géologie pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et pour les efforts fournis pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.*

*Nos remerciements vont tout d'abord à monsieur Mehdi Souhil qui a accepté d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, ses conseils tout au long de la préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi aux membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail.*

*Nos remerciements sont adressés à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation sans oublier Mr Y.Rouikha, Mr A.Drouiche pour leurs conseils*

*Et leurs apports au thème.*

*Comme nous remercions aussi le personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH) pour leur soutien matériel*

*Enfin, Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué techniquement ou moralement de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*Merci à tous*

*Amina*

## Listes des figures

Figure	Titre	Page
<b>Chapitre I : Situation géographique</b>		
Figure I-1	localisation de la wilaya de Jijel	01
Figure I-2	Situation et localisation de la zone d'étude	02
Figure I-3	Carte d'altitude du bassin versant.	03
Figure I-4	L'agriculture pratiquée dans la zone d'étude	04
Figure I-5	Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nil	06
<b>Chapitre II : Étude géologique</b>		
Figure II -1	Esquisse géologique de la région d'oued Nil (Provenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, Ehrmann F. 1926)	15
Figure II -2	Coupe géologique de la région d'oued Nil	16
<b>Chapitre III : Étude Hydroclimatologique</b>		
Figure III-1	Situation géographique de la station de Jijel	19
Figure III-2	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel	20
Figure III- 3	Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Achouat-Taher (1988-2015)	20
Figure III- 4	Précipitations interannuelles de la station d'Achouat-taher (1988-2015)	21
Figure III- 5	Température moyenne mensuelle de la station d'Achout-Taher (1988-2015)	24
Figure III-6	Température moyenne annuelle de la station d'Achout-Taher (1988-2015)	25
Figure III-7	Humidité moyenne mensuelle en %	26
FigureIII-8	L'évaporation moyenne mensuelle	26

Figure III-9	Diagramme Ombro-thermique de la station d'achout-Taher (1988-2015)	27
<b>Chapitre IV : Étude hydrogéologique</b>		
Figure IV-1-a	Carte de substratum en 3D	36
Figure IV-1-b	Carte de substratum	36
Figure IV-2	Carte d'inventaire des points d'eau	37
Figure IV-3	Le GPS	38
Figure IV-4	Sonde piézométrique	38
Figure IV-5	Mesures et données nécessaires pour calculer le niveau piézométrique	39
Figure IV-6	La carte piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nil	40
Figure IV-7	La Carte de gradient hydraulique	42
Figure IV-8	Carte de perméabilité de la plaine alluviale d'oued Nil	44
Figure IV-9	Carte de transmissivité de la plaine alluviale d'oued Nil	45
<b>Chapitre V : Risque du vulnérabilité et pollution</b>		
Figure V-1	Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée	49
Figure V-2	Carte d'épaisseur de la zone non saturée dans la plaine D'oued Nil	56
Figure V-3	Carte de vulnérabilité de la plaine d'oued Nil.	58
Figure V-4	Schéma explicatif d'établissement de la carte de risque	59
Figure V-5	Carte d'occupation du sol de la plaine d'oued Nil	60
Figure V-6	Carte de risque de contamination de la plaine d'oued Nil	61
Figure V-7	Répartition des différentes zones de risque sur la plaine d'oued Nil	62

## Listes des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I : situation géographique</b>		
Tab I-1	Altitude des montagnes dans la zone d'étude	3
<b>Chapitre III : Étude hydroclimatologique</b>		
Tab III-1	Cordonnées de la station météorologique d'Achouate-Taher	18
Tab III-2	Précipitation moyenne mensuelle à la station Achouat – Taher (1988-2015).	20
Tab III-3	Précipitations interannuelles à la station Achouat-Taher (1988-2015)	21
Tab III-4	Présentent le coefficient pluviométrique de station d'Achouat-Taher (1988-2015).	23
Tab III-5	température moyenne mensuelle à la station Achouat – Taher (1988-2005)	24
Tab III-6	température moyenne annuelle à la station d'achouat-taher(1988-2015).	24
Tab III-7	L'Humidité relative moyenne mensuelle à la station d'Achouat - Taher (1991-2008).	25
Tab III-8	Les variations d'évaporations moyennes mensuelles	26
Tab III-9	Précipitations en fonction de la température (1988-2015)	27
Tab III-10	Calcule de l'ETP par la formule de Throntiwaite	30
Tab III-11	Bilan hydrique selon Thronthwaite de la station d'Achouat (2015)	31
Tab III-12	Calcul de l'ETR d'après la formule de Turc	32
Tab III-13	Calcul du R et I dans la plaine alluviale d'oued Nil	32
<b>Chapitre IV : Étude hydrogéologique</b>		
Tab IV-1	Coupe synthétique litho stratigraphique des différents étages de la plaine alluviale de l'oued Nil (Bechkite, 2005)	35
Tab IV-2	Calcul du gradient hydraulique (I)	42

Tab IV-3	Valeurs du coefficient de perméabilité	44
<b>Chapitre V : Risque de vulnérabilité et pollution</b>		
Tab V-1	Résultat des calculs du pouvoir épurateur du sol de la plaine d'oued Nil	52
Tab V-2	Epaisseur de la zone non saturée de la plaine d'oued Nil	54



## Listes des figures

Figure	Titre	Page
<b>Chapitre I : Situation géographique</b>		
Figure I-1	localisation de la wilaya de Jijel	01
Figure I-2	Situation et localisation de la zone d'étude	02
Figure I-3	Carte d'altitude du bassin versant.	03
Figure I-4	L'agriculture pratiquée dans la zone d'étude	04
Figure I-5	Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nil	06
<b>Chapitre II : Étude géologique</b>		
Figure II -1	Esquisse géologique de la région d'oued Nil (Provenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, Ehrmann F. 1926)	15
Figure II -2	Coupe géologique de la région d'oued Nil	16
<b>Chapitre III : Étude Hydroclimatologique</b>		
Figure III-1	Situation géographique de la station de Jijel	19
Figure III-2	Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel	20
Figure III- 3	Précipitations moyennes mensuelles à la station d'Achouat-Taher (1988-2015)	20
Figure III- 4	Précipitations interannuelles de la station d'Achouat-taher (1988-2015)	21
Figure III- 5	Température moyenne mensuelle de la station d'Achout-Taher (1988-2015)	24
Figure III-6	Température moyenne annuelle de la station d'Achout-Taher (1988-2015)	25
Figure III-7	Humidité moyenne mensuelle en %	26
FigureIII-8	L'évaporation moyenne mensuelle	26
Figure III-9	Diagramme Ombro-thermique de la station d'achout-Taher (1988-2015)	27



<b>Chapitre IV : Étude hydrogéologique</b>		
Figure IV-1-a	Carte de substratum en 3D	36
Figure IV-1-b	Carte de substratum	36
Figure IV-2	Carte d'inventaire des points d'eau	37
Figure IV-3	Le GPS	38
Figure IV-4	Sonde piézométrique	38
Figure IV-5	Mesures et données nécessaires pour calculer le niveau piézométrique	39
Figure IV-6	La carte piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nil	40
Figure IV-7	La Carte de gradient hydraulique	42
Figure IV-8	Carte de perméabilité de la plaine alluviale d'oued Nil	44
Figure IV-9	Carte de transmissivité de la plaine alluviale d'oued Nil	45
<b>Chapitre V : Risque de vulnérabilité et pollution</b>		
Figure V-1	Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée	49
Figure V-2	Carte d'épaisseur de la zone non saturée dans la plaine D'oued Nil	56
Figure V-3	Carte de vulnérabilité de la plaine d'oued Nil.	58
Figure V-4	Schéma explicatif d'établissement de la carte de risque	59
Figure V-5	Carte d'occupation du sol de la plaine d'oued Nil	60
Figure V-6	Carte de risque de contamination de la plaine d'oued Nil	61
Figure V-7	Répartition des différentes zones de risque sur la plaine d'oued Nil	62

## Sommaire

<b>Listes des figures</b>	/
<b>Listes des tableaux</b>	/
<b>Introduction Générale</b>	/
<b>Chapitre I : Situation Géographique</b>	
Introduction	1
I-1-Situation Géographique de la wilaya de Jijel	1
I-2-Situation de la zone d'étude (oued Nil)	2
I-3-Géomorphologie et reliefs	2
I-4-Le Climat	4
I-5-La Végétation	4
I-6.-Réseau hydrographique	5
I-6-1-Le réseau hydrographique de la wilaya de Jijel	5
I-6-2-Réseau hydrographique de bassin versant d'oued Nil	5
Conclusion	7
<b>Chapitre II: Étude géologique</b>	
Introduction	8

II-1-Géologie régionale	8
A-Domaine Kabyle (domaine interne)	8
B-Domaine des flyschs	10
C-Le domaine externe (domaine tellien)	12
D-Les roches magmatiques	12
II-2-Géologie locale d'oued Nil	12
II-2-1-Aspect litho-stratigraphique du bassin d'oued El Nil	13
- Terrains sédimentaires	13
- Terrains métamorphiques	14
Conclusion	17
<b>Chapitre III : Étude Hydroclimatologique</b>	
Introduction	18
III-1-le climat de Jijel	18
III-2-Les caractéristiques climatiques	18
III-2-1-Les précipitations	19
-Les variations des précipitations moyennes mensuelles	20
-Les variations des précipitations interannuelles	21
-Coefficient pluviométrique (H)	22

III-2 -2-La température	23
-Température moyenne mensuelles	24
-Température moyennes interannuelles	24
III-2-3-Variation de l'humidité relative	25
III-2-4 -Variation de l'évaporation	26
III-3- Régime climatique	27
III-3-1-Le diagramme Ombro-thermique de Gaussen	27
III-3-2-Indice « De. Martonne »	28
III-4 -Bilan hydrologique	28
III-4-1-Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	29
III-4-2- Estimation de l'ETR par la méthode de TURC	31
III-5-Détermination du ruissellement et de l'infiltration	32
Conclusion	33
<b>Chapitre IV : Étude hydrogéologique</b>	
Introduction	34
IV-1-les formations aquifères et leurs situations	34
IV-2-Description des formations aquifères	34
IV -3-La carte du substratum	35

IV-4-Inventaire des points d'eau	36
IV-5-Matériel et méthode	37
IV -6-Définition de la piézométrie	39
IV-6-1-Carte piézométrique	39
IV-6-2-Analyse de la carte piézométrique de la nappe alluviale d'Oued Nil :	40
IV-6-3-Le gradient hydraulique :	41
V-7-Essai de pompage	43
IV-7-1-La perméabilité	43
IV-7-2-La transmissivité(T)	45
Conclusion	47
<b>Chapitre V : Risque de vulnérabilité et pollution</b>	
Introduction	48
V-1-Réacteur Sol –Zone non saturée – Nappe	48
V-2-Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection	49
V-3-La zone non saturée	53
V-3-1-Carte de la zone non saturée	53
V-4-La vulnérabilité de la nappe à la pollution	56
V- 4-1-Identification des facteurs de la vulnérabilité	56

V-4-2-Carte de Vulnérabilité	57
V-4-2-1-Les terrains à forte vulnérabilité (zone A)	58
V-4-2-2-Les terrains à faible vulnérabilité (zone B)	59
V-5-Risque de Contamination de la nappe	59
V-5-1-Carte d'occupation du sol	60
V-5-2-Carte de risque de contamination	60
V-5-2-1-Zone à fort risque	60
V-5-2-2-Zone à moyen risque	61
V-5-2-3-Zone à faible risque	61
Conclusion	62
<b>Conclusion générale</b>	/
<b>Références bibliographiques</b>	/
<b>Annexes</b>	/

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

L'eau est un élément constitutif fondamental de la vie, elle est en amont de toute activité économique. En Algérie plus qu'ailleurs et aujourd'hui plus qu'hier se pose le problème de cette ressource rare et vitale tant dans sa mobilisation, que de sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débuté dans le monde pour tenter de protéger l'eau contre toutes sources de pollution.

L'alimentation en eau de la région de Jijel (villes de Jijel, Taher, Chekfa, etc....) est, en partie, assurée par l'aquifère alluvial de l'oued Nil.

Cependant, le développement et l'extension de certains types de cultures (plasticulture) ainsi que l'accroissement des populations urbaines (un rythme annuel de 4 %) accroissent la demande en eau d'une part et engendrent un sérieux problème de pollution des nappes, d'autre part.

L'augmentation exponentielle de la demande en eau met donc les potentialités hydriques de la région en situation de surexploitation, aggravée par la dégradation de leur qualité par une pollution de plus en plus préoccupante : rejets incontrôlés d'eaux usées domestiques et industrielles, risque d'intrusion marine, etc....

La protection de la nappe contre la pollution, doit faire l'objet de toute l'attention voulue. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif est d'élaborer un outil permettant de caractériser de façon simple mais précise, les zones où la nappe est particulièrement vulnérable, afin de circonscrire les zones à haut risque de contamination, pour pouvoir agir de façon préventive.

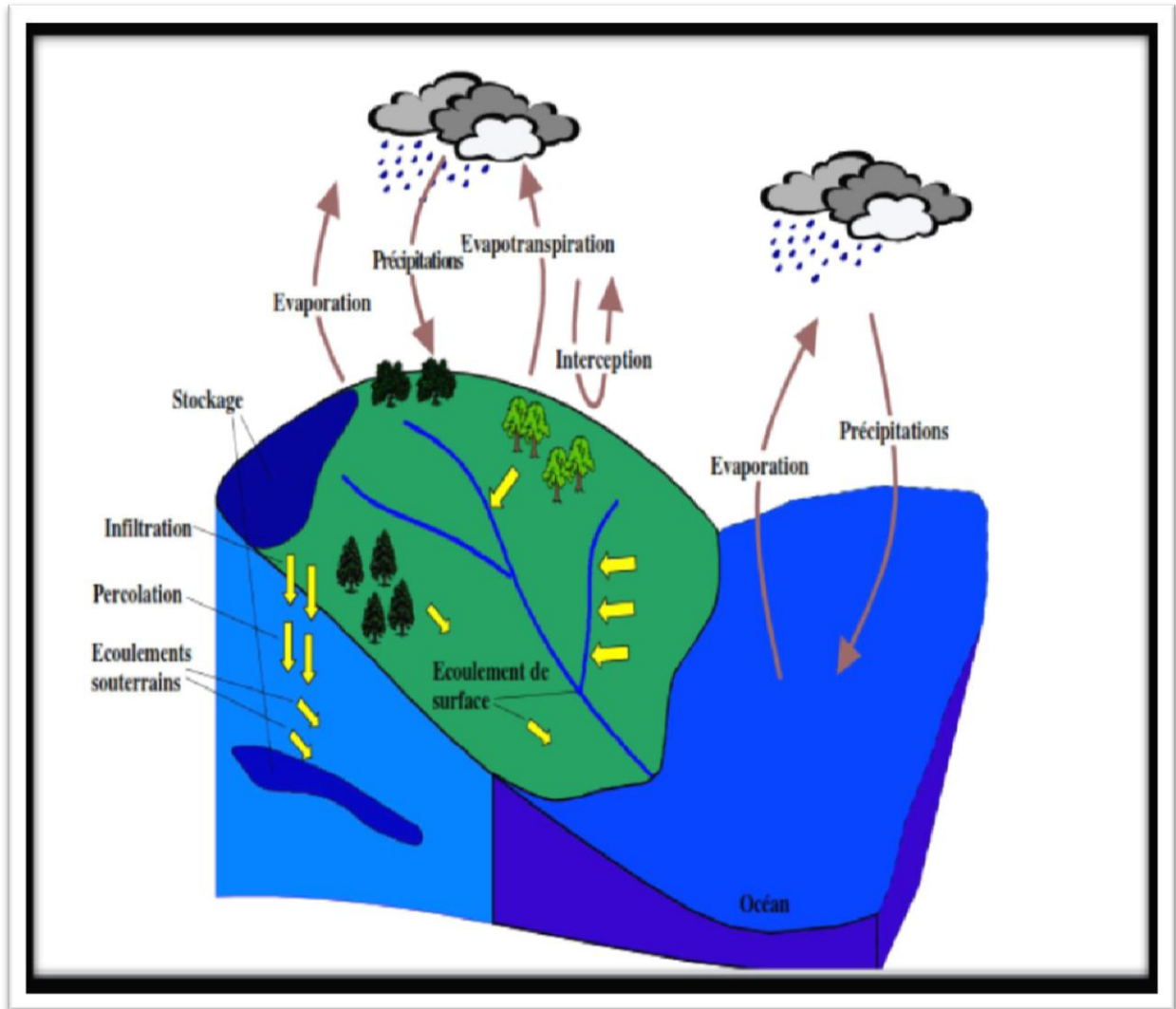
Le procédé utilisé repose sur les méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, qui prennent en compte les principaux paramètres hydrogéologiques régissant les écoulements souterrains.

Son avantage réside non seulement dans le fait qu'elle propose un système standardisé pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines mais également dans sa représentation cartographique.



# Chapitre III

## Etude Hydroclimatologie



**Introduction :**

Les facteurs climatiques (précipitations, température, évapotranspiration, l'humidité) et d'autres facteurs : morphologie, lithologie et couvert végétal .... Etc., jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

Dans ce cas le but est d'aboutir à un bilan hydrique ainsi qu'à la reconnaissance du caractère du fonctionnement de tout le système hydrologique qui influe directement sur le comportement piézométrique et hydrodynamique des aquifères dans la zone d'étude.

**III-1-Le climat de Jijel :**

L'Algérie du fait de sa situation géographique se caractérise par trois types de climat distincts répartis de la manière suivante : climat méditerranéen au Nord, semi-aride au centre (Hauts Plateaux) et aride (Le grand Sahara), La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses en Algérie, elle est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux et froid en hiver, chaud en été. Les températures varient entre 20C° à 35C° en été et de 5C° à 15C° en hiver.

La saison de pluie dure environ 6 mois. Les vents dominants soufflent généralement de la mer vers le continent (NNW – SSE).

**Tableau III-1: Coordonnées de la station météorologique d'Achouat – Taher**

Station	Les coordonnées Lambert		Altitude (m)
	X (Km)	Y (Km)	
Achouat- Taher	776.30	394.00	4

**III-2-Les caractéristiques climatiques :**

Toute étude climatique est basée sur la collecte des données. Pour mener notre travail nous avons étudié les paramètres climatiques de la station de (Taher-Achouat) qui est proche de la zone d'étude (figureIII-1).

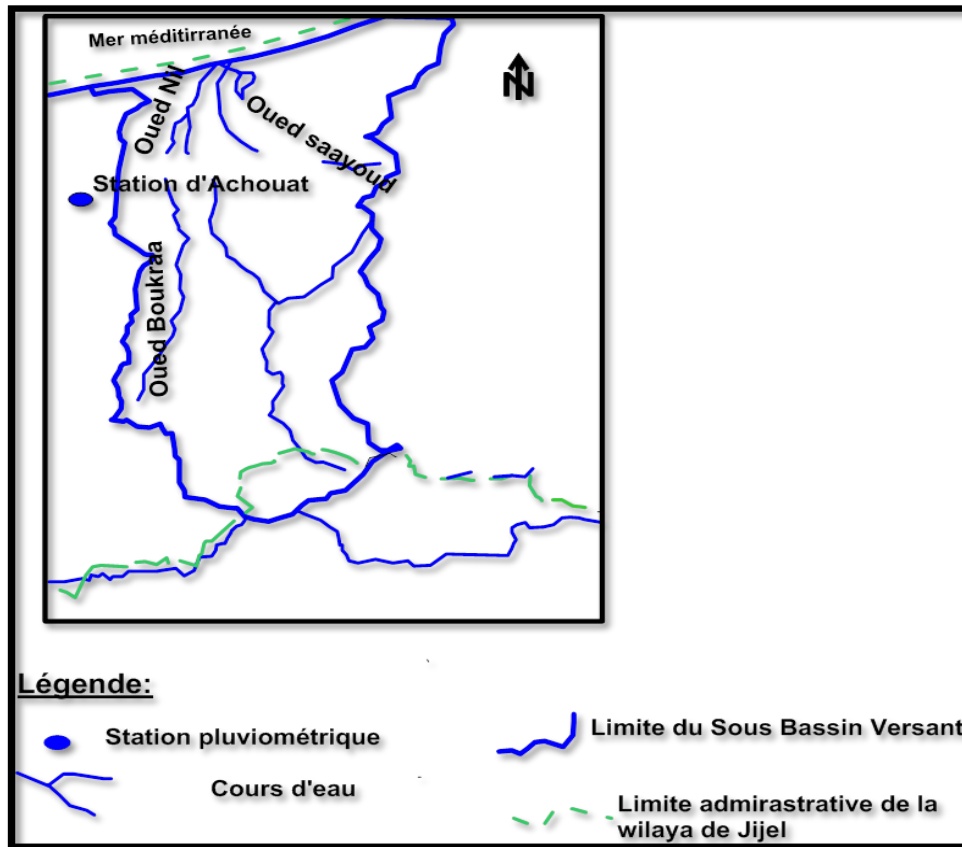


Figure III-1: Situation géographique de la station de Jijel (SADOUN.L, 2013).

### III-2-1- Les précipitations :

Les précipitations est l'élément le plus important du cycle de l'eau on a défini par : Apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres. Le terme lame d'eau tombée est également employé pour quantifier les précipitations.

On déterminé la pluviométrie par sa durée de chute et son intensité. Elle est caractérisée par une répartition inégale d'un point à un autre et d'une saison à une autre (**Houachine, 2011**).

La wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie qui variée du Nord vers le Sud. Elle est élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200 mm/an, alors qu'au niveau des plaines les valeurs variant de 900 à 1000 mm/an (figure III.2). (**Berkane, 2011**).

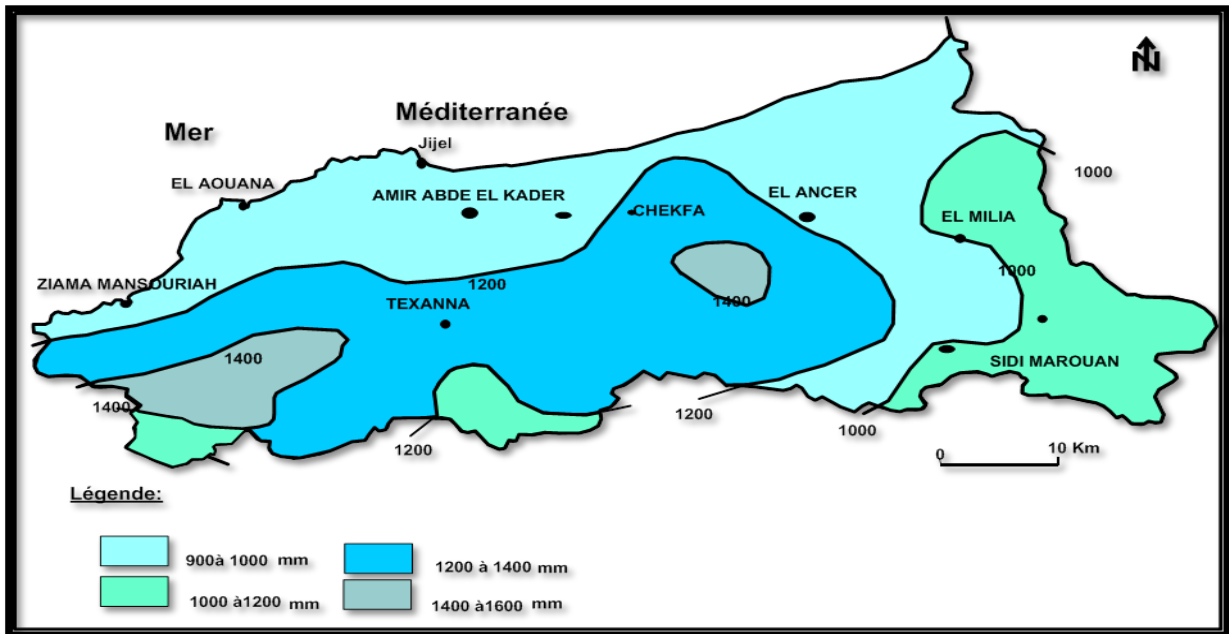


Figure III-2: Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1993 in Sadoun, 2013).

**A-Les variations des précipitations moyennes mensuelles :**

Donne les valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie mesurées pour la station de Taher sur la période (1988-2015) :

**Tableau III-2: Précipitation moyenne mensuelle à la station Achouat – Taher (1988-2015).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Aou
<b>P (mm)</b>	68.85	92.49	159.34	192.3	133.25	121.04	87.52	82.72	50.49	15.76	2.99	15.72

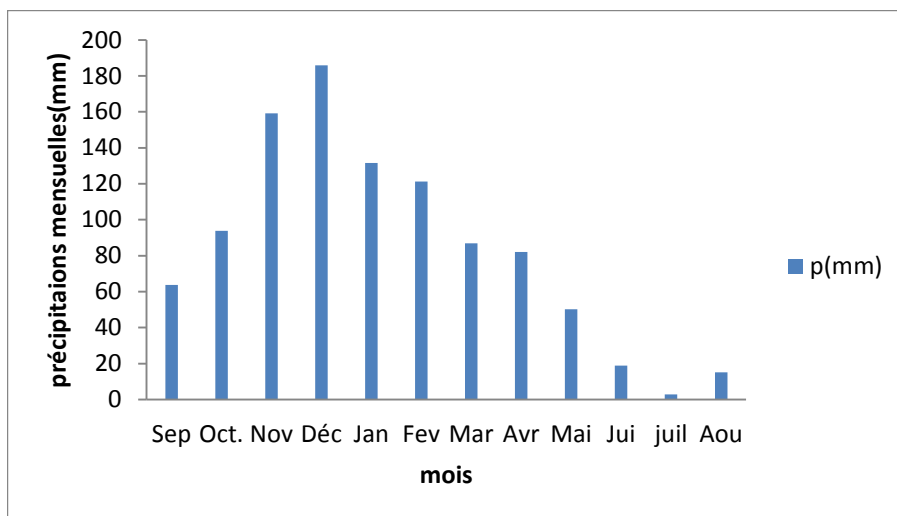


Figure III-3: Précipitations moyennes mensuelles à la station d’Achouat–Taher(1988-2015).

