

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2008

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option: Hydrogéologie

THEME

**Remobilisation des métaux dans les eaux de l'Oued
Boudjamâa et ses affluents**

Présenté par : REMITA Abderaouf
(Ingénieur d'Etat en hydrogéologie)

Directeur de mémoire: Mr Djabri Larbi

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY:

Président : A. HANI

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs :

H. CHAFFAI

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

B. SAIDIA

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

F. ASSASI

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Invité: B/Eddin BELABED

MACC. A l'UBMA.

Juin 2008

Thème : La remobilisation des métaux lourds dans les eaux d'oued Boudjamâa et ses affluents.

Résumé:

La croissance industrielle, l'urbanisation et démographique de la ville de Annaba, et la présence d'un dense réseau de routes. Ont provoqué une augmentation des déchets industriels, les canaux des eaux usées, a conduit à la détérioration de l'environnement et la pollution de l'eau, en particulier les eaux de surface (les eaux des cours d'eau de la région) par les éléments chimiques et en particulier les métaux lourds, dont nous essayons dans cette étude de connaître leurs sources dans la région, leurs mouvements et leurs concentrations Dans les oueds (l'oued Forcha, Sidi Harb, Bouhdid et oued Boudjemâa).

Au cours de l'année 2007, nous avons fait quatre campagnes des mesures chimiques de l'eau et des sols des oueds en vue de déterminer la source et la concentration des éléments chimiques.

Les analyses chimiques qui ont été faites, nous a permis d'établir des courbes de variation des concentration des éléments le long des oueds, et dans de différentes périodes de temps.

Les résultats d'analyse de ces courbes, a prouvé la présence d'éléments (métaux lourds) au niveau des oueds à des concentrations différentes indiquant la pollution des eaux par ces éléments.

La pollution de l'eau des oueds par ces éléments résultant de la présence de canaux des eaux usées au niveau de ces oueds où se déversent directement, des déchets urbains ainsi que l'impact de trafic routier.

La présence de ces éléments à des différentes concentrations d'un endroit à un autre à travers les oueds, témoignant d'un mouvement de transition dans l'oued depuis le début jusqu'à la fin, vers la mer. Cette pollution présente une menace majeure l'entourage de la région, et en grande partie sur la santé et la vie des habitants.

Mots-clés : la pollution, les oueds Forcha, Sidi Harb, Bouhdid, Boudjemâa, les métaux lourds, la concentration, les canaux des eaux usées, le trafic routier, les déchets industriels, les eaux de surface, les déchets urbains.

Theme : The remobilization of heavy metals in them wadi Boudjamâa and its tributaries.

Summary:

Industrial growth, urbanization and population of the city of Annaba, and the presence of a dense network of roads are the main cause off increase in industrial waste, sewage channels, has led to environmental degradation and water pollution, particularly surface water (water in the rivers of the region) chemical elements and especially the heavy metals that we try in this study to know their sources in the region, their movements and their concentrations in the rivers (wadi Forcha, Sidi Harb, Bouhdid and wadi Boudjemâa).

During 2007, we made four campaigns chemical measurements of water and soil's rivers to determine the source and concentration of chemical elements.

The chemical analyses that were made, has enabled us to establish curves change in concentration of elements along the wadis, and in different periods of time.

The results of analysis of these curves proved the presence of elements (heavy metal) at Wadi in different concentrations, indicating the pollution of water by these elements.

Water pollution Wadi by these elements resulting from the presence of sewage channels in these wadis where flow directly, urban waste and the impact of road traffic.

The presence of these elements in different concentrations from one place to another through the wadis, reflecting a movement of transition in the wadi from beginning to end, in the sea This pollution presents a major threat to the surrounding region, and largely on the health and lives of people.

Keywords : pollution, wadis Forcha, Sidi Harb, Bouhdid, Boudjemâa, heavy metals, concentration, the canals of sewage, road traffic, industrial waste, surface water, urban waste.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Celle qui m'a irrigué de sang, mis dans ses yeux et veiller à ce que je deviens
une fierté pour la famille ;

Mon adorable père AHCEN.

Ma très chère mère FATMA.

Mes chers frères : MOUNIR, ZIAD, A/ GANI, A/ EL DJAOUED ET AHMED.

Mes chères sœurs : WASSILA, WAFA.

Ma chère petite sœurs : KHADIDJA.

Ma très chère petite sœurs : HABIBA et sont épouse SABRI

Et ces enfants : DGIHAN, NORAN , HADIL

Et la petite rose : TASNIM

A/RAOUB

REMERCIEMENT

Au non de dieu clément et miséricordieux

Au moment où je termine mon mémoire, je ne manque d'adresser mes sincères remerciements à notre dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes pas pour achever ce travail et d'arriver à ce niveau.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail, aux quelles je dois avec plaisir, présenter mes remerciements :

- Ce travail n'a pu voir le jour, sans l'aide et les nombreux conseils de Mon encadreur "Mr. le Professeur Djabri Larbi" Il s'est attaché la lourde tâche lui demandant parfois l'abandon de son travail personnel durant des journées entières.

Je lui témoigne toute ma reconnaissance et qu'il trouve ici, mes remerciements les plus sincères.

L'immense gratitude que je lui dois ne pourra jamais être exprimé par ces quelques mots.

- Je remercie tout particulièrement messieurs les membres de jury :

* Mr HANI. A professeur de l'université de Annaba qui a bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail, et a accepté de présider le jury.

* Mr CHAFFAI. H maître de conférence de l'université de Annaba, Mr SAIDIA. B maître de conférence de l'université de Annaba, ASSASI. F maître de conférence de l'université de Annaba pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

- Je tiens à remercier Mr TLILI, qui m'a guidé à travers ses critiques et ses suggestions pour améliorer la connaissance du cadre géologique étudié.

- Je tiens à remercier aussi Mr LAHRACH, Mr CHOUCHE et le groupe de laboratoire de D.R.A d' Elhadjar.

- Je tiens à remercier spécialement Mr DEROUICHE A/M, MADJANI F, ZAHY F, REMITA S pour ces aides précieuses.

- Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université de Annaba.

- Je remercie également tous mes amis des promotions magister géosciences, hydrogéologie et géologie minière.

" Mes sincères remerciements s'adressent également à ma famille, mon père, ma mère et mes frères et sœurs qui n'ont pas hésité de m'aider et m'encourager moralement et matériellement jusqu'à la fin de ce ouvrage."

En fin je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généralement contribué à l'élaboration de ce travail.

Table des matières

المخلص

Résumé

Abstract

Remerciement

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1-2

Chapitre I : Cadre générale

FACTEURS GEOGRAPHIQUES ET HYDROGRAPHIQUE DU LA PLAINE DE ANNABA

Introduction	03
I- Situation géographique et géomorphologie :.....	03
I-1- Situation géographique :.....	03
I-2- Géomorphologie :.....	05
I-2-a- Les montagnes :.....	06
I-2-b- La plaine de Annaba :.....	06
I-2-c- Le cordon dunaire littoral :.....	06
I-3- Réseau hydrographique :.....	07
- Les oueds de la zone d'étude :.....	08
- Oued Boudjemâa :.....	08
- Oued Forcha :.....	08
- Oued Sidi Harb :.....	08
- Oued Bouhdid :.....	08
* Sous bassin versant de l'oued Forcha :.....	09
* Sous bassin versant de l'oued Sidi Harb :.....	09
* Sous bassin versant de l'oued Bouhdid :.....	09
* Sous bassin versant de l'oued Boudjemâa :.....	09
I-4- Les eaux souterraines :.....	10
I-5- Le couvert végétal des sols :.....	11
Conclusion	12

Chapitre II : Aperçu géologique

APERÇU GEOLOGIQUE

Introduction	13
I- Cadre géologique régional :.....	14
I-1- Le complexe cristallophyllien :.....	15
I-1-1- l'unité de base :.....	15
I-1-2- L'unité intermédiaire :.....	15
I-1-2-1 Les micaschistes :.....	15
I-1-2-2 Le marbre :.....	15

I-1-3- L'unité supérieure (série des alternances) :	15
I-2- Les roches ignées :	16
I-2-1 Le groupe microgranitique :	16
I-2-2 Le groupe rhyolitique :	16
I-2-3- Le groupe dioritique :	16
I-2-4 Le groupe andésitiques :	16
I-3- Les terrains sédimentaires :	18
I-3-1 Les flyschs ou grès numidiens :	18
I-3-2 Les flyschs sénoniens :	18
I-3-4 Quaternaire :	18
a- Quaternaire ancien (haute terrasse) :	18
b- Quaternaire moyen :	19
c- Quaternaire recent :	19
d- Quaternaire actuel :	19
I-4- Tectonique et structure du massif de l'Edough :	20
1- Le massif de l'Edough :	20
2- La plaine de Annaba :	20
I-4-1- Déformations synmétamorphiques :	20
I-4-2- Déformations tardives :	20
I-5- Minéralisations du massif de l'Edough.	21
Conclusion	21

Chapitre III : Etude climatologique

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

Introduction	22
* Les stations des mesures :	22
I- Type de climat :	23
I-1- Précipitations :	23
I-1-1- Précipitations moyennes mensuelles :	23
I-1-2- Précipitations moyennes annuelles :	25
I-1-3- Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles :	25
I-1-4- Précipitation inter annuelles et leur variabilité :	28
- Coefficient pluviométrique (H) :	28
I-1-5- Répartition saisonnières des précipitation :	32
I-1-6- L'humidité et le vent :	32
II-1-6-a- L'humidité :	32
I-1-6-b- Le Vent :	32
I-2- Régime thermique :	33
I-2-1- Etude des temperatures :	33
I-2-2- Diagramme pluviométrique (Courbe de Gausсен et Bagnouls $P = 2T$) :	34
I-2-3- Détermination du type du climat (Indice de De Martonne) :	36
II- Le bilan hydrique :	37
II-1- L'évapotranspiration :	37

II-1-1- L'évapotranspiration potentielle (ETP) :	37
- Formule de Thornthwaite :	37
II-1-2- L'évapotranspiration réelle (ETR) :	38
a)- Formule de Thornthwaite :	38
b)- Formule de Turc :	38
c)- Formule de Coutagne :	38
Comparaison :	39
II-2- Le ruissellement :	39
II-3- L'infiltration :	40
II-4- Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite :	41
II-5- L'interprétation du bilan hydrique :	45
a) Station des Salines :	45
b) Station de Pont Bouchée :	45
c) Station de Siraidi :	45
Conclusion	46

Chapitre IV : Hydrogéologie

Introduction	47
I- Les différents types du système aquifère :	47
I-1- Les nappes superficielles (libre) :	47
- Une nappe contenue dans des formations Limons – Argileux :	47
- Une nappe contenue dans des formations Sablo – Argileuse :	47
- La nappe des gneiss altérés :	47
- La nappe phréatique :	48
I-2- Les nappes profondes :	48
- Nappe des Cipolins :	48
- La nappe des alluvions de la haute terrasse :	48
- La nappe profonde des Gravieres :	49
II- Conditions d'alimentation :	49
II-1- La nappe phréatique :	49
II-2- La nappe profonde des graviers :	49
III- L'outil hydrogéologique :	49
IV- Piézomètre de l'aquifère :	50
IV-1- Inventaire des points d'eau :	50
IV-2- Carte piézométrique :	51
IV-2-1- Etablissement de la carte piézométrique :	51
IV-2-2- Interprétation des cartes piézométriques :	51
V-2-2-1- Calcul du gradient hydraulique :	51
V-2-2-2- Interprétation des cartes piézométriques :	52
A - Carte piézométrique des hautes eaux :	52
B - carte piézométrique des basses eaux :	53
Conclusion	54

Chapitre V : Hydrochimie et Pollution**HYDROCHIMIE ET POLLUTION**

I- Origines des pollutions des cours d'eau étudiés :.....	55
I-1- Origine directe :.....	55
I-2- Origine indirecte :	55
II- Modes de pollution :.....	55
II-1- Le curage et ses conséquences :.....	55
II-2- Les techniques de curage :.....	56
II-2-1- Le curage mécanique :.....	56
II-2-2- Le curage hydraulique :.....	56
II-2-3- Le curage doux :.....	56
III- Le trafic routier :.....	57
III-1- Mécanismes de pollution dus au trafic routier :	57
IV- La rémobilitation et ses principes fondamentaux :.....	59
V- Pollution des sédiments :.....	59
V-1- Définition :.....	59
V-2- L'origine des sédiments :	59
- l'origine exogène :.....	59
- l'origine endogène :.....	59
V-3- Processus de contamination des sédiments :.....	60
a- les éléments nutritifs :	60
b- les micro-polluants organiques :.....	60
c- les éléments traces métalliques (les métaux lourds) :.....	60
V-4- Modes de contamination :.....	61
V-5- Préparations des échantillons pour analyses :.....	62
V-5-1- L'extraction des sédiments :.....	62
V-5-2- Le devenir des sédiments extraits :.....	63
V-5-3- Le traitement des sédiments :.....	63
Application à la zone d'étude :.....	64
VI- Indications fournies par les ETM :.....	64
VI-1- Statistique élémentaire :.....	64
VI-2- Analyse en composantes principales (A.C.P) :.....	65
VI-2-1- Résultats et interprétations :.....	65
VI-2-2- L'ACP des métaux lourds :.....	65
VI-2-3- L'ACP des éléments majeurs :.....	66
VI-3- Variations des concentrations au niveau des différents cours d'eau :.....	67
VI-3-1- Variation spatio-temporelle des ETM :.....	67
➤ Cuivre :.....	68
- Oued Forcha :.....	68
- Oued Sidi Harb :.....	68
- Oued Bouhdid :.....	69

- Oued Boudjamaa :	70
➤ Le plomb:	70
- Oued Forcha :	70
- Oued Sidi Harb :	71
- Oued Bouhdid :	72
- Oued Boudjamaa :	72
➤ Le Nickel :	73
- Oued Forcha :	73
- Oued Sidi Harb :	73
- Oued Bouhdid :	74
- Oued Boudjamaa :	75
➤ Le Chrome :	75
➤ Le Manganèse :	75
- Oued Forcha :	75
- Oued Bouhdid :	76
- Oued Sidi Harb :	77
- Oued Boudjamaa :	77
➤ Le Zinc :	77
- Oued Forcha :	78
- Oued Sidi Harb :	78
- Oued Bouhdid :	79
- Oued Boudjamaa :	79
VII- Mise en évidence d'une pollution par la méthode de la fréquence de dépassement :	80
VII-1- Méthode de la fréquence de dépassement :	80
* Valeurs guides :	80
* Les moyennes des concentrations :	80
- Calcul du (C) :	80
a)- Cas d'une situation optimiste :	81
a-1- Calcul (N-C) :	81
a-2- L'interprétation des résultats :	81
* Pour le Cuivre (Cu) :	81
* Pour le Chrome (Cr) :	81
* Pour le Plomb (Pb) :	81
* Pour le Zinc (Zn) :	82
* Pour le Nickel (Ni) :	82
* Pour le Manganèse (Mn) :	82
b)- Cas d'une situation pessimiste :	82
b-1- Calcul (N-C) :	82
b-2- L'interprétation des résultats :	83
* Pour le Cuivre (Cu) :	83
* Pour le Chrome (Cr) :	83
* Pour le Plomb (Pb) :	83

* Pour le Zinc (Zn) :	83
* Pour le Nickel (Ni) :	83
* Pour le Manganèse (Mn) :	83
VII-2- Calcul les pourcentages des points d'eau de dépassement (les points d'eaux qui représente une pollution) :	83
a) – pourcentage du Cuivre :	83
b) – pourcentage du Plomb :	83
c) – pourcentage du Manganèse :	84
d) – pourcentage du Zinc :	84
e) – pourcentage du Nickel :	84
Conclusion	86
Conclusion générale	87

Bibliographie

Annexes

Listes des figures		Page
N° de figure	Titre de figure	
Figure n° 01 :	Carte de situation géographique de la plaine de ANNABA.....	04
Figure n° 02 :	Carte Géomorphologique de la région étudiée.....	05
Figure n° 03 :	Carte du réseau hydrographique de la plaine de Annaba.....	07
Figure n° 04 :	localisation des oueds.....	08
Figure n° 05 :	Carte de défient oueds dans la zone d'étude.....	08
Figure n° 06 :	Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba (d'après Gaud, 1976).....	11
Figure n° 07 :	Situation géographique du massif de l'Edough. (d'après Hilly, 1962 modifiée).....	14
Figure n° 08 :	Colonne lithologique du massif de l'Edough (d'après Aissa D. E, 1985).....	17
Figure n° 09 :	Carte géologique schématique du massif de l'Edough et des ses environs. Hilly, 1962.....	19
Figure n° 10 :	Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station des Salines, 1976 – 2006).	24
Figure n° 11 :	Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Pont Bouché, 1976 – 2006).....	24
Figure n° 12 :	Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Séraïdi, 1976 – 2006).....	24
Figure n° 13 :	Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles Station des Salines (1976 – 2006)	26
Figure n° 14 :	Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles Station de Pont Bouché (1976 – 2006).....	27
Figure n° 15 :	Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles Station de Séraïdi (1976 – 2006)	27
Figure n° 16 :	Evolution des précipitation annuelles de la Station des Salines (1976 – 2006).....	29
Figure n° 17 :	Evolution des précipitation annuelles de la Station de Pont Bouché (1976 – 2006).....	29
Figure n° 18 :	Evolution des précipitation annuelles de la Station de Séraïdi (1976 – 2006).....	29
Figure n° 19 :	Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station des Salines (1976 – 2006).....	31
Figure n° 20 :	Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station de Pont Bouché (1976 – 2006).....	31
Figure n° 21 :	Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station de Siraidi (1976 – 2006).....	31
Figure n° 22 :	Variation des températures moyennes mensuelles (Station des Salines et Pont Bouché, 1976 – 2006).....	33
Figure n° 23 :	Variation des températures moyennes mensuelles (Station de Siraidi, 1976 – 2006).....	34
Figure n° 24 :	Diagramme Pluviométrique de la station (des Salines, 1976 – 2006).....	35
Figure n° 25 :	Diagramme Pluviométrique de la station (de Pont Bouché, 1976 – 2006).....	35
Figure n° 26 :	Diagramme Pluviométrique de la station (de Siraidi, 1976 – 2006).....	35
Figure n° 27 :	Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE) Station des Salines (1976 – 2006).....	43

Listes des figures		
N° de figure	Titre de figure	Page
Figure n° 28 :	Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE) Station de Pont Bouché (1976 – 2006).....	44
Figure n° 29 :	Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE) Station de Séraïdi (1976 – 2006)	44
Figure n° 30 :	Carte d'inventaire des points d'eau dans la zone d'étude. "D'après Messaoudi S et Toumi N ".....	50
Figure n° 31 :	Carte piézométrique de la plaine de Kherraza (Hautes eaux). "D'après Messaoudi S et Toumi N".....	52
Figure n° 32 :	Carte piézométrique de la plaine de Kherraza (Basses eaux). "D'après Messaoudi S et Toumi N".....	53
Figure n° 33 :	Densité des axes routiers dans la zone d'étude.....	57
Figure n° 34 :	Sources de pollution prédominantes en domaine routier.....	58
Figure n° 35 :	La rémobilité des polluants.....	59
Figure n° 36 :	Mode de transfert des émissions polluantes vers les sols et les eaux souterraines.....	61
Figure n° 37 :	Différentes formes et mécanismes de fixation des éléments traces dans les sols.....	62
Figure n° 38 :	Carte d'inventaire de point de prélèvement (points d'analyses).....	64
Figure n° 39 :	Cercle ACP ETM	66
Figure n° 40 :	Cercle ACP éléments majeurs	66
Figure n° 41 :	Carte de différents profils des points d'analyse.....	67
Figure n° 42 :	Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Forcha)	68
Figure n° 43 :	Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Sidi Harbe)	69
Figure n° 44 :	Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Bouhdid)	69
Figure n° 45 :	Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Boudjamâa)	70
Figure n° 46 :	Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Forcha)	71
Figure n° 47 :	Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Sidi Harb)	71
Figure n° 48 :	Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Bouhdid)	72
Figure n° 49 :	Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Boudjamâa)	72
Figure n° 50 :	Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Forcha)	73
Figure n° 51 :	Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Sidi Harb)	74
Figure n° 52 :	Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Bouhdid)	74
Figure n° 53 :	Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Boudjamâa)	75
Figure n° 54 :	Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Forcha)	76
Figure n° 55 :	Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Bouhdid)	76
Figure n° 56 :	Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Sidi Harb)	77
Figure n° 57 :	Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Boudjamâa)	77
Figure n° 58 :	Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Forcha)	78
Figure n° 59 :	Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Sidi Harb)	78

Figure n° 60 :	Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Bouhdid)	79
Figure n° 61 :	Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Boudjamâa)	79
Figure n° 62 :	Carte de l'emplacement des différents points de dépassement (Points d'eau qui présentent une pollution par les métaux « Cu, Cr, Zn, Mn, Pb et Ni »).....	85

N° de tableau	Listes Des Tableaux Titre de tableau	Page
Tableau n° 01 :	Les coordonnées des stations météorologiques (Station des mesures « Les salines, Pont Bouchée et Séraïdi ») (Source ANRH Constantine).....	22
Tableau n° 02 :	Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en (mm) (Station des salines, Pont Bouchée et Séraïdi) (1976-2006)	23
Tableau n° 03 :	Précipitations moyennes annuelles en (mm) (Stations des salines, Pont Bouchée, et la station du Séraïdi, 1976-2006).....	25
Tableau n° 04 :	Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles en (mm) (Stations des Salines, Pont Bouchée, et Siraidi).....	26
Tableau n° 05 :	Coefficient pluviométrique des station des Salines, Pont Bouchée et Séraïdi (1976-2006)	28
Tableau n° 06 :	Les années excédentaires et déficitaires des station des Saline, Pont Bouchée et Séraïdi (1976-2006).....	30
Tableau n° 07 :	Répartition saisonnière des précipitations dans les trois station (Les Salines, Pont Bouché et Siraidi, 1976 – 2006).....	32
Tableau n° 08 :	Les moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en % (1976 – 2005)	32
Tableau n° 09 :	Vitesse du vent en m/s à la station des Salines en % (1976 – 2005).....	32
Tableau n° 10 :	Températures moyennes mensuelles en (°C) de la station des Saline, Pont Bouchée (1976-2006).....	33
Tableau n° 11 :	Valeur de K sous climats tempérés.....	37
Tableau n° 12 :	Résultat de l'ETR par la méthode de Turc, pour les stations des Saline, Pont Bouchée et Siraidi (1976-2006).....	38
Tableau n° 13 :	ETR selon la méthode de Coutagne.....	39
Tableau n° 14 :	Corrélation des climats en (mm).	39
Tableau n° 15 :	Ruissellement selon la formule de Tixeront-Berkaloff.	40
Tableau n° 16 :	Estimation de l'infiltration en (mm).	40
Tableau n° 17 :	Estimation des valeurs de la RFU selon la formule de Hallaire (P. Brochet et al).	41
Tableau n° 18 :	Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait Pour la station des salines (1976-2006).	42
Tableau n° 19 :	Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait Pour la station de Pont Bouché (1976-2006).	42
Tableau n° 20 :	Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait Pour la station de Siraidi (1976-2006).	43
Tableau n° 21 :	Description géologique et hydrogéologique du site.	49
Tableau n° 22 :	Les concentrations moyenne et maximum des EMT.....	64
Tableau n° 23 :	Les normes selon le O.M.S	64

N° de tableau	Listes Des Tableaux Titre de tableau	Page
Tableau n° 24 :	Statistiques sommaires des variables continues (MET).....	65
Tableau n° 25 :	Statistiques sommaires des variables continues (Eléments major).....	66
Tableau n° 26 :	Valeurs Guides (N).....	80
Tableau n° 27 :	Concentration moyenne (C).....	81
Tableau n° 28 :	Les résultats de (N – C)	81
Tableau n° 29 :	Concentration maximales calculées	82
Tableau n° 30 :	Les résultats de (N – C).....	82

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale :

L'eau est un élément constitutif fondamentale de la vie, est en amont de toute activité économique. C'est une ressource de plus en plus polluée. Selon l'O.M.S., trois à quatre millions de personnes meurent chaque année dans les pays pauvres de maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau.