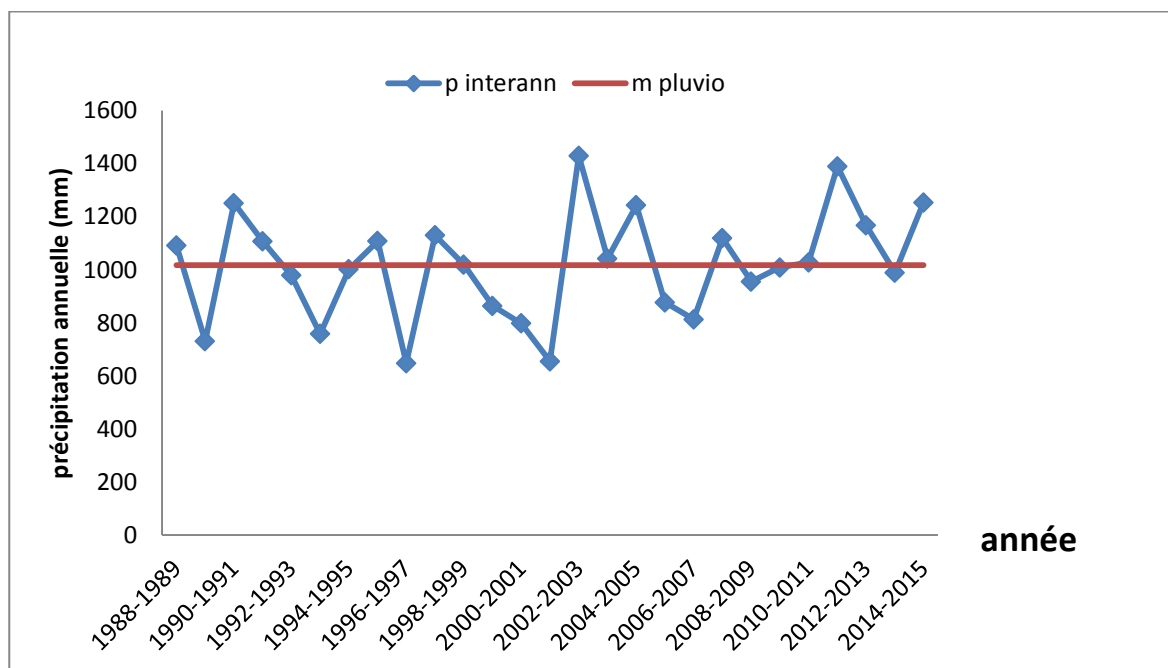
L'examen de l'évolution mensuelle des précipitations durant la période du 1988-2015, montre que les mois les plus pluvieux de l'année sont les mois de décembre et novembre et janvier. Et les mois les plus secs sont juillet, aout et juin.

La valeur maximale de précipitations est de l'ordre de **192.3 mm** pendant le mois de décembre alors que la valeur minimale est de **2.99 mm** pendant le mois de juillet (Figure III-3).

**B-Les variations des précipitations interannuelles :**

**Tableau III-3:Précipitations interannuelles à la station Achouat-Taher (1988-2015)**

Année	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997
Précipitations (mm)	1091.6	731	1251	1106.6	979	757.8	1001.5	1107.8	647.2
Année	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
Précipitations (mm)	1129.8	1019	863.5	797.9	655	1429.4	1042.4	124.9	876.9
Année	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Précipitations (mm)	813	1118.7	955	1008.4	1027.8	1389.5	1167.1	983	1253.45



**Figure III-4:Précipitations interannuelles de la station d'Achouat-taher (1988-2015).**

La figure III-4 et le tableau III-3 visualise l'évolution de la pluviométrie annuelle sur une période de 27 ans (1988-2015) on remarque :

- L'année (2002-2003) c'est le plus pluvieuse de notre série avec des précipitations atteignant **1429.4mm**.
- L'année (1996-1997) c'est le moins pluvieuse de notre série avec des précipitations de l'ordre de **647.2 mm**
- On a 11 ans qui ont une pluviométrie supérieure au module pluviométrique.
- On a 16 ans qui ont une pluviométrie inférieure au module pluviométrique.

**- Coefficient pluviométrique (H) :**

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est d'autant plus excédentaire que  $H > 1$ . Si  $H < 1$ , l'année correspondante est déficitaire.

Le terme H est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne  $\bar{P}$  pour une période de 27 années :

$$H = p / \bar{P}$$

Avec :

**H** : coefficient pluviométrique.

**P** : pluviométrie d'une année en mm

**$\bar{P}$**  : pluviométrie moyenne en mm

Le tableau ci-dessous montre les variations de H au cours des années d'observations :

**Tableaux III-4:le coefficient pluviométrique de station d'Achouat-Taher (1988-2015).**

Année	Coefficient pluviométrique	Année	Coefficient pluviométrique
1988-1989	1.07	2002-2003	1.40
1989-1990	0.71	2003-2004	1.02
1990-1991	1.23	2004-2005	1.22
1991-1992	1.08	2005-2006	0.86
1992-1993	0.96	2006-2007	0.79
1993-1994	0.74	2007-2008	1.10
1994-1995	0.98	2008-2009	0.93
1995-1996	1.08	2009-2010	0.99
1996-1997	0.63	2010-2011	1.01
1997-1998	1.11	2011-2012	1.36
1998-1999	1.002	2012-2013	1.14
1999-2000	0.84	2013-2014	0.97
2000-2001	0.78	2014-2015	1.23
2001-2002	0.93		

Les valeurs du coefficient pluviométrique obtenues montrent une alternance entre les années excédentaires et les années déficitaires.

### III-2-2-La température :

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement.

Elle a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait qu'elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration (**Bechkit, 2005**).

La température varie en fonction de l'altitude, de la distance à la mer et de la position topographique (**ONM,2013**).



-Températures moyennes mensuelles :

Tableau III-5:Température moyenne mensuelle à la station Achouat – Taher (1988 -2005)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Aou
T(C°)	23.67	20.50	16.01	12.73	11.58	11.70	13.62	15.61	18.42	22.54	25.37	26.21

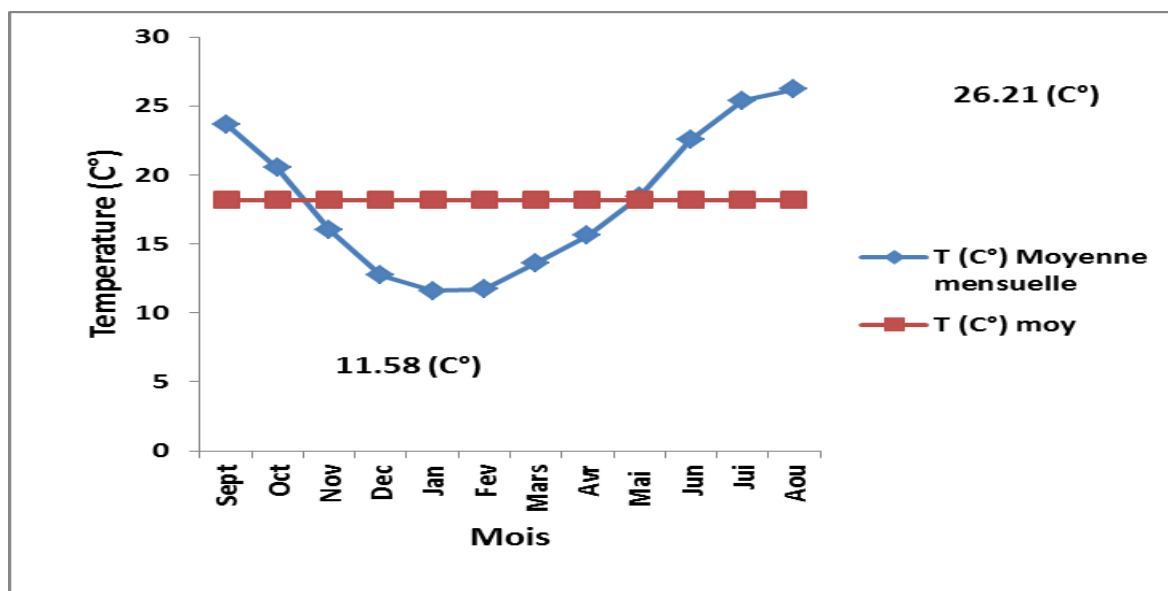


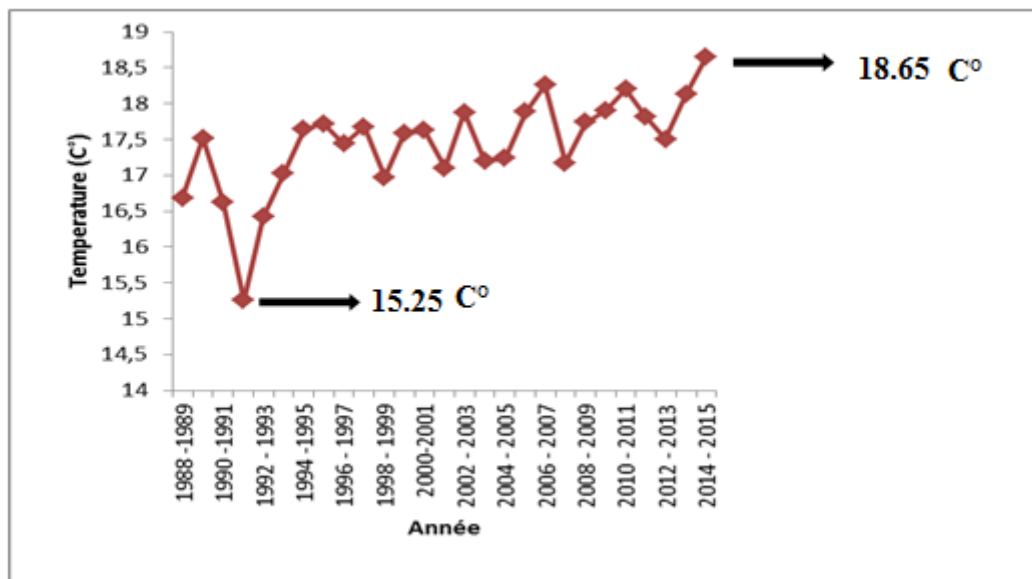
Figure III-5:Températures moyennes mensuelles à la station d’Achouat–Taher (1988-2015)

La figure III.5 visualise l’évolution de température mensuelle sur une période de 27 ans (1988-2015) on constate que le mois le plus chaud c’est le mois d’aout avec 26.21C°, et le mois le plus froid c’est le mois de janvier avec 11.58 C°.

-Température moyennes interannuelles :

Tableau III-6: Températures moyennes annuelle à la station d’Achouat-Taher (1988-2015).

Année	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997
T(C°) moy-annuelle	16.68	17.51	16.61	15.25	16.41	17.01	17.63	17.71	17.43
Année	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
T(C°) moy-annuelle	17.67	16.97	17.58	17.62	17.1	17.87	17.19	17.23	17.88
Année	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
T(C°) moy-annuelle	18.25	17.17	17.73	17.9	18.2	17.80	17.5	18.12	18.65



**Figure III-6:** Températures moyennes annuelles à la station d'Achouat–Taher (1988-2015).

**III-2-3-Variation de l’humidité relative :**

C’est l’ rapport entre la pression partielle de la vapeur d’eau dans L’air humide et la pression de saturation à la même température, elle est exprimée en Z.

Elle joue un rôle très important dans le cycle hydrologique, car non seulement elle indique l’état plus ou moins proche de la condensation de l’atmosphère mais également elle contrôle le taux d’évaporation du sol et de la couverture (Bellour et Boudouda, 2010).

**Tableau III-7: L’Humidité relative moyenne mensuelle à la station d’Achouat - Taher (1991-2008).**

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	Jui	jul	aout
<b>H (moy)</b>	77,66	75,11	76,55	77,5	78,05	77,61	76,55	75,72	79,77	74,22	72,27	71,17

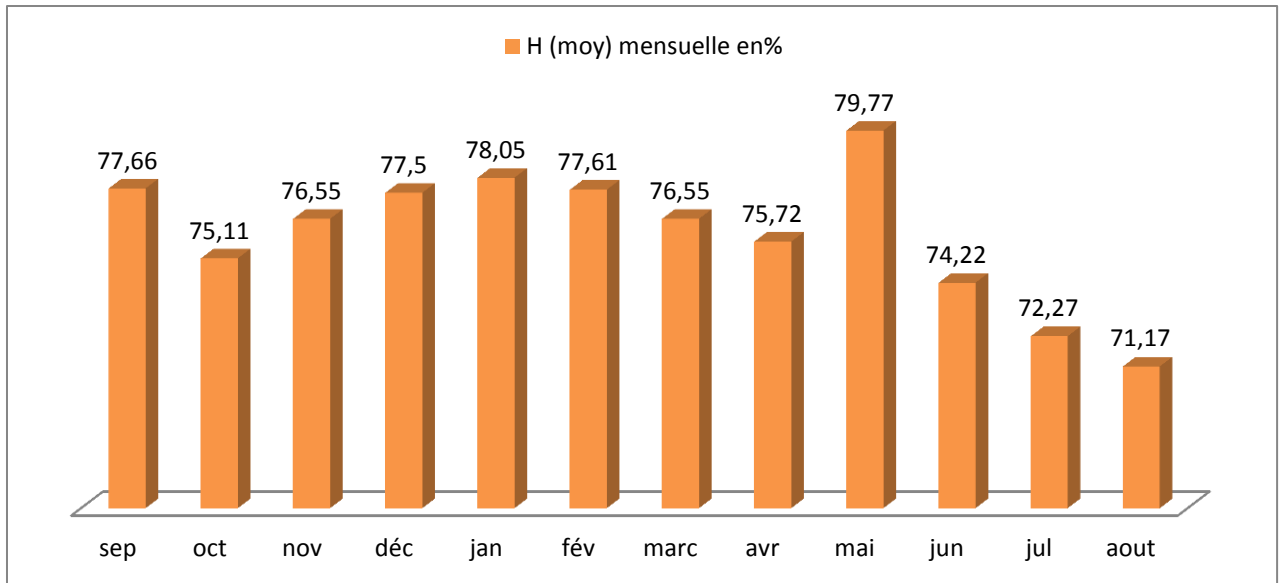


Figure III-7: Humidité moyenne mensuelle en %.

III-2-4-Variation de l'évaporation :

L'évaporation, est un processus physique de transformation d'un liquide en gaz. L'évaporation est la source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait, une Phase essentielle du cycle d'eau, elle dépend de plusieurs paramètres qui sont difficiles à déterminer. (Berkane, 2011).

TableauIII-8:Les variations d'évaporations moyennes mensuelles :

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	Jui	juil	aout
Evaporation (mm)	92.61	75.17	60.39	52.39	52.21	49.44	59.61	63.06	66.89	86.00	103.78	110.78

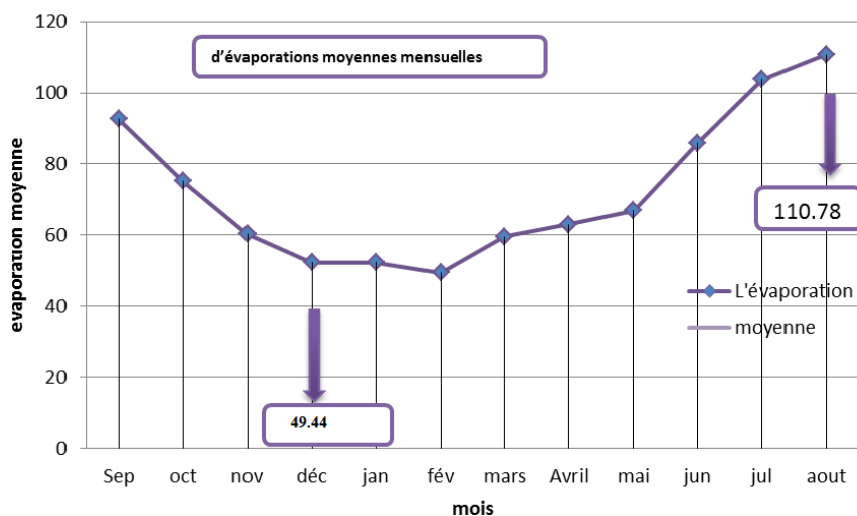


Figure III-8:L'évaporation moyenne mensuelle

D'après les valeurs de l'évaporation moyennes annuelles (1991-2008) dans la station de Taher-Achouat on distingue que :

La valeur minimum de l'évaporation moyenne mensuelle est de 49.44 mm au mois de février, alors que la valeur maximum est de 110.78mm au mois d'aout.

**III-3-Régime climatique :**

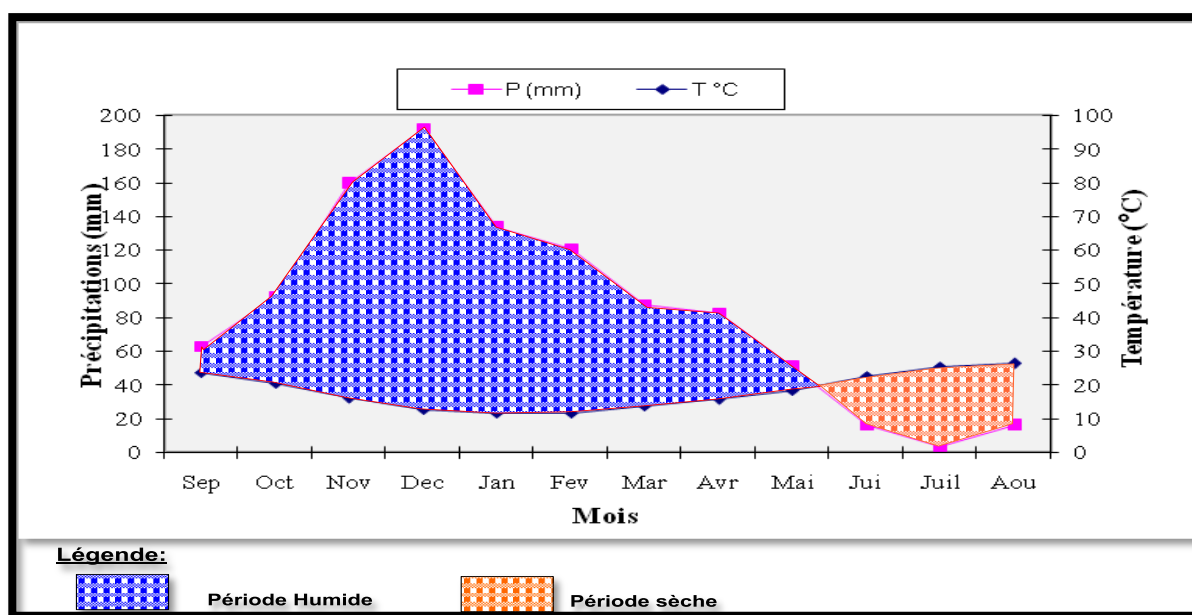
**III-3-1-Le diagramme Ombro-thermique de Gaussen :**

Le diagramme ombro-thermique de Gaussen est un mode de représentation classique du climat d'une région nous permet de connaître les caractères des saisons dans une région donnée et d'évaluer l'intensité et la durée de la période de sécheresse. Pour ce diagramme, les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses, il regroupe en même temps la courbe des précipitations (P) représentés en ordonnée à droite en mm selon une échelle double de celle des températures (T), représentées à gauche en °C ( $P=2T$ ) (Dajoz, 1996).

Les données enregistrées au niveau de la station d'Achouat – Taher durant la période (1988 – 2015) semblent des plus convenable pour la mise en évidence de la relation température - précipitation.

**Tableau III-9: Précipitations en fonction de la température (1988-2015)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
<b>P (mm)</b>	62.85	92.49	159.34	192.30	133.25	121.04	87.52	82.72	50.49	15.76	2.99	15.72
<b>T (C°)</b>	23.67	20.50	16.01	12.73	11.58	11.70	13.62	15.61	18.42	22.54	25.37	26.21



**Figure III-9: Diagramme Ombro-thermique à la station d'Achouat - Taher (1988-2015).**

D'après le diagramme ombro-thermique on distingue deux saison :

- L'une sèche qui s'étale de la fin du mois de mai jusqu'au début du mois de septembre.
- L'autre humide qui s'étale du mois d'octobre jusqu'à la fin du mois de mai.

Un mois est dit sec si "le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne

$$P \leq 2T$$

### III-3-2-Indice « De.Martonne » :

Emmanuel **DE.MARTONNE** a proposé une formule climatologique, appelée indice d'aridité, fonction de la température(T) et des précipitations(P) de la forme :

Avec :

$$A = P / (T + 10)$$

A= indice d'aridité annuelle.

P=précipitation moyennes annuelles en mm.

T=température moyennes annuelles en C°.

Selon « DE.MARTONNE » :

- Si A est inférieur à **5** : le climat est très sec.
- Si A est compris entre **5** et **10** : le climat est sec
- Si A est compris entre **10** et **20** : le climat est semi-aride
- Si A est compris entre **20** et **30** : le climat est tempéré
- Si A est supérieur à **30** : le climat est humide (l'écoulement est abondant)

Dans le cas de notre région d'étude (oued Nil) :

$$\begin{array}{l}
 P = 1016.76 \text{ mm} \\
 T = 18.16 \text{ C}^\circ
 \end{array}
 \quad
 \left\{
 \begin{array}{l}
 A = 1016.76 / 18.16 + (10) \\
 A = 36.10
 \end{array}
 \right.$$

Donc on peut conclure que le climat est humide

### III-4-Bilan hydrologique :

Il est important d'établir le bilan hydrologique du bassin versant qui donne des informations sur la relation entre la quantité d'eau précipitée, évapotranspiration, le déficit dans le sol et le débit observé au niveau de l'exutoire. La détermination de ce dernier passe impérativement par la connaissance des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau.

La quantification de la hauteur de chaque élément du cycle hydrologique peut être faite à partir de l'équation du bilan hydrologique. Ce dernier fait le bilan entre les quantités d'eau entrantes et sortantes d'un système défini dans l'espace (entité naturelle en générale) et dans le temps (année hydrologique).

L'équation du bilan hydrique est présentée comme suit :

$$P = ETR + R + I + W$$

Avec:

**P** : Précipitations (mm).

**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm).

**I** : Infiltration (mm).

**R** : Ruissellement (mm).

**W** : Variation des réserves qui peut être considéré comme négligeable (mm).

#### III-4-1-Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures climatologiques.

La plus complexe est la formule de Penman basée sur la notion de bilan énergétique.

Cependant, le nombre de paramètres utilisés par cette formule (différentes températures, rayonnement global, albédo, ...etc.) font que son emploi est rarement possible compte tenu des mesures réellement disponibles.

- **Formule de Thornthwaite :**

La formule de Thornthwaite, établie en 1948, ne tient compte que de la température :

$$\text{ETP} = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \cdot k$$

Avec :

ETP: évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

T : température moyenne mensuelle en (C°).

I : indice thermique annuelle soit la somme des indices de chaleur mensuelle.

$$i = \left( \frac{T}{5} \right) 1,514 \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

L'indice est calculé par la formule suivante :

$$a = \left( \frac{1,6}{100} \right) * I + 0,5$$

Tableau III-10: Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite

Mois	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fer	Mars	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Année
<b>P(mm)</b>	62.85	92.49	159.34	192.30	133.25	121.04	87.52	82.72	50.49	15.76	2.99	15.72	1016.76
<b>T(c°)</b>	23.67	20.50	16.01	12.73	11.58	11.70	13.62	15.61	18.42	22.54	25.37	26.21	18.16
<b>i</b>	10.52	8.52	5.82	4.11	3.56	3.62	4.55	5.60	7.20	9.77	11.69	12.28	87.18
<b>ETP</b>	105.67	80.52	50.46	32.72	27.36	27.89	37.18	48.11	65.78	96.34	120.47	128.12	820.62
<b>K</b>	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	/
<b>ETPc (mm)</b>	108.84	78.10	43.39	27.48	23.80	23.70	38.29	52.92	79.59	117.53	149.38	148.61	891.63

L'évapotranspiration potentielle corrigée obtenue à partir de la formule suivante :

$$ETP_{\text{corrigée}} = ETP * K$$

K : coefficient qui dépend du mois et du lieu.

$$a = \left(\frac{1.6}{100}\right) * I + 0,5$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

D'après Thornthwaite un bilan hydrologique mensuel peut être établi par l'intégration des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette méthode permet l'estimation, à chaque mois des paramètres suivants :

**ETR** : l'évapotranspiration réelle

**Da** : le déficit agricole [Da = ETP - (P + RFU)]

**Ws** : l'excédent, water surplus.

Pour cela il faut tout d'abord calculer la RFU (réserve facilement utilisable) contenue dans le sol.