Les éléments sous forme de traces, présents à l'état solide dans les sols, sont mis en circulation par l'érosion qui met ces éléments en solution ou suspension. Le ruissellement sur les surfaces imperméables (sols, chaussée) ainsi que les sources anthropiques s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion.

Les polluants en général et les métaux lourds en particulier vont entraîner des réactions chimiques liées à l'acidité, l'alcalinité, la température et l'oxygénation. Les milieux aquatiques sont très sensibles aux éléments en traces

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, des rejets urbains, trafic routier, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces dernières produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale (pollution atmosphérique, pollution des eaux de surfaces et profondes, pollution du sol...), et ce, en particulier dans les pays en développement moins préoccupés et moins sensibilisés par les risques sanitaires concomitants. Parmi ces sources de pollution la production d'eaux usées souvent rejetées dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans traitement préalable génère de nombreuses maladies hydriques et une propagation des épidémies (OMS, 1989; Prost, 1991).

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 dans sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débuté un peu partout dans le monde pour tenter de protéger l'eau contre toute source de pollution.

La plaine de Annaba est particulièrement soumise à une pollution généralement industrielle, et avec un degré moindre la pollution urbaine. Le problème de la pollution dans cette région, n'a vraiment commencé à devenir inquiétant qu'à partir de 1980.

La zone d'étude est caractérisée par plusieurs cours d'eau qui reçoivent les différents déchets urbains. Un trafic routier important qui peut jouer le rôle d'une source de pollution par les métaux lourds. La réunion de ces deux sources peut causer des conséquences sur l'environnement et la santé humaine.

Le travail réalisé est une contribution à la connaissance des origines de la pollution dans une zone particulièrement vulnérable où interfèrent deux facteurs pouvant véhiculer des polluants (circulation routière et curage).

Dans cette optique notre travail est structuré en cinq chapitres qui sont les suivants :

* Le premier chapitre a été consacré à la description de la zone d'étude on présentant ces caractéristiques physiques et naturelles.

* Le deuxième chapitre traite la géologie en s'appuyant sur les études antérieures, qui montrent l'affleurement de deux types de formations ; les formations métamorphiques présentent au niveau du massif de l'Edough et la couverture sédimentaire.

* Le troisième chapitre est consacré à l'étude climatique qui montre que la région soumise à un climat méditerranéen avec deux périodes distinctes, l'une chaude et sèche et l'autre froide et humide.

* Le quatrième chapitre a pour objectif de définir le système aquifère de la zone d'étude. Ce dernier constitué de deux nappes, l'une superficielle et l'autre profond.

* Le cinquième chapitre c'est l'objectif de notre travail cerne à l'identification des différents types de pollution en définissant leur évolution spatio-temporelle et ses origines probables.

CHAPITRE I

CADRE GENERALE

FACTEURS GEOGRAPHIQUES ET HYDROGRAPHIQUE

DU LA PLAINE DE ANNABA

(Situation géographique, géomorphologie et réseau hydrographie)

FACTEURS GEOGRAPHIQUES ET HYDROGRAPHIQUE

DU LA PLAINE DE ANNABA

Introduction :

La plaine Ouest de Annaba s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel Édough, les terminaisons du Boukantas et de Bouhamra fait suite à la plaine des Kherazas. Autrefois en partie couverte de marécages, elle est aujourd'hui presque entièrement asséchée.

Les seuls marécages permanents qui subsistent se trouvent au pied du massif de Kef N'Sour à l'endroit du passage de l'ancien lit de l'oued boudjemâa et à l'entrée de la ville de Annaba entre la butte de la basilique Saint Augustin et le cimetière.

I- SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIE :

I-1- SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La wilaya de Annaba est la capitale industrielle de l'Est algérien, elle est située entre les latitudes $36^{\circ}30'$ Nord et $37^{\circ}03'$ et longitudes $7^{\circ}20'$ Est et $8^{\circ}40'$ Est. D'une superficie de 1411.98 Km^2 , Annaba est bordée au Nord par la mer méditerranée, la wilaya de Skikda à l'Ouest, Guelma au Sud et à l'Est par la wilaya d'El Tarf.

La zone d'étude prend la partie Ouest de la plaine d'Annaba, ses limites sont :

- Au Nord la mer Méditerranée,
- A l'Ouest le massif de l'Edough,
- Au Sud la chaîne numidique orientale,
- A l'Est l'Oued Seybouse.

Le site étudié est caractérisé par une topographie plane, marquée par des inclinaisons sur les bordures Ouest et Sud dues à l'anticlinal formé par le massif de l'Edough, Bellelita et la chaîne Numidique de Ain Berda.

Les principaux facteurs physiques déterminant les caractéristiques du réseau hydrographique sont la géomorphologie, la nature du sol, le climat et le couvert végétal.

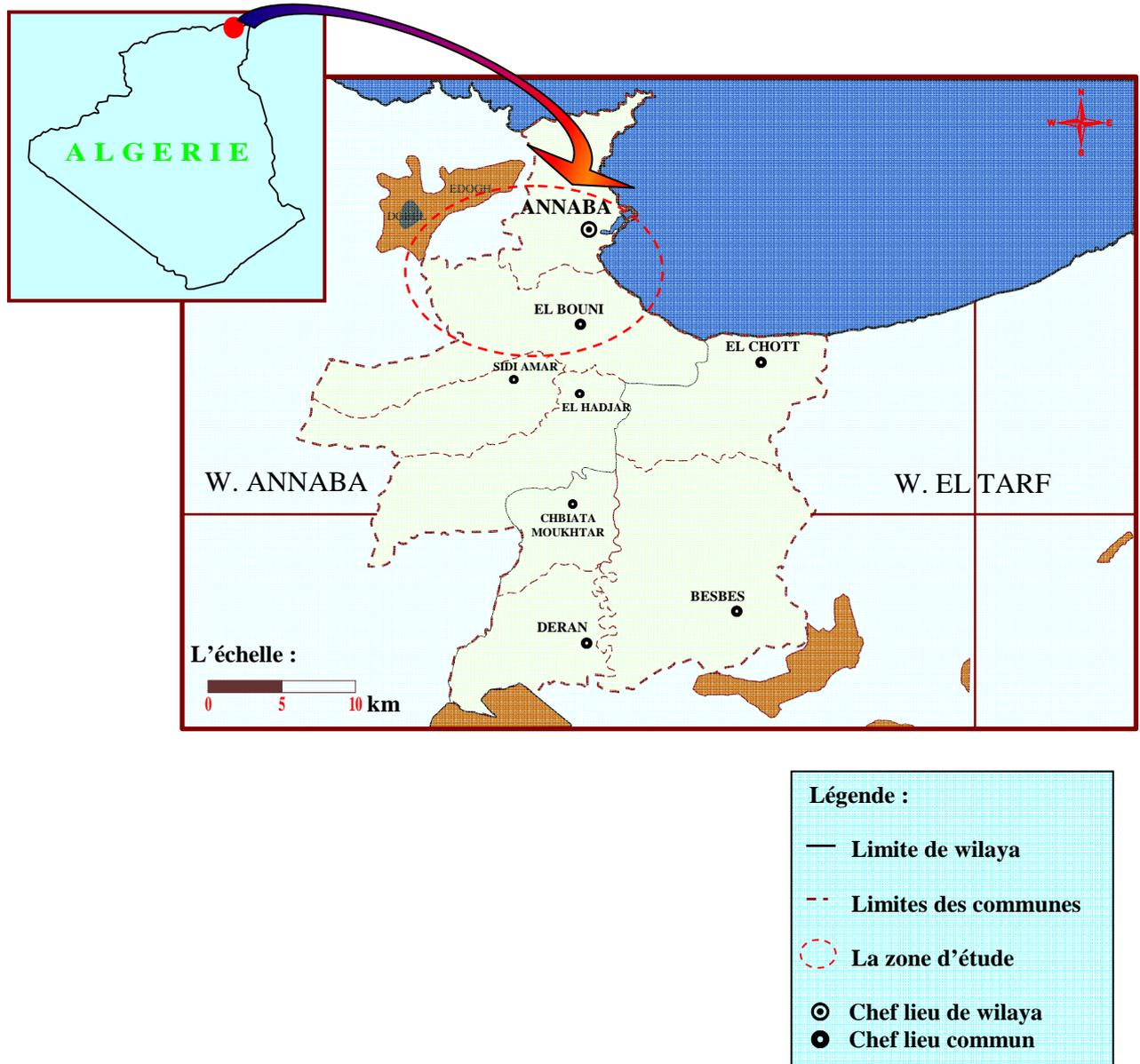
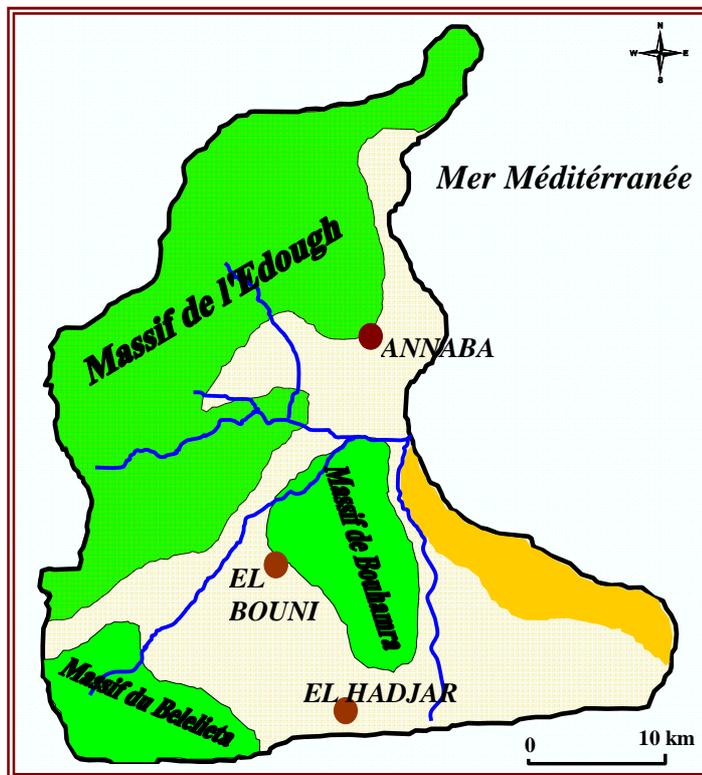


Fig. n° 01 : " Carte de situation géographique de la plaine de ANNABA"

I-2- Géomorphologie :

L'étude géomorphologique donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. Au niveau de la région d'Annaba, nous distinguons trois formes morphologiques distinctes (fig. 02), il s'agit de la plaine d'Annaba, le cordon dunaire et les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Belleleita au Sud Ouest et Bouhamma au Sud. Ces unités appartiennent aux quatre sous bassins versants : le sous bassin de l'Oued Bouhdid (superficie de 2182 ha), sous bassin versant de l'Oued Sidi Harb, (875 ha de superficie), sous bassin versant de l'Oued Forcha (712 ha de superficie) et sous bassin de l'Oued Bou Djamaa avec une superficie de 4685 ha.



Légende :

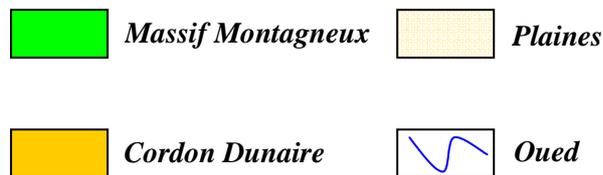


Fig. n° 02 : Carte Géomorphologique de la région étudiée.
(Raouf, 2008)

I-2-a- Les montagnes :

Au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer s'élève l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough témoin des évènements géologiques et tectoniques complexes. La masse principale de ce massif qui a l'allure d'un dôme anticlinal est limitée au sud ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'est par la plaine d'Annaba et au nord par la mer.

La ligne de crête longue et relativement rectiligne suit une direction sud-ouest, nord-est en débutant de la bordure du lac Fetzara au sud-ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à Koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa (point culminant) puis s'abaisse régulièrement pour s'achever par la presqu'île du cap de garde.

Les principaux versants du massif de l'Edough sont assez dissymétriques : le versant nord-ouest profondément entaillé par de nombreux oueds descend progressivement après une série de crêtes étagées en direction du nord jusqu'à la mer où se forme le promontoire rocheux de la Voile Noire et du Pain de Sucre.

Le versant sud-ouest dont les lignes orographiques sont encore moins brutales s'abaissent lentement jusqu'à l'oued Aneb.

Par contre le versant sud-est est beaucoup plus raide ; sur une distance approximative de 3.5 km entre Séraïdi et la vallée de l'oued Oureida on a une dénivelée de 800 m.

D'autre part au sud-est, deux chaînons parallèles séparés par la plaine des Kherazas viennent se greffer au Djebel Edough.

Le massif de Boukantas dont le point culminant est à 586 m se prolonge par le Kef N'Sour et les trois mamelons de la ferme Duzer jusqu'à la butte témoin du cimetière israélite.

Le Djebel Bellileita (288 m) que termine le massif de Bouhamra jusqu'à la butte de la basilique Saint Augustin.

A l'ouest de la zone d'étude, le massif de l'Edough est isolé du djebel Belelieta par une vallée à fond plat qu'empruntent la voie ferrée, et la route (R.N.44) il s'agit là d'une fosse ouest-est d'effondrement entre les Djebels Edough et Belelieta (287 m) ouvrant ainsi une dépression vers la mer Méditerranée.

I-2-b- La plaine de Annaba :

La zone d'étude fait partie de la petite plaine de Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel l'Edough, les terminaisons du Boukantas et du Bouhamra fait suite à la plaine de kherazas. Autrefois en partie couverte de marécages, elle est aujourd'hui presque entièrement assainie.

Les seuls marécages permanents qui subsistent se trouvent au pied du massif de Kef N'Sour à l'endroit du passage de l'ancien lit de l'oued Boudjamaa et à l'entrée de la ville de Annaba entre la butte de la basilique Saint Augustin et le cimetière Israélite.

I-2-c- Le cordon dunaire littoral :

C'est une série de dunes sableuses d'origine éolienne et marine qui longent la mer du nord ouest au sud-est depuis la cité Seybouse à l'ouest et El-Kala à l'est. Ces dunes dont l'altitude et la largeur augmentent de l'ouest à l'est isolent la grande plaine de Annaba de la Méditerranée en formant une barrière naturelle qui gêne l'écoulement superficiel des eaux de certains réseaux hydrographiques comme celui du Khelidj du Bou Kamira et de la Mafragh.

A l'intérieur du périmètre d'étude ces dunes n'occupent qu'une bande de 500 m à 700 m de largeur qui s'élève au dessus de la mer de 3 m au niveau de la cité Seybouse à 18 m en face de l'aéroport.

I-3- Réseau hydrographique :

La partie montagneuse, constituée par une ligne de crête longue et relativement rectiligne selon une direction Sud-Ouest, Nord Est, caractérisée par des versants raides constitués généralement de roches dures est sillonnée par un important réseau hydrographique dense et ramifié (chaabets, " ch^t. Bellareau, ch^t. Aouech ") à écoulement torrentiel temporaire.

Ces chaabets convergent vers l'aval pour former des oueds dans les eaux atteignant difficilement la mer à l'Est et au Nord Ouest en raison de la faible pente de la plaine et de la barrière dunaire littorale, causant parfois des inondations importantes.

La zone étudiée appartient au sous bassin versant de l'oued Boudjemâa. Ce sous bassin forme la terminaison Est du massif de l'Edough et est limité par la ligne des crêtes de Bouzizi, Séraïdi, Col des Chacals au Nord et au Nord Ouest, de Bellileita au Sud et au Sud – Ouest et de Bouhamra à l'Est. Il forme actuellement un réseau hydrographique indépendant après la déviation de l'embouchure de l'oued Seybouse en 1970 dont il faisait partie.

L'oued Boudjemâa est le collecteur principal de ce sous bassin (fig.04). Il reçoit à la hauteur de l'agglomération de Bouhamra les eaux du canal de Kef N'Sour (collecteur de l'oued Bouhdid, Sidi Harb et Forcha) avant de rejoindre la mer entre la cité Seybouse et le complexe industriel « ASMIDAL ». Avant sa déviation cet oued passait au pied du massif de Kef N'Sour puis sous la butte de la basilique Saint Augustin pour se jeter en mer.

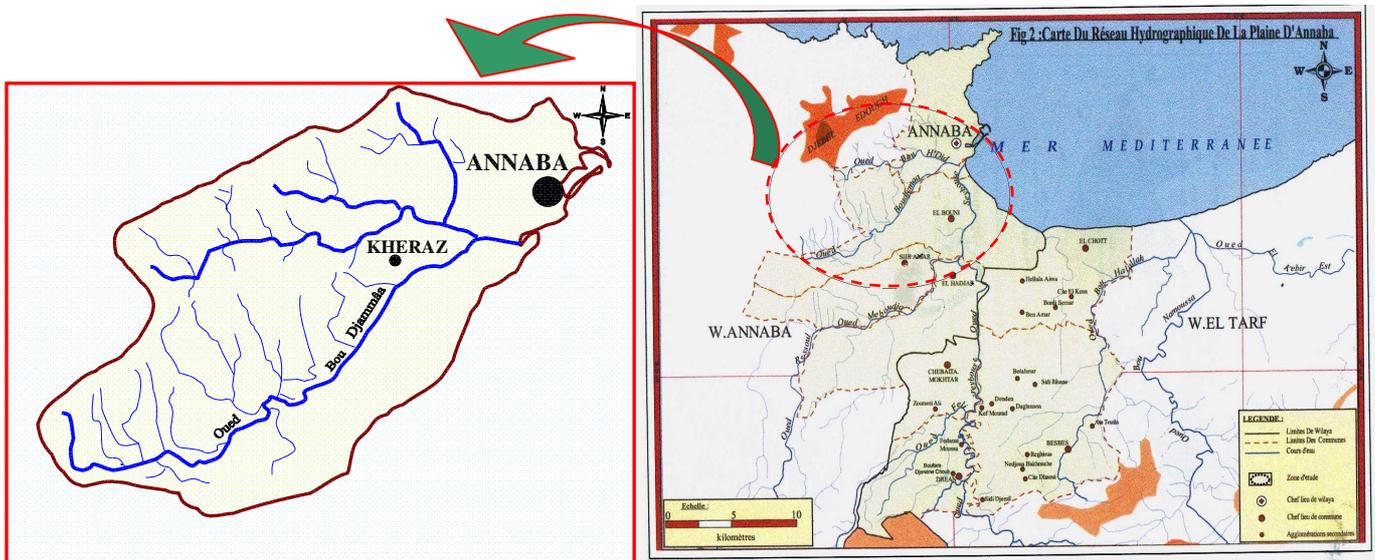


Fig. n° 03 : "Carte du réseau hydrographique de la plaine de Annaba"

Le réseau hydrographique se compose au Sud Ouest par les sous bassins des oueds Forcha, Sidi Harb et Bouhdid qui constituent en aval un cours d'eau unique qui se branche sur l'oued Boudjemâa par le biais du canal de déviation de Kef N'Sour.

Le collecteur principal de ces oueds connu sous le nom de oued Dheb (fig.04) coule à présent dans le sens Nord, vers la mer à l'Est, après la déviation qui consistait à le raccorder à l'Oued Boudjemâa à travers les collines de Kef N'Sour et la R.N. n° 44.

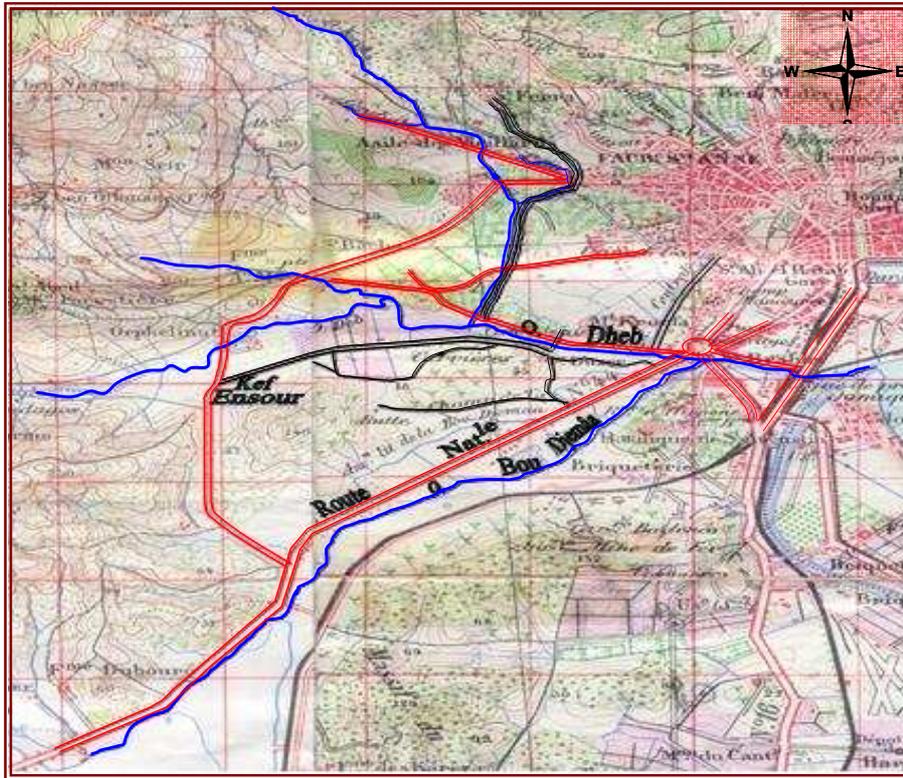


Fig. n° 04 : "localisation des oueds" (Raouf, 2008)

- Les oueds de la zone d'étude : (Fig.05)

Elle est constituée par quatre oueds principaux qui parcourent la région d'étude :

- ↪ **Oued Boudjemâa** : c'est le principal oued, il comporte plusieurs affluents l'ensemble est situé dans un sous bassin de 4.685 ha.
- ↪ **Oued Forcha** : occupe l'extrême NW de la zone étudiée, c'est un affluent de l'oued Ed deheb et constitue son axe de drainage. Sa superficie est de 712 ha.
- ↪ **Oued sidi Harb** : c'est un affluent de l'oued Eddeheb son sous bassin a une superficie de 875 ha.
- ↪ **Oued Bouhdid** : l'autre affluent de l'oued Ed-Hab a un sous bassin de 2.182 ha.

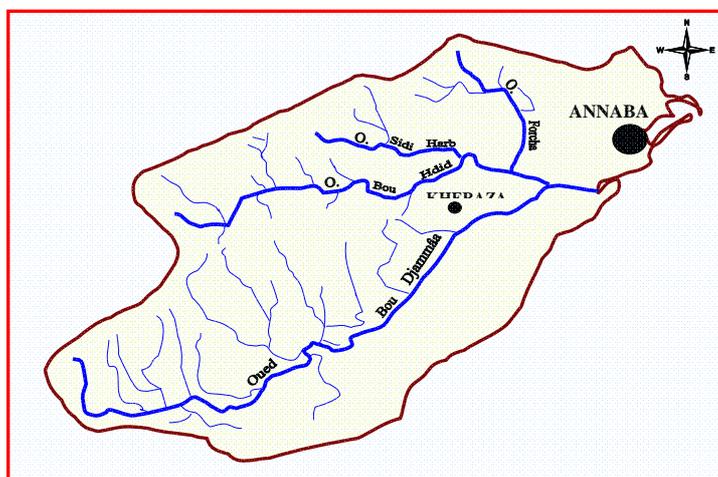


Fig. n° 05 : "Carte de différents oueds dans la zone d'étude" (Raouf, 2008)

*** Sous bassin versant de l'oued Forcha :**

Ce sous bassin occupe une superficie de 712 ha. Son sol présente une texture grossière dominée par les Gneiss. Les versant Est et Nord Est jusqu'au 8^{ème} km de la route Annaba – Séraïdi où la ville à pu localement s'étendre (lotissement oued Forcha) ont des pentes relativement plus fortes par rapport à l'ensemble du sous bassin.

Le couvert végétale appauvri par le surpâturage, les défrichements et les incendies, il est composé de broussailles dans la partie Est et Nord-Est et de maquis dense, d'oliviers et de chêne liège dans la partie ouest. Cette dernière à pentes fortes est difficilement accessible. A travers la cité oued Forcha, l'oued a été canalisé par un dalot enterré sur près de 500 m de longueur. De la l'oued continu son parcours à travers la plaine de la cité El-Moukaouama pour se brancher sur le canal de oued Ed-heb.

*** Sous bassin versant de l'oued Sidi Harb :**

La superficie de ce sous bassin est de 875 ha. Le sol est gneissique et à pentes assez fortes notamment à l'amont de Sidi Othmane où l'accessibilité devient très difficile. En aval de Sidi Othmane la végétation est surtout composée de maquis en plus ou moins bon état mais moins dense qu'en amont et quelques taches de reboisement d'Eucalyptus.

*** Sous bassin versant de l'oued Bouhdid :**

Ce sous bassin a une superficie de 2182 ha, il est drainé par un réseau hydrographique dense et ramifié remontant jusqu'aux hauteurs de Séraïdi, Bouzizi et Boukantas.

La végétation assez dense constituée principalement de chêne liège de maquis fait que ce sous bassins soit le mieux protégé. Le cours d'eau principal de l'oued coule dans une vallée à faibles pentes constituée d'un dépôt alluvionnaire grossier (limons, sable, graviers et galets roulés) tandis que les thalwegs qui drainent les versants sont composés d'un sol gneissique d'assez fortes pentes.

C'est au niveau de la zone de rencontre des différents réseaux (Bouhdid, Sidi Harb et Forcha) que le débordement de l'oued est le plus spectaculaire inondant toutes les parties basses de la ville en empruntant sons ancien cours naturel.

***Sous bassin versant de l'oued Boudjemâa :**

Le collecteur principal (Oued Boudjemâa) de ce sous bassin de 4685 ha, draine les versant Sud du massif de Boukantas et Kef N'sour, les versants Nord du massif de Bellilta et les versants Ouest et Nord du Bouhamra.

La couverture végétale qui autrefois était bien développée est actuellement en grande partie dégradée laissant apparaître par endroit la roche mère gneissique suite aux incendies aux surpâturages et aux défrichements.

Le couvert végétal se compose en générale de maquis clair localement dense et quelques zones de reboisement d'Eucalyptus et de pin Maritime.

Les faibles pentes de la vallée des Kherzas dans laquelle l'oued coule du Sud-Ouest au Nord-Est ne facilitent pas l'évacuation des eaux qui lors des crues débordent en plusieurs endroits. Par contre les pentes des thalwegs qui drainent les versants sont assez fortes. De ce fait la partie centrale et avale de la plaine des Kherzas jusqu'à Bouhamra Est souvent inondée ou marécageuse.

Cette plaine assez large est constituée d'un dépôt alluvionnaire d'origine fluviatile et lagunomarin plus fins que celui de la vallée de l'oued Bouhdid (limons, sables, argiles, vases).

A la hauteur de Bouhamra l'oued Boudjemâa reçoit les eaux du canal de oued Dheb (collecteur des oueds Bouhdid, Sidi Harb, et Forcha) avant de déboucher dans la mer entre la cité Seybouse et le complexe industriel « ASMIDAL ».

En analysant les sous bassins dominants la ville de Annaba on retient :

- Les mêmes types de végétation couvrent partiellement ou totalement l'ensemble des sous bassins.
- Ces sous bassins disposent d'un certain nombre d'équipements de protection et de drainage mais par manque d'entretien permanent exposent la région à des inondations.

L'ensemble des sous bassins sont relativement assez accidentés se terminent en général par des vallées et des plaines douces où débordements des oueds sont plus fréquents.

I-4- Les eaux souterraines (fig. n° 6) :

La possibilité d'existence d'eaux souterraines est conditionnée par plusieurs facteurs physiques dont la nature géologique du terrain (nature, structure, perméabilité), la géomorphologie (caractéristiques physiques des bassins versants), la pluviométrie (intensité, régularité) et le type de végétation.

Ainsi des niveaux aquifères plus ou moins importants se rencontrent dans les calcaires métamorphiques par l'intermédiaire des diaclases et fissures.

La tendance sableuse des zones d'altération des gneiss et des grés donne des niveaux aquifères de quelques importances.

Un autre niveau aquifère de moindre importance se repère sous forme de sources irrégulières à la base des grés Numidiens du massif de Bellileita au contact des argiles Numidiques.

Cependant les horizons d'eaux souterraines les plus intéressants se trouvent dans les formations sableuses et graveleuses des alluvions de la plaine de Annaba et les formations dunaires intérieures et côtières.

Dans la région de Annaba le captage des eaux souterraines s'opère à trois niveaux :

- Captage des sources affleurent principalement à Séraïdi, Bouzizi et Ain Bardar.
- Captage de la nappe phréatique par puits traditionnels localisés un peu partout dans la plaine d'Annaba et les vallées. Cependant ce niveau d'eau est localement contaminé par les eaux résiduelles de nature industrielle et domestique où son utilisation devra être précédée par un traitement préalable.

Enfin, le troisième niveau de captage le plus intéressant consiste à exploiter les eaux profondes de la grande plaine d'Annaba et d'El-Tarf par l'intermédiaire de forages modernes équipés de crépines et accessoires.

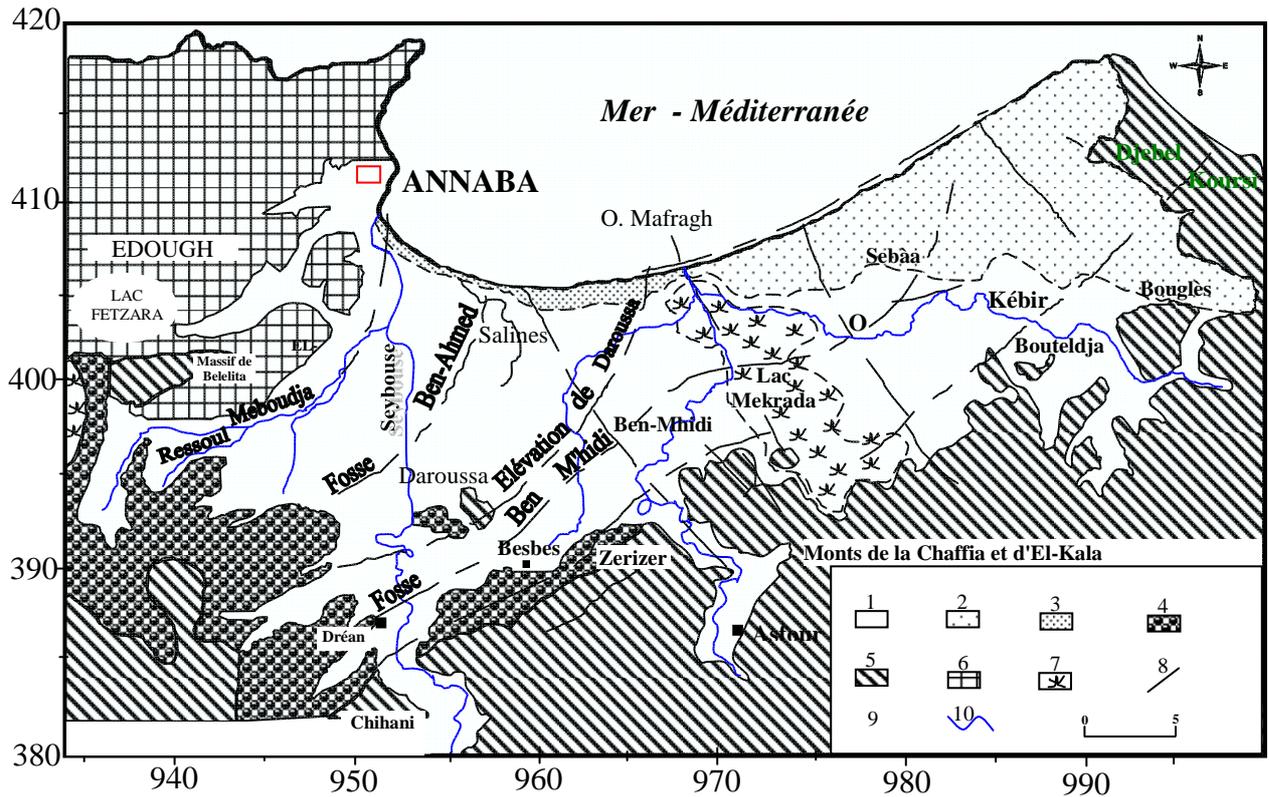


Figure n° 06 : Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba (d'après Gaud, 1976)

- | | |
|--|--|
| 1: Nappe des formations superficielles | 2: Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja |
| 3: Nappe des sables du cordon dunaire | 4: Nappe des alluvions de haut niveau |
| 4: Grès et argiles du Numidien | 6: Formations métamorphiques (Nappe des cipolins) |
| 7: Marécages | 8: Failles |
| 9: Fosses | 10: Oueds |

I-5- Le couvert végétal des sols :

L'ensemble du territoire montagneux du périmètre d'étude est dominé par une forêt à base de maquis et broussailles de type méditerranéen qui s'étend sur une superficie assez importante de 6650 ha soit 26 % du périmètre d'étude.

Les espèces végétales les plus répandues de ce maquis sont les Cistes (أم العلية), Bruyères (بوحداد), Lentisques (الدرو), Myrtes Arbousiers (الريحان), Diss, Gendouls et les Oliviers nains (شجر زيتون).

Le bois naturel qui autre fois était plus développé ne subsiste pratiquement qu'au fond de la vallée de l'oued Oureida sous forme de chêne liège. Partout ailleurs il à été détruit par les nombreux incendies depuis l'époque coloniale.

Des les années 70 des travaux forestiers ayant pour but la mise en valeur et la protection de cet environnement ont été entrepris par la création des tranchées pare-feux, des pistes forestières, des banquettes de drainage des eaux pluviales et des reboisements d'Eucalyptus et de pin Maritime.

Malheureusement ces réalisations sont à leur tour en voie de dégradation par l'absence d'entretien et surtout les incendies.

Ces reboisements se retrouvent principalement sur les hauteurs d'oued Zied, oued Nil, Hdjar Ediss, sur les versants du djebel Boukhantas, sur Kef N'Sour, aux environs du cimetière Sidi Harb et à l'intérieur du parc du Cap de Garde.

Les vallées de Sidi Harb et d'Oued Forcha sont occupées par une végétation variée (oliviers, vergers, broussailles et maquis). Les terres de plaine en dehors des tissus urbanisés représentent la quasi-totalité des terres agricoles du périmètre d'étude.

Ce sont des terres alluvionnaires d'origine fluviale et laguno-marine à haute valeur agropédologique où toute sorte de culture peut être pratiquée.

Certaines terres comme celles de la bordure du lac Fetzara, de Kheraza aux environs de l'ancien confluent oued Boudjamaa – oued Méboudja ne sont exploitées que pratiquement ou pendant la saison sèche à cause de la stagnation des eaux en saison pluviale. (Centre d'étude et de Réalisation en Urbanisme, PDAU Intercommunal Annaba – El Bouni, Sidi Ammar – El Hadjar, Volume I, 1996)

Conclusion :

L'étude géomorphologique nous a permis de distinguer trois formes morphologiques : les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Bellelita au Sud Ouest et Bouhamra au Sud, le cordon dunaire d'origine éolienne et marine qui longe la mer du nord-ouest au sud-est depuis la cité Seybouse à l'ouest et El-Kala à l'est et la petite plaine de Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel l'Edough et les terminaisons du Boukantas et du Bouhamra

Le réseau hydrographique est caractérisé par quatre oueds principaux constituent les sous bassins de la région d'étude : le sous bassin versant de l'oued Forcha, le sous bassin versant de l'oued Sidi Harb, le sous bassin versant de l'oued Bouhdid et le sous bassin versant de l'oued Boudjemâa, ce dernier est le principal oued, il comporte plusieurs affluents.

CHAPITRE II

APERÇU GEOLOGIQUE

APERÇU GEOLOGIQUE :

Introduction :

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie de dissolution.

Le tracé hydrologique est fortement influencé par la géologie, cette dernière joue un double rôle, car son influence se fait sentir d'une part sur le régime de cours d'eau, et d'autre par sur l'érosion et le transport solide.

La région d'Annaba a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de (H. Joleaud, 1936 ; J. Hilly, 1962 ; J. M. Vila, 1980 ; J.C. Lahondere, 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992). Ces études ont montré deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique.

La couverture géologique du territoire des quatre communes Annaba, El-Bouni, Sidi Amar et El Hadjar a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 de Annaba, Séraïdi, Ain Berda et Dréan.

Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées aux Paléozoïque, Cénozoïque et Quaternaire qui correspondent à quatre grands ensembles tectoniques et structuraux :

Le massif Cristalloyphyllien de la région de Annaba, l'Edough constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes des massifs Kabyles. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW – NE se prolonge au-dessus du lac Fetzara par les coteaux de Berrahal.

Au relief principal, s'ajoutent à l'Est le djebel Bougantas, le Kef N'Sour et le Bouhamra, les coteaux de Annaba et enfin le promontoire du Cap de Garde qui est tranché brusquement par l'affaissement méditerranéen.

Cet ensemble montagneux de structures complexes (faillé et plissé) est affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque. Il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région de Annaba dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

I- Cadre géologique régional :

Le massif de l'Edough, situé sur la côte algérienne, dans la région d'Annaba est un massif cristallophyllien, le plus oriental de la côte algérienne, il se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 Km de long sur 20 Km de large et d'orientation axiale N 60 à intercalation de marbre-amphibolite et de schiste satinés (J.M.VILA, 1980).

Le massif de l'Edough est caractérisé par une lithologie variée, on y distingue un complexe cristallophyllien qui est la partie essentielle du massif, des formations magmatiques et sédimentaires qui sont localisées principalement dans la partie Est du massif.

Il a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Hilly, 1962; Vila, 1970; Gleizes et al., 1988; Marignac et Zimmermann, 1983; Marignac, 1985; Bouguerra, 1990 ; Monié et al., 1992; Hammor, 1992; Aissa et al., 1995; Hammor et Lancelot, 1998; Laouar et al., 2002) et il est considéré comme faisant partie des zones internes de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord, associée à la collision de la plaque africaine et européenne durant la période Oligo-Miocène (Auzende et al. 1975; Bouillin, 1979; 1986; Cohen, 1980; Maurey et al., 2000; Laouar et al. 2005).

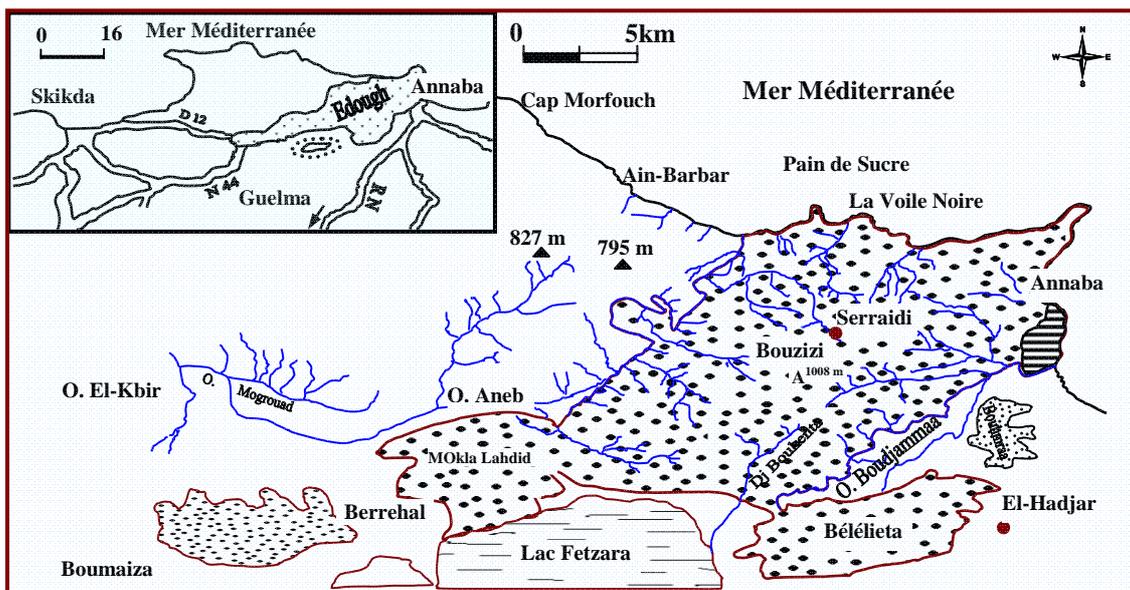


Fig. n° 07 : Situation géographique du massif de l'Edough. (d'après Hilly, 1962 modifiée)

Le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque; l'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW (Fig. 07).

I-1- Le complexe cristallophyllien :

D'après les nombreux travaux géologiques dont J.M. Vila, 1970 et G. Gleizes, 1988, le massif pourrait être subdivisé en trois unités (fig. n° 08).

- L'unité de base.
- L'unité intermédiaire.
- L'unité supérieure.

I-1-1- L'unité de base :

Représentée principalement par des gneiss et des micaschistes correspondant respectivement à la série gneissique de base, on y distingue des gneiss clairs des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathique, en mica, sillimanite et parfois en tourmaline.

Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspaths de 3 à 5 cm.

I-1-2- L'unité intermédiaire :

Elle repose sur la série gneissique. Cette série est constituée par une alternance de micaschiste et de bancs de marbre à cristaux plus aux moins bien cristallisés. Le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des Skarns de réaction.

I-1-2-1 Les micaschistes :

Leur épaisseur varie de quelques mètres à 100 m, sauf au Cap de Garde où ils apparaissent en position verticale avec une structure litée, selon leur composition minéralogique il existe plusieurs types de micaschistes : micaschistes à grenat, micaschistes à grenat et andalousite, micaschistes à deux mica, micaschistes à phénoblastes de muscovite, micaschistes à grenat et staurotide, micaschistes à andalousite et à tourmaline avec plus ou moins de grenat, micaschistes à disthène.

Tous les micaschistes renferment des minéraux du métamorphisme dont certains sont visibles à l'œil nu (grenat, andalousite, staurotide et disthène). Ces minéraux sont assez bien formés et sont souvent idiomorphe.