Thornthwaite utilisait une valeur moyenne de RFU égale à 100mm.

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants :

Si :  $P > ETP \rightarrow ETP = ETR$ , la quantité d'eau (P-ETP) aliment la RFU jusqu'au maximum, on va avoir un excédent sous forme de ruissèlement.

Si :  $P < ETP$  et  $RFU \neq 0 \rightarrow P + RFU > ETP = ETR$

$\rightarrow P + RFU < ETP$   $ETR = P$  + toute une partie de la RFU jusqu'à égaliser la valeur de l'ETP

Si  $P = ETR$ : les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol. Il n'y aura de  $W_a$  Pour alimenter la RFU.

Si malgré l'apport de la RFU, L'ETR est toujours inférieure à l'ETP (ETP, il va avoir un déficit agricole(Da) exprimé ainsi :  $Da = ETP - ETR$  (MIMOUN.M, BOURKOVA. A ; 2015)



**Tableau III-11: Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station d'Achouat–Taher  
(1988-2015).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Année
<b>P</b>	62.85	92.49	159.56	192.30	133.25	121.04	87.52	82.72	50.49	15.78	2.99	15.72	1016.76
<b>ETPc</b>	108.84	78.1	43.39	27.48	23.8	23.7	38.29	52.92	79.59	117.53	149.38	148.61	891.63
<b>P-ETP</b>	-45.99	14.39	116.17	164.82	109.45	97.34	49.23	29.8	-29.1	-101.75	-146.39	-132.89	/
<b>RFU</b>	0	14.39	100	100	100	100	100	100	70.9	0	0	0	/
<b>ETR (mm)</b>	62.85	78.1	43.39	27.84	23.8	23.7	38.29	52.92	79.59	86.68	2.99	15.72	535.87
<b>Da</b>	45.99	0	0	0	0	0	0	0	0	30.85	146.39	132.89	356.12
<b>Ws</b>	0	0	30.47	164.82	109.45	97.43	49.23	29.8	0	0	0	0	481.11

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique.

D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer les conclusions suivantes :

Les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril.

-La RFU est à son maximum de 100 mm du mois de Novembre jusqu'à la fin d'Avril, on totalise un excédent de 356.12 mm avec un pic au mois de Décembre 164.82mm.

-La RFU commence à diminuer au début du mois de mai, pour s'épuiser et devenir nulle de juin à septembre, le déficit agricole enregistré est de 356.12mm, c'est la période déficitaire, ou on doit recourir d'avantage à l'irrigation.

#### III-4-2-Estimation de l'ETR par la méthode de TURC :

Cette formule permet d'évaluer directement l'ETR annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm)

P : précipitation moyenne annuelle de la station en (mm).

L : pouvoir évaporant ( $L = 300 + 25T + 0,05T^3$ ).

T : températures moyennes annuelles en C°

L'application de la formule de Turc donne les résultats suivants pour des valeurs de précipitations et températures enregistrées à la station d'Achouat-Taher (période 1988- 2015).

Tableau III-12: Calcul de l'ETR d'après la formule de Turc.

Paramètres	P	T	L	ETR
Station Achouat (1988 - 2015)	1016,76(mm)	18,16°c	1053.44	751.48 (mm)

**III-5-Détermination du ruissellement et de l'infiltration :**

Ce sont des facteurs très importants dans l'hydrologie pour le but de connaître la quantité d'eau ruisselée sur le bassin versant topographique et la quantité d'eau infiltrée dans les aquifères contenues dans ce bassin pour estimer les réserves en eau pour différents besoins.

$$P=ETR+R+I$$

- ➡ P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- ➡ ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;
- ➡ R : ruissellement (mm) ;
- ➡ I : infiltration (mm).

Le ruissellement superficiel est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Cette formule est discutable car elle ne tient pas compte de la nature de sol, de la Couverture végétal ... etc. (Lehtihet, 1983)

Dans notre cas, la valeur de précipitation supérieure à 600 mm donc nous utiliseront la formule Raumontchok pour estimer le ruissellement.

**Application :**

$$R = p^3 / 3 \longrightarrow (1016.76)^3 / 3 = 350.3 \text{ mm}$$

-L'infiltration est calculée par la formule suivante :

$$P=ETR+R+I \implies I=P - (ETR+R) = 130.58 \text{ mm}$$

D'après les valeurs de l'ETR et l'ETP (TabIII-11) calculées par la méthode de Thomthwaite, on calcul R et I.

Tableau III-13: Calcul du R et I dans la plaine alluviale d'oued Nil

Paramètre	P	ETP	ETR	I	R
Quantité (mm)	1016.76	891.63	535.87	130.58 mm	350.3 mm

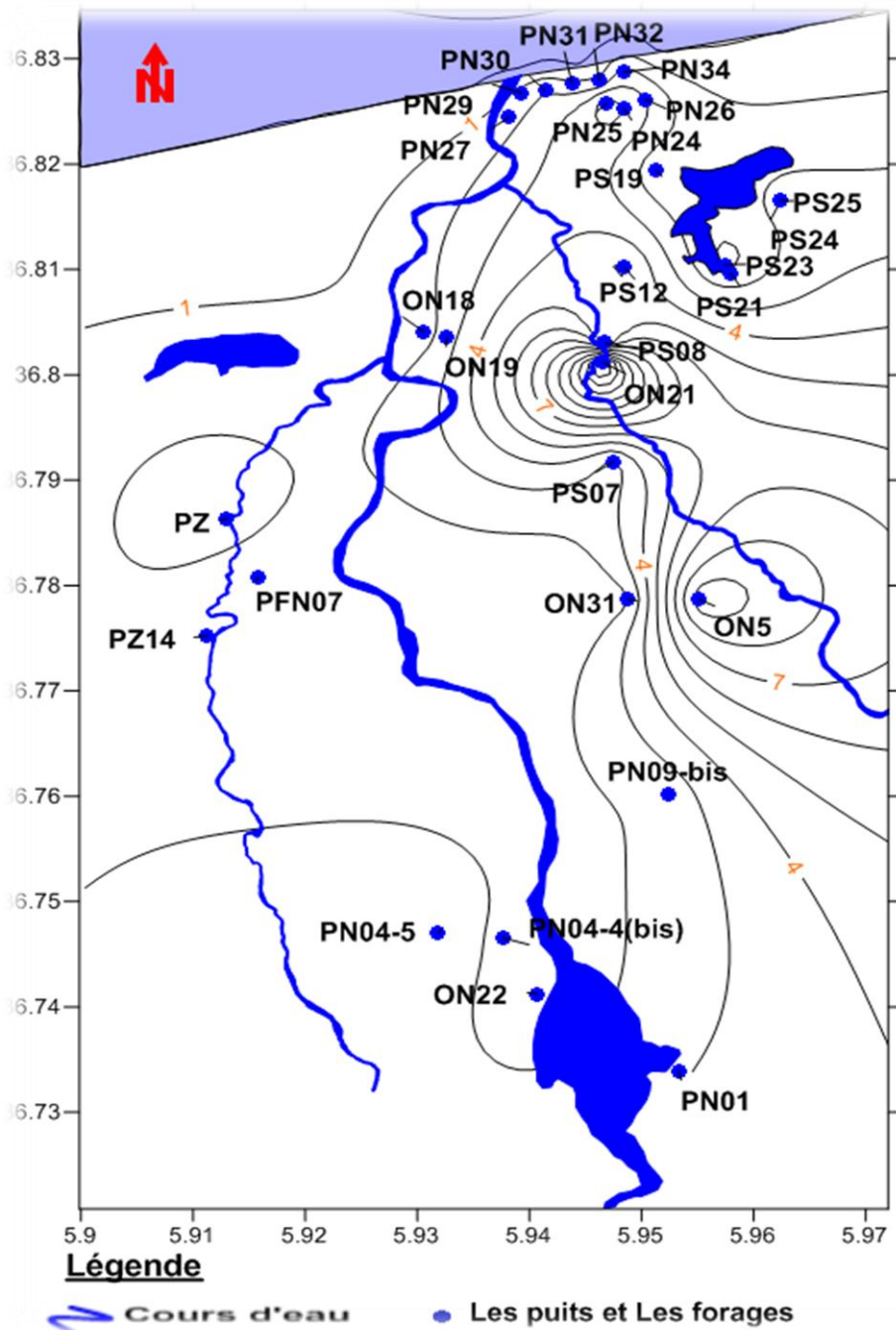
**Conclusion :**

D'après les données climatologiques de la station de Taher-Achouat et les résultats obtenus par différentes méthodes on peut conclure que notre région d'étude est caractérisée par :

- Un climat tempéré du genre méditerranéen intermédiaire, caractérisé par deux périodes (une période humide, une période sèche) avec un hiver doux et un été sec.
- Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1016.76 mm, alors que la moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 18.16C° pour la période (1988-2015) à la station de Taher-Achouat.
- La moyenne annuelle de l'humidité relative et l'évaporation sont à l'ordre de 76.15 mm et 72,69mm.
- Le bilan hydrique de cette zone d'étude montre que :
  - L'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 888.24mm.
  - L'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite est de l'ordre de 535.87 mm
  - Le déficit agricole selon la méthode de Thornthwaite est de l'ordre de 356.12 mm
  - Le Ruissèlement obtenu est égale à **R=350.3 mm**
  - L'infiltration calculée est de l'ordre de **I=130.53 mm**

# Chapitre IV:

## Risque de vulnérabilité et pollution



**Introduction :**

Dans les régions où les agglomérations urbaines sont importantes, la présence des eaux souterraines non polluées sont rarissimes.

En effet, la dégradation de la nappe souterraine quel que soit son mode d'alimentation est toujours aggravée par l'action polluante de la société humaine émanant des activités agricoles, industrielles et diverses pollutions humains.

La vulnérabilité des eaux souterraines est quasi certaine dans la plupart des cas dans les régions où la responsabilité civile est mal respectée concernant le traitement, l'épuration des eaux d'assainissement ainsi que l'utilisation rationnelle des produits chimiques dans le secteur agricole.

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines a été abordée par plusieurs auteurs (**Albinet, Margat ,1970**), en Algérie, une nouvelle politique à été instaurée récemment, visant à protéger et sauvegarder les ressources en eaux dans leurs gisements avant qu'elles ne soient contaminées, en effet, les techniques de décontamination des nappes polluées sont longues, coûteuses et incapables de restaurer pleinement la potabilité des eaux (**Mariotti ,1999**).

La vulnérabilité dépend du type de nappe qu'elle soit libre ou captive et du mode de circulations de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables.

**V-1-Réacteur Sol –Zone non saturée – Nappe :**

Un aquifère est dans la plupart des cas enfouis sous une couche de sol ou de terrains plus ou moins évolués servant de zone d'épuration préalable pour les eaux d'infiltration.

Cela est garanti par la présence de mécanismes physicochimiques et la prolifération de bactéries aidant à la purification du fluide.

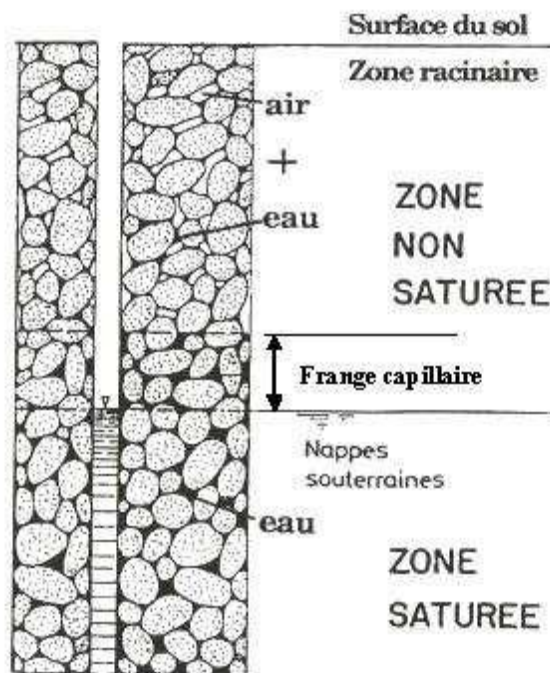
Une eau infiltrée dans le sol peut se charger ou se décharger de certains éléments avant de gagner la nappe profonde.

De même les bactéries prélèvent certaines substances vitales pour leur subsistances mais nocives pour la nappe.

Ainsi se confirme l'importance de la zone de couverture superficielle de la nappe.

**Coupe verticale d'un sol de haut en bas :**

- une mince couche quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur à activité bio-chimiques intense en surface.
- une zone de filtration où le système racinaire joue un rôle prépondérant.
- une frange de capillarité reliant la zone non saturée à la nappe.
- la zone saturée ou nappe proprement dite.



**Figure V-1:** Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée. (F.Madjani ,2007)

### V-2-Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection :

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour le calcul de la migration dans le sol des Substances indésirables et le pouvoir épurateur du sol.

L'écoulement est le vecteur principal de la migration des substances de la surface vers la nappe.

La détermination de la zone d'appel et du temps de transfert permettant de définir la distance parcourue par un polluant pour atteindre le pompage.

Afin d'éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes, le calcul du pouvoir épurateur du sol (surtout de la zone non saturée) identifie la distance parcourue par le polluant avant d'atteindre la nappe.

**W.REHESE** a proposé en 1977 une méthode empirique pour l'évaluation du pouvoir épurateur des terrains, lors de transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à la surface de la nappe par circulation verticale, puis en circulation horizontale au sein de la nappe.

Le pouvoir épurateur permet de mettre en place des périmètres de protection.

Le périmètre de protection rapproché peut être défini en fonction des critères suivants :

- des caractéristiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain.
- des débits d'exploitation maximum des forages.

Toutefois, **REHESE** considère que l'épuration est variable selon les milieux traversés et

Proportionnelle à la distance parcourue.

Les différentes catégories de sol pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de la granulométrie. L'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaire, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées. De même pour quatre (04) catégories de constituants de L'aquifère ; il détermine une longueur de trajet, en fonction de la vitesse effective nécessaire pour compléter cette épuration.

Chaque catégorie de matériau est affectée d'un index.

- $i = 1/H$  avec ;  $i$  : indice de terrain.

$H$  : épaisseur en mètre du terrain nécessaire pour une autoépuration.

Le pouvoir épurateur du terrain est calculé par la formule :

- $M_x = (M_d + M_r)$

$M_x$  : pouvoir épurateur sur la totalité du terrain.

$M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical (zone non saturée de la nappe).

$M_r$  : pouvoir épurateur sur le trajet horizontal (zone saturée de la nappe).

L'épuration est totale pour  $M_x = 1$ .

- $M_d = h_1 i_1 + h_2 i_2 + h_3 i_3 + \dots + h_n i_n$  d'où :

$h_1, h_2 \dots h_n$  : épaisseur des différentes catégories des terrains traversés.

- Si  $M_d > 1$  : cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture, et que le Périmètre de protection rapproché n'est pas nécessaire à calculer selon REHESE.

- Si  $M_d < 1$  : cela signifie que la dépollution n'est pas totale, elle doit se poursuivre dans l'aquifère lors du transfert horizontal.

Soit :  $M_r = 1 - M_d$  d'où

$M_r$  : le pouvoir épurateur dans l'aquifère.

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

- $L = M_r / I_a$

$I_a$  : index correspondant au milieu aquifère.

$L$  : correspondant à la limite de la zone de protection rapprochée.

S'il n'existe pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement ;  $M_r$  doit être égale à 1.

- $L = 1 / I_a$  terrain sans couverture.
- $L = (1 - M_d) / I_a$  terrain avec couverture.

$I_a$  : dépend de la vitesse réelle de la nappe.



Selon la formule de Darcy :

- la vitesse  $V = Q/S = K.I$  (m/j).

La vitesse réelle =  $K.I / m_e$  (m/j).

Pour une nappe libre  $m_e$  = Coefficient d'emménagement ou porosité efficace.

Une fois la vitesse déterminée on détermine  $I_a$  donc L.

Pour le calcul du pouvoir épurateur du sol (graviers fins à moyen) de la région dans la zone de couverture on utilise un indice  $i = 0.04$  et dans la zone aquifère (zone saturée) l'index  $I_a$  varie de 0.00084 à 0.0032 en fonction de la vitesse effective selon les tableaux de **REHESE** (1977), les résultats des mesures sont reportées dans le tableau V-1.

Tableau V-1: Résultat des calculs du pouvoir épurateur du sol de la plaine d'oued NIL

Forage et puits	H zones non saturé (m)	Md	Mr	K moy m/s . 10 <sup>-4</sup>	Le gradient i . 10 <sup>-3</sup>	Vitesse effective (m/j)	I <sub>a</sub>	La limite L (m)
PZ14	1,68	0.57	0.43	1,30E-04	3,70E-03	4,16E-02	0.00287	150
PZ	2,72	0.57	0.43	1,30E-04	5,30E-03	5,95E-02	0.00287	150
ON22	1,33	0.665	0.335	2,70E-04	7,50E-03	1,75E-01	0.00223	150
ON19	2,65	0.874	0.126	2,36E-05	5,30E-03	1,08E-02	0.00084	150
ON18	1,43	0.57	0.43	1,90E-04	5,30E-03	8,70E-02	0.00284	150
ON5	9,83	3.575	-	1,10E-03	8,80E-04	8,36E-02	-	150
ON31	1,75	0.52	0.48	5,90E-04	8,80E-04	4,49E-02	0.0032	150
ON21	14,99	6.11	-	2,30E-05	3,34E-03	6,64E-03	-	150
PFN07	0,98	0.57	0.43	1,50E-04	3,70E-03	4,80E-02	0.00287	150
PN01	2,94	0.665	0.335	7,00E-04	5,30E-03	3,21E-01	0.00223	150
PN04-4(bis)	1,68	0.665	0.335	1,20E-03	8,80E-03	9,12E-01	0.00223	150
PN04-5	2,9	0.665	0.335	8,10E-04	6,60E-03	4,62E-01	0.00223	150
PN09-bis	2,37	0.522	-	3,40E-04	7,50E-03	2,20E-01	-	150
PN24	3,86	0.57	0.43	2,73E-05	2,40E-03	5,66E-03	0.00284	150
PN25	4,77	0.57	0.43	1,95E-05	2,40E-03	4,04E-03	0.00284	150
PN26	3,08	0.57	-	5,76E-05	2,40E-03	1,19E-02	-	150
PN27	1,6	0.57	0.43	1,00E-04	3,30E-03	2,85E-02	0.00284	150
PN29	1,3	0.57	0.43	6,49E-05	2,40E-03	1,35E-02	0.00284	150
PN30	1,95	0.57	0.43	4,53E-05	2,40E-03	9,39E-03	0.00284	150
PN31	3,1	0.57	0.43	5,18E-05	2,40E-03	1,07E-02	0.00284	150
PN32	0,89	0.57	0.43	6,72E-05	2,40E-03	1,39E-02	0.00284	150
PN34	2,41	0.57	0.43	9,46E-05	2,40E-03	1,96E-02	0.00284	150
PS07	2,68	6.11	-	5,00E-04	1,98E-02	8,55E-01	-	150
PS08	3,84	6.11	-	4,40E-04	3,70E-03	1,41E-01	-	150
PS12	5,26	6.11	-	2,20E-04	2,50E-03	4,75E-02	-	150
PS19	1,17	6.11	-	7,12E-05	4,40E-03	2,71E-02	-	150
PS21	1,3	6.11	-	1,56E-05	5,30E-03	7,14E-03	-	150
PS23	0,51	6.11	-	1,80E-04	1,70E-03	2,64E-02	-	150
PS24	2,42	6.11	-	1,00E-04	1,70E-03	1,47E-02	-	150
PS 25	4.13	6.11	-	1,95E-05	1,70E-03	2,86E-03	-	150

**V-3-La zone non saturée :**

La zone non saturée ou d'aération est importante pour la nappe souterraine et peut être subdivisée en fonction des teneurs en eau qui croissent vers le bas en trois sous-zones :

- une zone d'évapotranspiration à la surface : cette partie du sol est soumise à des variations importantes des teneurs en eau provoquées par l'infiltration et l'évapotranspiration. Sa profondeur est variable suivant le type de sol et le climat.
- une zone de transition où la teneur en eau est voisine de la capacité de rétention.
- au dessus du niveau de la nappe se trouve une zone pratiquement saturée à 100% où la pression de l'eau est inférieure à la pression atmosphérique, la saturation du terrain se fait par ascension capillaire. Cette zone est appelée frange capillaire. Il peut y avoir une certaine quantité d'air piégée dans cette zone ; la saturation est légèrement inférieure à 100%. Cette zone joue un rôle important dans l'équilibre hydrique du sol car l'eau qui s'écoule doit s'infiltrer à travers cette zone pour se rendre à la zone de saturation, ainsi, l'étendue et la qualité de la nappe souterraine peuvent être affectées par l'état de la zone vadose dans une zone d'alimentation.

**V-3-1-Carte de la zone non saturée :**

L'établissement de la carte de la hauteur de la zone vadose (H) (Fig V.3) est basé sur les données des niveaux piézométriques ( $H_p$ ) effectués durant la période d'avril 2015 sur une trentaine d'ouvrages (forages et puits) destinés à l'irrigation ou à l'alimentation en eau potable dans la plaine alluviale d'Oued Nil.

La zone non saturée est donc mesurée par la différence entre l'altitude du sol  $Z$  et la profondeur du niveau de la nappe.

Les résultats de calcul sont reportés dans le (tableau V.2).

D'après ce dernier les valeurs de  $H$  oscillent entre 0.51 m et 14.99 m .

Ces valeurs obtenues ont permis d'identifier trois classes :

$H < 4$  m : **classe A.**

$4 < H < 8$  m : **classe B.**

$H > 8$  m : **classe C.**

Tableau V-2: Epaisseur de la zone non saturée de la plaine d'oued Nil

Forage et puits	Z (m)	Hp (m)	H de la zone non saturée (m)
PZ14	23	21,32	1,68
PZ	19	16,28	2,72
ON22	47	45,67	1,33
ON19	16	13,35	2,65
ON18	15	13,57	1,43
ON5	33	23,17	9,83
ON31	23	21,25	1,75
ON21	41	26,01	14,99
PFN07	21	20,02	0,98
PN01	59	56,06	2,94
PN04-4(bis)	39	37,32	1,68
PN04-5	38	35,1	2,9
PN09-bis	36	33,63	2,37
PN24	6	2,14	3,86
PN25	7	2,23	4,77
PN26	5	1,92	3,08
PN27	2	0,4	1,6
PN29	1	-0,3	1,3
PN30	2	0,05	1,95
PN31	4	2,9	3,1
PN32	4	3,11	0,89
PN34	5	2,59	2,41
PS07	31	28,32	2,68
PS08	29	25,16	3,84
PS12	18	12,74	5,26
PS19	12	10,83	1,17
PS21	7	5,7	1,3
PS23	5	4,49	0,51
PS24	12	9,58	2,42
PS25	17	12,87	4,13

**➤ Classe A :**

Elle correspond à la partie Nord et Sud de la plaine d'oued Nil principalement aux alentours des forages ON18; ON19 et ON22 et aux alentours des puits PZ14, PZ, PFN07, PN01, PN04-4(bis), PN04-5, PN09-bis, PN24, PN26, PN27, PN29, PN30, PN31, PN34, PS07, PS08, PS19, PS21, PS23, PS24, ou la profondeur du niveau piézométrique est faible moins de 4 m.

**➤ Classe B :**

Elle occupe la partie Nord-Est de la plaine alluviale d'oued Nil, où le niveau Piézométrique reste assez proche de la surface du sol compris entre 4 et 8 m, représenté par les puits suivants : PS12, PS25, PN25.

**➤ Classe C :**

Se localise au centre de la plaine d'oued Nil, l'épaisseur de la zone non saturée est plus de 8 m cette profondeur du niveau piézométrique favorise l'autoépuration d'éventuels contaminants, représenté par les forages ON21, ON5.