I-1-2-2 Le marbre :

Affleure en lentilles ou en petits bancs, parfois recoupé des micaschistes. La couleur est souvent grise très claire, légèrement blanche.

I-1-3- L'unité supérieure (série des alternances) :

Cette unité est essentiellement constituée par l'alternance régulière de micaschiste souvent fortement alumineux et de quartzite feldspathique très plissotée. Dans les micaschistes alumineux à muscovite (ou) à biotite s'intercalent des "lydiennes" noirs en lits d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La présence d'acritarches (Ilavsky et Snopkova, 1987) précise que cette série est d'âge Paléozoïque. Vers la base s'intercalent des dalles de gneiss œilles dont la puissance varie de 10 à 100 m.

I-2- Les roches ignées :

Les roches ignées du massif de l'Edough sont localisées, d'une part à la bordure Nord occidentale du massif et dans la région de Ain Barbar, d'autre part dans la partie septentrionale du massif du Cap de Fer. Ces roches font partie d'une même série calco-alcaline et peuvent être classé en grands groupes:

I-2-1 Le groupe microgranitique :

C'est le groupe le plus important dans le massif de l'Edough, comprend des roches microgrenues plus rarement à tendance microlitique. Il se présente selon le cas : en dykes, en petits pointements en bosses, et des laccolites.

I-2-2 Le groupe rhyolitique :

Les laves qui appartiennent au groupe rhyolitique n'affleurent pratiquement que dans la région située au Nord-Ouest du massif, il se présente soit en filon soit en massif.

Les rhyolites renferment des enclaves de gneiss, de micaschistes, grès numidien, flysch sénonien et microgranite au sein des rhyolites.

I-2-3- Le groupe dioritique :

Les roches du groupe dioritique sont localisées dans la partie septentrionale du massif de Cap de Fer, leur texture est généralement grenue, elles sont formées de plagioclase, de hornblende et augite.

I-2-4 Le groupe andésitiques :

Ce groupe est beaucoup moins homogène que les précédents, ils comprennent des roches allant des basaltes aux rhyolites mais qui ont, pour la plus part, un faciès andésitique.

Ce groupe ne se situe pas exactement dans le massif de l'Edough mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaibi.

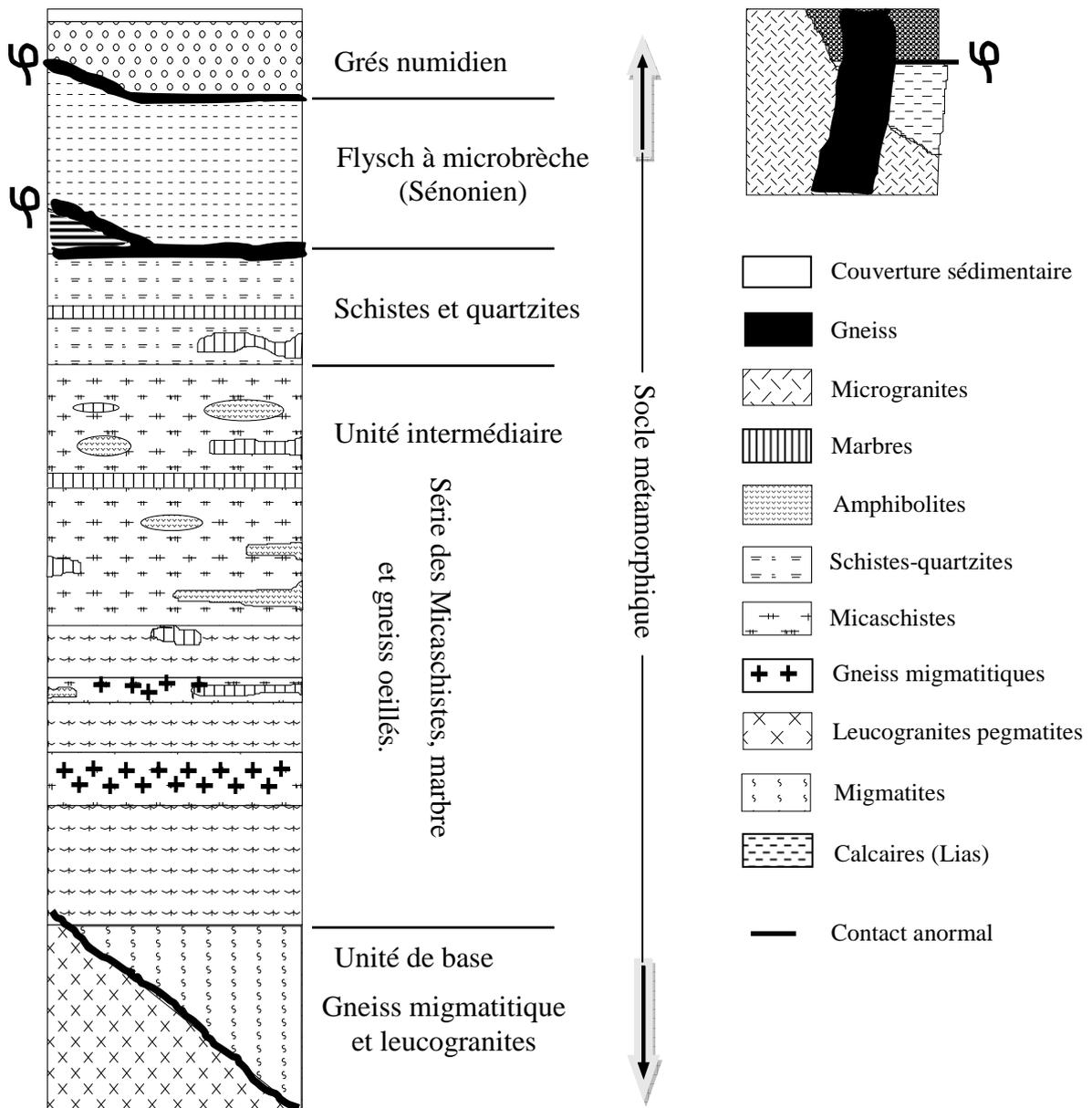


Fig. n° 08 : Colonne lithologique du massif de l'Edough
(d'après Aissa D. E, 1985)

I-3- Les terrains sédimentaires :

Les terrains sédimentaires occupent la quasi-totalité de la plaine de Annaba et une grande partie de celui du massif de l'Edough.

On distingue les flyschs et les formations post-nappes :

I-3-1 Les flyschs ou grès numidiens :

Ils se présentent sous forme d'alternance de grès grossiers, hétérométrique à dragées de quartz et de minces couches pelitiques, les argiles forment la base de cette unité.

Les flyschs numidiens reposent sur les flyschs sénoniens et sont séparés en deux par une zone bréchique intensément silicifiés et chloritisés.

I-3-2 Les flyschs sénoniens :

Ils affleurent sous le numidien en fenêtre près d'El Mellaha et Es Saf-Saf au Nord Ouest du massif.

Les flyschs sénoniens présentant un aspect de schistes argileux de teinte noire, bleutée ou jaunâtre. Ils sont constitués d'un matériel quartzeux, chloriteux très fin, carbonaté ou bioclastique.

I-3-3- Le Mio-Pliocène :

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine de Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers.

Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) :

- La fosse de Ben - Ahmed, orientée S-N.
- La fosse de Ben – M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo - sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive de la grand plaines de Annaba.

I-3-4 Quaternaire :

Il est constitué de formations continentales, alluvionnaires, colluviales et marines. Les études géologiques de L. Jaleud, (1936) sur le Quaternaire dans la région de Annaba font apparaître les traits suivants :

a- Quaternaire ancien (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argiles, limon, sables, gravier et galets), et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m.

b- Quaternaire moyen, correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constituée par des argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région.

c- Quaternaire récent, caractérisé par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine (S. E. Cherrad, 1979 in N. Kherici, 1993) il correspond à la basse et la moyenne terrasse.

d- Quaternaire actuel, les alluvions sont représentées par des dépôts du lits actuels des Oueds, formé généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Cette description géologique a fait apparaître que dans la région d'étude seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Numidien), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploités.

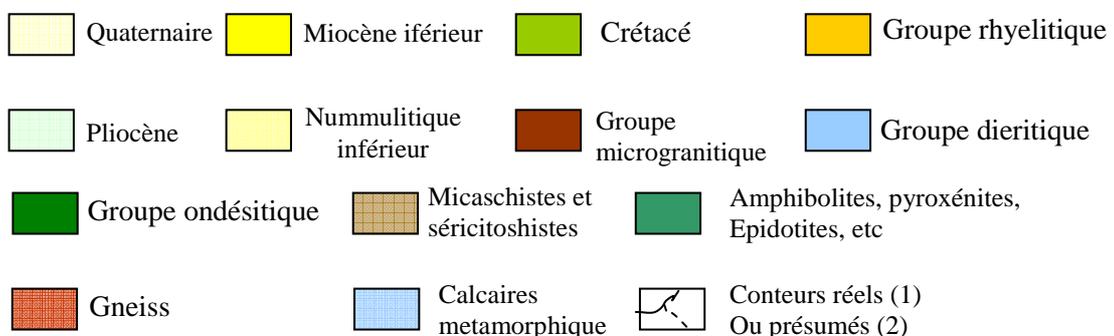
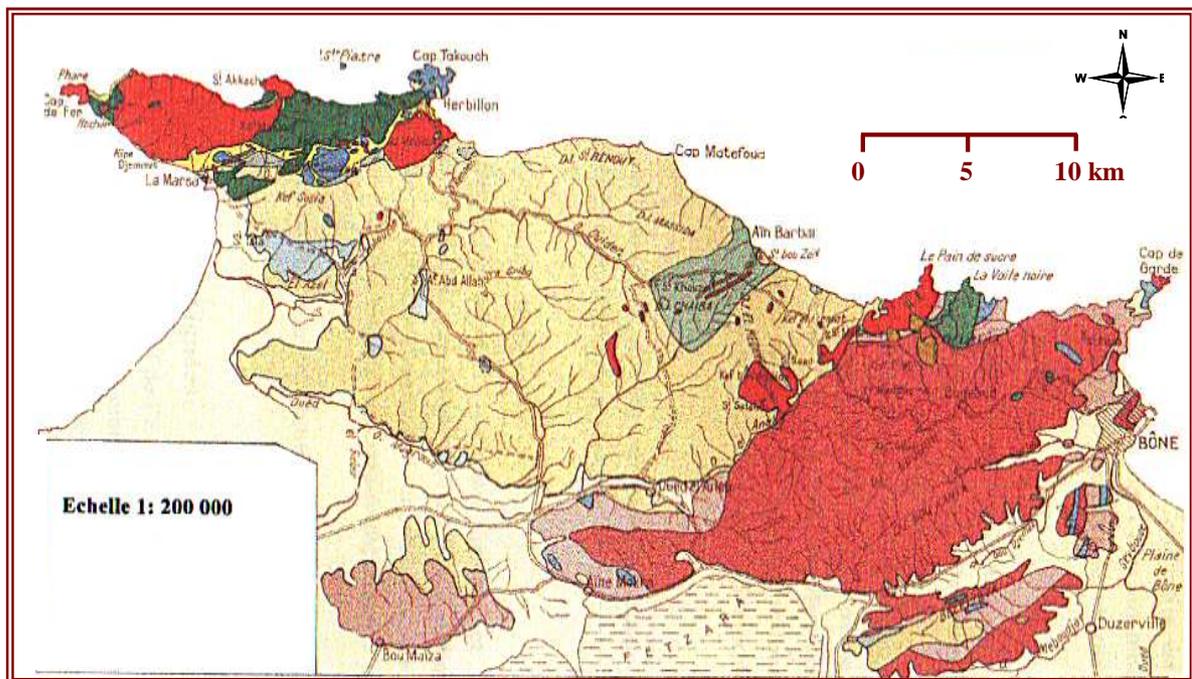


Fig. n° 09 : Carte géologique schématique du massif de l'Edough et des ses environs. Hilly, 1962

I-4- Tectonique et structure du massif de l'Edough :

Selon J. M. Vila, 1977 ; la tectonique de l'Algérie orientale est particulièrement complexe, généralement, on peut subdiviser la région d'étude en deux grandes unités structurales :

- 1- **Le massif de l'Edough** : il occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire.
- 2- **La plaine de Annaba** : constitue la partie orientale de la zone d'étude. elle a connue deux événements tectoniques distincts :

* Durant le Miocène, un enfoncement progressif du grès Numidiens, une des conséquences de la phase alpine et continue jusqu'au Miocène supérieur.

* Durant le Plio-Quaternaire, s'est produit un remplissage des matériaux détritiques, ce remplissage correspond au dépôt de deux fosses d'effondrement d'âge Mio-Pliocène.

I-4-1- Déformations synmétamorphiques :

Le socle de l'Edough a subi une histoire tectonométamorphique complexe où deux séquences d'événements peuvent être individualisées :

- a- plissements synschisteux contemporains d'un métamorphisme de type barrovien (disthène-staurotide-grenat).
- b- plissements synschisteux et cisaillements ductiles contemporains d'un métamorphisme de basse pression (andalousite-sillimanite) dans le contexte distensif d'une faille de détachement (Brunel et al, 1989) d'âge burdigalien (Monié et al, 1992; Aissa et al. 1994; 1995).

I-4-2- Déformations tardives :

Les déformations tardives se résument essentiellement en la formation de plis et de failles (Aissa, 1995):

1- **plis** : Plis droits à N140°E et brachyantoclinal (N50-60°E) façonnant la forme actuelle du massif.

2- **Failles** : Un premier type de failles (F1) constitue une famille dont l'orientation dominante varie de N120° à N150°E et correspondrait à des failles décrochantes dextres. Les failles N150° à N160°E contrôlent les minéralisations polymétalliques hydrothermales et paraissent par ailleurs avoir guidé la mise en place des rhyolites.

Un deuxième type de failles (F2), d'orientation NE-SW cette famille correspondrait à un système de failles décrochements senestres.

Un troisième type de failles (F3) moins important qui a une direction moyenne E-W et un quatrième type rare de direction moyenne N-S qui semble en liaison avec le premier type (F1).

I-5- Minéralisations du massif de l'Edough :

La présence de gîtes et indices métallifères dans le massif de l'Edough est en relation plus ou moins directe avec l'activité magmatique et les systèmes de failles principalement contrôlés par la tectonique distensive langhiennne. Quatre types principaux de minéralisation sont reconnues :

- 1- gîtes à Fe-(Pb-Zn-Cu) liés aux marbres et skarns exemple : ceux de Berrahal et Boumaiza.
- 2- filons à minéralisation polymétallique encaissés dans les flyschs crétacés exemple: Ain Barbar, El-Mellaha.
- 3- gîtes à W-As-Au liés aux skarns et gneiss exemple: Belelieta, Bouzizi.
- 4- filons à Sb-Au situés à travers le complexe métamorphique exemple: Koudiat El-Ahrach, Saf-Saf, Ain Barbar.

Conclusion :

Les études géologiques sur la région d'Annaba ont montré deux types de terrain, l'un métamorphique représenté par le massif de l'Edough, qui occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire, et l'autre sédimentaire occupant la quasi-totalité de la plaine d'Annaba.

La description géologique a fait apparaître que dans la région d'étude seule les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Numidien), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploités.

CHAPITRE III

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

Les événements actuels, les changements climatiques, font que la connaissance des paramètres régissant le climat et leur évolution dans l'espace et dans le temps restent capitales car leur impact sur la ressource en eau peut entraîner des crises graves particulièrement dans notre pays. C'est pour cela que la quantification des paramètres régissant le climat est devenue incontournable.

Introduction :

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du sous bassin versant de l'oued Boudjamaa, nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : les précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région.

*** Les stations des mesures :**

L'étude est basée essentiellement sur les données pluviométriques (concernant les précipitations, et la température) des stations de mesures suivantes ; les Salines, Pont Bouchet et Séraïdi, ces stations entourent la région d'étude et sont caractérisées par des séries de données complètes. Les périodes d'observation s'étalent sur 30 ans (de 1976/1977 à 2005/2006).

Le tableau 1, récapitule quelques indications sur les stations. (Coordonnées Lambert, périodes d'observations..).

Coordonnées Station	X	Y	Altitude Z (m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
Les salines	955.20	4003.80	03	07° 49' E	36° 50' N	1976-2006
Pont Bouchet	950.25	402.80	06	07° 45' E	36° 58' N	1976-2006
Séraïdi	943.00	412.50	840	07° 40' E	36° 55' N	1976-2006

Tableau n° 01 : Les coordonnées des stations météorologiques
(Station des mesures « Les salines, Pont Bouchet et Séraïdi »)
(Source ANRH Constantine).

I- Type de climat :

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes :

- l'une froide et humide, marquée par une forte pluviosité (192.96 mm au mois décembre enregistré à la station de Séraïdi) allant du mois d'octobre à mai, et par de faibles températures (07.84 °C au mois de janvier enregistré à la station de Séraïdi).
- L'autre chaude et sèche avec de fortes températures atteignant le maximum au mois d'août (25.65 °C enregistré à la station des Saline).

I-1- Précipitations :

I-1-1- Précipitations moyennes mensuelles :

Les données recueillies à la station des salines, Pont Bouchet et Séraïdi sur une période de 30 ans (1976/1977-2005/2006) sont récapitulées dans le tableau suivant : pour calculer la précipitation moyenne de chaque mois en 30 ans, on va calculer la somme des précipitations de 30 ans et diviser par 30.

$$P_{moyen} = \sum P(mm) / 30$$

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aut	Moy
Les salines	35.57	71.24	92.77	112.83	101.29	78.44	60.80	63.42	36.68	13.96	02.14	10.23	56.62
Pont Bouchet	35.20	56.50	89.82	100.36	90.12	66.89	52.89	59.63	33.00	10.96	01.86	09.24	50.54
Séraïdi	41.94	105.85	164.52	192.96	175.94	130.88	104.44	116.02	54.58	15.04	4.88	17.75	93.73

Tableau n° 02 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en (mm)
(Station des salines, Pont Bouchet et Séraïdi)
(1976-2006).

Exemple : Pour le mois de janvier (station des salines) :

$$\sum P_{mois\ de\ janvier} (mm) = 3038.8\ mm$$

$$P_{moy} (mois\ de\ janvier) (mm) = \sum P_{mois\ de\ janvier} (mm) / 30 = 101.29\ mm$$

$$P_{moy} (mois\ de\ janvier) (mm) = 101.29\ mm$$

Le tableau n° 02 : montre la variation des précipitations d'un mois à l'autre des moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans ces trois stations avec un maximum de l'ordre de "112.83 mm" qui est observé au mois de décembre à la station des Salines , de "100.36 mm" au mois de décembre à la station de Pont Bouchet, de "192.96 mm" au mois de décembre à la station de Séraïdi, et avec un minimum de l'ordre de "02.14 mm" au mois de juillet à la station des Salines, de "01.86 mm" au mois de juillet à la station de Pont Bouchet, et de "04.88 mm" au mois juillet à la station de Séraïdi.

Fig. n° 10 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station des Salines, 1976 – 2006)

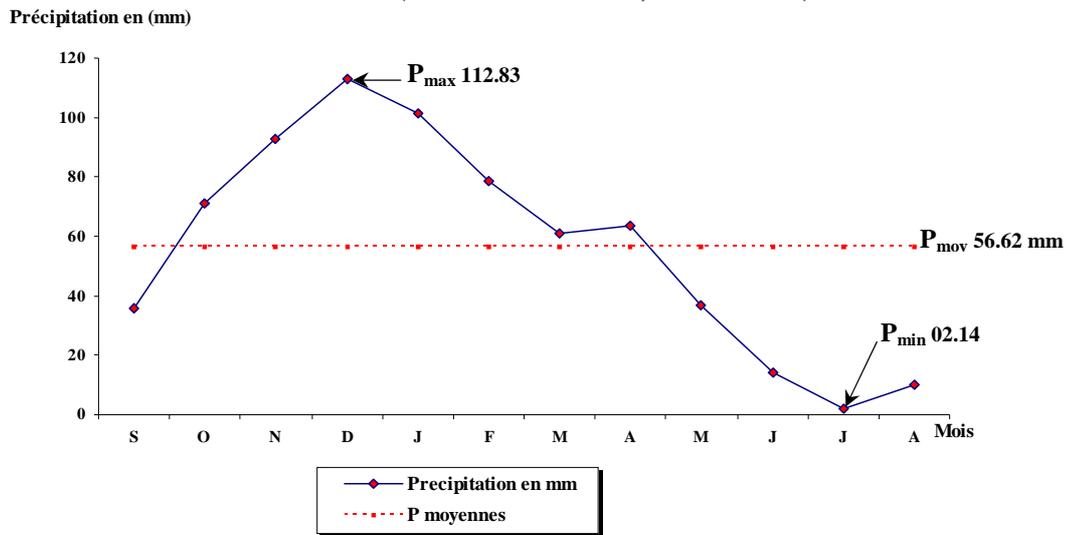


Fig. n° 11 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Pont Bouchet, 1976 – 2006)

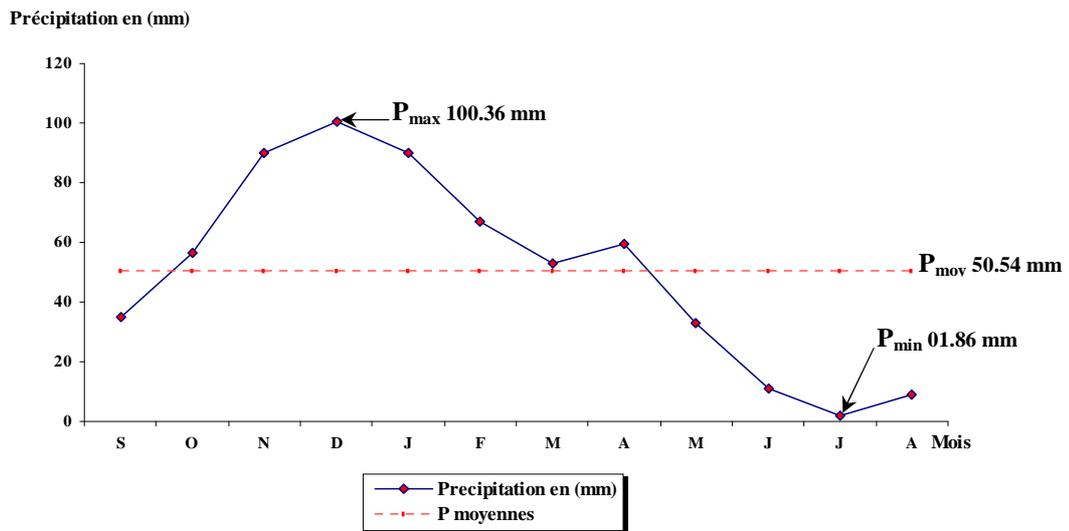
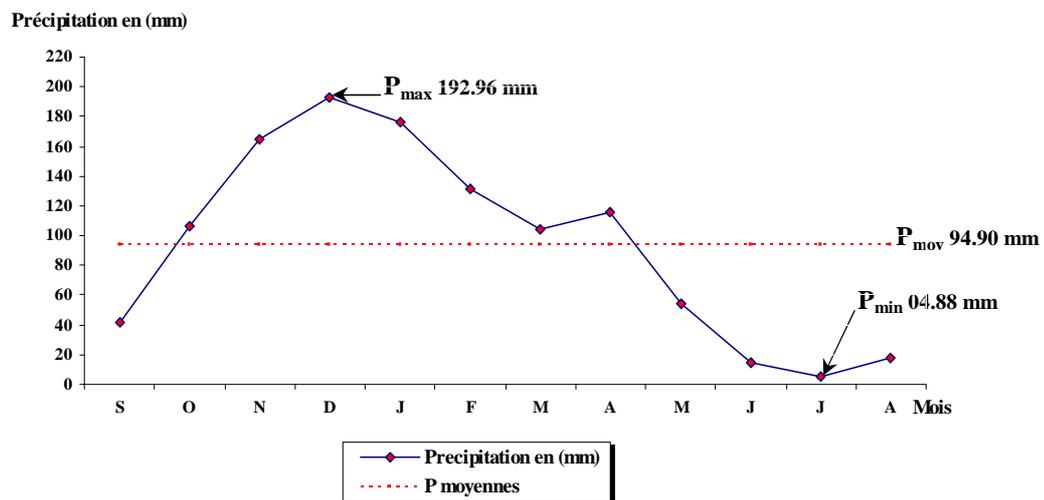


Fig. n° 12 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station de Séraïdi, 1976 – 2006)



Les trois graphes (fig. n° 10, 11 et 12) ont presque la même allure. Un maximum est toujours enregistré au mois de décembre et un minimum qui marque le mois de juillet. Nous avons constaté aussi que les courbes présentent une symétrie par rapport à l'axe verticale passant par le mois d'avril et coïncide avec la droite de la moyenne des précipitations.