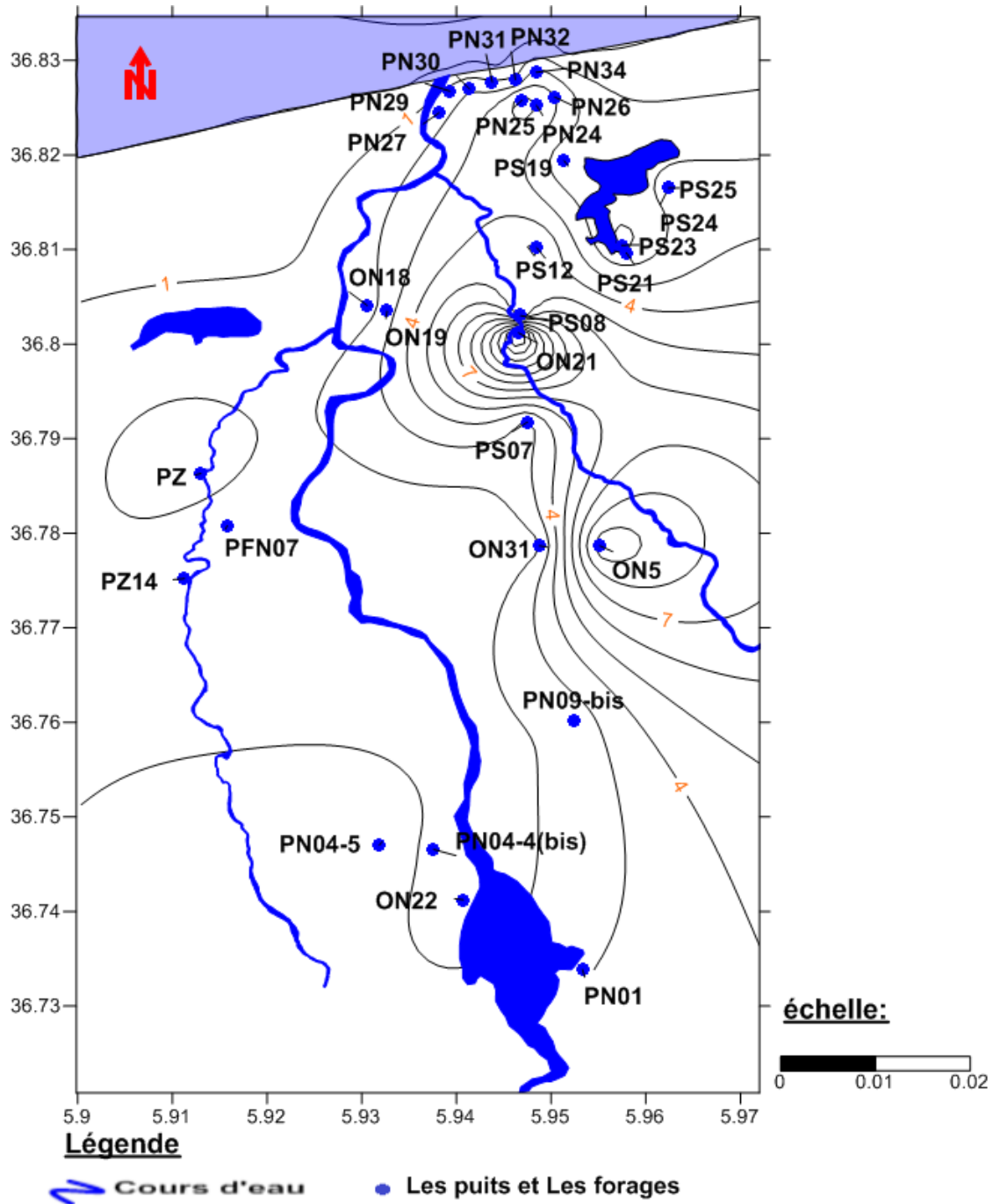


Figure V-2: Carte d'épaisseur de la zone non saturée dans la plaine d'oued Nil.

**V-4-La vulnérabilité de la nappe à la pollution :**

**V- 4-1-Identification des facteurs de la vulnérabilité :**

La vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution est conditionnée par plusieurs facteurs :

**A/ La pente :** la couverture de la pente est estimée a partir de la carte topographique d'El Milia 1/25000.

**B/ L'épaisseur de la zone non saturée :** réalisée à partir du croisement de la carte topographique avec celle de la piézométrie.

**C/ L'occupation du sol :** réalisée à partir des sources de pollutions identifiées dans la région.

**D/ La densité de population :** réalisée à partir de la population par commune et leur superficie.

**E/ La capacité d'infiltration :** identifiée à partir du bilan hydrologique établi sur une période de 27 ans.

#### **V-4-2-Carte de Vulnérabilité :**

Il est évident que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non Saturée soient épais, que la granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe soit faible, en revanche, ce type de nappe une fois contaminé par un polluant le sera pour une longue durée.

L'élaboration de la carte de vulnérabilité (sensibilité) des aquifères à la pollution s'impose à cause de leur utilisation dans la prévention et la protection des eaux souterraines. En effet, ces cartes permettent de localiser les zones sensibles à la pollution, (l'évaluation des risques de pollution des nappes) et aident à la mise en place d'aménagements spéciaux et de périmètres de protection des eaux souterraines captées.

La nappe d'eau de la plaine d'oued Nil est exploitée à l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres agricoles.

Sur la base des facteurs comme la topographie, la zone non saturée, la capacité d'infiltration, la densité de population, l'occupation du sol...etc. Nous avons élaboré une carte de vulnérabilité à la pollution les eaux de la nappe au niveau de la plaine d'oued Nil. Celle ci met en évidence certaine zones susceptibles d'être affectées par la pollution, suivant le degré d'aptitude.

A ce titre son élaboration a pris en compte plusieurs démarches, en intégrant les paramètres cités, l'étude de la vulnérabilité à été améliorée par le calcul du pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical (Md) ou on obtient ainsi deux zones :

**Md < 1 : zone A**

**Md > 1 : zone B**

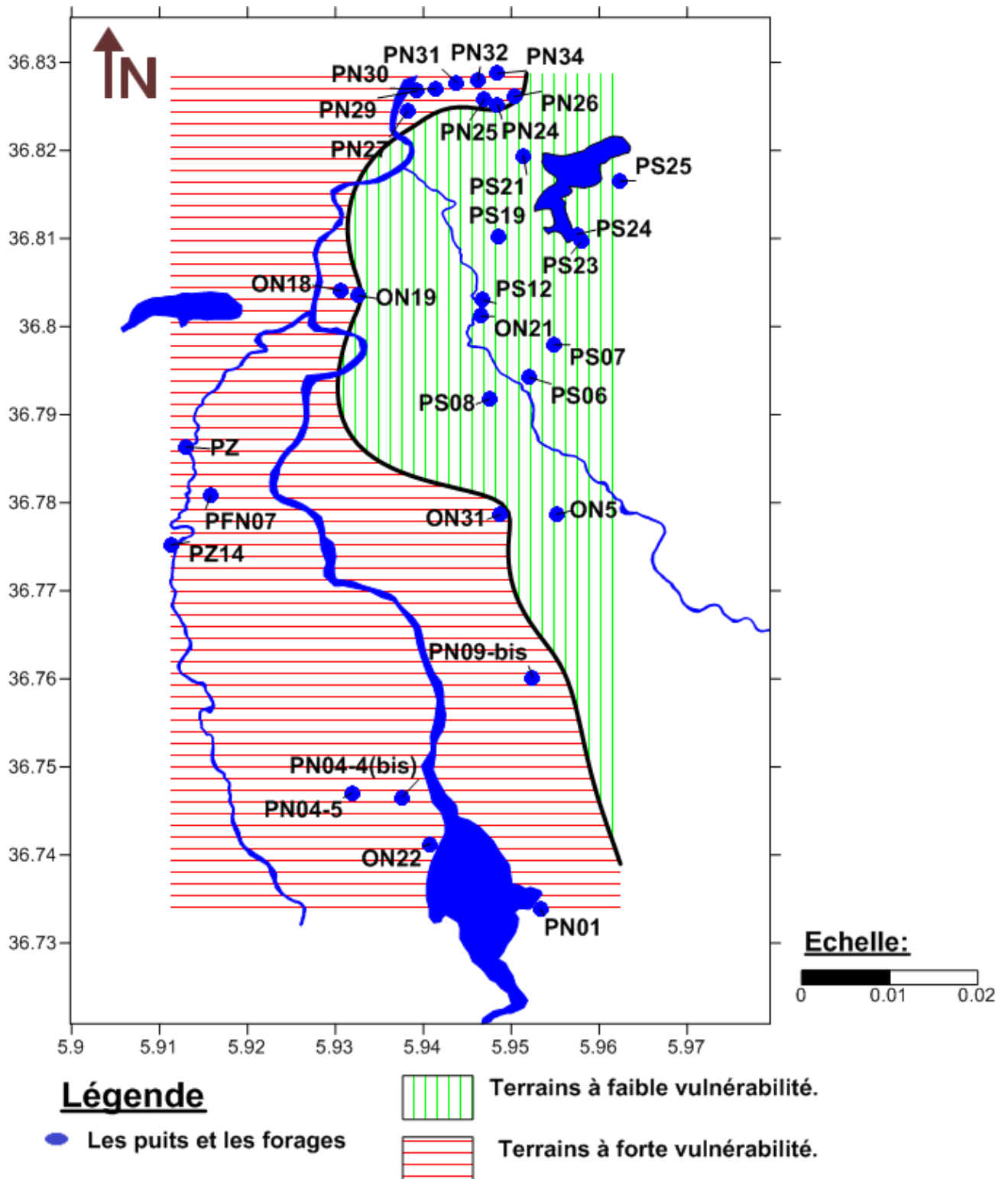


Figure V-3: Carte de vulnérabilité de la plaine d'oued Nil

**V-4-2-1-Les terrains à forte vulnérabilité (zone A) :**

Occupant le centre de la plaine le long d'oued Nil et se prolonge du Sud vers la mer au Nord. La lithologie de cette zone est constituée des formations dunaires sableuse dans la partie Nord et des alluvions perméable au Sud dans la partie OÙ le pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical Md est inférieur à 1 donc l'autoépuration n'est pas totale elle doit se



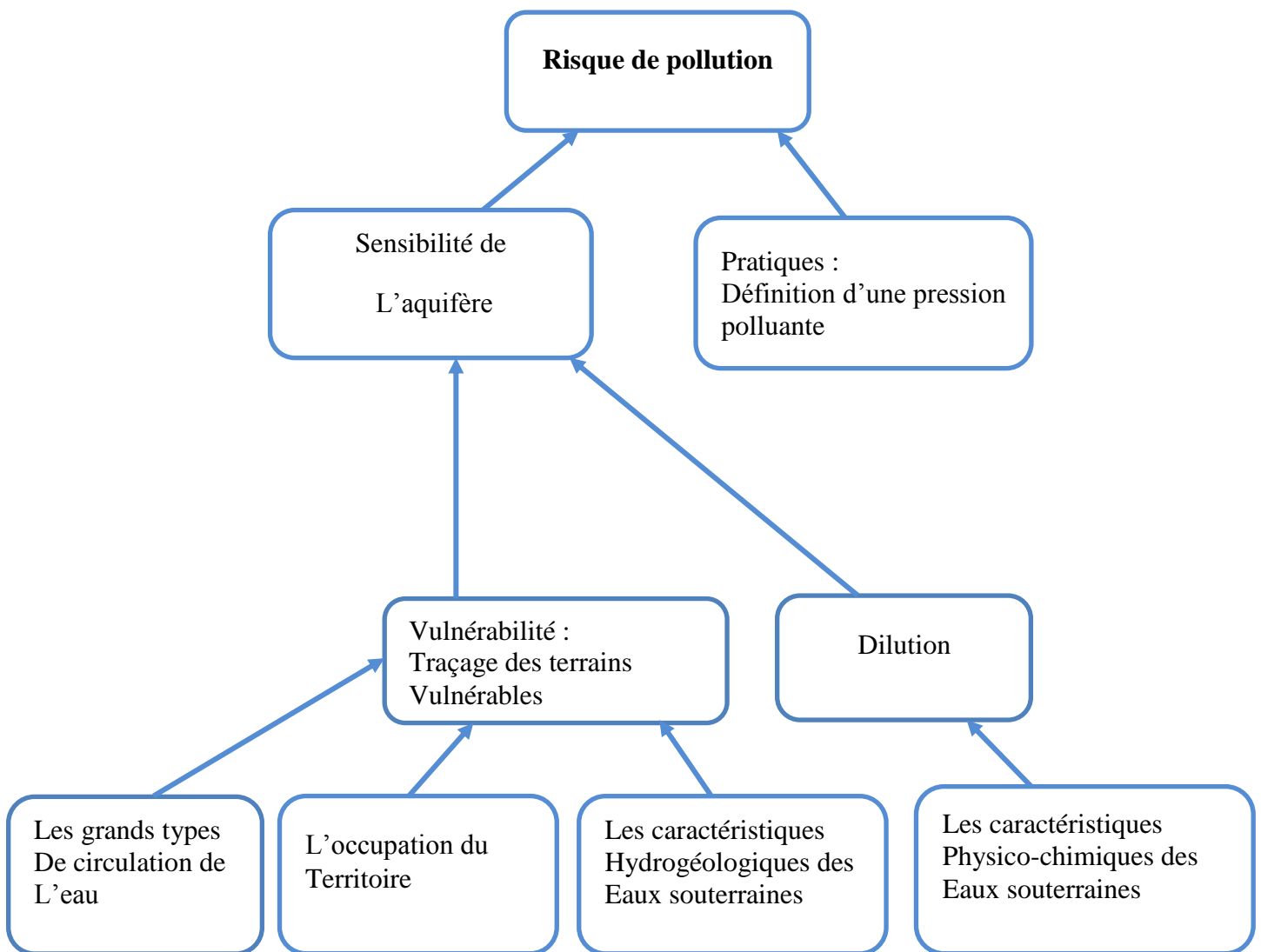
poursuivre dans la couche aquifère (la zone saturée). La zone A est la plus accessible à la pollution avec un risque de contamination élevé.

**V-4-2-2-Les terrains à faible vulnérabilité (zone B) :**

Se localisent à l’Est de la plaine d’oued Nil. La lithologie est constituée d’alluvions anciens et des terrains métamorphiques pour cela le pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical Md est supérieur à 1, donc l’autoépuration est totale dans la couche de couverture. Ainsi, une éventuelle pollution sera affaiblie ou bien éliminée avant d’atteindre la surface piézométrique.

**V-5-Risque de Contamination de la nappe :**

Une carte de risque de la nappe à la pollution a été dressée en se basant sur le schéma ci-dessous :



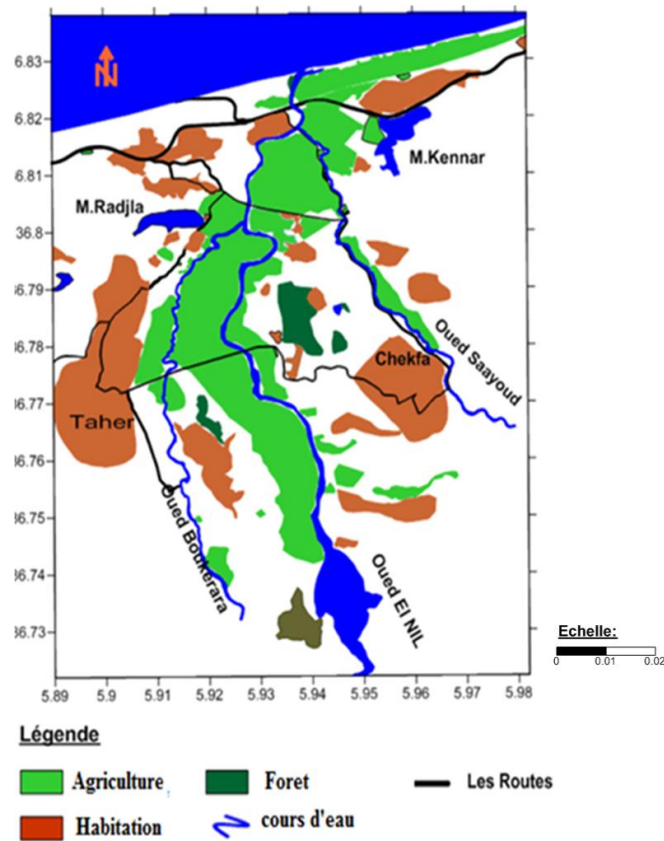
**Figure V-4:** Schéma explicatif d’établissement de la carte de risque.

L'établissement de la carte de risque à la pollution est issu de la combinaison de Plusieurs facteurs :

- La carte de vulnérabilité.
- La position des différentes zones agricoles, urbaines et industrielles sur le site.
- Densité des axes routiers.

**V-5-1-Carte d'occupation du sol:**

La carte de l'occupation du sol de la plaine d'oued Nil montre la position des différentes zones urbaines et agricoles avec l'absence des zones industries, ainsi que la densité de l'axe routier.



**Figure V-5:** Carte d'occupation du sol de la plaine d'oued Nil.

**V-5-2-Carte de risque de contamination:**

Trois degrés de risque de pollution sont distingués :

**V-5-2-1-Zone à fort risque :** occupe la majorité de la région.

Elle est caractérisée par :

- La présence des axes routiers important.
- L'implantation importante des sites urbains

- une activité agricole représentée par la culture de serre.
- Le caractère perméable des terrains.

**5-2-2-Zone à moyen risque :**

La profondeur du niveau piézométrique est plus grande mais les rejets permanents dans le temps à partir des agglomérations avoisinantes ainsi que les cultures des serre peuvent provoquer un risque de pollution.

**5-2-3-Zone à faible risque :**

Occupant la partie Est de la région où on note l'absence d'activité agricole et une faible présence des agglomérations et la nappe est moyennement profonde et mieux protégée.

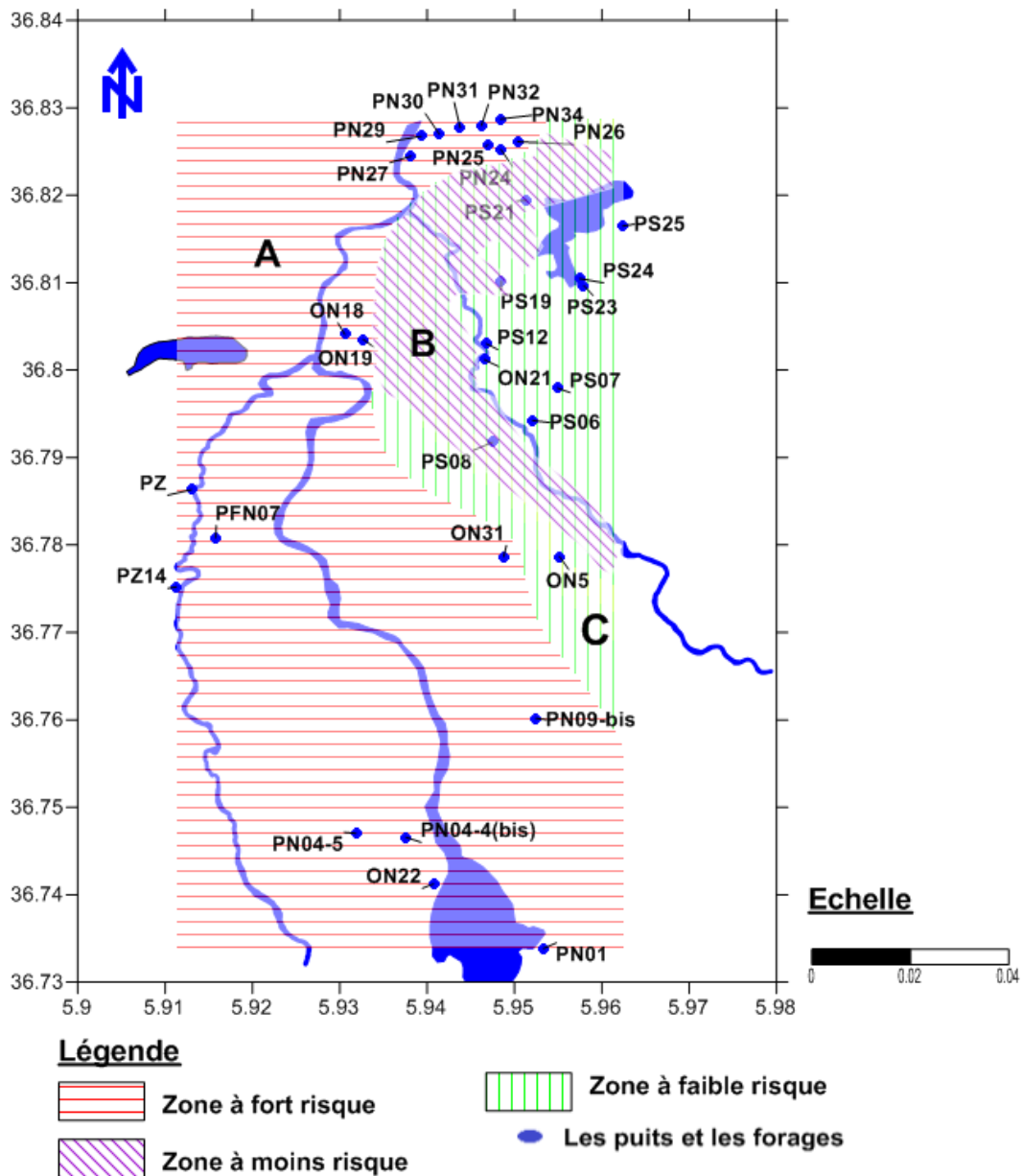
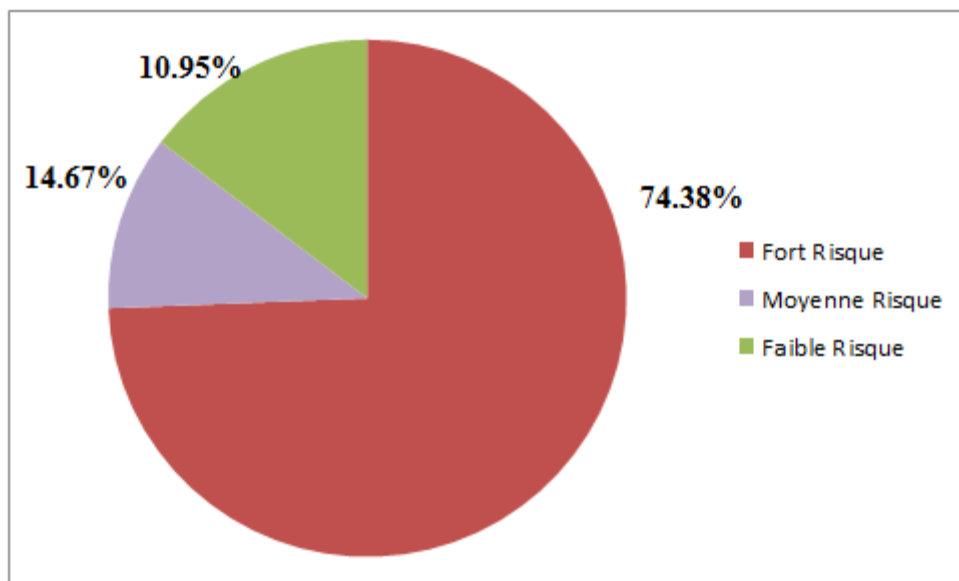


Figure V-6: Carte de risque de contamination de la plaine d'oued Nil



**FigureV-7:** Répartition des différentes zones de risque sur la plaine d'oued Nil

### Conclusion

La cartographie de vulnérabilité de la nappe a révélé deux grandes zones de degrés de vulnérabilité différents. La zone à faible vulnérabilité occupe la partie Est de la plaine avec 25.62 % de la surface totale de la plaine alors que la zone à forte vulnérabilité occupe la partie Ouest de la plaine et représente 74.38 % de cette dernière.

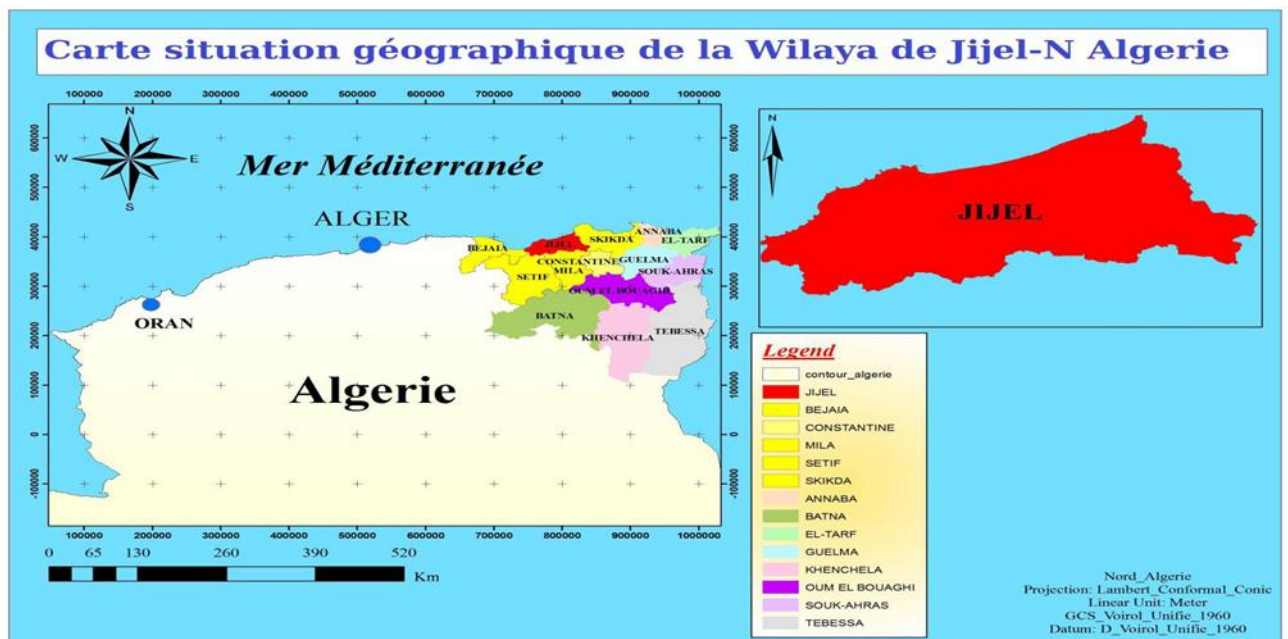
La combinaison de la carte de vulnérabilité et la carte de l'occupation du sol fait ressortir trois zones de risque différentes. La zone à fort risque occupe plus de la moitié du terrain étudié nécessitant de ce fait des moyens de protection appropriés.