I-1-2- Précipitations moyennes annuelles :

Le tableau n° 03 : regroupe les moyennes des hauteurs des précipitations annuelles observées sur une période allant de 1976/1977 à 2005/2006 soit 30 ans d'observation.

Pour calculer les précipitations moyennes annuelles, on va calculer la somme des précipitations (P) de chaque année et diviser sur la somme des années :

Station	Précipitation moyenne annuelle en (mm)
Les Saline	679.38
Pont Bouchet	606.45
Séraïdi	1124.80

Tableau n° 03 : Précipitations moyennes annuelles en (mm)
(Stations des salines, Pont Bouchet, et la station du Séraïdi, 1976-2006).

I-1-3- Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles :

L'étude des variation des précipitations en fonction du temps de la station des Salines montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2004/2005) avec 987.70 mm/an, et l'année la plus sèche (1996/1997) avec 422.80 mm/an.

Pour la station de Pont Bouchet, l'étude des variations des précipitations en fonction du temps montre aussi une grande différence entre l'année la plus arrosée (2004/2005) avec 940.30 mm/an, et l'année la plus sèche (1987/1988) avec 366.10 mm/an.

Pour la station de Séraïdi, l'étude des variations des précipitations en fonction du temps montre aussi une grande différence entre l'année la plus arrosée (2004/2005) avec 1602.23 mm/an, et l'année la plus sèche (1996/1997) avec 737.80 mm/an.

Les moyennes des précipitations dans les trois stations ainsi que leurs maximum et minimum sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Station	Station des Salines		Station de Pont Bouchet		Station de Séraïdi	
	1996/1997	2004/2005	1987/1988	2004/2005	1996/1997	2004/2005
Sep	27.00	81.00	22.20	58.60	49.90	41.83
Oct	41.00	21.00	34.50	15.50	93.50	23.00
Nov	45.00	179.60	60.90	187.40	130.80	369.40
Dec	63.00	185.00	10.20	166.00	94.50	253.00
Jan	61.00	135.90	67.90	130.60	169.10	249.80
Fev	49.00	179.50	57.70	159.00	40.00	274.20
Mar	43.10	61.00	36.40	51.50	29.90	132.60
Avr	33.00	123.20	15.80	142.20	70.40	189.80
Mai	06.00	10.00	29.50	07.60	07.50	11.50
Jui	33.70	03.40	30.30	07.30	43.60	04.80
Jut	00.00	01.10	00.70	01.10	00.30	08.20
Aut	21.00	07.00	00.00	13.50	8.30	44.10
Totale	422.80	987.70	366.10	940.30	737.80	1602.23

Tableau n° 04 : Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles en (mm) (Stations des Salines, Pont Bouchet, et Séraïdi).

Fig. n° 13 : Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles Station des Salines (1976 – 2006)

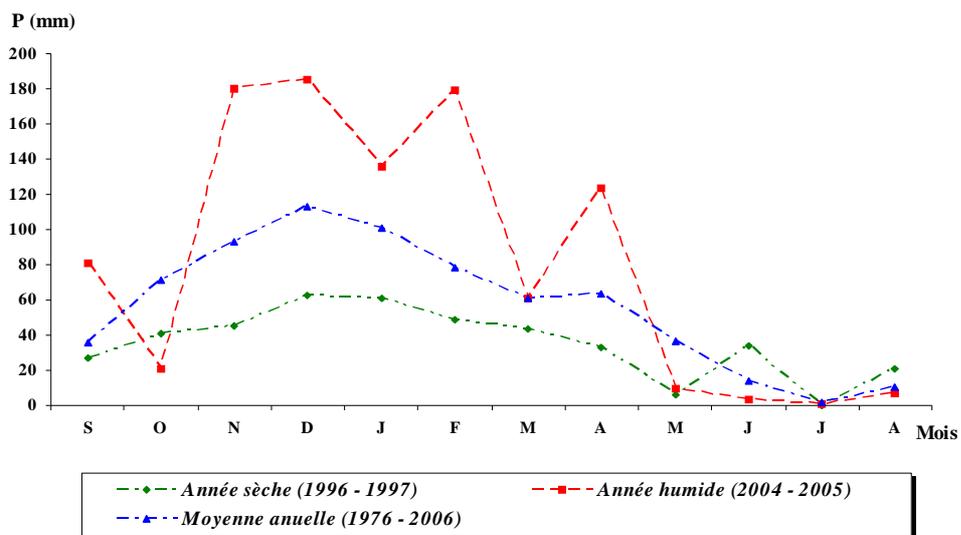


Fig. n° 14 : Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles
Station de Pont Bouchet (1976 – 2006)

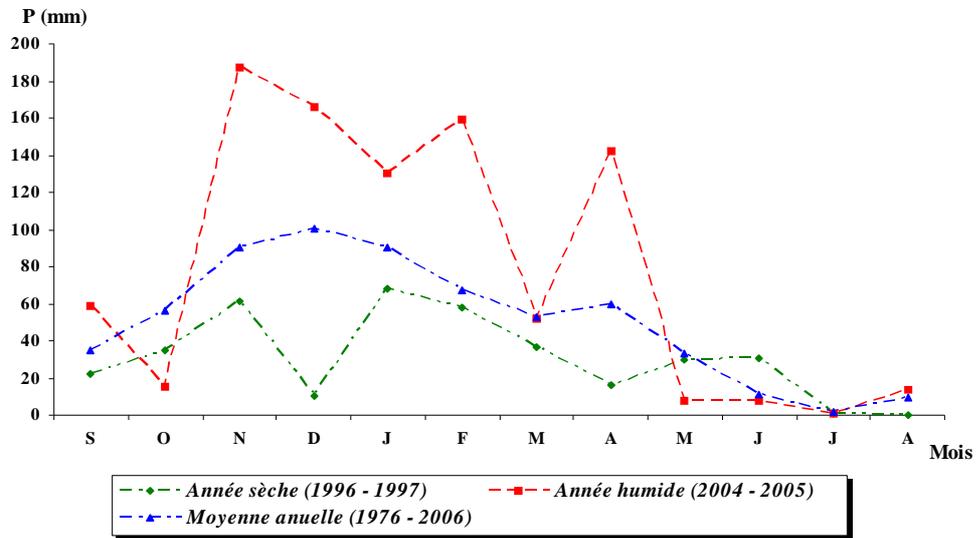
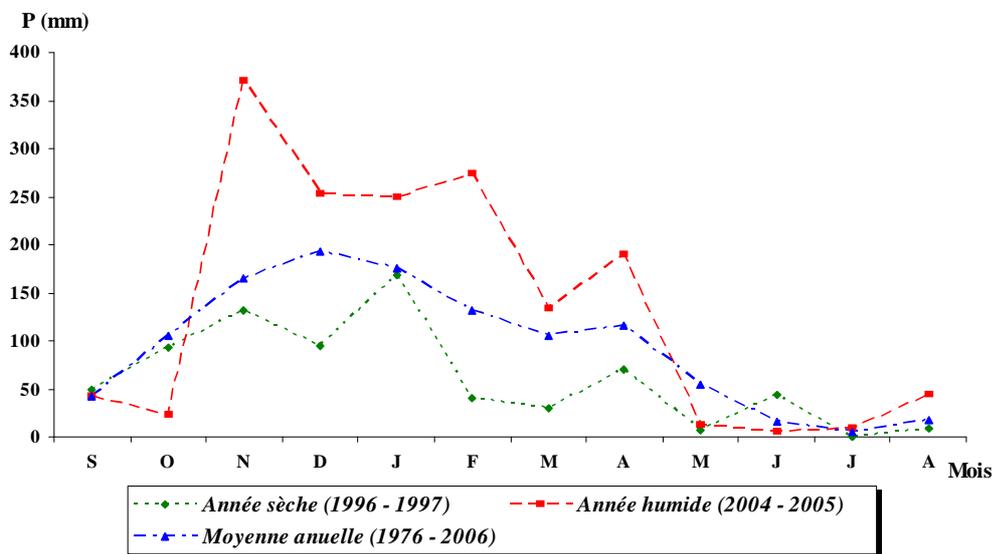


Fig. n° 15 : Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles
Station de Séraïdi (1976 – 2006)



I-1-4- Précipitation inter annuelles et leur variabilité :

- Coefficient pluviométrique (H) :

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne \bar{P} pour une période de n années (30 ans).

$$H = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec :

H : Coefficient pluviométrique.

P : Hauteur annuelle des pluies en mm.

\bar{P} : Pluviométrie moyenne en mm.

Les tableaux ci-dessous montrent les variations de H au cours des années pendant 30 ans d'observation :

Les Stations	Station des Salines			Station de Pont Bouchet			Station de séraïdi		
Année hydrogéologique	Hauteur annuelle de pluies P (mm)	Pluviométrie moyenne \bar{P} en (mm)	Coefficient pluviométrique H	Hauteur annuelle de pluies P (mm)	Pluviométrie moyenne \bar{P} en (mm)	Coefficient pluviométrique H	Hauteur annuelle de pluies P (mm)	Pluviométrie moyenne \bar{P} en (mm)	Coefficient pluviométrique H
1976-1977	759.00	679.38	01.12	707.50	606.45	01.16	783.42	1124.80	00.70
1977-1978	544.00		00.80	457.50		00.75	871.70		00.77
1978-1979	679.00		00.99	589.20		00.97	1127.30		01.00
1979-1980	609.20		00.89	520.30		00.85	941.90		00.84
1980-1981	633.00		00.93	542.90		00.89	1012.40		00.90
1981-1982	760.40		01.12	665.40		01.09	1066.80		00.95
1982-1983	678.10		00.99	526.20		00.86	1027.90		00.91
1983-1984	937.80		01.38	824.60		01.36	1176.40		01.04
1984-1985	927.00		01.36	909.20		01.49	1458.90		01.30
1985-1986	543.00		00.79	433.70		00.71	1018.56		00.90
1986-1987	909.30		01.34	737.40		01.21	1381.00		01.23
1987-1988	491.00		00.72	366.10		00.60	755.10		00.67
1988-1989	557.00		00.82	487.80		00.80	779.00		00.69
1989-1990	535.00		00.79	489.50		00.80	760.20		00.67
1990-1991	689.30		01.01	652.80		01.07	1453.40		01.30
1991-1992	684.60		01.01	622.90		01.02	1494.40		01.33
1992-1993	644.10		00.95	632.10		01.04	1067.70		00.95
1993-1994	519.70		00.76	488.80		00.80	996.00		00.88
1994-1995	548.30		00.81	531.70		00.87	1095.00		00.97
1995-1996	807.00		01.19	726.80		01.19	1476.40		01.31
1996-1997	422.80		00.62	389.50		00.64	737.80		00.65
1997-1998	941.00		01.38	748.60		01.23	1518.20		01.35
1998-1999	841.00		01.24	687.30		01.13	1219.60		01.08
1999-2000	559.60		00.82	470.50		00.77	1113.00		00.99
2000-2001	550.70		00.81	521.40		00.85	992.00		00.88
2001-2002	460.30		00.68	411.50		00.67	827.10		00.73
2002-2003	842.10		01.24	933.60		01.53	1400.99		01.24
2003-2004	708.00		01.04	641.80		01.05	1305.40		01.16
2004-2005	987.70		01.45	940.30		01.55	1602.23		01.42
2005-2006	612.50		00.90	536.50		00.88	1284.10		01.14

Tableau n° 05 : Coefficient pluviométrique des stations des Salines, Pont Bouchet et Séraïdi (1976-2006).

Fig. n° 16 : Evolution des précipitation annuelles de la Station des Salines (1976 – 2006)

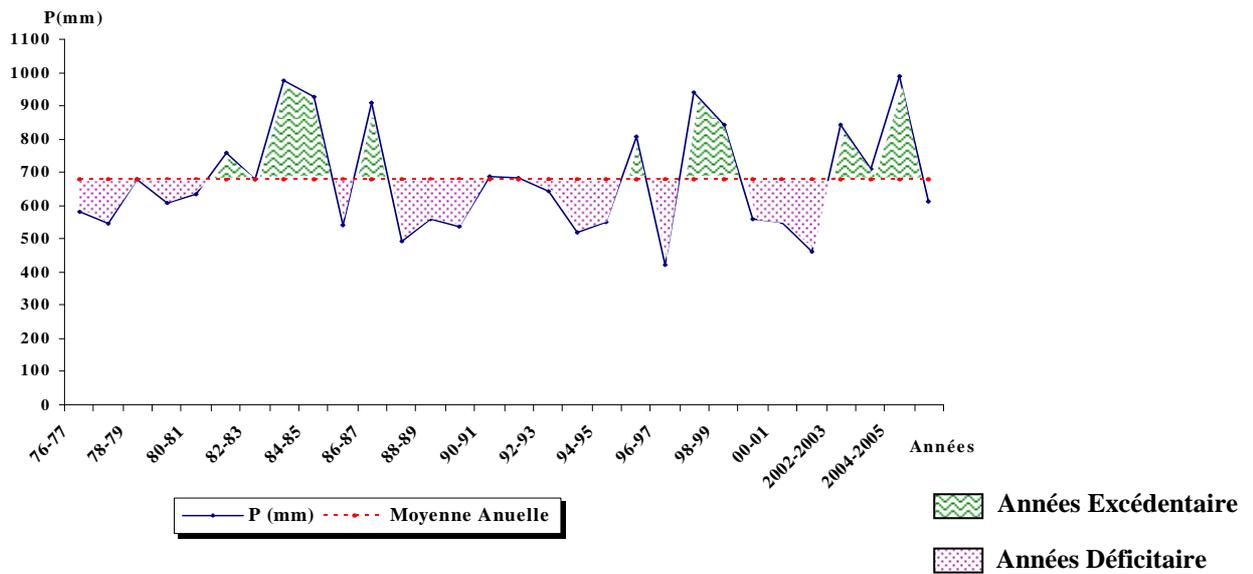


Fig. n° 17 : Evolution des précipitation annuelles de la Station de Pont Bouchet (1976 – 2006)

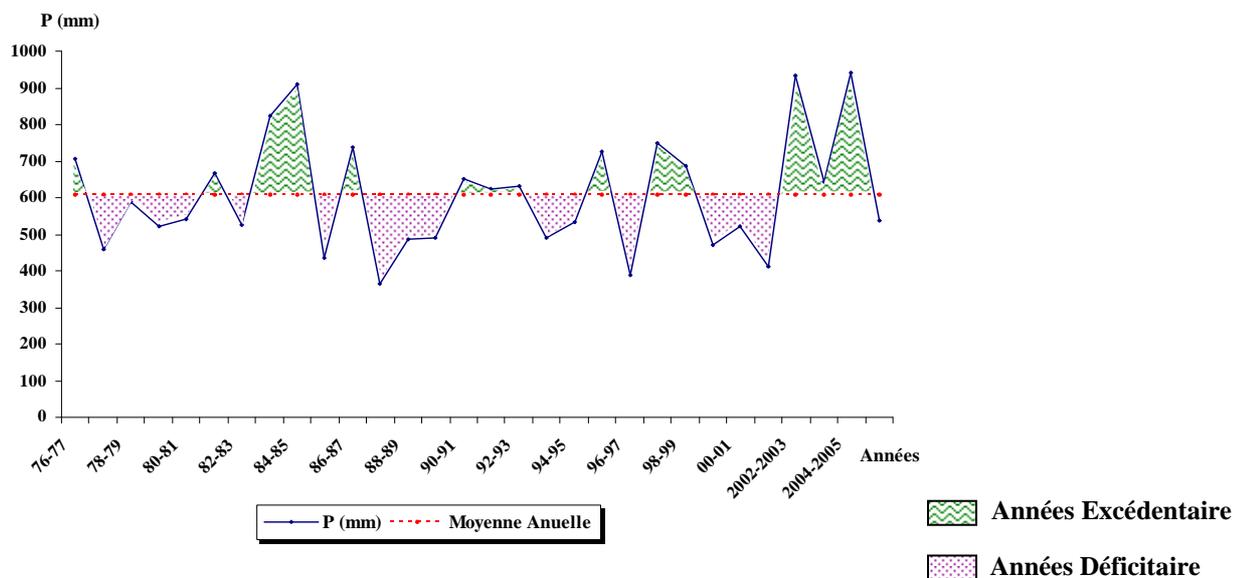
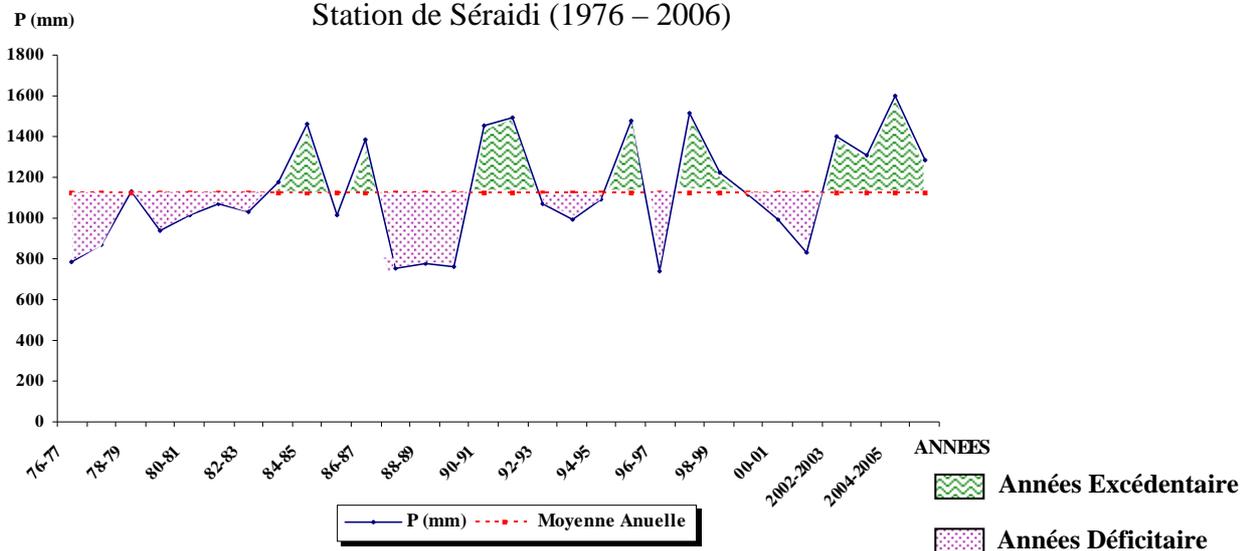


Fig. n° 18 : Evolution des précipitation annuelles de la Station de Séraïdi (1976 – 2006)



Les figures n° 16, 17 et 18, nous permet de bien illustrer l'évolutions des précipitations par rapport à la moyenne qui atteint au niveau de la station des salines 679.38 mm sur une période de 30 ans, à la station de Pont Bouchet elle est de l'ordre de 606.45 mm et à la station de Séraïdi elle est de l'ordre de 1124.80 mm. Les fluctuations que fait les courbes par rapport à la moyenne nous indiquent les années excédentaires et déficitaires.