La méthode de **REHESE** est très pratique pour des régions où les investigations sont moins importantes et approfondies.



# Chapitre I

## Situation géographique



**Introduction :**

Préalable et indispensable à toute étude efficace, la connaissance du milieu naturel doit s'acquérir dans de multiples domaines (topographie, géologie, climatologie, hydrologie et La biogéographie, etc....). Ces facteurs jouent un rôle essentiel à fin de mieux comprendre le comportement hydrologique.

L'intérêt de ce chapitre comportera la description synthétique de tous ces paramètres précisés.

**1-1-Situation géographique de la wilaya de Jijel :**

La wilaya de Jijel est une région côtière, située au Nord Est de l'Algérie dans la région de la petite Kabylie.

Elle est distante 360 Km de la capitale Alger. Sa superficie est de 239,633 km<sup>2</sup>, avec une façade maritime de 123,90 km. Elle englobe 11 daïras et 28 communes.

Elle est limitée administrativement au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la Wilaya De Bejaïa, à l'Est par la Wilaya de Skikda, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif, au Sud par la Wilaya de Mila et enfin au Sud-Est par la Wilaya de Constantine.

Comme toutes les régions du littoral algérien, la wilaya de Jijel est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux et doux en hiver, chaud et sec en été. Elle est parmi les régions les plus arrosées d'Algérie avec une moyenne de 1200 mm/an, ce qui lui assure d'importantes ressources en eaux superficielles (ONM, 2012).

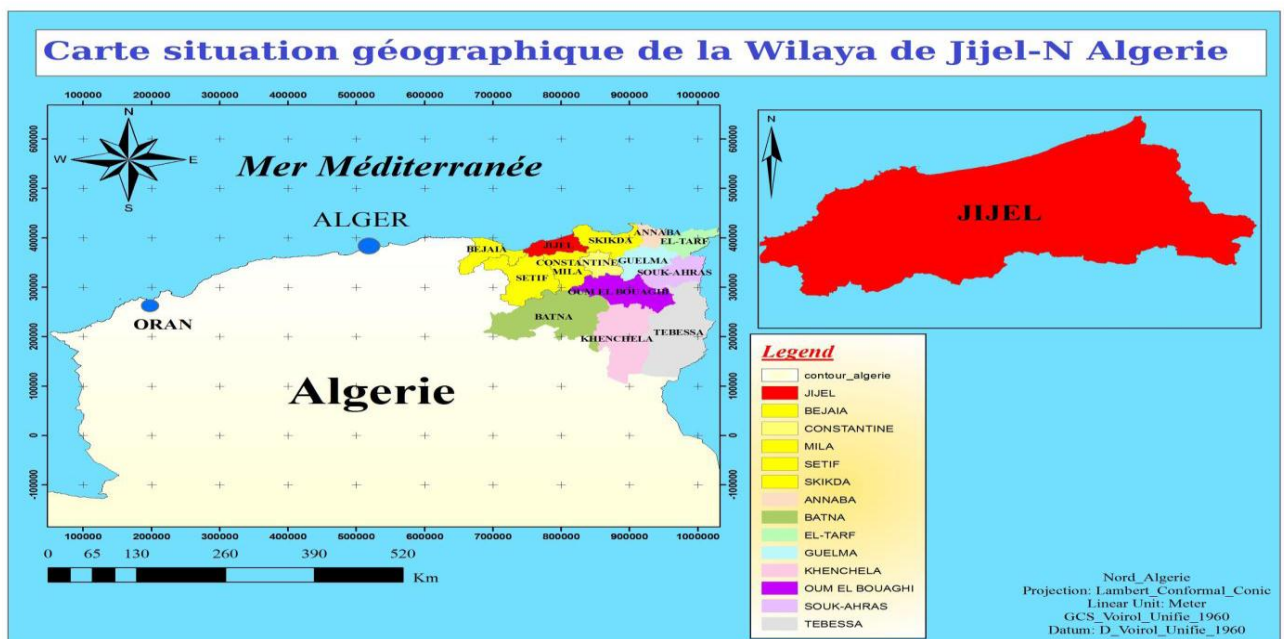


Figure I-1: Localisation de la Wilaya de Jijel.

**I-2-Situation de la zone d'étude (Oued Nil) :**

Le bassin versant de l'Oued El Nil il est situé dans l'Est Algérien, il fait partie des zones humides de la wilaya de Jijel (**Belli, 2009**).

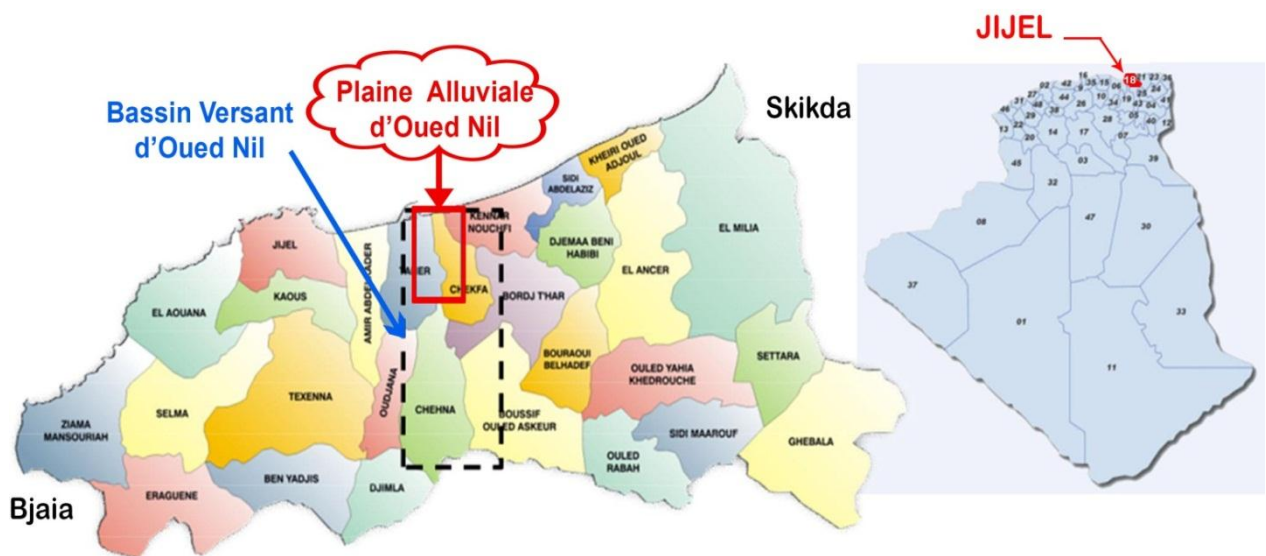
Les limites naturelles de ce bassin sont définies comme suit :

- ✓ Au Nord la mer Méditerranéenne.
- ✓ Au Sud les reliefs de la petite Kabylie (mont des Babors).
- ✓ A l'Est par la commune de Chekfa.
- ✓ A l'Ouest par la daïra de Taher.

Le bassin versant de l'Oued Nil se trouve à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de la ville de Jijel.

Il occupe une superficie de 303.24 km<sup>2</sup>, subdivisée en trois sous bassins versants de 148 km<sup>2</sup> et de 120 km<sup>2</sup>. Ce bassin est drainé par l'Oued Nil et ses deux affluents, l'Oued Boukraa et Saayoud (**Lehtihet, 1983**).

Ce bassin bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux de forte pluviométrie, caractéristique des zones méditerranéennes (**Belli, 2009**).



**Figure I-2:** Situation et localisation de la zone d'étude.

**I-3-Géomorphologie et reliefs :**

La plaine alluviale d'oued Nil est très basse avec une assez faible pente de 29.06% d'altitude, caractérisée par un écoulement superficiel.

La plaine est étagée par différents niveaux de terrasses quaternaires Caractérisées par des nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermées ou marécages sont engorgés

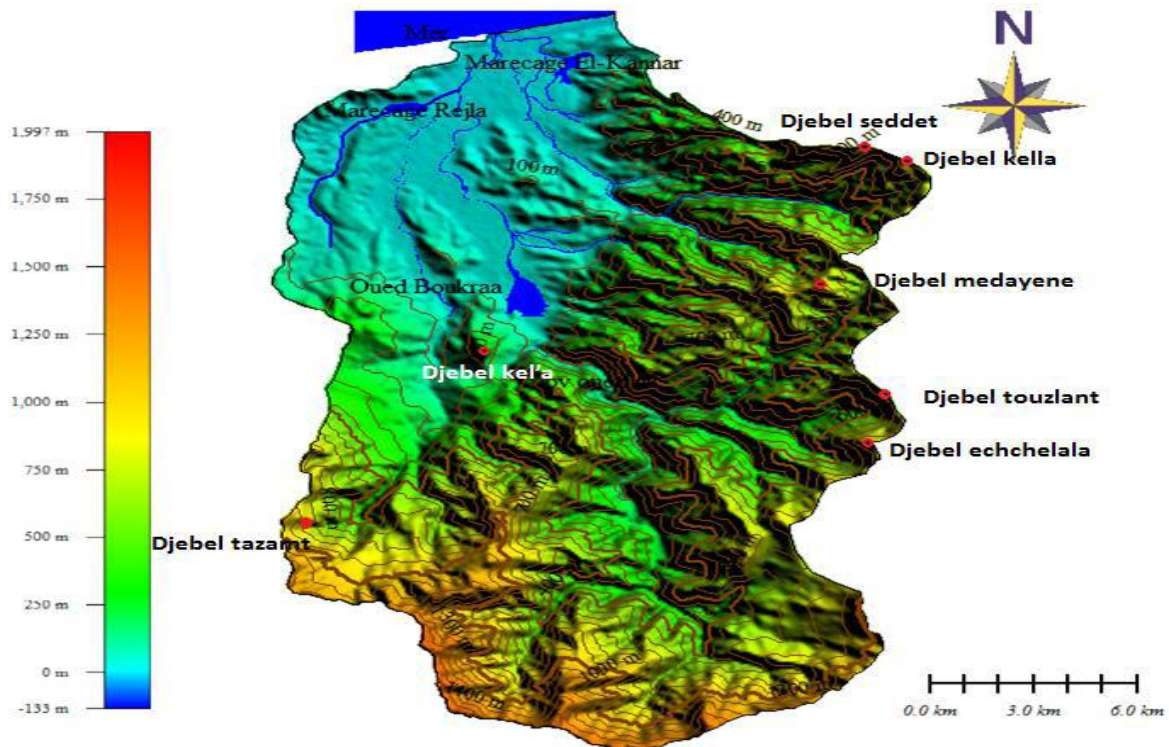


par les fortes précipitations et par les venues d'eau des massifs montagneux très accidentés qui se situent aux bordures de la plaine (tableau I-1 et figure I-3).

**Tableau I-1:** Altitudes des montagnes dans la zone d'étude

Nom des montagnes	Altitude en (m)
Djebel El medayene	791
Djebel Touzlant	921
Djebel Echchelala	812
Djebel El kel'a	311
Djebel El Tazamt	851
Djebel Seddet	956
Djebel Kella	913

Ces montagnes (tableau I-1) présentent une zone d'alimentation importante ce qui assure la présence de l'eau durant toute l'année (**Berkane, 2011**).



**Figure I-3:** Carte d'altitude du bassin versant (d'après K. Maoui, Ch. Meddour 2013).

**I-4-Le Climat :**

Les conditions climatiques jouent un rôle principal pour déterminer le régime des cours d'eau. Dans ce type de climat, trois bandes climatiques peuvent se dégager :

- Une bande climatique littorale avec une grande influence maritime à hiver doux et été modéré.
- Une bande climatique sub-littorale avec chute de gelée blanche.
- Une bande climatique sub-tellienne avec beaucoup de chute de neige et de gelée blanche.

La région de Jijel est caractérisée par un climat tempéré, avec un été chaud, un hiver doux et humide. Le maximum des températures sont atteints au mois d'Août avec 27°C et le minimum au mois de février avec 11°C (**Selon la station météo d'Achouat, année 2015**).

Elle est l'une des zones les plus arrosées en Algérie. Bénéficiant d'une façade maritime, le littoral de Jijel reçoit des pluies abondantes. Elles sont utilisées pour définir les caractéristiques des eaux de surfaces (**ONM, 2012**).

Les ressources hydriques ont essentiellement pour origine les précipitations fréquentes qui atteignent les 1105,7 mm/ans (**ONM, 2013**).

#### **I-5-La végétation :**

La région présente en conséquence un couvert végétal assez dense qui se manifeste par des forêts abondantes de chêne-liège qui couvrent les terrains, en amont sur les massifs et sur les piémonts, ainsi que des oliviers. Les parties alluvionnaires de l'aval sont en général dénudées et servent à l'agriculture des serres là où les terres ne sont pas marécageuses. Cette végétation demeure menacée par l'érosion favorisant la dégradation du sol (**Berkane, 2011**).



**Figure I-4:** L'agriculture pratiquée dans la zone d'étude.

**I-6-Réseau hydrographique :****I-6-1-Le réseau hydrographique de la wilaya de Jijel :**

Est très dense, il est constitué essentiellement par les Oueds suivants:

- Oued Zhour,
- Oued El-Kébir,
- Oued El Nil,
- Oued Djenjen
- Oued Mencha

Et leurs affluents sont tous ces oueds qui jouent un rôle très important dans l'érosion et le transport des sédiments

**I-6-2-Réseau hydrographique de bassin versant oued Nil :**

Le Bassin versant d'Oued Nil occupe une surface de 303 km<sup>2</sup> englobant quatre sous bassins versants respectivement :

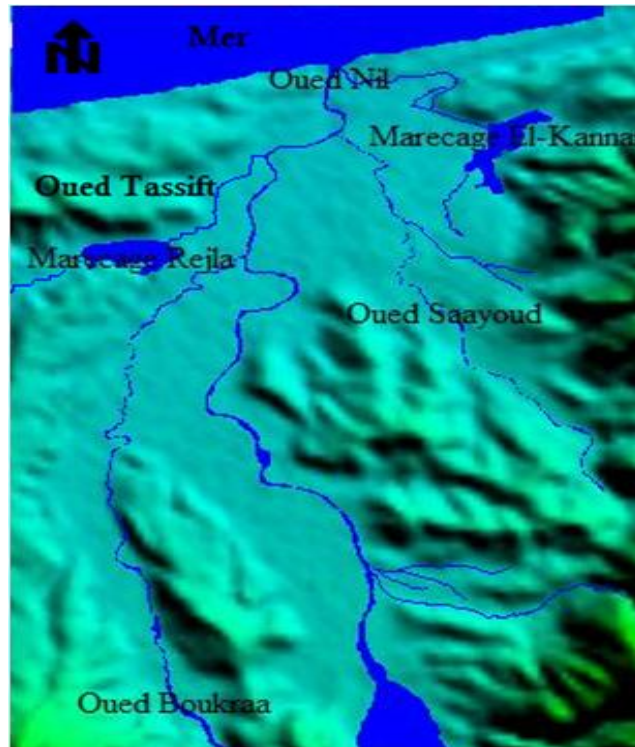
- Oued Nil (175.65 Km<sup>2</sup>)
- Oued Saayoud (50.563Km<sup>2</sup>)
- Oued Boukraa (61.049.Km<sup>2</sup>)
- Oued Tassifte (15.466 Km<sup>2</sup>).

Les lits de ces oueds ont une largeur de 10 à 35 m et une profondeur de 2 à 4 m (**Bechkit, 2005**). Leurs eaux sont essentiellement utilisées pour l'irrigation ainsi que celle d'oued Nil (**Berkane, 2011**).

L'Oued Nil est l'un des oueds les plus importants de la région de Jijel avec un débit annuel de 230 millions de mètres cubes à l'embouchure (**Lehtihet, 1983**).

On trouve aussi deux marécages qui sont :

- le marécage d'El-Kannar (Ghedir Beni Hamza) situé dans la commune d'El-Kannar et qui s'étend sur une superficie de 0.349 Km<sup>2</sup> (calculée à partir du logiciel Global Mapper).
- 
- le marécage d'Rajela (Ghedir El-Merdj) situé dans la commune de Taher et qui s'étend sur une superficie de 0.324 Km<sup>2</sup> (calculée à partir du logiciel Global Mapper)



**Figure I-5:** Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Nil.

#### Conclusion :

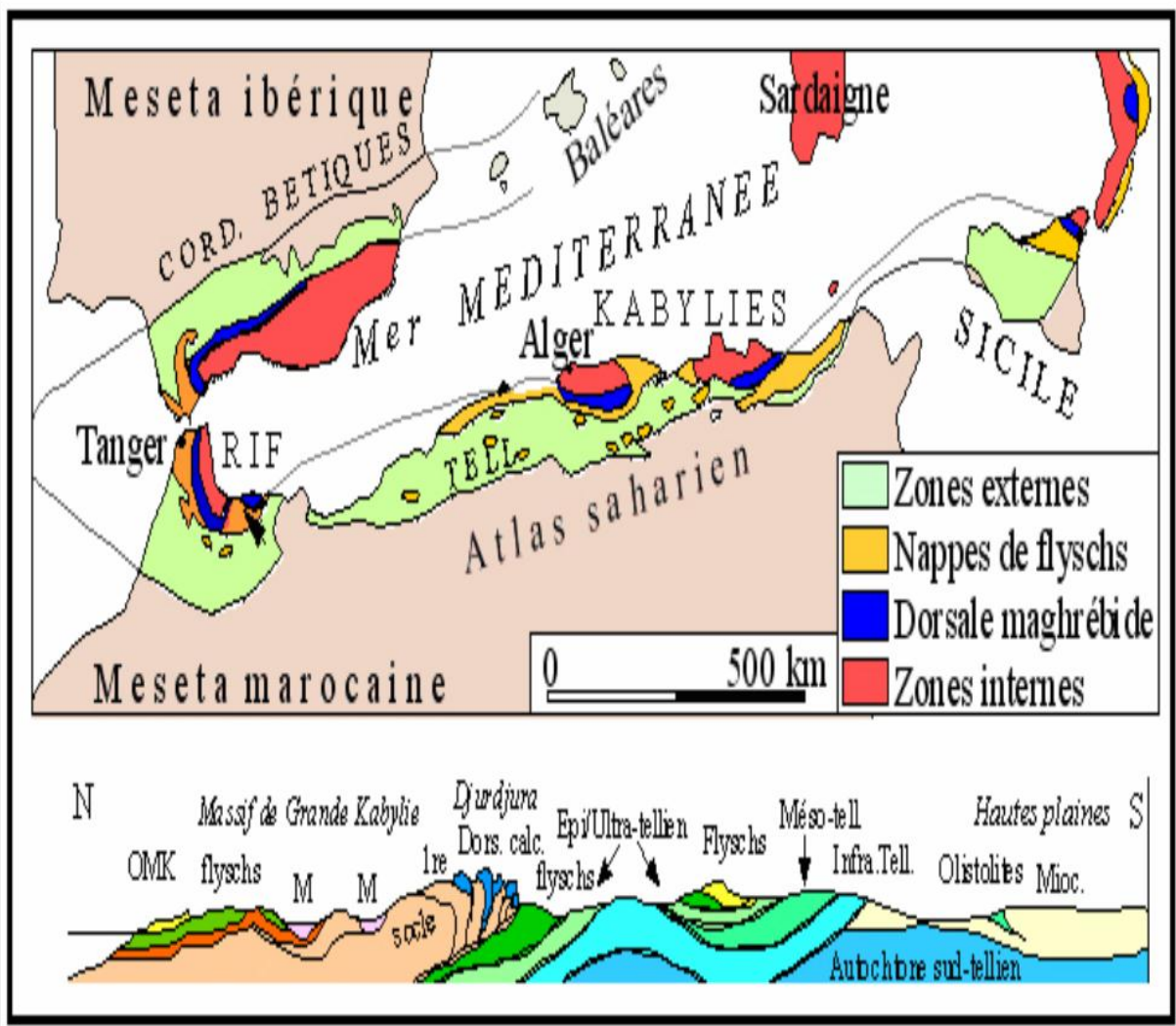
Dans ce chapitre nous avons mis en évidence la situation géographique de la zone d'étude et son cadre naturel (relief, réseau hydrographie, climat, et couvert végétal.....).

- La wilaya de Jijel, occupe une position stratégique d'un point de vue économique (activité agricole).
- La Wilaya de Jijel se caractérise par un climat méditerranéen de type subhumide à humide.
- La plaine d'oued Nil est caractérisée par une pente assez faible.
- La région présente en conséquence un couvert végétal assez dense.
- Le Bassin versant d'oued Nil occupe une surface de 303 km<sup>2</sup>.
- La population de Jijel estimé à 684933 habitants, la majeure partie est concentrée dans le Nord de la wilaya.
- La densité de population estimé à 285 habitants /km.



# Chapitre II

## Etude géologique



**Introduction :**

Les ressources hydriques susceptibles d'être emmagasinées dans le sous-sol nécessitent la présence de réservoirs rocheux à caractères pétrographiques adéquats et à grands potentiels. De ce point de vue, la connaissance du contexte géologique s'avère primordiale pour permettre le suivi et l'évolution des aquifères.

**II-1-Géologie régionale :**

La géologie de l'Algérie du Nord fait partie, de la branche sud méditerranéenne (Maghrébides) de l'Orogène alpin.

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constitués de plusieurs nappes, charriées sur la plate-forme africaine. Transversalement on y distingue, de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne :

- ✓ Le domaine interne ou domaine Kabyle : qui comporte le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire (**Durand Delga, 1969 ; Raoult, 1974 et Vila, 1980**).
- ✓ Le domaine des flyschs : constitué par les flyschs Maurétaniens au Nord, et les flyschs massyliens au Sud (**Vila, 1980**).
- ✓ Le domaine externe ou domaine telliens (**Durand Delga, 1969 et Vila, 1980**). Sur l'ensemble de ces unités géologiques repose en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappes.

**A-Domaine Kabyle (domaine interne) :**

Le domaine interne comprend le socle cristallophyllien (socle kabyle) et ses couvertures sédimentaires.

**A-1-Socle Kabyle :**

Le socle de la petite Kabylie est composé de deux grands ensembles : (**Djellit ,1987**)

- ✓ un substratum gneissique, constitué de paragneiss, d'orthogneiss et de gneiss fins ou ocellés. Il admet par endroit de puissantes intercalations de marbres et d'amphibolites.
- ✓ une couverture des phyllades, des schistes, des micaschistes, des para-gneiss, des orthogneiss peuvent être migmatisés. Ces formations cristallophylliennes du socle kabyle forment la quasi-totalité des reliefs montagneux des régions des Beni Khattab, de Beni Afare, et de Saddat, de Sidi Abdelaziz, de Beni Belaid, d'El Ancer, d'Ouled Askeur et El Milia.

La série supérieure cristallophyllienne du socle de petite kabyle surmonte tous la région de Beni-Afeur (Jijel) par des calcaire à orthocères et des argiles à graptolites (**D. Delga, 1955**).

Un ensemble de roches sédimentaires et volcaniques (du Jurassique à Sénonien basal) très déformé (schistosité, linéation... etc.), débité en écailles. Cet ensemble chevauche vers le Sud sur les zones externes (telliennes) (**Bechkite, 2005**).

Un groupe de nappes pelliculaires ayant à la base un Olistostrome (aquitano-serravallien) traversé par une microdiorite quartzifère et surmonté par une nappe structurée, le flysch de Guerrouche. Ces différentes nappes sont scellées par des dépôts du Miocène terminal puis, par le Paléocène (conglomérats continentaux) (**Raoult, 1974**).

La nappe numidienne repose en contact anormal sur tous les terrains des plus anciens au Nord comme au Sud de la région.

### **A-2-Couvertures sédimentaires :**

#### **- Formations de La Dorsale Kabyle ou « Chaîne Calcaire »**

Au Mésozoïque le socle kabyle formait dans sa partie méridionale (Sud) le substratum des dépôts jurassiques de la chaîne calcaire.

En petite Kabylie occidentale, l'activité volcanique de l'époque était intense et à transformé les dépôts Jurassique en complexe volcano-sédimentaire.

Actuellement suite au serrage (fermeture) du bassin alpin, le socle kabyle chevauche la chaîne calcaire (en grande Kabylie) et chevauche le **C.V.S** en petite kabylie.

#### **- Formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) et les Olistostromes**

Les parties émergées du socle kabyle sont restées telles quelles jusqu'à l'oligocène supérieur. (**Durand.Delga, 1955**).

On assiste à la première transgression marine avec les premiers dépôts OMK transgressifs et discordants sur le socle.

**L'Oligo-Miocène Kabyle** : est constitué par des formations détritiques comportant trois termes :

- ✓ Un terme de base formé de conglomérats grossiers polygéniques reposant en discordance sur le socle kabyle.
- ✓ Un terme médian, comportant des grès micacés à débris de socle associés à des pélite micacés.
- ✓ Un terme sommital formé de silexites. (**Bouillin, 1977**).

Comme suite à cette sédimentation calme et stratifiée, une phase de tectonique importante a affecté la chaîne tellienne et s'est traduite par des glissements sous-marins de panneaux de sédiments appelés unités tectono-sédimentaires qui ont glissé dans le bassin et se sont superposés sur les dépôts calmes et stratifiés de l'OMK.

On parle de l'Olistostrome à unité de flysch dissociés ou dilacérés.

On y distingue tous les types de flysch d'âge Aquitano-Serravallien pour (**Djellit H, 1987**) et Aquitano-Burdigalien pour (**Bouillin, 1979**).

**-Les Olistostromes :** ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flysch Maurétanien, Massylien et Numidien reposant sur les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle. Ces formations, ont été décrites pour la première fois en Petite Kabylie par (**Raoult et Bouillin, 1971**).

**-Les formations post-nappes :**

Elles constituent les dépôts néogènes du bassin de Jijel et surmontent en discordance l'olistostrome sus-indiqué.

Mis à part les dépôts récents (quaternaire et alluvions), le Pliocène continental est franchement discordant sur un Mio-Pliocène marin constitué dans la région de Jijel de marnes grises à miches calcaires, celles-ci sont datées, à leur extrême base du Burdigalien-Langhien (**Bouillin, 1977**), ou du Tortono-Messinien (**Djellit, 1987**).

Les formations post-nappes comportent deux cycles :

- ✓ Un premier cycle à la base, constitué de marnes de couleur grise ou blanches, transgressifs sur les terrains précédents.
- ✓ Un deuxième cycle au sommet, d'épaisseur réduite ne dépassant guère les 50 mètres, formé essentiellement de grés provenant de la destruction du flysch numidien.

Dans le bassin néogène de Jijel, sur les marnes miocènes viennent des conglomérats datés du Pliocène (**Delga, 1955**).

**- Les formations quaternaires :**

Essentiellement représentées dans le bassin de Jijel par des dépôts détritiques meubles. Elles comportent :

**Les dunes de sable :** elles forment le cordon littoral bordant la mer méditerranée et sont formées de:

- ✓ Les dunes actuelles : constituées de sables fins parfois consolidés.
- ✓ Les dunes anciennes : constituées de sables fins limoneux légèrement consolidés.

**Les alluvions :** elles sont représentées par des alluvions récentes et des alluvions actuelles :

- ✓ Les alluvions récentes sont grossières et constituent les terrasses anciennes des vallées.
- ✓ Les alluvions actuelles sont composées d'éboulis et de brèches non consolidées. La taille des éléments peut aller jusqu'à 50 mm de diamètre.

**B-Domaine des flyschs :**

Dans la wilaya de Jijel, il existe trois types de formations de flysch :

**B-1-Le flysch maurétanien (flysch de Guerrouche) :**

Comporte de bas en haut :



- Un pré-Flysch calcaire du Tithonique-Néocomien constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidites calcaires.
- Un ensemble (300m) de grés homométriques à cassure verte (flysch de Gerrouche) attribué à l'Albo-aptien.
- Localement, des phtanites rouges et blancs du Cénomanién supérieur.
- Un Sénonien micro-bréchiq. Les micro-brèches à ciment spathique riche en quartz détritiques, peuvent être quelque fois remplacées par des micro - conglomérats.
- Enfin, au sommet des conglomérats puis des grés micacés Tertiaires (Eocène à Oligocène) **(Djellit, 1987)**.

Ce flysch affleure largement dans la forêt de Guerrouche et dans la partie Sud de la région de Texanna (région de Ma el bared).

### **B-2-Le flysch massylien :**

Dans la wilaya de Jijel, le flysch massylien affleure dans les environs de la région de Texanna et au Sud d'El Milia, et comporte de bas en haut les termes suivants :

- A la base, le classique " Flysch Albo-aptien " composé d'argiles et de grés quartzitiques, roux, en barres minces (10-30cm), des grés légèrement calcaireux, rosés à violacés et très localement des niveaux conglomératiques à Orbitolines.
- Ensuite, vient s'installer un ensemble comprenant des marnes et calcaires fins, jaunâtres du Vraconien, du Cénomanién inférieur-moyen, des calcaires fins, noirâtres, auxquels s'associent souvent des phtanites noires du Cénomanién supérieur.
- Enfin, au sommet, un flysch à marnes microbréchiq. riches en Globotruncana du Turonien Maestrichtien; sa base montre des bancs calcaires jaunes à roses à microfaune pélagique du Turonien-Coniacien.

Cet ensemble est surmonté par des argiles rouges et microbrèches calcaires bioclastiques à Nummulites de l'Eocène **(Djellit, 1987)**.

### **B-3-Le flysch Numidien :**

Au niveau de la wilaya de Jijel, le flysch numidien couvrant en partie la zone côtière, entre la ville de Jijel et le massif d'El Aouana, affleure également au Sud de Texanna (région de Tamezguida et de Djimla), dans la région de Chahna et dans la partie Est d'El Milia (région d'Ouled Ali, Bel Hadaf).

Il est composé de trois termes qui sont en continuités stratigraphiques :

- Argiles sous numidiennes vari-couleurs à Tubotomaculum.
- Grés Numidien de couleur blanc-jaunâtre, à dragées de quartz.

- Argiles supra-numidiennes de couleur verdâtre à rouge sombre.

**C- Le domaine externe (domaine tellien) :**

Dans la wilaya de Jijel, les formations telliennes sont représentées dans la partie occidentale par les massifs carbonatés des Babords, dans la partie Sud par les formations marneuses, de marno-calcaires et des roches évaporitiques du trias (région de Djimla) et à l'Est par les formations calcaires, de marno-calcaires, de marnes et des roches évaporitiques de trias (région de Sidi Marouf et la partie Sud d'El Milia).

L'étude des séries telliennes a révélé une grande complexité de ces dernières. Elles peuvent être subdivisées en plusieurs séries (sillons) : **(J-M. Vila, 1980)**.

-Une série ultra-tellienne.

-Une série tellienne, sensu stricto.

-Une série péni-tellienne.

**D- Les roches magmatiques :**

Les roches magmatiques de la petite Kabylie sont principalement représentées par :

- Des roches basiques et ultrabasiques (péridotites, gabbros, diorite, microdiorites et dolirites) de Texanna et du Cap Bougaroun.

- Des roches volcaniques (rhyolites, trachites, andésites, dacites, pyroclastites) dans la région de Cavallo, Cap de fer et Collo.

- Des roches granitiques (granites, microgranites, et grano-diorites) dans la région d'El Milia et Collo.

Les manifestations magmatiques de la région sont connues au Trias , Jurrassique et Miocène liées aux cycles de distension crustale.

**II-2-Géologie locale d'oued Nil :****Introduction :**

Le bassin côtier de Jijel a été mis en place durant le néogène suite à une distension régionale ayant conduit à l'effondrement du socle kabyle jusque-là émergé.

Le comblement du bassin débute par les dépôts de l'OMK transgressifs et discordants sur le socle. Faisant suite à cet épisode sédimentaire, une épaisse série marneuse du mio-pliocène se dépose dans les bras de mer reliques au niveau des zones basses de la région.

S'en suit alors un épisode à caractère continental qui se généralise par des dépôts détritiques grossiers.

**II-2-1-Aspect litho- stratigraphique du bassin d'oued Nil :****Terrain sédimentaires :****Quaternaire :****a) Alluvions Quaternaire (q)**

Elles affleurent à l'Ouest de la plaine, Ce sont des terrasses anciennes des vallées généralement aquifères, constituées d'éléments grossiers (graviers, galets et conglomérats) qui sont très perméables avec une épaisseur variant de 30 à 50 m.

**b) Alluvions marécageuse (a<sup>3</sup>)**

Elles affleurent au Nord de la plaine. On les trouve dans les dépressions fermées ou ghedirs constitués essentiellement d'éléments argilo-limoneux parfois sableux peu Perméables. L'épaisseur varie de 20 à 25m.

**c) Alluvions récente (a<sup>2</sup>)**

Sont constituées d'éléments grossiers: graviers, conglomérats et galets très Perméables. On les rencontre le long des Oueds principaux, leur épaisseur est inférieure à 10 m.

**d) Dunes ancienne (D)**

Elles sont constituées de sables fins limoneux souvent consolidés. On les rencontre au Nord de la plaine avec une épaisseur de l'ordre de 25 m. Ces formations sont potentiellement aquifères.

**e) Dunes actuelles (d)**

Constituées essentiellement de sables fins souvent consolidés. On les rencontre à la bordure de la mer d'une épaisseur de 20 à 25 m.

**Tertiaire :****a) Paléogène**

Des formations gréseuses affleurent au Sud de la plaine. L'épaisseur varie de 500 à 1000 m. Ce sont surtout le :

**a-1-Maurétanien (Eocène supérieur-Oligocène) (eb<sup>3-2</sup>) :**

Constitué essentiellement de grés.

**a-2-Numidien (Eocène supérieur-Oligocène-Miocène inf.) (ea<sup>3-2</sup>) :**

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

**b) Néogène****b-1-Miocène inférieur (Burdigalien) (m<sup>1</sup>)**

Affleure dans la partie Ouest de la plaine. Constitué essentiellement par des marnes grises Parfois sableuses ou jaunâtres par oxydation, le facies très constant avec des intercalations des niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtres. L'épaisseur varie de 200 à 300m.

**b-2-Miocène moyen (Pontien) (m<sup>3</sup>)**

Il apparait à l'affleurement dans le coté Est et Ouest de l'Oued Boukraa. Il est composé de Dépôts détritiques, cailloutis et argiles d'origine continentale. De bonne perméabilité et d'une épaisseur de 20 à 25 m.

**b-3-Miocène supérieur marin (Sahélien) (m<sup>4</sup>)**

Affleure au centre de la plaine et à l'Est de l'Oued principal, il est constitué essentiellement par des marnes bleues.

**Terrains métamorphiques**

Ils constituent le socle Kabyle, d'âge paléozoïque avec :

**- Schiste - phyllade (x<sup>y</sup>)**

Argileux micacés ou satinés de teintes très variées, traversés de filons de Quartz laiteux s'intercalant de couches détritiques.

**- Calcaire métamorphique (cipolins)**

De couleur blanc, gris ou bleuâtre, parfois micacé et pyriteux s'intercalant en bandes irrégulières ou en amas dans les schistes et les micaschistes.

**- Micaschistes et schiste micacé (x<sup>2</sup>B<sup>1-3</sup>)**

Ces formations sont riches en micas noires et blancs.

**- Schiste granulitisés et gneiss (x<sup>2</sup>B<sup>1-3</sup>)**

Ce sont des gneiss schisteux résultant de l'injection des granulites dans les Micaschistes, parfois fortement kaolinisés.

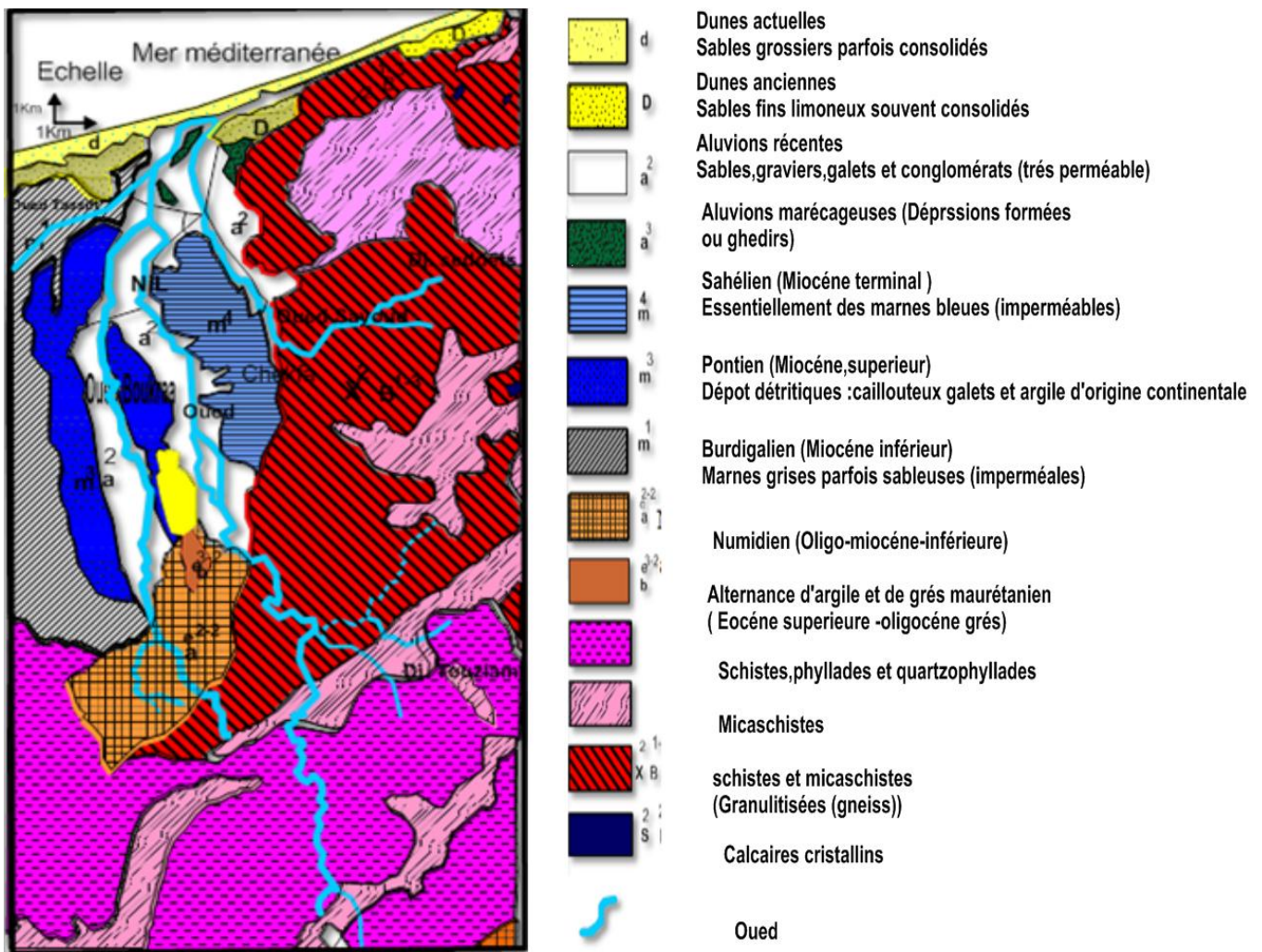


Figure II-1: Esquisse géologique de la région d’oued Nil (Provenant de la carte géologique d’El-Milia N°29, Ehrmann F. 1926)

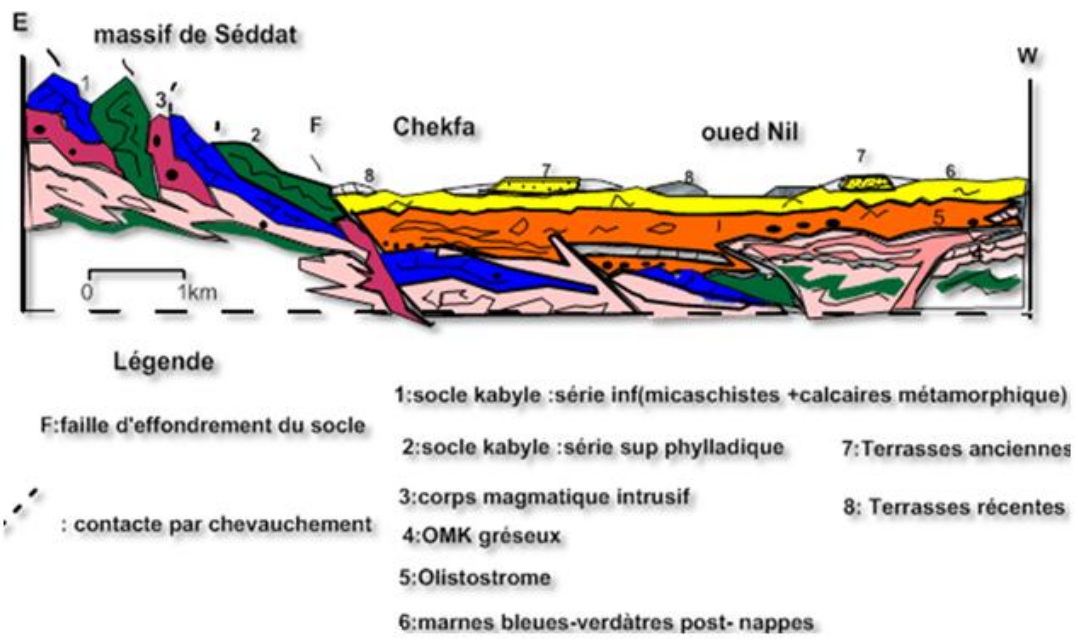


Figure II-2: Coupe géologique de la région d'Oued Nil

**Conclusion :**

La wilaya de Jijel est caractérisée par une géologie très complexe et par une diversité des formations géologiques (sédimentaire, métamorphisme et volcanique).

Les études géologiques montrent que le secteur d'étude (plaine alluviale d'oued Nil) est le siège d'une topographie ancienne dont les dépressions ont été recouvertes par des alluvions récentes et des Terraces anciennes (formations quaternaires).

La nappe se localise dans les alluvions appartenant essentiellement au niveau des sables et des graviers, ces alluvions reposent sur les marnes grises du Burdigalien qui constitue le substratum de la nappe alluviales.







**Introduction :**

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Cette science étudie les interactions entre les structures géologiques du sous-sol (nature et structures des roches, des sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface. L'hydrogéologie permet donc de connaître et de comprendre comment les structures géologiques du sol et du sous-sol affectent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, sa distribution, son écoulement et sa résurgence.

Le secteur d'étude de bassin versant d'Oued Nil est caractérisé par l'abondance des ressources en eaux superficielles, mais l'absence des barrages dans le secteur nous oblige d'exploiter les eaux souterraines. Par l'étude hydrogéologique on va s'intéresser à :

- Définir les formations aquifères existantes.
- Suivre l'évolution spatio-temporelle du niveau piézométrique.
- Déterminer les caractéristiques hydrodynamique de l'aquifère.
- Classer l'aquifère suivant sa perméabilité (**Loubna SADOUN ; 2013**).

**IV-1-Les formations aquifères et leurs situations :**

En hydrogéologie l'identification des formations et des structures géologiques permet la détermination des formations susceptibles ou non d'emmagasiner les eaux. Les principales formations lithologiques du secteur d'étude peuvent être regroupées en deux grands ensembles :

- **Des formations dunaires:** on les trouve un peu partout dans la partie Nord.
- **Les alluvions du Quaternaire:** on les rencontre au niveau des basses vallées des Oueds (Nil, Boukraa et Saayoud). (**Bechekite, 2005**)

**IV-2-Description des formations aquifères:****A-Les formations dunaires :**

Ce cordon dunaire est représenté par des sables anciens fins parfois consolidés, il se dépose sur les alluvions du Quaternaire, son épaisseur est importante.

En conséquence ces dunes peuvent constituer un réservoir non négligeable mais leur position limitée par la mer nécessite une exploitation réglementaire.

Ces dunes ont une mauvaise perméabilité (la présence des lentilles argileuses), celle-ci ralentisse l'écoulement de l'eau de la nappe vers la mer et empêchent le cas échéant l'avancement rapide du biseau salé.



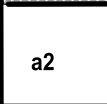

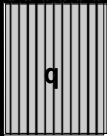
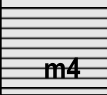

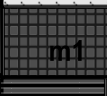



**B-Les alluvions du Quaternaire :**

Ce sont des alluvions récentes et des cônes de déjection des différents oueds. Ils sont formés essentiellement de graviers fins, moyens et grossiers avec des passages de quartz, sables et schistes en amont, les alluvions sont les plus grossières et elles présentent une bonne

perméabilité (Supérieur à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s). Par contre en aval, ces alluvions sont les plus fines et présentent une perméabilité qui varie de  $10^{-4}$  à  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.

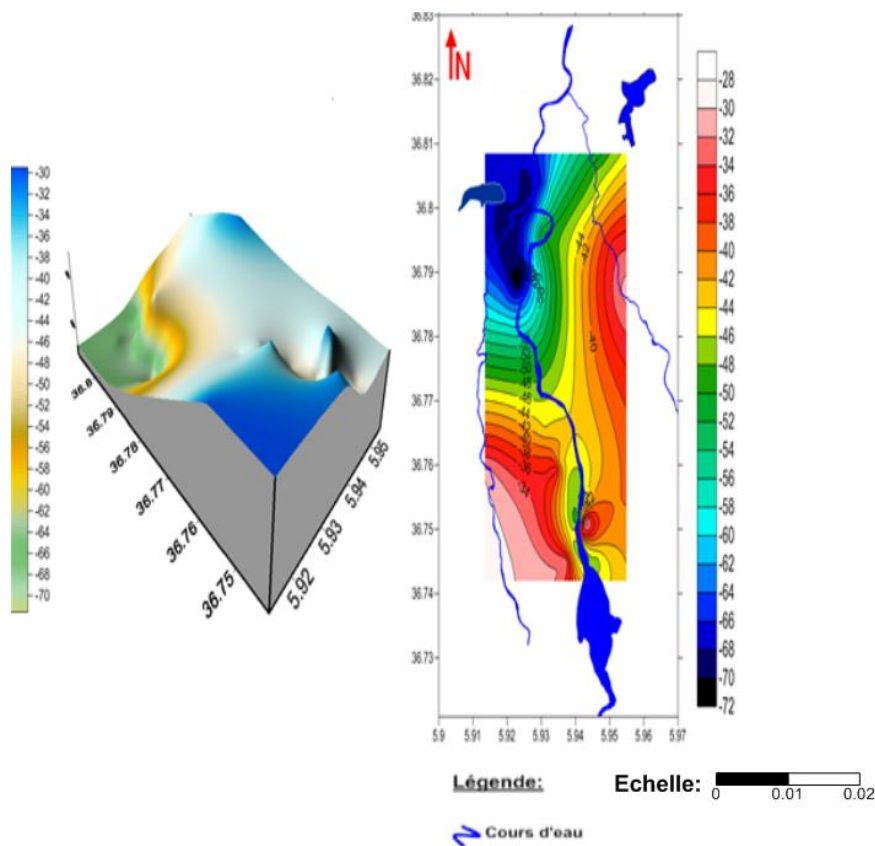
L'épaisseur de ces alluvions augmente de l'amont vers l'aval, et de l'Est à l'Ouest. Elle varie de 30 à 50 m en amont jusqu'à 80 m en aval et peut atteindre des valeurs maximales au niveau de la confluence d'Oued El Nil et Oued Saayoud. (Bechkite, 2005).

**Tableau IV-1: Coupe synthétique litho-stratigraphique des différents étages de la plaine alluviale d'Oued Nil (Bechkite, 2005).**

E.R.E	Système	Sous système	Etage	lithologie	Description	épaisseur	Affleurment	Conséquence hydrogéologique
Quaternaire					Sables fins parfois consolidés	20 a 25	Au bordure de la mer	peu perméable
					Sables fins limoneux souvent consolidés	20 a 25	Nord de la plaine	peu perméable
					Alluvions résente: sables graviers, conglomérats galets	2 à 10	Le long des Oueds principaux Nord	perméable
					Alluvions marécageuses	20 à 25	Nord de la plaine	peu perméable
					Alluvions quaternaire élément grossier graviers conglomérats galets.	30 à 50	Ouest de la plaine	perméable
Tertiaire	Néogène	Miocène	Sahélien		Marnes bleues		Est de la plaine	Imperméable
			Pontien		Dépôts détritiques cailloutés galets et argile continentale	30 à 50	longe de l'oued principale	peu perméable
			Burdigalien		Marnes grises parfois sableuses	200 à 300	Ouest de la plaine	Imperméable
	paléogène	Eocène supérieur oligocène	Aquitainien		Numidien: alternance d'argile et des grès	500 à 1000	Sud-Est de la plaine	Imperméable
					Maurétanien enssentillement de grès		Sud -Est de la plaine	Semi- perméable à Imperméable
Terrains métamorphique					Micashistes, phyllades et quartz phyllades		Est de la plaine	Semi- perméable à Imperméable

**IV-3-La carte du substratum :**

La carte de profondeur du substratum (Fig IV-1-b) établie à partir des logs stratigraphiques des différents forages implantés dans la région d'étude a pu mettre en évidence des dépressions au sud de la plaine et au Nord dans la zone de confluence entre Oued Nil et Oued Boukaraa ainsi qu'une surélévation du substratum au niveau d'Oued Saayoud. La moyenne des profondeurs maximales atteintes par les différents forages, est de l'ordre de 70m.



Le substratum est constitué par des marnes argileuses d'âge Burdigalien.

**Figure IV-1-a: Carte de profondeur en 3D      Figure IV-1-b: Carte de profondeur**  
**IV-4-Inventaire des points d'eau :**

L'accroissement des besoins en eau des populations observée ces dernières années et leurs migrations vers les grands centres urbains nécessitent la satisfaction des besoins accrus en eaux potables. Ajouté à cela, les besoins de l'agriculture et de l'industrie d'où une demande en eau en constante augmentation.

Dans cette étude nous avons sélectionné 27 puits de mesure dans la plaine alluviale d'Oued Nil de la campagne d'avril 2015(Namous ; Bouali).