L'année est d'autant plus excédentaire que H est supérieur à l'unité ($H > 1$) et si ($H < 1$) l'année correspondante est déficitaire, comme montre le tableau suivant :

Station des Saline				Station de Pont Bouchete				Station de Séraïdi			
Année Excédentaire	H	Année Déficitaire	H	Année Excédentaire	H	Année Déficitaire	H	Année Excédentaire	H	Année Déficitaire	H
1976/1977	1.12	1977/1978	0.80	1976/1977	1.16	1977/1978	0.75	1978-1979	01.00	1976-1977	00.70
1981/1982	1.12	1978/1979	0.99	1981/1982	1.09	1978/1979	0.97	1983-1984	01.04	1977-1978	00.77
1983/1984	1.38	1979/1980	0.89	1983/1984	1.36	1979/1980	0.85	1984-1985	01.30	1979-1980	00.84
1984/1985	1.36	1980/1981	0.93	1984/1985	1.49	1980/1981	0.89	1986-1987	01.23	1980-1981	00.90
1986/1987	1.34	1982/1983	0.99	1986/1987	1.21	1982/1983	0.86	1990-1991	01.30	1981-1982	00.95
1990/1991	1.01	1985/1986	0.79	1990/1991	1.07	1985/1986	0.71	1991-1992	01.33	1982-1983	00.91
1991/1992	1.01	1987/1988	0.72	1991/1992	1.02	1987/1988	0.60	1995-1996	01.31	1985-1986	00.90
1995/1996	1.19	1988/1989	0.82	1992/1993	1.04	1988/1989	0.80	1997-1998	01.35	1987-1988	00.67
1997/1998	1.38	1989/1990	0.79	1995/1996	1.19	1989/1990	0.80	1998-1999	01.08	1988-1989	00.69
1998/1999	1.24	1992/1993	0.95	1997/1998	1.23	1993/1994	0.80	2002-2003	01.24	1989-1990	00.67
2002/2003	1.24	1993/1994	0.76	1998/1999	1.13	1994/1995	0.87	2003-2004	01.16	1992-1993	00.95
2003/2004	1.04	1994/1995	0.81	2002/2003	1.53	1996/1997	0.64	2004-2005	01.42	1993-1994	00.88
2004/2005	1.45	1996/1997	0.62	2003/2004	1.05	1999/2000	0.77	2005-2006	01.14	1994-1995	00.97
--	-	1999/2000	0.82	2004/2005	1.55	2000/2001	0.85	--	-	1996-1997	00.65
--	-	2000/2001	0.81	-	-	2001/2002	0.67	--	-	1999-2000	00.99
--	-	2001/2002	0.68	-	-	2005/2006	0.88	--	-	2000-2001	00.88
--	-	2005/2006	0.90	-	-	-	-	--	-	2001-2002	00.73
--	-	--	-	-	-	-	-	--	-	--	-
--	-	--	-	-	-	-	-	--	-	--	-
--	-	--	-	-	-	-	-	--	-	--	-

Tableau n° 06 : Les années excédentaires et déficitaires des stations des Saline, Pont Bouchet et Séraïdi (1976-2006).

Les figures n° 19, 20 et 21, nous confrontons le coefficient pluviométrique avec les précipitations annuelles, afin de bien visualiser la répartition des années humide et des années sèches sur la période d'observation.

Fig. n° 19 : Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station des Salines (1976 – 2006)

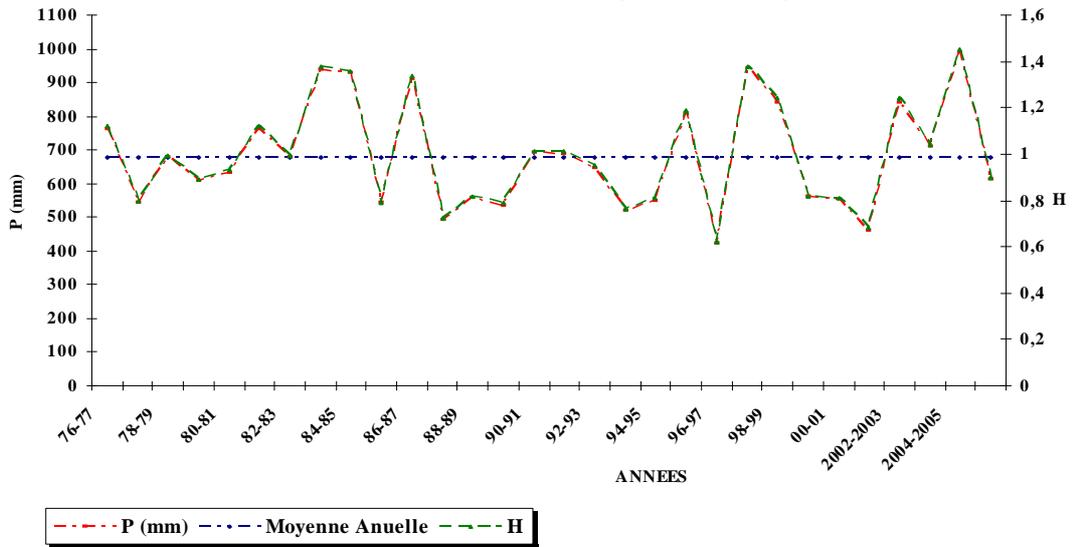


Fig. n° 20 : Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station de Pont Bouchet (1976 – 2006)

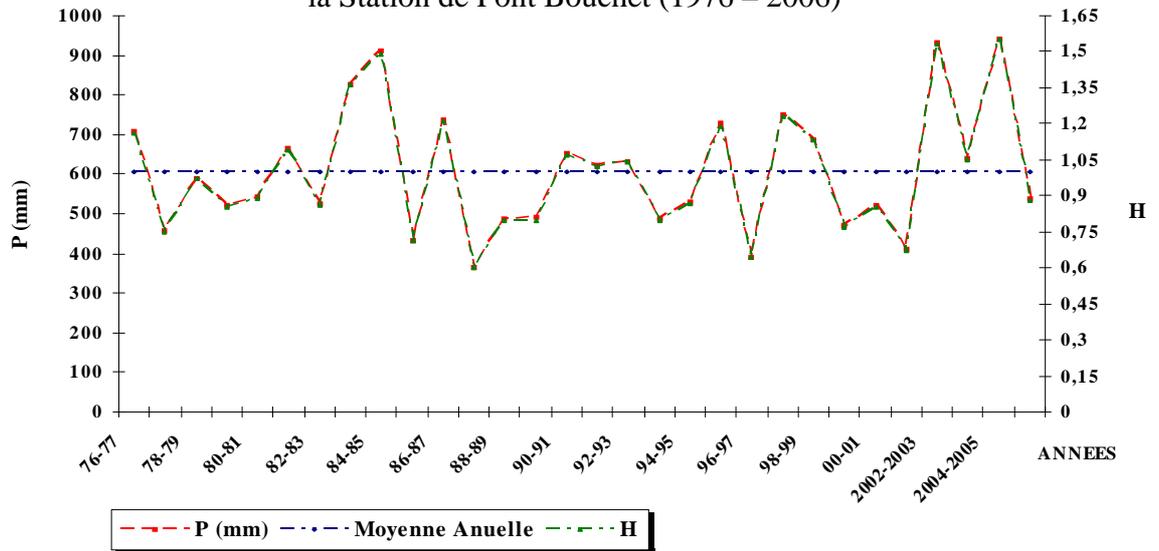
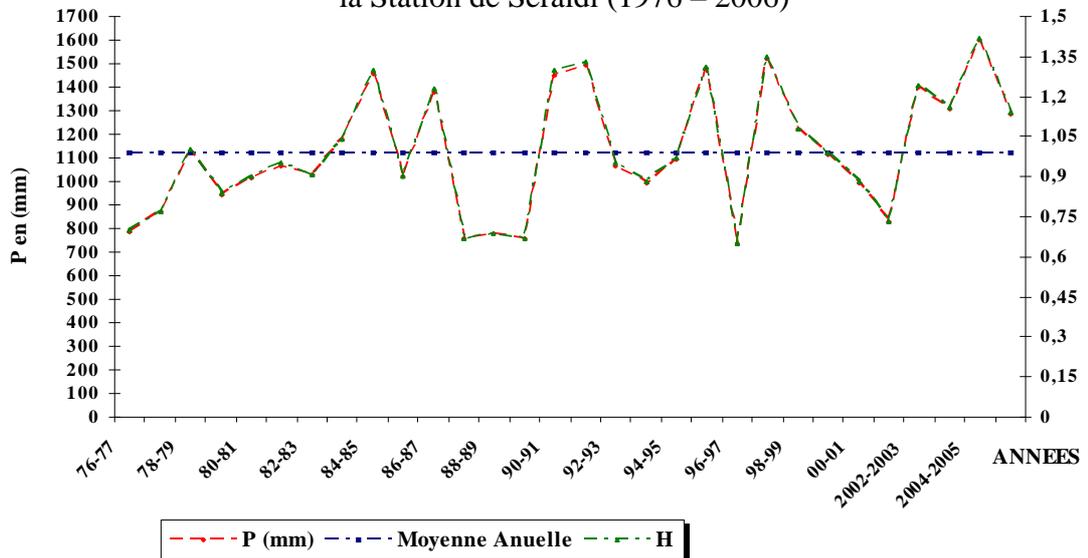


Fig. n° 21 : Variation du coefficient pluviométrique avec les précipitations de la Station de Séraïdi (1976 – 2006)



I-1-5- Répartition saisonnières des précipitations :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (automne : S O N, l'hiver : D J F, printemps : M A M, été : J J A).

Le tableau ci-dessous montre la répartition saisonnière des précipitations.

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Station	P mm		%	P mm		%	P mm		%	P mm		%
Les Salines	199.58		29.38	292.56		43.06	160.90		23.68	26.33		3.88
Pont Bouchet	181.52		29.94	257.27		42.43	145.52		23.99	22.06		3.64
Séraïdi	312.31		27.77	499.78		44.43	275.04		24.45	37.67		3.35

Tableau n° 07 : Répartition saisonnière des précipitations dans les trois stations (Les Salines, Pont Bouchet et Séraïdi, 1976 – 2006)

En observant le tableau ci-dessus, nous remarquons que la saison hivernale est la plus pluvieuse dans la région, où il tombe en moyenne de 257.27 mm à 499.78 mm soit environ 44.5 % des pluies totales annuelles.

L'automne et le printemps sont les saisons où la pluviométrie est moyenne variant de 145.52 mm à 312.31 mm soit 23 % à 30 % des pluies totales annuelles.

Reste l'été qui la saison la plus sèche ou la pluviométrie est faible allant de 22 mm à 37.67 mm, soit 3.35 % à 3.88 % de la totalité des pluies.

Due aux faibles dilutions, l'été est la saison pendant laquelle nous pouvons avoir les plus fortes pollutions.

I-1-6- L'humidité et le vent :

I-1-6-a- L'humidité : L'humidité relative de l'air montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeurs réelles observées à la tension de vapeur saturante à la même température.

Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50 %.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	76	78.5	78	77	79	75.5	75.75	75	75	75	75	74.5

Tableau n° 08 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station des Salines en % (1976 – 2005)

I-1-6-b- Le Vent : le vent est l'un des éléments les plus déterminant des régimes pluviaux, de l'évapotranspiration et par conséquent du climat.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	76	78.5	78	77	79	75.5	75.75	75	75	75	75	74.5

Tableau n° 09 : Vitesse du vent en m/s à la station des Salines en % (1976 – 2005)

I-2- Régime thermique :

Le paramètre de la température est indisponible en climatologie, vu qu'il rend compte de son apport d'énergie à la végétation, de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et enfin, qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

I-2-1- Etude des températures :

La température est un facteur très important régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les données températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des trois stations (les Saline, Pont Bouchet et Séraïdi), sur une période de 30 ans (1976/1977-2005/2006).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aut	Moy
Les salines	22.92	19.70	15.45	13.03	11.60	11.83	13.27	15.05	18.21	21.85	25.19	25.65	17.81
Pont Bouchet	22.92	19.70	15.45	13.03	11.60	11.83	13.27	15.05	18.21	21.85	25.19	25.65	17.81
Séraïdi	20.77	16.66	11.69	08.68	07.84	08.14	10.41	12.40	16.72	21.06	24.29	23.97	15.22

Tableau n° 10 : Températures moyennes mensuelles en (°C)
De station des Saline, Pont Bouchet (1976-2006).

NB : Les valeurs des températures pour les deux station (les Salines et Pont Bouchet) sont les même.

Fig. n° 22 : Variation des températures moyennes mensuelles
(Station des Salines et Pont Bouchet, 1976 – 2006)

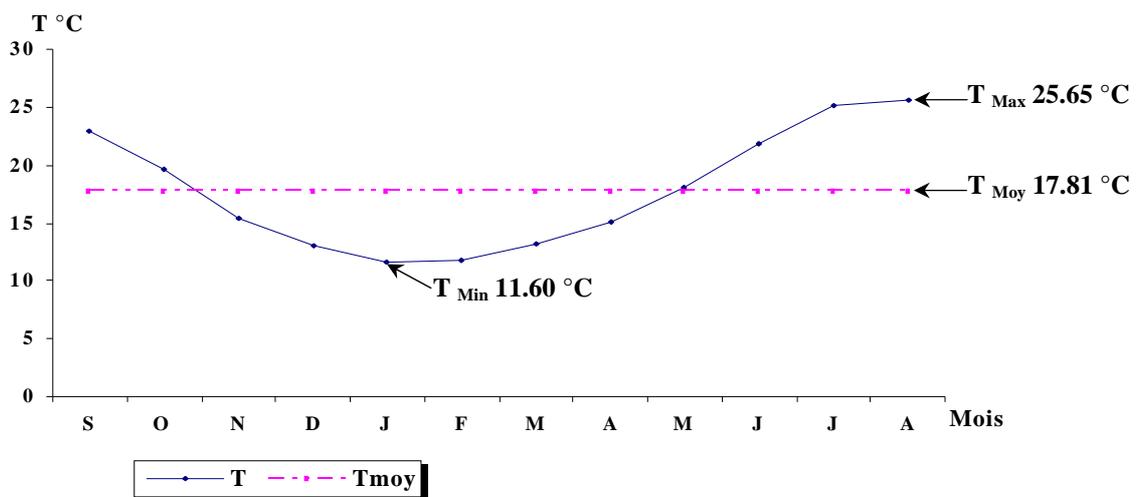
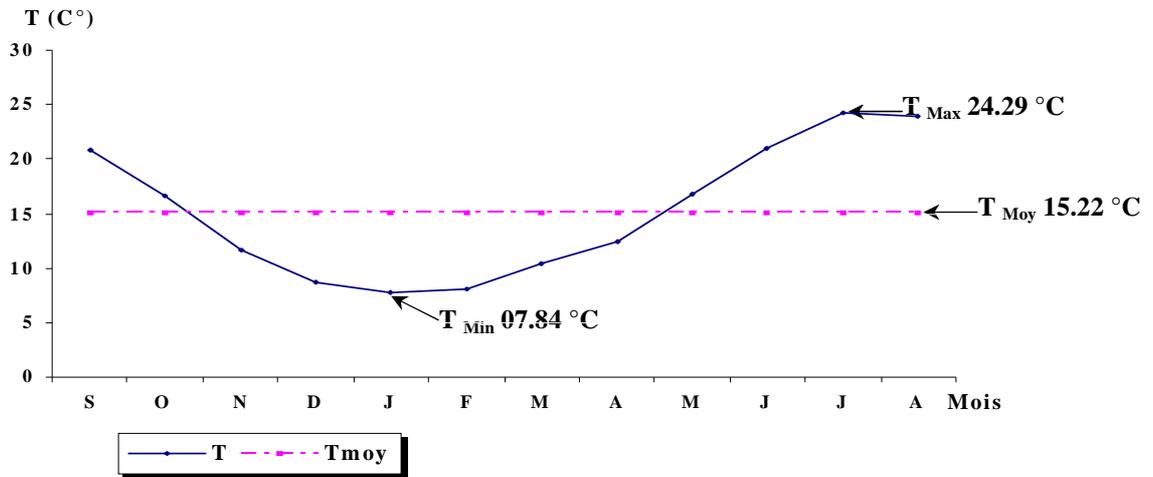


Fig. n° 23 : Variation des températures moyennes mensuelles
(Station de Séraïdi. 1976 – 2006)



D'après les deux graphes (fig. n° 22 et 23), nous remarquons que le maximum des températures est enregistré au mois d'août de l'ordre de 25.65 °C, pour les deux stations (les Salines et Pont Bouchet) et au mois de juillet de l'ordre de 24.29 °C pour la station de Séraïdi, et le minimum au mois de janvier de l'ordre de 11.60 °C, pour les deux stations (les Salines et Pont Bouchet) et de l'ordre de 07.84 °C pour la station de Séraïdi. Avec une moyenne de l'ordre de 17.81 °C, pour les deux stations (les Salines et Pont Bouchet) et une moyenne de l'ordre de 15.22 °C, pour la station de Séraïdi.

I-2-2- Diagramme pluviométrique (Courbe de Gaussen et Bagnouls $P = 2T$) :

Le diagramme pluviométrique résulte de la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes pour déterminer les saisons sèches et humides.

D'après ces diagrammes mentionnés en (fig. n° 24, 25, 26) on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- une période sèche et chaude qui s'étend du début du mois mai (18.21 °C au Salines et Pont Bouchet, et 16.72 °C à Séraïdi), jusqu'au mois d'octobre (22.92 °C au Salines et Pont Bouchet, et 20.77 °C à Séraïdi).
- une période humide qui s'étale du début du mois de novembre jusqu'au mois d'avril (11.83 °C au Saline et Pont Bouchet, et 08.14 °C à Séraïdi).

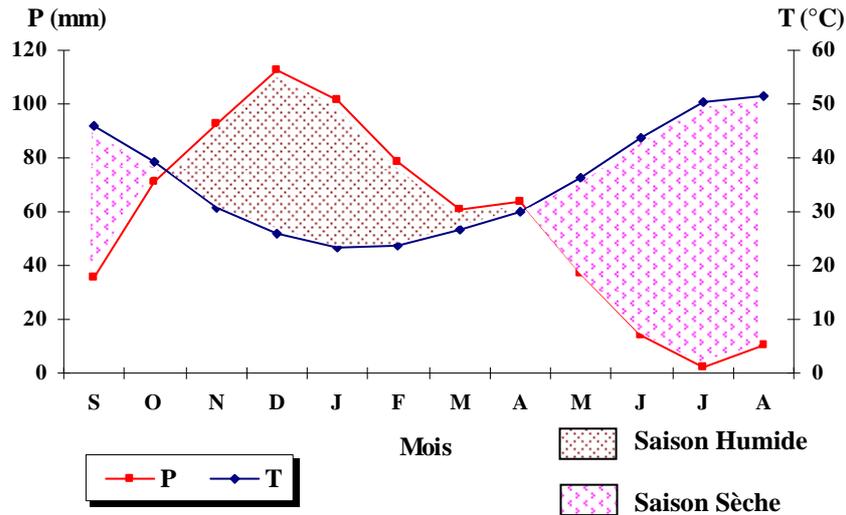


Fig. n° 24 : Diagramme Pluviométrique de la station (des Salines, 1976 – 2006)

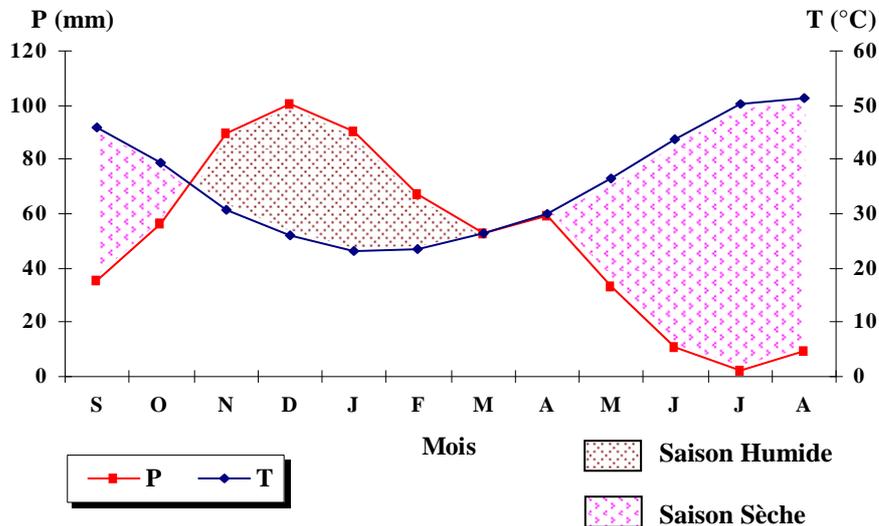


Fig. n° 25 : Diagramme Pluviométrique de la station (de Pont Bouchet, 1976 – 2006)

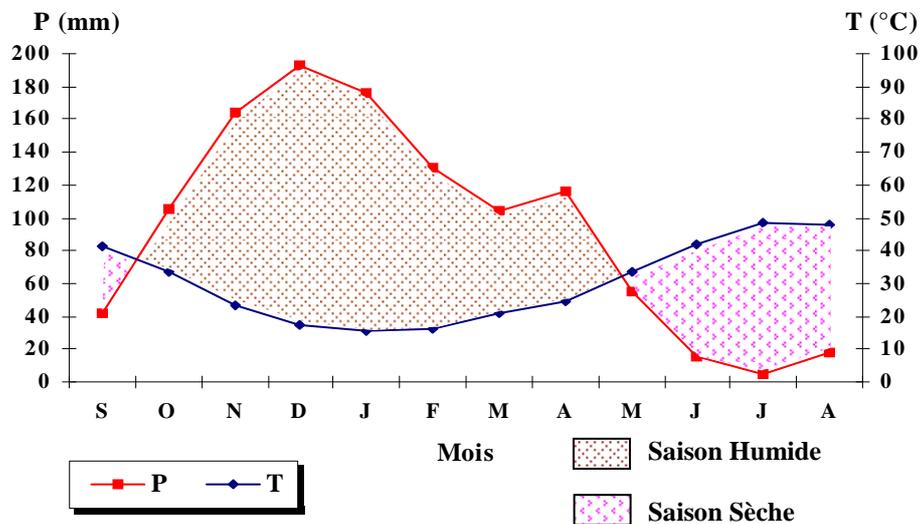


Fig. n° 26 : Diagramme Pluviométrique de la station (de Séraïdi, 1976 – 2006)

I-2-3- Détermination du type de climat (Indice de De Martonne) :

Pour la détermination du type de climat De Martonne (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

$$A = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

A : Indice d'aridité annuelle

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm)

T : Températures moyennes annuelles en (°C)

Selon De Martonne :

- $A < 5$: le climat est hyper aride.
- $5 < A < 10$: le climat est très sec.
- $10 < A < 20$: le climat est sec.
- $20 < A < 30$: le climat est tempère.
- $A > 30$: le climat est humide (écoulement abondant).