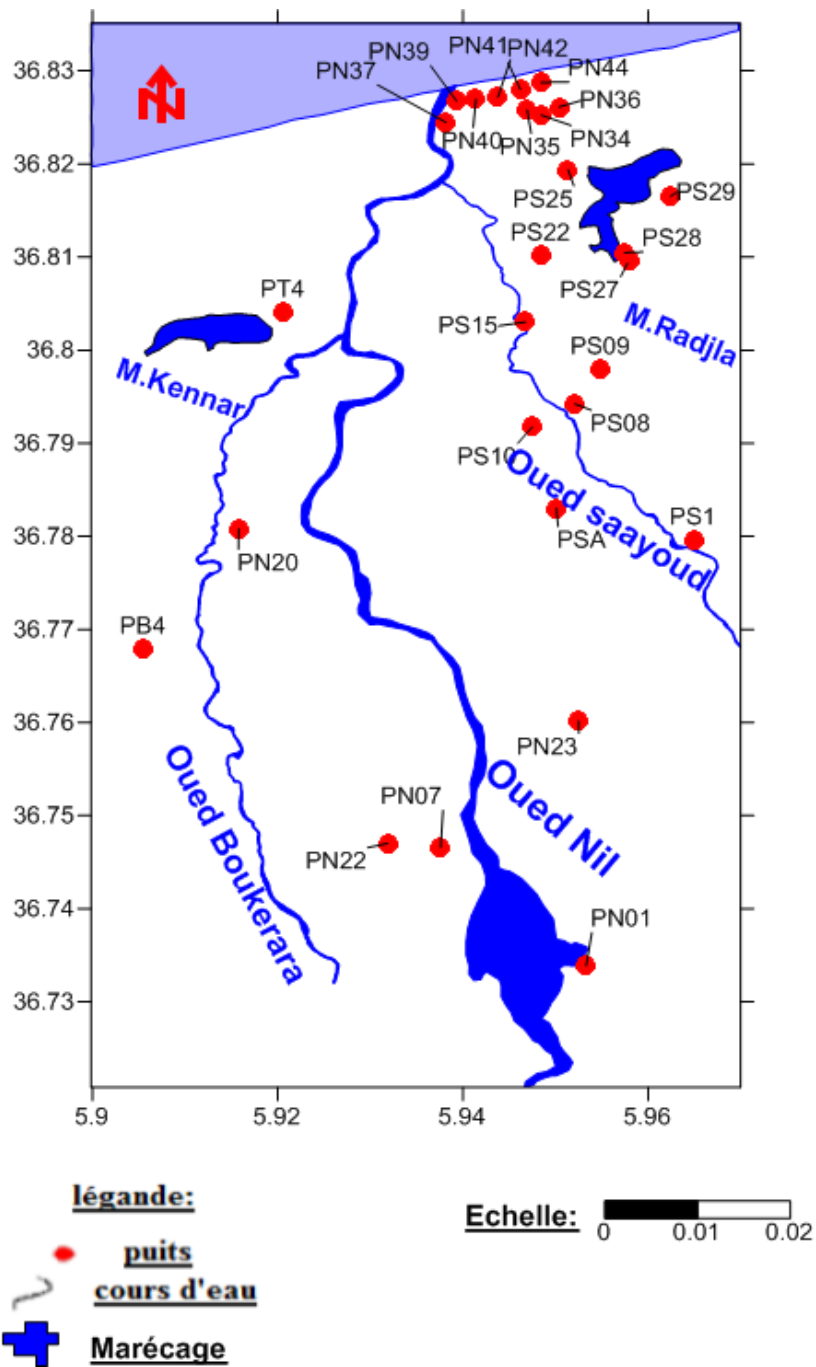


Figure IV-2: Carte d’inventaire des points d’eau (1988-2015)


IV-5-Matériel et méthode :

✓ Positionnement géographique des points d’eau:

Pour la détermination des points d’eau nous avons utilisé un **GPS** (GPSMAP-62S) pour détecter les coordonnées géographiques (x, y, z) dans notre zone d’étude.

## Présentation de l'appareil



- ① Antenne interne
- ② Ecran
- ③ Boutons
- ④ 
- ⑤ Port mini-USB (sous le cache étanche)
- ⑥ Connecteur MCX pour antenne GPS (sous le cache étanche). Uniquement disponible sur les modèles GPSMAP 62s et GPSMAP 62st.
- ⑦ Lecteur de carte microSD™ (sous les piles). Uniquement disponible sur les modèles GPSMAP 62s et GPSMAP 62st.
- ⑧ Compartiment à piles

## Informations sur les piles

L'appareil fonctionne à l'aide de deux piles AA. Utilisez des piles alcalines, NiMH ou au lithium. Pour des résultats optimaux,

Figure IV-3: Le GPS

## ✓ La sonde piézométrique :

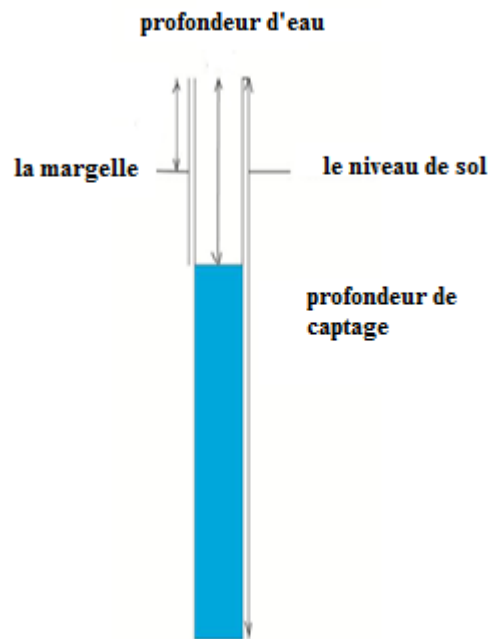
Nous avons utilisés une sonde lumineuse pour mesurer les profondeurs d'eau (statiques et dynamique), des différents puits et forages se trouvant dans notre zone d'étude.



Figure IV-4: Sonde piézométrique

## Principe de mesure :

$$\text{Niveau Piézométrique} = \text{altitude} - (\text{Profondeur d'eau} - \text{la margelle})$$



**Figure IV-5:** Mesures et données nécessaires pour calculer le niveau piézométrique

✓ **Les logiciels :**

Les différents logiciels utilisés dans notre étude sont :

- **Map Info** : pour la conversion des coordonnées.
- **Surfer11** : pour les cartes iso valeurs.
- **Global Mapper** : pour le géoréférencement des cartes et la digitalisation des courbes.
- **Google Earth** : pour les positionnements des différents puits et forages.

**IV-6-Définition d'un piézomètre :**

Le piézomètre est un appareil servant à mesurer la pression d'un fluide. En hydrologie, il s'agit d'un outil permettant de mesurer la « hauteur » piézométrique en un point donné d'un système aquifère, en indiquant la pression en ce point. Il donne l'indication d'un niveau d'eau libre ou d'une pression.

**IV-6-1-Carte piézométrique :**

Les cartes piézométriques sont les documents de base pour l'analyse et la schématisation des fonctions captives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère ainsi que la connaissance des conditions aux limites (**Castagny.G, 1982**).

IV-6-2-Analyse de la carte piézométrique de la nappe alluviale d'Oued Nil :

La lecture d'une carte piézométrique permet donc de connaître le niveau de la nappe, avec un niveau d'incertitude variable selon la densité de points de mesure utilisés pour l'établissement de la carte. Elle permet également de déterminer les sens d'écoulement de la nappe.

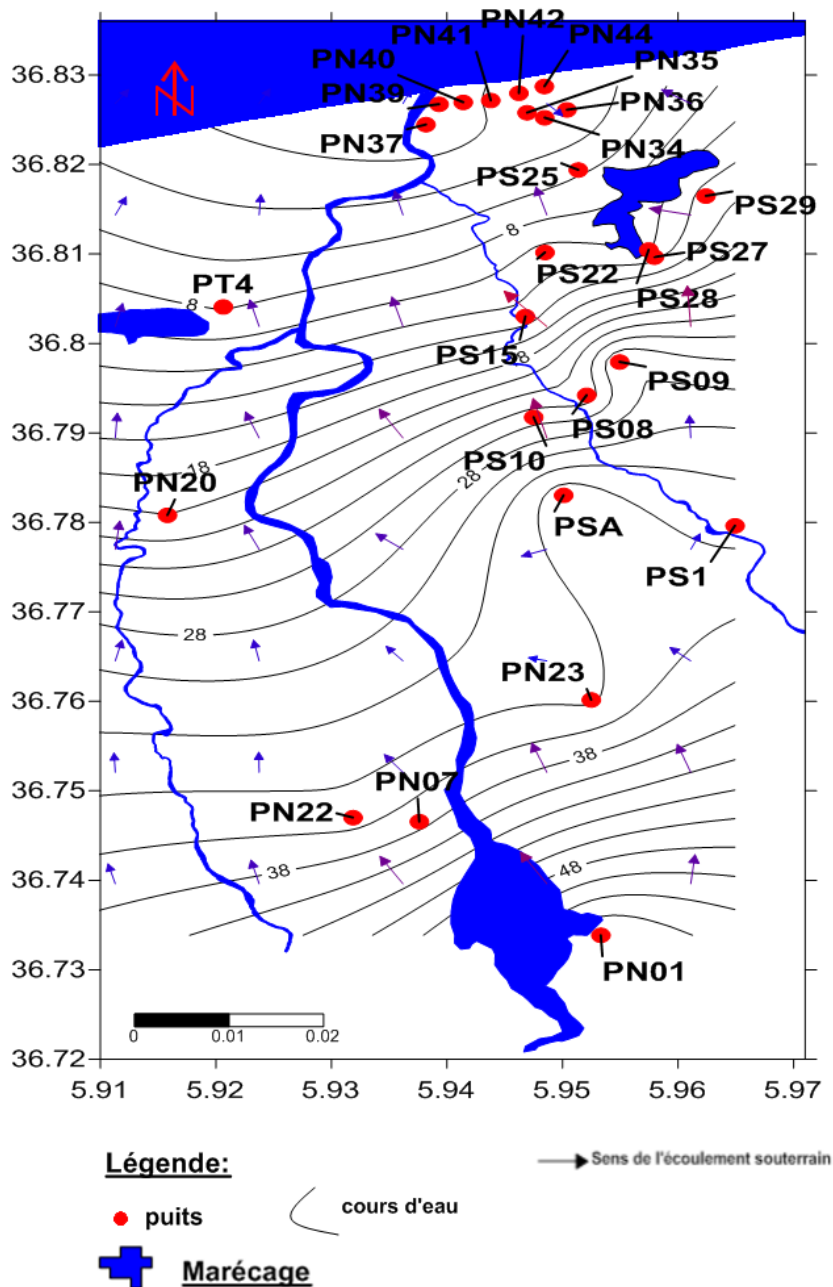


Figure IV-6: La carte piézométrique de la plaine alluviale d'oued Nil (avril 2015)



L'ensemble des niveaux piézométriques mesurés dans les différents puits lors de la campagne d'avril 2015, nous a permis de réaliser la carte piézométrique ci-dessus.

L'écoulement souterrain des eaux de la nappe alluviale d'Oued Nil est présenté par des lignes de courant dont les deux sens principaux sont SE-NW et S - N.

L'examen du fonctionnement des lignes de courants permet de distinguer les zones hydrogéologiques suivantes :

- **La Zone NE** : présente un resserrement des courbes aux abords de marécage d'EL Kennar, avec un gradient hydraulique fort (0.007), qui indique un écoulement rapide due a la pente. Le marécage d'El Kannar reçoit des apports d'eau du coté Est et alimente la nappe dans la partie Nord.
- **La Zone SE** : Elle montre que oued Nil est alimenté par la nappe, avec un resserrement des courbes piézométriques au niveau du point d'eau PN23; l'alimentation de la plaine se fait principalement par les monts qui entourent la plaine.

Ceci indique une bonne perméabilité de formations traversées.

- **La Zone NW** : caractérisé par un écoulement faible de direction S-N, le marécage d'El Redjla reçoit des apports d'eau du coté Sud et alimente la nappe dans la partie Nord.

#### **IV-6-3-Le gradient hydraulique :**

Le gradient hydraulique définit la pente du profil des niveaux statiques d'un système hydraulique. C'est la base fondamentale du calcul des quantités d'eau souterraine qui interviennent ou débit d'une nappe, par hydrodynamique souterraine, est la loi de Darcy (**Darcy.H, 1856**).

Pour appliquer cette loi il faut :

- Un milieu homogène et isotrope.
- Un substratum imperméable et horizontal.
- Un écoulement en régime laminaire.

Le gradient hydraulique (I) est l'un des paramètres de l'écoulement de l'eau souterraine qu'on peut calculer à partir de l'expression générale de la loi de Darcy :

$$Q = K.S.I$$

Q : le débit écoulé en  $m^3/s$  ;

K : la Perméabilité en m/s ;

S : la section en  $m^2$ ;

I : le gradient hydraulique sans dimension.



Ce gradient correspond à la perte de charge par unité de longueur ou la pente de la surface piézométrique, c'est la différence du niveau piézométrique entre deux points de la surface piézométrique. Il est donné par la relation suivante :

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub> : le niveau piézométrique déterminé par deux courbes isopièzes.

L : la distance entre les deux points de niveau piézométrique déterminé par l'échelle de la carte.

Tableau IV-2: Calcul du gradient hydraulique (I)

La zone	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	L(m)	I	I en %
A-A'	4	10	752	0.007	0.7
B-B'	4	10	1128	0.005	0.5
C-C'	30	34	1579.2	0.002	0.2
D-D'	28	34	1353.6	0.004	0.4
E-E'	40	46	601.6	0.009	0.9
F-F'	38	44	676.8	0.008	0.8

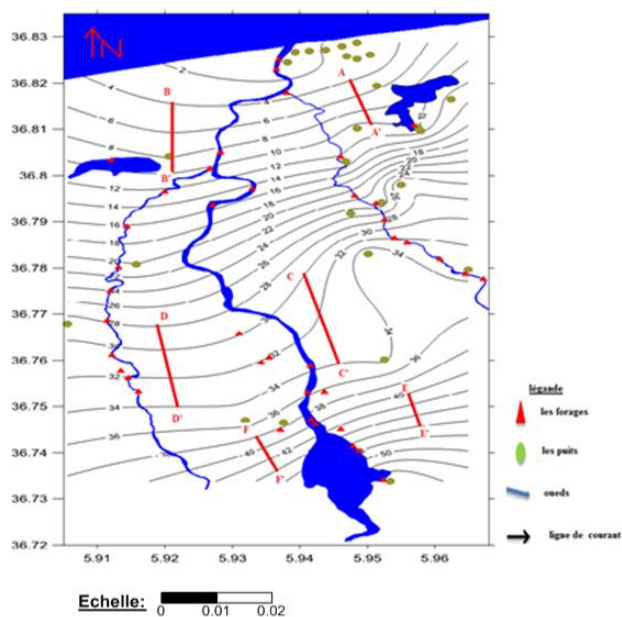


Figure IV-7: Carte de gradient hydraulique

D'après le tableau IV.2, le gradient hydraulique dans les six zones varie entre 0.2% et 0.9%, et dans ce cas, il reste toujours dans la gamme déterminé des Conditions normales d'écoulement des eaux pour les terrains étudiés où le gradient est compris entre 0.003 et 5%.

### V-7-Essai de pompage

Un essai de pompage en hydrogéologie sert à connaître les caractéristiques physiques du puits pompé, tel son rendement, ou bien les caractéristiques physiques de l'aquifère concerné par le puits de pompage, tel la conductivité hydraulique du réservoir.

Lorsqu'on souhaite déterminer les caractéristiques du puits la transmissivité (T), la perméabilité (K) et le coefficient d'emmagasinement (S). En outre, ils permettent d'identifier les conditions aux limites ainsi que la réponse de l'aquifère vis-à-vis de l'exploitation, réalisé un essai par plusieurs paliers (ou essai par paliers) un palier désignant une phase de pompage à débit constant. Ces essais durent quelques heures, et le nombre de paliers est habituellement de trois ou quatre.

Pour déterminer les caractéristiques d'un aquifère on réalise un essai de pompage de longue durée, qui peut s'étendre sur plusieurs jours et idéalement à un débit de pompage constant. Il existe de nombreuses solutions mathématiques à l'interprétation d'un essai de pompage de longue durée, que l'on choisit selon le contexte hydrogéologique et le déroulement de l'essai de pompage (SADOUN.L ; 2013).

#### IV-7-1-La perméabilité

La perméabilité est l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle s'exprime par le coefficient de perméabilité de Darcy (k).

On peut écrire selon Darcy (k) :

$$Q = K.S.i$$

Ou :

Q : débit de la nappe dans la zone considérée (m<sup>3</sup>/s).

K : perméabilité (m/s).

i : gradient hydraulique

Il y a une autre formule utilisée pour définir la perméabilité moyenne est donnée comme suite :

$$K = T / e$$

T : la transmissivité ( $m^2/s$ ).

E : l'épaisseur de l'aquifère (m).

Tableau IV-3: Valeurs du coefficient de perméabilité (Castany G. 1982)

$K(m/s)$	GRANULOMETRIE	$10^1$ 1 $10^{-1}$ $10^{-2}$ $10^{-3}$ $10^{-4}$ $10^{-5}$ $10^{-6}$ $10^{-7}$ $10^{-8}$ $10^{-9}$ $10^{-10}$ $10^{-11}$									
		homogène	Gravier pur	Sable pur	Sable très fin	Silt	Argile				
variée	Gravier gros et moyen	Gravier et sable	Sable et argile-Limons								
DEGRES DE PERMEABILITE	TRES BONNE BONNE		MAUVAISE			NULLE					
TYPES DE FORMATIONS	PERMEABLES			SEMI-PERMEABLES			IMPER.				

↑ limites conventionnelles

La carte de perméabilité établie à partir des essais de pompage réalisés sur 18 forages est présentée dans la figure ci dessous :

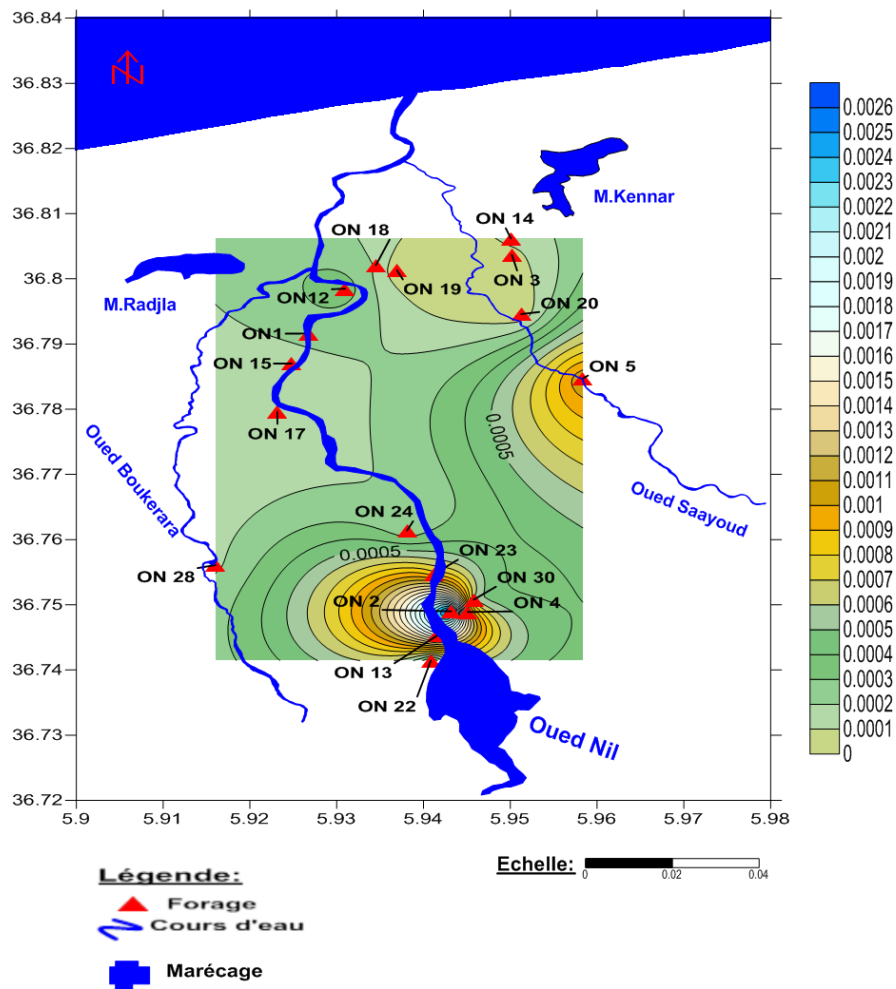


Figure IV-8: Carte de perméabilité de la plaine alluviale d'oued Nil

L'examen de la carte montre que les valeurs les plus importantes varient entre  $1.5 \cdot 10^{-3}$  à  $2.6 \cdot 10^{-3}$  m/s, notifiées d'une couleur rougeâtre se localisent au Sud de la plaine causées par l'existence de gravier fin à grossier, galets et sable (les formations perméables) représenté par les deux forages ON2 et ON13. Pour cela la plus part des forages sont implantés dans la partie Sud de la plaine.

Les valeurs moyennes de la perméabilité varient de  $1.4 \cdot 10^{-3}$  à  $0.7 \cdot 10^{-3}$  m/s, notifiées par une dégradation de la couleur jaune sont observées au centre de la plaine.

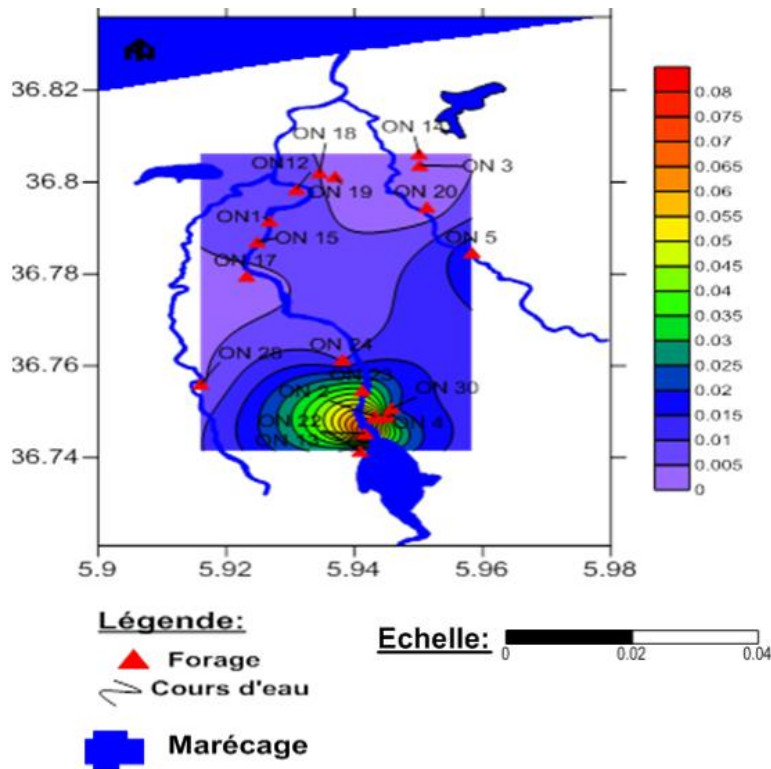
Les valeurs faibles de la perméabilité varient entre  $0,5 \cdot 10^{-4}$  à  $0,18 \cdot 10^{-4}$  m/s, signifiées par la couleur bleu sont causées par les formations semi-perméable et imperméable (ON12).

**IV-7-2-La transmissivité (T)**

La transmissivité (T) représente le débit d'un niveau aquifère sur toute son épaisseur, par unité de largeur et sous un gradient hydraulique unitaire. Elle correspond donc au produit de la perméabilité moyenne k en (m/s) par l'épaisseur de la tranche mouillée en (m) soit :

$$T = K h$$

La transmissivité est exprimé en  $m^2/s$ .



**Figure IV-9:** Carte de transmissivité de la plaine alluviale d'oued Nil.

D'après la figure IV-9, la carte représente les changements des valeurs de la transmissivité dans la plaine alluviale d'oued Nil à partir des mesures faites dans 18 forages, elle montre que :

Les valeurs les plus importants se localisent au Sud et au Nord-Ouest de la plaine elles varient entre 0.0509 et 0.0759 m<sup>2</sup>/s dues à l'existence de formations géologiques perméables de l'aquifère telle que les graviers comme le montre les forages ON30 et ON21, ainsi qu'a la grande épaisseur de la nappe dans cette région.

Les faibles valeurs de transmissivité se localisent dans la partie Nord et Ouest de la plaine justifiée par la faible épaisseur des couches de l'aquifère, et la nature lithologique des terrains représenté par les graviers fins; des argiles grisâtres graveleuses, selon les forages ON15, ON17 et ON12.

**Conclusion :**

D'après l'étude hydrogéologique on peut conclure que le remplissage quaternaire constitue notre aquifère, son épaisseur varie de 30 à 50m et pouvant atteindre les 80m reposant sur un substratum marneux d'âge Miocène les nombreux logs stratigraphique ont démontrée l'existence de nombreuses lentilles argileuses.

Le sens de l'écoulement des eaux et principalement de direction Sud-Est vers le Nord-Ouest.

Le gradient hydraulique est plus ou moins variable ce qui traduit que les formations quaternaires sont favorables à la circulation des eaux.

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur facilité à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient de charge hydraulique, et d'autre part, leur capacité à emmagasiner de l'eau.

Les valeurs de perméabilité K les plus élevée sont observées au Sud de la plaine du coté de Oued Nil avec des valeurs de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s, alors que les valeurs les plus faibles sont de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s causée par les formations imperméable et semi perméable dans la partie aval de la plaine. La perméabilité définie dans notre étude indique que notre aquifère est de bonne perméabilité.

La transmissivité (T) est de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s dans toute la plaine est atteint des valeurs de L'ordre de  $10^{-2}$  m/s au Sud de la plaine ou les alluvions sont les plus grossiers.

## Conclusion Générale

---

D'un point de vue géographique la plaine alluviale d'oued Nil est une région côtière du Nord-Est Algérien faisant partie du bassin versant du côtier Constantinois. Occupant une position stratégique d'un point de vue agricole vu l'importance des précipitations qu'elle reçoit.

L'étude géologique a permis de mettre en évidence les formations aquifères. Ainsi, il s'agit de recouvrements alluviaux apparaissent comme étant les meilleures formations aquifères et constituent le réservoir principal de la plaine dont Le substratum est constitué par des marnes grises du Miocène inférieur, reposant sur des terrains cristallins et cristalloylliens du socle métamorphique.

L'étude climatologique a permis de déterminer les caractéristiques du climat de la zone d'étude. C'est un climat de type méditerranéen à hiver humide et clément et été chaud et sec. La moyenne interannuelle des précipitations tombées sur la région d'étude a été estimée à **1016.76 mm** et la température moyenne annuelle est de **18.16°C** et ce pour la période **1988 - 2015**.

L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de mm, **535.87** l'écoulement a été estimé à **350.3** mm, l'infiltration est estimée à **130.58mm**.

Du point de vue hydrogéologique, la plaine abrite une nappe libre avec des passages semi-perméables (lentille argileuse). L'examen des cartes piézométriques met en évidence un écoulement des eaux souterraines convergent vers l'axe central de la plaine qui est parcouru par l'Oued Nil.

L'interprétation des données des essais de pompage effectués dans la région a permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère. Les valeurs de transmissivité sont de l'ordre de  **$1,5 \cdot 10^{-3}$**  à  **$5 \cdot 10^{-2}$**   $m^2/s$  et celle de la perméabilité oscillent entre  **$0,18 \cdot 10^{-4}$**  à  **$2,7 \cdot 10^{-3}$**   $m/s$ .

La vulnérabilité de la plaine alluviale d'oued Nil vis à vis d'éventuels contaminants de surface reste à définir et à améliorer par des études approfondies sur les paramètres hydrodispersifs et sur les paramètres de pollution organique dans la zone non saturée. D'après le degré d'autoépuration, l'étude a permis de cerner trois zones de risque à la pollution. A cet effet l'occupation des sols peut se faire à la limite dans les zones à faible et moyen risque, mais doit

## **Conclusion Générale**

---

être régie de manière à préserver les zones de risque de pollution des eaux souterraines de la plaine d'oued Nil.

Pour assurer une protection efficace, la mise en place de périmètres de protection doit être effectuée et elle doit être complétée par la construction de stations de traitement des effluents dans les zones à forte concentration urbaine et activité agricole.

Un plan d'aménagement des ressources en eau doit être appliqué pour répondre aux objectifs de développement durable en intégrant le développement social et économique de la région considéré.



## Références Bibliographiques

- ANRH.**, Agence nationale des ressources hydraulique de la wilaya de Jijel.
- Bechkite M., 2005.** Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued El Nil, Université Mentouri- Constantine, 181p (mémoire d'ingénieur d'état en géologie).
- Belli, 2009,** Stress oxydant induit par la Co exposition au plomb et au cadmium : deux contaminants des eaux souterraines d'Oued El Nil (Jijel - Algérie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 3, 2010, p. 289-301.
- Berkane S., 2011.** Contribution a l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale d'Oued Nil. (Université Mentouri- Constantine, 167p (mémoire d'ingénieur d'état en géologie).
- Boucenna F., 2009.** Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued DJENDJEN (Jijel, Nord-Est Algérien). Université d'Annaba; 133p (mémoire de magister).
- Bouillin JP., 1977.** Géologie alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse. Paris. 511p.
- Castagny G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris. 105p.
- DHW.,** Direction Hydraulique de la Wilaya de Jijel.
- Djellit H., 1987.** Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et la polarité de mise en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie), Université de Paris- Sud Centre d'Orsay, 206 p (Thèse de doctorat).
- Ehrmann F., 1921.** Un important mouvement orogénique au début du Crétacé dans la Kabylie des babor.
- Guerrachi M et Bouchekkouf K., 2011.** Etude hydrochimique des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'Oued Nil. Université de Jijel, 80p (mémoire de master en eau et environnement).
- Hadj-Said S., 2007.** Contribution a l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : cas de la plaine de Guerbes. Université d'Annaba, 215p (Thèse de doctorat en hydrogéologie).
- Maoui K et Meddour CH., 2013.** Etude hydrogéophysique de la plaine alluviale d'Oued Nil. Université de Jijel ,89p (mémoire de master en eau et environnement).
- Medjani F., 2007.** Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable dans la plaine de Skikda (NE Algérien). Université d'Annaba , 97p (mémoire de magister).

**Mimoun S et Zoubeidi B., 2014.** Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (SE Algérien). Université D'el Oued, 109p (mémoire de master).

**Raoult J.F., 1974.**Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie), Université pierre et Marie Curie (Paris VI), 663p (thèse de Doctorat).

**Rouikha Y., 2016.** Coupe géologique interprétative montrant la structuration tectonique dans la région de Chekfa petite Kabylie occidental.

**Sadoun L., 2013.** Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plaine alluviale d'Oued Nil. Université de Jijel ,89p (mémoire de master en eau et environnement).

**Seghir K., 2008.** Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet. Université d'Annaba, 151p (Thèse de doctorat en hydrogéologie).

# Annexes

## ANNEXE 1

### Données des précipitations à la Station Achouat - Taher (1988 - 2015).

/	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>1988</b>	85	128	70,4	65,6	42,2	18,4	0	0	134,1	2,3	184,6	284,6
<b>1989</b>	112,6	92	67,2	178,4	9,3	8,5	9,2	8,8	52,2	26,7	148,5	124
<b>1990</b>	120,1	0	54,1	87,2	74,1	8,5	6,2	29,4	0,9	107,4	251,2	411,2
<b>1991</b>	115,4	139,6	126,2	42,2	50,5	3,3	0	3,1	40,5	220,6	98,1	67,5
<b>1992</b>	122,9	56	201,4	165,5	98,3	26,1	9,5	0,2	11,5	121,9	60,3	319,3
<b>1993</b>	107,9	113,7	66,7	103,7	66,5	7,5	0	0	32,7	84,3	126,1	158
<b>1994</b>	107,1	141,9	0	92,4	14,5	0	0,3	0,5	93,3	122,9	5	371,6
<b>1995</b>	173,3	37,4	104,1	56,5	5,6	20,6	1,7	9,5	58,5	72,3	96,1	94,6
<b>1996</b>	102,1	313,1	122,4	128,8	60,9	45,1	3,2	10,7	45,1	129,7	110	128,1
<b>1997</b>	58	12,9	12,2	82,2	28,6	27,2	5,8	7,4	110,7	196,5	188,1	121,4
<b>1998</b>	42,3	142,9	67,5	106,1	130,1	3,8	0	20,4	94,3	51,5	339,3	151,8
<b>1999</b>	163,2	97	62,1	42,7	5,9	4	1,6	5,6	27	23,9	250,8	247,7
<b>2000</b>	108,6	42,4	17	33,2	95,3	13,5	1,4	2,7	25,7	89,8	117,8	84,6
<b>2001</b>	247,7	110,9	14,2	50,7	50,3	3,7	0	2,5	38,8	1,1	125,2	142,4
<b>2002</b>	71,8	66,3	37,6	49,7	15,3	4,4	16,2	86,2	49,5	103	182	407,3
<b>2003</b>	333,1	115	30,7	130	70,9	0,8	7,1	0	128,4	76	82	220,5
<b>2004</b>	137,2	83,3	75,2	96,6	81,2	56,4	1,3	4,3	75,8	34,8	267,1	158,8
<b>2005</b>	262,1	212,6	85,5	121,8	4,8	0	1,2	18,4	56,4	21,4	134,5	171,6
<b>2006</b>	178,2	165,5	54,9	24,1	32,7	2,8	0	34,8	45,3	37,9	39,6	215,4
<b>2007</b>	12,3	74,5	268,5	70,6	14,4	26,4	3,3	4,8	70,8	142,9	291,4	211,3
<b>2008</b>	34,3	27,4	172,1	18,8	144,7	3,7	0	1,3	86,7	30,8	109,8	145,9
<b>2009</b>	207,9	85,9	78,2	183,8	14,4	0,3	0,5	10,8	172,3	68,1	154,9	139,6
<b>2010</b>	121,4	60,2	105,4	52,5	81	49,5	2,1	1,4	53	218,5	195,9	110,3
<b>2011</b>	78,6	143,5	89,8	69,7	33,4	27	8,1	0	14,7	247,1	134,5	160
<b>2012</b>	64,9	368,5	95,9	189,4	3,1	0,6	0,4	110,9	105,6	162,8	82,6	81,4
<b>2013</b>	210,3	211,6	81,2	41,9	144,6	0,6	1,6	42,9	48,5	54,2	349,9	125,2
<b>2014</b>	133,7	85,1	154	13,1	7,1	13,9	0,2	4,1	24,9	49	182,9	338,1
<b>2015</b>	170,95	268,98	119	2	25,75	68	0	3,87	89	131,75	148	9,7

### Données des températures à la station Achouat -Taher (1988 - 2015).

/	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	12,9	10,7	12,6	15	18,1	21,5	24,7	25,9	21,5	20,7	15,8	11,1
1989	10,3	11,8	13,8	14,9	17,3	21,1	25,2	26,2	23,5	19,7	16,4	15,3
1990	11,5	13,2	13,9	14,3	18,3	22,1	24,5	24,3	25,4	20,9	15,7	10,7
1991	10,5	10,6	14,4	13,5	15,2	21,2	24,7	25,8	24,6	19,6	14,1	11,2
1992	9,8	11	12,3	14,3	7,5	20,4	23	24,9	23,7	18,5	15,1	12,2
1993	9,6	10,7	12,1	14,6	18,7	21,6	23,8	25,4	22,5	19,8	14,5	12,1
1994	11,9	12,2	13,6	13,9	19,2	22	25,5	28,6	24,9	20,5	16,9	12,6
1995	11,8	13,4	13,1	14,1	19,2	22,4	25,1	26,1	22,8	20,4	16,8	15
1996	14,4	11,5	13,8	15,7	18,1	21,7	24,7	25,6	21,5	17,8	16,1	14,3
1997	13,5	12,2	12,9	15,4	19,8	23,9	24,4	25,8	24	20,3	16,5	13,7
1998	12,5	12,3	13,5	15,8	18,2	22,9	24,7	25,4	23,7	17,8	14,4	11,4
1999	11,6	10,4	13,6	15	20,4	23,3	25,1	27,8	24,8	22,9	14,7	12,2
2000	9,5	11,9	13,6	16,3	19,7	21,9	25,9	26,6	23,5	19,4	15,4	13,4
2001	12,5	11,2	17	15,2	18	23,4	24,9	26,1	22,9	22,6	15,1	10,7
2002	10,7	11,7	14	15,1	18,4	22,4	24,5	25	22,8	19,5	16,7	13,9
2003	11,6	11	13,7	16	18,4	25,3	27,7	28,3	24	21,1	16,1	12
2004	11,4	12,3	13,6	14,9	17,2	21,7	24,8	26,7	24,1	22	14	12,8
2005	9	9,2	13	16	19,8	23,5	26,2	25,5	23,7	21	15,7	11,8
2006	10,9	11,3	14,2	17,8	20,8	23,4	26,1	25,4	23,4	22,1	17,9	13,6
2007	12,3	13,9	13,2	16,7	19,8	22,8	25,1	26,8	23,5	20	14,9	12,3
2008	12,4	13,1	9	16,6	18,9	22,3	25,9	26	24,2	20,3	15	11,9
2009	11,9	11,6	13,2	15,2	20,8	23,6	27,4	27	23,4	20,1	16,5	14,7
2010	12,5	13,9	14,4	16,4	18	21,5	25,5	25,5	23,3	20,1	19,8	13,2
2011	11,9	11,8	14,4	17,2	19,6	22,5	26,4	26,3	24,4	20,5	17	13,1
2012	11,5	8,7	13,9	16,3	19,2	24,9	26,4	27,9	23,1	21,1	17,1	13
2013	11,9	10,5	15,2	16,4	18,1	20,9	25,2	25,4	23,7	22,8	15,4	12,5
2014	13,3	13,6	13,4	17,1	18,9	23,2	25,5	26,3	26,2	22,2	18,8	13,1
2015	12	11	15	17	20	22,9	27	27	25	21	16	12,9

**Données d'évaporations à la station Achouat -Taher (1991 - 2008).**

	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>	<b>Mar</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jui</b>	<b>Aoû</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>1991</b>	65	64	99	89	89	104	147	164	122	90	64	64
<b>1992</b>	44	61	56	76	60	105	93	128	128	91	58	68
<b>1993</b>	48	65	78	81	92	96	125	120	115	99	62	56
<b>1994</b>	75	83	53	83	96	136	157	179	142	78	73	47
<b>1995</b>	87	64	81	74	106	85	123	134	109	81	96	75
<b>1996</b>	88	72	72	71	69	83	133	117	100	79	74	66
<b>1997</b>	63	31	50	61	64	88	87	91	76	64	54	52
<b>1998</b>	49	31	53	52	41	79	75	74	72	51	40	42
<b>1999</b>	33	36	55	52	75	79	100	109	87	101	48	44
<b>2000</b>	33	44	46	78	46	55	105	106	75	65	55	63
<b>2001</b>	49	41	78	54	55	107	89	97	64	84	48	37
<b>2002</b>	38	40	53	48	70	56	64	79	77	68	83	51
<b>2003</b>	48	42	51	45	44	93	110	107	72	61	51	48
<b>2004</b>	39	47	46	48	53	58	75	89	81	80	28	45
<b>2005</b>	43	41	40	52	55	76	102	96	89	58	54	41
<b>2006</b>	56	40	70	66	57	101	97	93	87	79	74	49
<b>2007</b>	37	37	43	46	82	77	88	117	78	62	57	48
<b>2008</b>	46	51	49	59	50	70	98	94	93	62	68	47

**Données d'humidité relative à la station Achouat -Taher (1991 - 2008).**

	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>	<b>Mar</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jull</b>	<b>Aout</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Déc</b>
<b>1991</b>	77	77	77	77	77	77	73	71	76	79	80	78
<b>1992</b>	83	85	82	81	84	78	81	74	76	79	82	78
<b>1993</b>	81	77	76	77	76	77	76	77	78	76	80	83
<b>1994</b>	83	77	81	68	76	70	69	65	70	79	77	80
<b>1995</b>	75	70	75	77	72	76	72	69	72	73	69	75
<b>1996</b>	72	75	76	76	119	77	69	73	114	77	74	74
<b>1997</b>	72	83	77	74	77	73	74	71	74	76	77	75
<b>1998</b>	78	82	75	76	82	75	74	76	88	77	80	79
<b>1999</b>	81	79	75	75	73	73	70	70	74	67	80	81
<b>2000</b>	80	77	78	71	81	81	69	69	77	74	77	72
<b>2001</b>	77	77	73	77	79	67	73	71	77	71	77	78
<b>2002</b>	78	77	75	76	73	76	75	76	74	73	71	76
<b>2003</b>	78	75	75	79	80	69	68	67	79	76	75	80
<b>2004</b>	80	78	79	76	78	78	75	71	73	69	82	77
<b>2005</b>	80	77	79	76	76	73	69	68	71	77	74	77
<b>2006</b>	73	76	73	74	79	66	70	71	70	73	70	77
<b>2007</b>	80	81	74	80	72	75	73	70	75	80	76	77
<b>2008</b>	77	74	78	73	82	75	71	72	80	76	77	78

## ANNEXE 2 : les points d'eau

<b>Nom</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>N.piezo</b>
<b>PN20</b>	5,91579542	36,7808153	20,02
<b>PN01</b>	5,95330661	36,7338592	56,06
<b>PN07</b>	5,937594	36,746563	37,32
<b>PN22</b>	5,93186064	36,7470109	35,1
<b>PN23</b>	5,95248036	36,7601715	33,63
<b>PN34</b>	5,94845117	36,8252444	2,14
<b>PN35</b>	5,94692758	36,8258077	2,23
<b>PN36</b>	5,95037694	36,8261264	1,92
<b>PN37</b>	5,938179	36,824477	0,4
<b>PN39</b>	5,939313	36,826753	0,1
<b>PN40</b>	5,941407	36,826966	0,05
<b>PN41</b>	5,943786	36,827175	2,9
<b>PN42</b>	5,946222	36,827984	3,11
<b>PN44</b>	5,948428	36,828741	2,59
<b>PS08</b>	5,95208381	36,7942279	22,62
<b>PS09</b>	5,954935	36,7979479	28,32
<b>PS10</b>	5,94749547	36,7917619	25,16
<b>PS15</b>	5,94677775	36,8030262	12,74
<b>PS22</b>	5,94847703	36,8101872	10,83
<b>PS25</b>	5,95136258	36,81941	5,7
<b>PS27</b>	5,95794433	36,8096665	11,49
<b>PS28</b>	5,95745511	36,8104704	9,58
<b>PS29</b>	5,96240731	36,8164966	12,87
<b>PB4</b>	5,90553867	36,7679	29,12
<b>PSA</b>	5,95008539	36,783038	35,45
<b>PS1</b>	5,96492517	36,7796358	33,17
<b>PT4</b>	5,92063592	36,8040996	7,81



### Les données de perméabilités (k)

Nom du forage	X	Y	Coefficient de perméabilité (m/s)
<b>ON1</b>	5,92672	36,79162	2,46E-04
<b>ON 2</b>	5,9432	36,749	2,70E-03
<b>ON 3</b>	5,95018	36,8037	6,65E-05
<b>ON 4</b>	5,9451	36,7489	1,20E-03
<b>ON 5</b>	5,95836	36,7847	1,10E-03
<b>ON12</b>	5,93096	36,7985	3,50E-04
<b>ON 13</b>	5,94159	36,7453	1,73E-03
<b>ON 14</b>	5,95006	36,8062	1,32E-04
<b>ON 15</b>	5,92482	36,787	1,34E-04
<b>ON 17</b>	5,92317	36,7796	1,32E-04
<b>ON 18</b>	5,93452	36,8021	1,90E-04
<b>ON 19</b>	5,93696	36,8013	2,36E-05
<b>ON 20</b>	5,95126	36,7946	2,30E-05
<b>ON 22</b>	5,94084	36,74144	2,77E-04
<b>ON 23</b>	5,9412	36,7547	8,50E-04
<b>ON 24</b>	5,93811	36,7614	2,17E-04
<b>ON 28</b>	5,91604	36,7561	1,80E-04
<b>ON 30</b>	5,9458	36,7508	5,9000E-04

### Annexe (3) les données de vulnérabilité d'Oued El Nil (1988-2015)

Nom	X	Y	Z (m)	H <sub>p</sub>
<b>PZ14</b>	5,9112818	36,775208	23	21,32
<b>PZ</b>	5,9130295	36,786328	19	16,28
<b>ON22</b>	5,9407424	36,741243	47	45,67
<b>ON19</b>	5,9326761	36,803517	16	13,35
<b>ON18</b>	5,930584	36,804078	15	13,57
<b>ON5</b>	5,9551557	36,778673	33	23,17
<b>ON31</b>	5,94875977	36,778673	23	21,25
<b>ON21</b>	5,94657	36,801186	41	26,01
<b>PFN07</b>	5,9157954	36,780815	21	20,02
<b>PN01</b>	5,9533066	36,733859	59	56,06
<b>PN04-4(bis)</b>	5,937594	36,746563	39	37,32
<b>PN04-5</b>	5,9318606	36,747011	38	35,1
<b>PN09-bis</b>	5,952448	36,760172	36	33,63
<b>PN24</b>	5,9484512	36,825244	6	2,14
<b>PN25</b>	5,9469276	36,825808	7	2,23
<b>PN26</b>	5,9503769	36,826126	5	1,92
<b>PN27</b>	5,938179	36,824477	2	0,4
<b>PN29</b>	5,939313	36,826753	1	-0,3
<b>PN30</b>	5,941407	36,826966	2	0,05
<b>PN31</b>	5,943786	36,827718	4	2,9
<b>PN32</b>	5,946222	36,827984	4	3,11
<b>PN34</b>	5,948428	36,828741	5	2,59
<b>PS07</b>	5,9474955	36,791762	31	28,32
<b>PS08</b>	5,9467778	36,803026	29	25,16
<b>PS12</b>	5,948477	36,810187	18	12,74
<b>PS19</b>	5,9513626	36,81941	12	10,83
<b>PS21</b>	5,9579443	36,809667	7	5,7
<b>PS23</b>	5,9574551	36,81047	5	4,49
<b>PS24</b>	5,9624073	36,816497	12	9,58
<b>PS25</b>	5,9624073	36,816497	17	12,87

## Résumé

La plaine d'oued Nil à vocation agricole par excellence ne cesse de subir l'influence directe de l'activité anthropique (rejets urbains et industriels, engrais chimiques). La dégradation de la qualité des eaux superficielles et souterraines est devenue une préoccupation majeure pour les gestionnaires et les usagers de cette ressource si précieuse. Pour répondre à ces préoccupations, une approche méthodologique a été proposée. Elle est basée, d'une part sur, la détermination de la vulnérabilité de la plaine à la pollution et d'autre part, l'évaluation du risque de contamination.

L'étude de la vulnérabilité de la plaine alluviale d'oued Nil à la pollution selon la méthode de REHESE a montré que la zone à forte vulnérabilité se localise dans la partie Ouest de la plaine. Ceci implique la nécessité impérieuse de protéger l'eau. Il faut la traiter que ce soit pour produire une eau propre à la consommation ou à l'irrigation des surfaces agricoles ou pour limiter les rejets de pollution dans le milieu naturel. En effet, l'évacuation non contrôlée de ces rejets liquides par manque de stations d'épuration ou par des stations non opérationnelles, aboutit à la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, véritable danger pour la flore et la faune. L'occupation des sols peut se faire à la limite dans les zones à faible et moyen risque, mais doit être régie de manière à préserver les zones de risque de pollution des eaux souterraines de la plaine d'oued Nil.

**Mots-clés :** Eaux souterraines, pollution, vulnérabilité, occupation des sols.

## Abstract

The plain of Wadi Nile to agricultural vocation by excellence does not cease to suffer the direct influence of the anthropogenic activity (Urban and industrial discharges, chemical fertilizers). The degradation of the quality of surface water and groundwater has become a major concern for managers and users of this precious resource. To respond to these concerns, a methodological approach has been proposed. It is based, on the one hand, the determination of the vulnerability of the Plain to the pollution and on the other hand, the assessment of the risk of contamination.

The study of the vulnerability of the alluvial plain of Wadi Nile to pollution according to the method of REHESE has shown that the area with high vulnerability is located in the western part of the plain. This implies the imperative need to protect the water. It must be that this is to produce a clean water to the consumption or the irrigation of agricultural surfaces or to limit the releases of pollution in the natural environment. In effect, the evacuation not controlled in these releases Liquids by lack of purification stations or by stations not operational, leads to the pollution of surface waters and groundwater, real danger for the flora and fauna. The occupation of the soil can be done at the limit in the areas of low and medium risk, but must be governed in such a way as to preserve the areas of risk of pollution of groundwater in the plain of Wadi Nile.

**Key words :** groundwater, pollution, vulnerability, occupation of soils.

## ملخص

سهل "وادي النيل" زراعي بامتياز لا يزال يتأثر مباشرة بأنشطة بشرية المنشأ (التصريفات الصناعية والحضرية، والأسمدة الكيميائية). تدهور نوعية المياه السطحية والجوفية أصبح مشكلا رئيسيا للمديرين والمستخدمين لهذا المورد الثمين. لمعالجة هذه المشاكل، اقترح اتباع مقاربة منهجية. وهو يستند من ناحية، تحديد مشكلة عدم حصانة السهل للتلوث، ومن ناحية أخرى، تقييم مخاطر التلوث.

أظهرت دراسة السهل الرسوبي من تلوث "نهر النيل" وفقا للطريقة REHESE كما بينت نتائج أيضا ارتفاع الضعف في مواقع منطقة السهول الغربية. وهذا يعني ضرورة حتمية لحماية المياه. يجب التعامل معها لإنتاج المياه النقية للاستهلاك أو لري الأراضي الزراعية، أو للحد من تصريف التلوث في البيئة. وفي الواقع، الإجراء غير المنضبط لهذه الفضلات السائلة بسبب الافتقار إلى العلاج أو عن طريق عدم تشغيل محطات معالجة المياه، ويؤدي ذلك إلى تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية، ويشكل خطرا حقيقيا للحيوانات والنباتات. استخدام الأراضي يجب أن يكون عند حدود المناطق الضعيفة والمتوسطة الخطر وفي المناطق المرتفعة الخطر، ولكن يجب أن ينظم بغية الحفاظ على المناطق من خطر تلوث المياه الجوفية في وادي النيل.

**الكلمات الرئيسية:** المياه الجوفية - التلوث - استخدام الأراضي - الحساسية.