Notre cas :

Pour la station des Salin :

$$A = \frac{679.38}{17.81+10} = 24.43$$

$$A = 24.43$$

* $A = 24.43 \Rightarrow 20 < A < 30 \Rightarrow$ le climat est tempère.

Pour la station de Pont Bouchet :

$$A = \frac{606.45}{17.81+10} = 21.81$$

$$A = 21.81$$

* $A = 21.81 \Rightarrow 20 < A < 30 \Rightarrow$ le climat est tempère.

Pour la station de Séraïdi :

$$A = \frac{1124.8}{15.22+10} = 44.60$$

$$A = 44.60$$

Les résultats de l'indice d'aridité calculés concernant la zone d'étude indiquent un climat tempéré.

II- Le bilan hydrique :

L'établissement du bilan d'eau d'une région nécessite l'évaluation de la répartition des précipitations entre les composantes suivantes :

- l'écoulement.
- L'infiltration.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR).

II-1- L'évapotranspiration :

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul terme : L'évapotranspiration.

L'évapotranspiration est la plus importante des paramètres, c'est la somme des quantités d'eau exprimées en mm évaporées par la surface du sol et utilisées par les plantes.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

II-1-1- L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimée en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantité d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, on utiliser la formule de Thornthwaite.

- Formule de Thornthwaite :

C.W Thornthwaite a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, il définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times K$$

Où :

$$I = \sum_1^{12} i \Rightarrow i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle (1976-2006) en °C.

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement mensuel dont les valeurs sous nos climats tempérés.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aout
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24

Tableau n° 11 : Valeur de K sous climats tempérés.

II-1-2- L'évapotranspiration réelle (ETR) :

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Turc.
- Formule de Coutagne.

a)- Formule de Thornthwaite : (voir le tableau n° 18, 19 et 20).

b)- Formule de Turc :

La Formule de L. Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne et tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

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

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

T : Températures moyennes annuelles en °C.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque le P devient grand.

Les valeurs de l'évapotranspiration calculées à partir de la formule de Turc pour les trois stations sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Station \ Paramètre	P (mm)	T °C	L	ETR (mm/a)
Les Saline	679.38	17.81	1027.71	587.55
Pont Bouchet	606.45	17.81	1027.71	542.82
Séraïdi	1124.80	15.22	856.78	694.44

Tableau n° 12 : Résultat de l'ETR par la méthode de Turc, pour les stations des Saline, Pont Bouchet et Séraïdi (1976-2006).

c)- Formule de Coutagne :

La Formule de Coutagne fait appel à deux paramètres indisponibles en climatologie, mais sous une autre procédure (formule) de calcul :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Avec :

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

NB : Cette formule n'est pas valable que si les précipitations sont comprises entre : $1/8\lambda < P < 1/2\lambda$.

Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour les trois stations (voir tableau n° 13).

Station \ Paramètre	P (mm)	P (m)	T °C	λ	ETR (m/a)	ETR (mm)
Les Saline	679.38	0.679	17.81	0.30	0.54091	540.91
Pont Bouchet	606.45	0.606	17.81	0.30	0.49613	496.13
Séraidi	1124.80	1.124	15.22	0.34	0.69445	694.45

Tableau n° 13 : ETR selon la méthode de Coutagne.

Comparaison :

L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes pour enfin de compte aboutir à une meilleure approche à l'estimation de l'ETR (tableau n° 12). Ce qui par la suite fera ressortir la formule qui est mieux appropriée à notre région d'étude. Etant donné que les formules élaborées chacun en un lieu différent.

Il est clair que la formule de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel.

L'ETR est surestimée pour tous les mois de l'année avec la méthode de Turc. Par ailleurs, Thornthwaite et Coutagne présente des résultats assez convaincants (donnent des valeurs très proches pour l'ETR).

Pour clore notre analogie, la méthode de Thornthwaite s'avère la plus efficace, en plus de la similitude des circonstances dans lesquelles elle a été émise, avec notre région d'étude, elle admet un coefficient de correction K.

Pratiquement il y a une grande différence entre les résultats des trois stations.

Station \ Méthodes	Les Saline	Pont Bouchet	Séraidi
Thornthwaite	455.36	432.88	453.11
Turc	587.55	542.82	694.44
Coutagne	540.91	496.13	694.45

Tableau n° 14 : Corrélation des climats en (mm).

II-2- Le ruissellement :

Pour déterminer le bilan hydrique, il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre. Le coefficient de ruissellement, noté (R) est calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff.

Où :

$$R = \left(\frac{P^3}{3(ETP)^2} \right)$$

Avec :

R : ruissellement en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

NB : Cette formule est valable pour les stations où les précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas 600 mm.

- Si la précipitation (P) est supérieure à 600 mm, on utilise la formule suivante :

$$R = P^3 / 3 \text{ (Formule de Romantchouk).}$$

Les valeurs de ruissellement calculées pour les trois stations sont notées dans le tableau suivant :

Station \ Paramètre	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
Les Saline	679.38	895.90	130.23	19.17
Pont Bouchet	606.45	895.90	92.63	15.27
Séraïdi	1124.80	845.76	663.15	58.96

Tableau n° 15 : Ruissellement selon la formule de Tixeront-Berkaloff.

II-3- L'infiltration :

L'infiltration, élément très important du bilan hydrologique, est définie comme étant le mouvement de l'eau dans un sol en passant par la surface.

L'infiltration dépende de plusieurs facteurs, les plus significatifs sont :

- la nature du sol (texture et composition granulométrique).
- La perméabilité et la porosité du sol.
- La couverture végétale.
- L'état hygroscopique initial du sol.

On a le bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

P : Précipitation moyenne mensuelle en (mm)

R : Ruissellement en (mm).

I : L'infiltration en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle d'après la formule de Thornthwaite en (mm).

NB : * Si $I > 0$: les entrées sont supérieures aux sorties.

* Si $I < 0$: les entrées sont inférieures aux sorties.

Station \ Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Les Saline	679.38	455.36	130.23	93.79
Pont Bouchet	606.45	432.88	92.63	80.94
Séraïdi	1124.80	453.11	663.15	8.54

Tableau n° 16 : Estimation de l'infiltration en (mm).

II-4- Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite :

La connaissance plus ou moins parfaite des éléments du bilan hydrique d'un bassin versant, est une opération très importante en hydrologie, car elle permet l'estimation des réserves naturelles des aquifères.

Le bilan hydrique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface, il tient compte de :

P : précipitation brute moyenne mensuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

I : L'infiltration efficace atteignant les eaux souterraines en (mm).

R : Ruissellement qui rejoint l'oued en (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable (le RFU = 100 mm pour les trois station).

- Pour le calcul du bilan d'eau, la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du sol.

- Le sol de la région étudiée étant hétérogène, nous avons estimé les valeurs de la RFU selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

$$RFU = \frac{C-f}{100} \times H \times D + 30 \quad (mm)$$

Avec :

RFU : Réserve en eau du sol en (mm).

C : Capacité au champ.

f : Capacité au point de flétrissement.

H : profondeur du sol en (mm).

D : densité apparente, D = 1.

- Les valeurs de C - f donnée par Hallaire selon la nature du sol sont :

* C - f = 5 % pour un sol sableux.

* C - f = 10 % à 15 % limoneux.

* C - f = 20 % pour un sol argilo-sableux.

Le tableau ci-dessous récapitule le résultat obtenu dans la région d'étude.

Secteurs	Caractéristiques pédologiques du sol et profondeur d'enracinement	RFU (mm)
La plaine de Annaba	* Sols Argilo-limoneux : C - f = 15 % * Profondeur moyenne d'enracinement : 450 mm	100

Tableau n° 17 : Estimation des valeurs de la RFU selon la formule de Hallaire (P. Brochet et al).

- Le bilan hydrique exprime donc le processus que peut suivre une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation, neige, ... etc. Avant de retourner à l'atmosphère.

On a aussi d'autres paramètres très importants pour le calcul du bilan hydrique :

Cl : Coefficient de latitude.

Ch : Coefficient hydrique.

D'après le calcul du bilan hydrique on peut connaître :

- BH : Bilan hydrique (des valeurs positives ou négatives). « BH = P - ETP »
- VR : Variation de la réserve ; qui détermine les quantités d'eau et leur variations au niveau de la réserve souterraine.
- RU : Réserve utile ; RU = VR accumulée, mais lorsqu'elle devient égale à la RFU = 100 mm, la quantité restante c'est l'excédent.
- DA : Déficit agricole, DA = ETP - ETR.

Les tableaux ci-dessous résument les bilans des eaux pour les trois stations de 1976 à 2006, établis selon la méthode de Thornthwaite :

	T(°C)	IT	CL	ETP _C	P(mm)	BH	VR	RU	ETR	Def	Exe
Sep	22.92	9.81	1.05	107.55	35.57	-71.98	00	00	35.57	71.98	00
Oct	19.70	7.82	0.91	70.66	71.24	0.58	00.58	0.58	70.66	00	00
Nov	15.45	5.43	0.75	22.31	92.77	70.46	70.46	71.04	22.31	00	00
Dec	13.03	4.21	0.70	25.51	112.83	87.32	28.96	100	25.51	00	58.36
Jan	11.60	3.53	0.73	21.50	101.29	79.79	00	100	21.50	00	98.79
Fev	11.83	3.64	0.78	23.82	78.44	54.62	00	100	23.82	00	54.62
Mar	13.27	4.32	1.02	38.43	60.80	22.37	00	100	38.43	00	22.37
Avr	15.05	5.22	1.15	54.55	63.42	08.87	00	100	54.55	00	08.87
Mai	18.21	6.95	1.32	88.75	36.68	-52.07	-52.07	47.93	88.75	00	00
Jui	21.85	9.13	1.33	124.82	13.96	-110.86	-47.93	00	61.89	62.93	00
Jut	25.19	11.31	1.33	161.94	02.14	-159.80	00	00	02.14	159.80	00
Aout	25.65	11.73	1.24	156.06	10.23	-145.83	00	00	10.23	145.83	00

Moy (T) = 17.81 °C

Som (ETR) = 455.36 mm

BH = - 216.53 mm

Som (ETP_C) = 895.90 mm

Som (Def) = 440.54 mm

Som (P) = 679.38 mm

Som (Exc) = 243.01 mm

**Tableau n° 18 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait
Pour la station des salines (1976-2006).**

	T(°C)	IT	CL	ETP _C	P(mm)	BH	VR	RU	ETR	Def	Exe
Sep	22.92	09.81	01.05	107.55	35.20	-72.35	00	00	35.20	72.35	00
Oct	19.70	07.82	00.91	70.66	56.50	-14.16	00	00	56.50	14.16	00
Nov	15.45	05.43	00.75	22.31	89.82	67.51	67.51	67.51	22.31	00	00
Dec	13.03	04.21	00.70	25.51	100.36	74.85	32.49	100	25.51	00	42.36
Jan	11.60	03.53	00.73	21.50	90.12	68.62	00	100	21.50	00	68.62
Fev	11.83	03.64	00.78	23.82	66.89	43.07	00	100	23.82	00	43.07
Mar	13.27	04.32	01.02	38.43	52.89	14.46	00	100	38.43	00	14.46
Avr	15.05	05.22	01.15	54.55	59.63	05.08	00	100	54.55	00	05.08
Mai	18.21	06.95	01.32	88.75	33.00	-55.75	-55.75	44.25	88.75	00	00
Jui	21.85	09.13	01.33	124.82	10.96	-113.86	-44.25	00	55.21	69.61	00
Jut	25.19	11.31	01.33	161.94	01.86	-160.08	00	00	01.86	160.08	00
Aout	25.65	11.73	01.24	156.06	09.24	-146.82	00	00	09.24	146.82	00

Moy (T) = 17.81 °C

Som (ETR) = 432.88 mm

BH = - 289.43 mm

Som (ETP_C) = 895.90 mm

Som (Def) = 463.02 mm

Som (P) = 606.45 mm

Som (Exc) = 173.59 mm

**Tableau n° 19 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait
Pour la station de Pont Bouchet (1976-2006).**

	T(°C)	IT	CL	ETP _c	P(mm)	BH	VR	RU	ETR	Def	Exe
Sep	20.77	08.47	01.05	99.65	41.94	-57.71	00	00	41.94	57.71	00
Oct	16.66	06.08	00.91	60.96	105.85	44.89	55.11	44.89	60.96	00	00
Nov	11.69	03.57	00.75	28.70	164.52	135.82	00	100	28.70	00	80.71
Dec	08.68	02.29	00.70	16.74	192.96	176.22	00	100	16.74	00	176.22
Jan	07.84	01.96	00.73	14.86	175.94	161.08	00	100	14.86	00	161.08
Fev	08.14	02.08	00.78	16.85	130.88	114.03	00	100	16.85	00	114.03
Mar	10.41	03.00	01.02	32.50	104.44	71.94	00	100	32.50	00	71.94
Avr	12.40	03.90	01.15	48.31	116.02	67.71	00	100	48.31	00	67.71
Mai	16.72	06.11	01.32	88.93	54.58	-34.35	-34.35	65.65	88.93	34.35	00
Jui	21.06	08.64	01.33	129.02	15.04	-113.98	-65.65	00	80.69	113.98	00
Jut	24.29	10.71	01.33	161.65	04.88	-156.77	00	00	04.88	156.77	00
Aout	23.97	10.50	01.24	147.59	17.75	-129.84	00	00	17.75	129.84	00

Moy (T) = 15.22 °C

Som (ETR) = 453.11 mm

BH = 279.04 mm

Som (ETP_c) = 845.76 mm

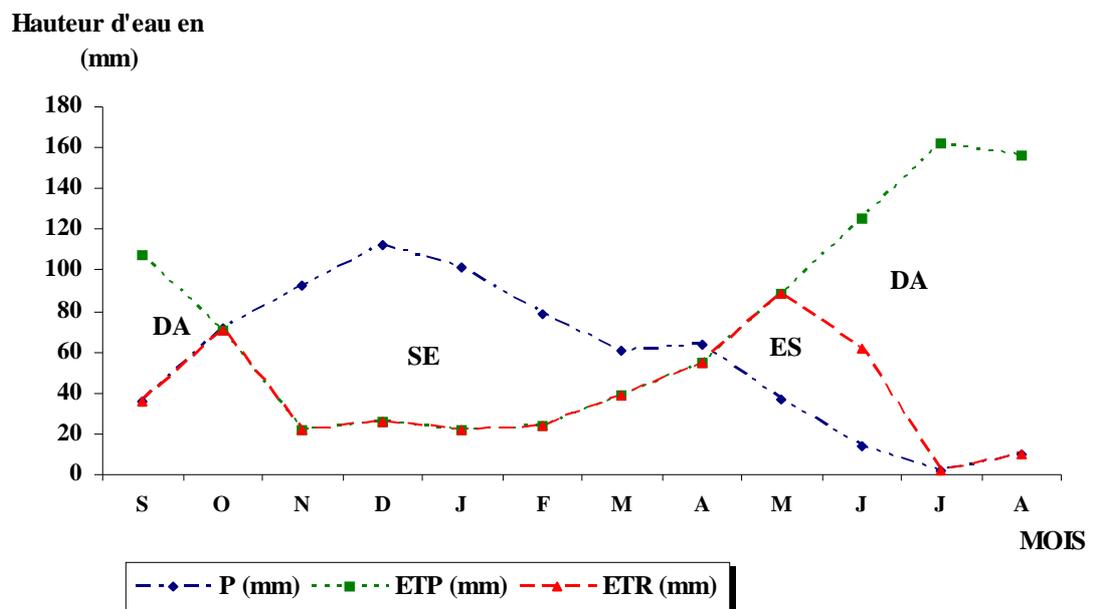
Som (Def) = 492.65 mm

Som (P) = 1124.80 mm

Som (Exc) = 671.69 mm

Tableau n° 20 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W Thornthwait
Pour la station de Séraïdi (1976-2006).

Fig. n° 27 : Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE)
Station des Salines (1976 – 2006)



DA : Dificite Agricole
 ES : Epuisement de stock
 SE : Surplus d'eau
 RES : Recharge du sol

Fig. n° 28 : Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE)
Station de Pont Bouchet (1976 – 2006)

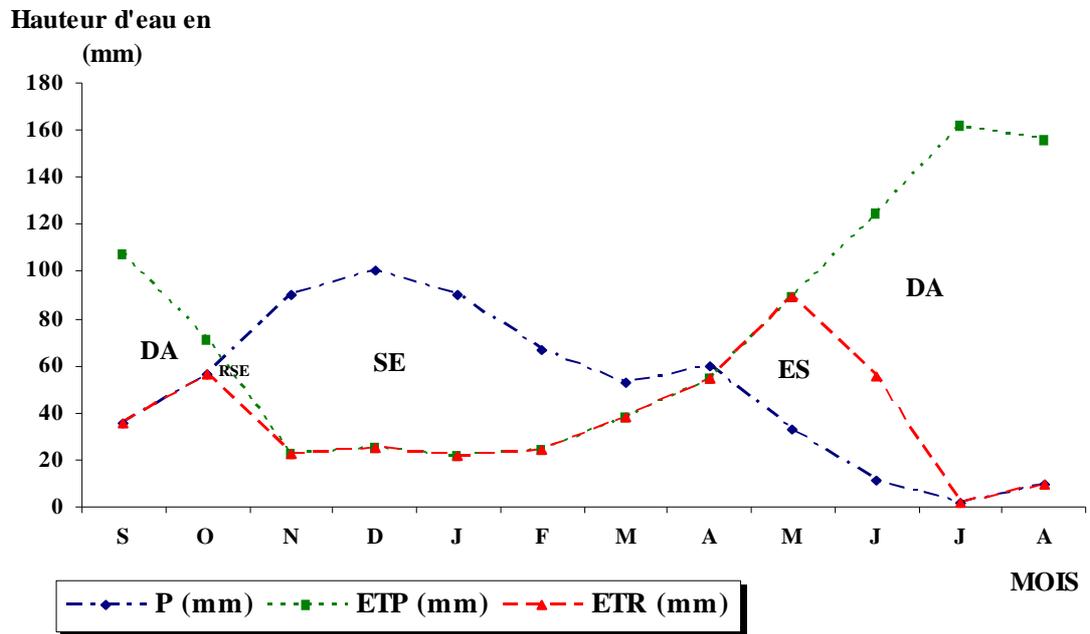
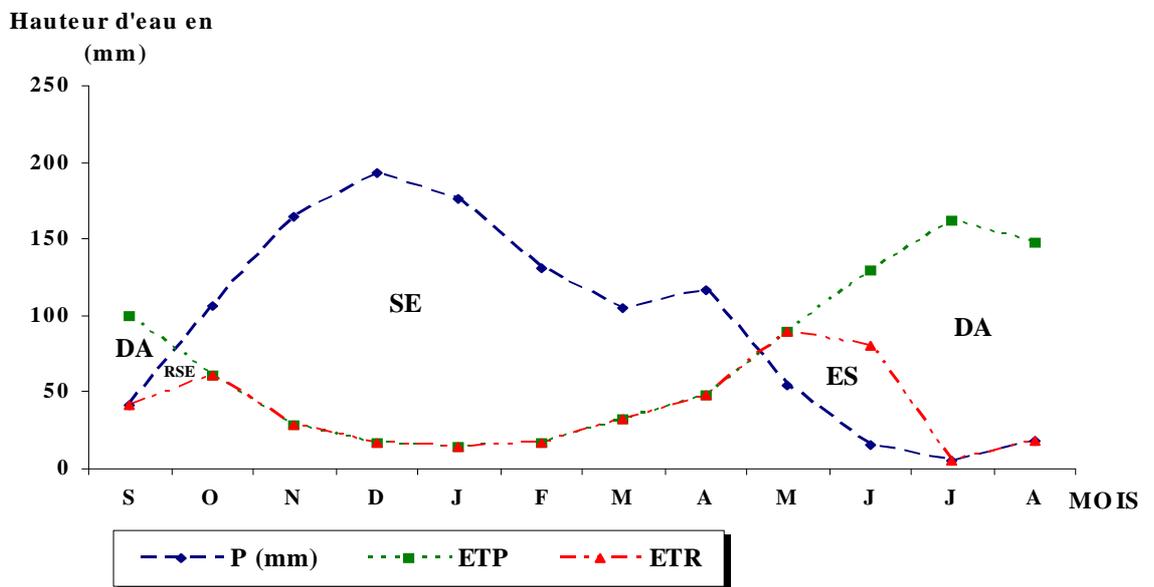


Fig. n° 29 : Graphique du bilan d'eau (THORNTHWAITE)
Station de Séraïdi (1976 – 2006)



- DA : Dificite Agricole
- ES : Epuisement de stock
- SE : Surplus d'eau
- RES : Recharge du sol

II-5- L'interprétation du bilan hydrique :

L'établissement du bilan hydrique nous permet de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, Def, Exc), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

- lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement. Dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

a) Station des Salines :

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite montre que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (161.94 mm) et son minimum au mois de janvier (21.50 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois d'octobre (0.58 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de novembre jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

L'écoulement commence après le remplissage de la RFU (100 mm) c'est-à-dire au mois de décembre et se termine en avril, avec un maximum au mois de Janvier (98.79 mm) et un minimum au mois d'avril (8.87 mm).

L'excédent égal à (243.01 mm) représentant 35.77 % des précipitation annuelles alors que l'ETR est de l'ordre de (455.36 mm) représentant 67.02 % des précipitations annuelles.

Le déficit agricole DA débute au mois de juillet, et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

b) Station de Pont Bouchet :

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite montre que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (161.94 mm) et son minimum au mois de janvier (21.50 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (67.51 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

L'écoulement commence après le remplissage de la RFU (100 mm) c'est-à-dire au mois de décembre et se termine en avril, avec un maximum au mois de Janvier (68.62 mm) et un minimum au mois d'avril (5.08 mm).

L'excédent égal à (173.59 mm) représentant 28.62 % des précipitation annuelles alors que l'ETR est de l'ordre de (432.88 mm) représentant 71.38 % des précipitations annuelles.

Le déficit agricole DA débute au mois de juillet, et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

c) Station de Séraïdi :

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite montre que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (161.65 mm) et son minimum au mois de janvier (14.86 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois d'octobre (44.89 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de novembre jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

L'écoulement commence après le remplissage de la RFU (100 mm) c'est-à-dire au mois de novembre et se termine en avril, avec un maximum au mois de décembre (176.22 mm) et un minimum au mois d'avril (67.71 mm).

L'excédent égal à (671.69 mm) représentant 59.72 % des précipitation annuelles alors que l'ETR est de l'ordre de (453.11 mm) représentant 40.28 % des précipitations annuelles.

Le déficit agricole DA débute au mois de mai, et se poursuit jusqu'au mois septembre.

Conclusion :

L'analyse des données climatiques d'une série d'observation de 30 ans a permis d'attribuer à la région d'étude un climat méditerranéen à deux périodes bien distinctes :

- une période chaude et sèche.
- une période froide et humide.

Pour le calcul du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU = 100 mm).

Le bilan hydrologique est une façon de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au dessus d'une surface donnée.

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de (679.38 mm) de la station des Salines, de l'ordre de (606.45 mm) à la station de Pont Bouchet et de l'ordre de (1124.80 mm) à la station de Séraïdi, ceci dit, la plaine de Annaba est permis les régions les plus arrosées en Algérie.

L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 895.90 mm pour les deux station des salines et de Pont Bouchet, est de (485.76 mm) pour la station de Séraïdi.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré que, a partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole enregistré à partir du mois de juin jusqu'au mois de septembre pour la station des Salines, (et jusqu'au mois d'octobre pour la station de Pont Bouchet), et à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre, c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattrape ce déficit les agricultures puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraine (période correspond à l'épuisement du stock). La quantité d'eau ruisselée à la station de Séraïdi de 663.15 mm, est supérieur à celle des Salines de 130.23 mm et de Pont Bouchet 92.63 mm.

CHAPITRE IV

APERÇU HYDROGÉOLOGIQUE

HYDROGEOLOGIE

Introduction :

L'étude hydrogéologique se résume en la compréhension des processus d'alimentation des aquifères, la reconstitution des eaux souterraines, la détermination du sens d'écoulement, la variation du gradient hydraulique et les caractéristiques hydrodynamiques comme la perméabilité (K), la transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S) et la répartition spatiale des systèmes paraît être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des points domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Une nappe profonde au Nord, reconnue par les forages profonds.

I- Les différents types du système aquifère :

I-1- Les nappes superficielles (libre) :

Le sol de notre région d'étude est constitué dans sa majorité par des alluvions récents et actuelles, argilo sableuses, argilo limoneuses, et sable argileuse.

L'étude menée par la D. G. R. H. A, en 1967 et complétées par celles de A. N. R. H, en 1969 montre que la plaine d'Annaba est composée de différentes nappes libre.

☞ **Une nappe contenue dans des formations Limons - Argileux** qui affleurent sur la bordure Sud-Ouest de la plaine d'Annaba avec une superficie de 320 km², et des caractéristiques suivantes :

- La profondeur maximale du mur est de 7 m.
- La transmissivité très faible (10^{-6} à 10^{-4} m²/s) ; Gaud, 1976.
- La perméabilité moyenne est comprise entre (10^{-6} à 10^{-5} m²/s) ; D. G. R. H. A, en 1967.
- Le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre 2 %.
- L'épaisseur moyenne de l'aquifère est estimée à environ 10 m.

☞ **Une nappe contenue dans des formations Sablo - Argileuse** incluant des lentilles de sable. Des argiles grises compactes en constituent le substratum. Ces lentilles sont plus fréquentes à la périphérie des affleurements des grés numidiens.

☞ **La nappe des gneiss altérés** : les gneiss altérés ont été reconnus par des sondages effectués en bordure des massifs du Bouhamra et Bellelita, leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 m, en moyenne elle est de 10 à 15 m.

La nappe qui s'y trouve est peu importante, elle est exploitée par des puits de faible débit (0.5 à 1.5 l/s). Les gneiss constituent surtout une zone de faible alimentation pour la nappe phréatique et la nappe profonde des graviers.

➤ **La nappe phréatique** : elle couvre la majorité de la plaine de Kherraza. Elle s'étend sur tout le système alluvionnaire de l'oued Boudjamâa. Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles et constituée par des argiles limoneuses avec des passées des sables sous forme lenticulaire (épaisseur environ 10 m). La surface de l'eau de cette nappe varie en fonction des précipitations, des pompages et du retour d'irrigation.

La nappe phréatique est globalement libre, sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de cette nappe varie de 0 à 18 m.

L'importance de la nappe phréatique est double, non seulement la nappe profonde des graviers (échanges verticaux) due à la drainance, mais aussi par le fait qu'elle soit constituée dans un horizon superficiel.

I-2- Les nappes profondes :

La profondeur de la majorité des forages exécutés dans la région va jusqu'à profondeur maximum. Cette nappe est captée, elle est surmontée par une couche argileuse dont l'épaisseur varie de 15 à 25 m. La plupart des forages captant cette nappe sont artésiens.

De point de vue lithologique cette nappe est constituée d'une part par des formations conglomératique et graveleuse résultant de l'altération des formations métamorphiques, d'autre part de cipolin et gneiss fortement fissurés.

L'artisanisme de cette nappe peut être expliqué par une alimentation à partir des massifs de l'Edough et de Bellelieta situé respectivement au Nord et au Sud de la plaine de Kherraza, qui présente un réseau de faille (Kiniouar, 2006), à l'origine d'une fissuration pouvant favoriser l'infiltration des eaux superficielles.

↪ **Nappe des Cipolins** : Elle est formée essentiellement par des lentilles de calcaires fissurées, situées dans les massifs de bordure du Bouhamra et de Belleillita, proche de massif de l'Edough.

Les cipolins existent au sein des gneiss et micaschistes du Monoclinal métamorphique du Bouhamra et de Beleleita, leur puissance et leur extension sont cependant très variables, fissurés ces calcaires sont toujours aquifères à une côte correspondant au drainage de la plaine.

↪ **La nappe des alluvions de la haute terrasse** : Elle s'étend le long des massifs Numidiens à l'ouest et au Sud de la plaine de Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées.

↪ **La nappe profonde des Graviers** : Elle se situe en dessous de l'aquifère superficiel, s'étendant sur toute la superficie de la plaine. Elle est contenue dans des graviers, sable et cailloutis Plio-Quaternaires est perméable et semis perméable à perméable, et se développe sur toute leur étendue latérale. L'épaisseur de l'horizon aquifère varie de 2 à 70 m. le coefficient d'emmagasinement est parfois très faible de l'ordre de 10^{-4} . Captive dans sa presque totalité, elle devient libre en bordure Sud-Ouest, quand les graviers affleurent en surface.

II- Conditions d'alimentation :

II-1- La nappe phréatique :

L'alimentation de la nappe phréatique effectuée à partir :

- ☞ Des pluies efficaces tombant directement sur la surface de son extension, ou bien en période de saison sèche, par les eaux d'irrigation en certains endroits.
- ☞ Des nappes de bordure (nappe de hautes terrasses, nappe des gneiss altérés).
- ☞ De la nappe captive, par drainance.
- ☞ A partir du réseau hydrographique (les oueds principaux ou les oueds secondaires de canaux d'assainissement).

II-2- La nappe profonde des graviers :

L'alimentation de la nappe profonde effectuée à partir :

- ☞ Des débits de fuite des nappes secondaires de bordure.
- ☞ De la nappe phréatique par drainance (échange de flux descendant).
- ☞ Des oueds : cas pouvant exister en amont des vallées des cours d'eaux principaux.
- ☞ De la mer au Nord, située à l'inversion des gradients hydrauliques ce induirait une avancée du front salé.

III- L'outil hydrogéologique :

On se basant sur la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau n° 21, qui synthétise et combine les caractéristiques géologique et hydrogéologiques de chaque étage.

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Hydrogéologie	
				Perméabilité	Type de nappe
Quaternaire	Récent	Sable	5 – 15	Perméable	N. du cordon dunaire
	Moyen	Sablo-Argileuse	0 – 20	Semi- perméable	N. phréatique
	Ancien	Argile avec des lentilles Sableuses	50 - 150	Imperméable à semi-perméable	Substratum
Tertiaire	Pliocène	Graviers et galets	10 – 150	Perméable	N. des graviers
	Miocène	Argile	250	Imperméable	Substratum
	Oligocène	Argilo-gréseux	150	Semi-perméable	Numidienne
	Eocène inf	Calcaire massif	-	Formations fissurées	Nappe Karstique
Secondaire	Crétacé	Calcaire dolomitique	-		
	Jurassique	Dolomie	-		
	Trias	Dolomie, calcaire et gypse	-	-	-
Primaire	Supérieur	Micaschistes et gneiss	-	Formations altérées	Nappe du Socle métamorphique
	Intermédiaire	Schistes	-		
	inférieur	gneiss	-		

Tableau n° 21 : Description géologique et hydrogéologique du site.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine, a permis de distinguer un ensemble du remplissage Moi-Plio-Quaternaire, capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- Le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique.
- Le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile.

IV- Piézomètre de l'aquifère :

IV-1- Inventaire des points d'eau :

A partir des observations faite sur le terrain, l'ensemble des points d'eau est matérialisé sur la carte d'inventaire, fig. n° 30, la majorité de ces points d'eau sont des puits au nombre de 17 dont quelques uns sont équipés par des pompes. Généralement, ils sont destinés à l'AEP et à l'irrigation.

Cet ensemble de puits est un moyen de captage de la nappe phréatique. Par contre, les quelques forages réalisés dans la région, permettent d'exploiter la nappe profonde. La profondeur des forages varie entre 70 et 100 m.

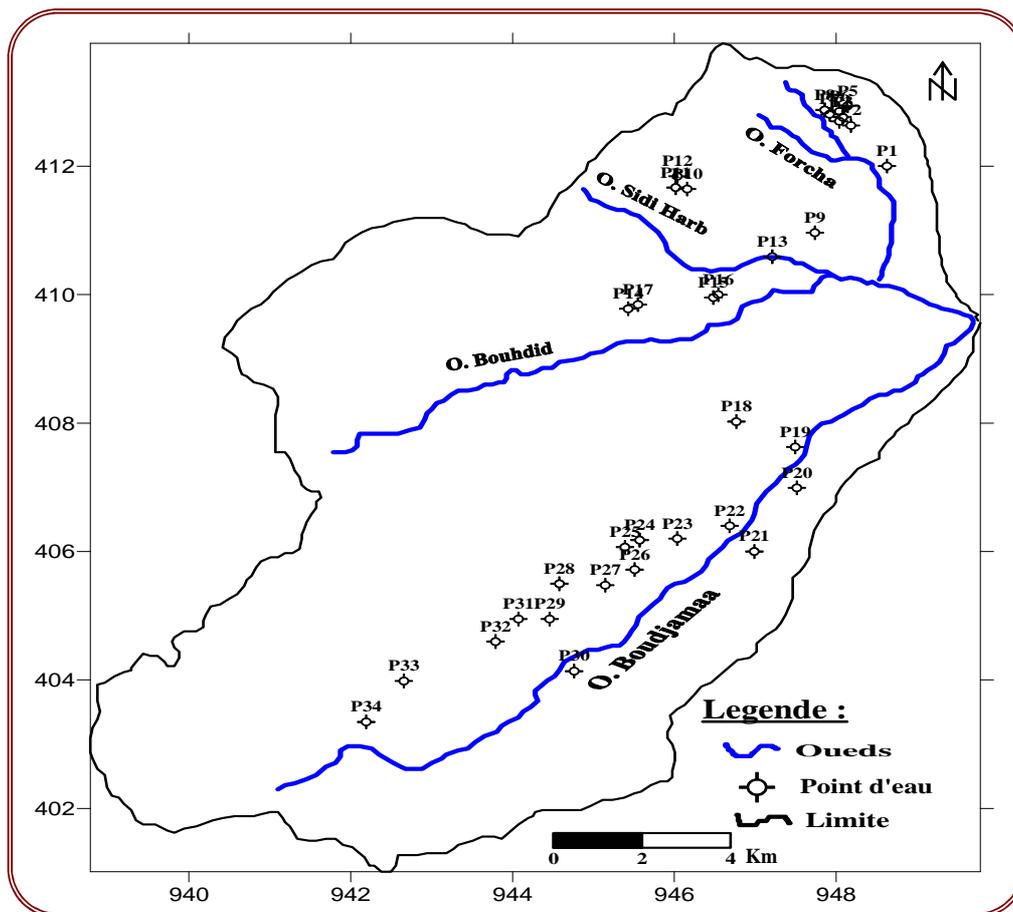


Fig. n° 30 : Carte d'inventaire des points d'eau dans la zone d'étude.
"D'après Messaoudi S et Toumi N "

IV-2- Carte piézométrique :

La carte de la surface piézométrique, établie avec les données sur les niveaux piézométrique, représente à une date donnée la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques.

La carte piézométrique est le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitatives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère, c'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

IV-2-1- Etablissement de la carte piézométrique :

L'établissement de la carte piézométrique (courbes iso pièzes) repose sur la mesure des niveaux piézométriques (niveau statique) dans les points d'eau, leur report et leur interprétation sur des cartes topographiques.

Les courbes ainsi tracées, représentent les équipotentiels de la surface piézométrique et on celles de la nappe.

Le choix de l'équidistance des courbes dépend de la valeur du gradient hydraulique (i), de la précision des mesures de base (niveau statique), de l'échelle de la carte et de la densité des points d'observation.

Elle a pour but de connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines.

V-2-2- Interprétation des cartes piézométriques :**V-2-2-1- Calcul du gradient hydraulique :**

Le gradient hydraulique est la différence piézométrique entre deux points de surface piézométrique, par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant. Dans la pratique, il est calculé sur le terrain, à l'aide des niveaux piézométriques mesurés dans deux ouvrages d'observation, alignés sur une ligne de courant l'un amont H_1 , l'autre aval H_2 , séparés d'une distance L , à partir de la formule suivante :

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

Avec :

i : Gradient hydraulique.

H_1 : Niveau piézométrique au point 1.

H_2 : Niveau piézométrique au point 2.

L : La distance entre les deux points 1 et 2.

V-2-2-2- Interprétation des cartes piézométriques :

Les mesures piézométriques réalisées " après, Messaoudi S et Toumi N" au mois de décembre 2005 (basses eaux) et au mois de mars 2006 (hautes eaux) ont permis d'élaborer les cartes piézométriques suivantes :

A - Carte piézométrique des hautes eaux :

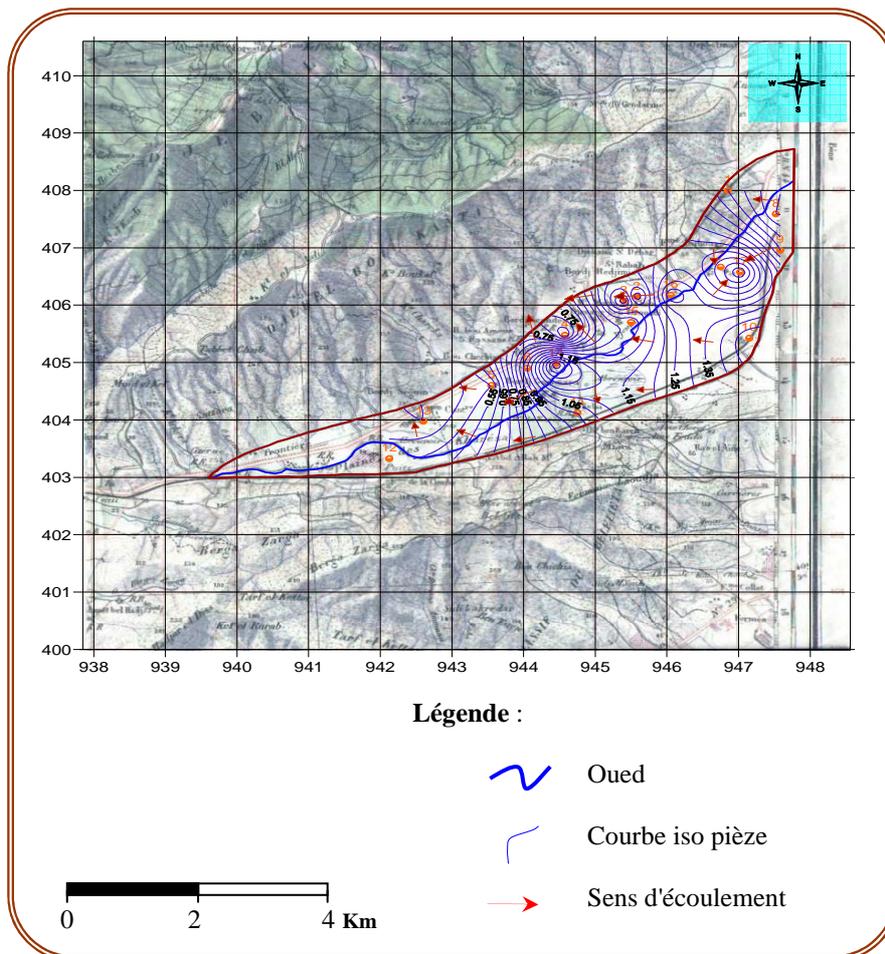


Fig. n° 31 : Carte piézométrique de la plaine de Kherraza (Hautes eaux).

"D'après Messaoudi S et Toumi N"

La carte piézométrique, correspondant à la période des hautes eaux (Mars 2006), l'examen de cette carte montre un drainage de l'oued vers la nappe. Les courbes iso pièzes sont serrées au centre de la plaine avec un gradient hydraulique fort ce qui traduit une grande vitesse de l'écoulement, et espacer dans les cotés avec une gradient hydraulique faible.

B - carte piézométrique des basses eaux :

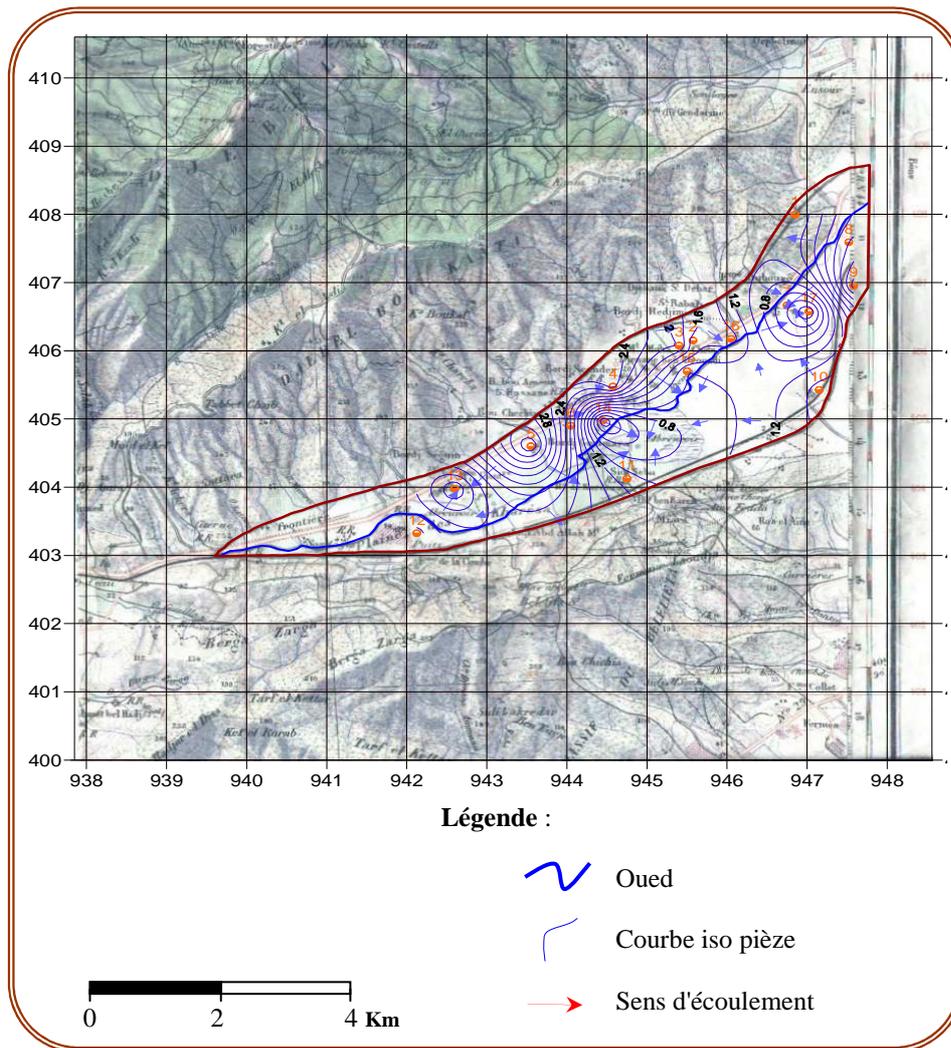


Fig. n° 32 : Carte piézométrique de la plaine de Kherraza (Basses eaux).
 "D'après Messaoudi S et Toumi N"

L'étude des fluctuations de la nappe permet d'étudier l'alimentation naturelle des couches aquifères et l'évolution des réserves des eaux souterraines.

La carte montre un écoulement différent de celui des hautes eaux. Les courbes isopièzes sont moyennement espacées ce qui indique un écoulement assez calme dû à la topographie plate de la région. L'examen de cette carte montre que l'écoulement général des eaux souterraines se fait de l'oued vers la nappe presque partout.

Conclusion :

L'étude hydrogéologique nous a permis d'éclaircir quelques points entre autres :

- le sens d'écoulement.
- La variation du gradient hydraulique.

Le système aquifère de la plaine de kherraza comprend essentiellement deux types d'aquifère : une aquifère superficiel contenu dans les formations sableuses et une aquifère profond. L'ensemble se comporte comme un même système avec des transferts hydrauliques horizontaux et verticaux par drainance.

L'établissement de la carte piézométrique nous a permis de constater que :

L'écoulement des eaux souterraines est généralement dirigé de la nappe vers l'oued pendant la période des hautes eaux et le contraire durant la période des basses eaux, c'est-à-dire de l'oued vers la nappe.

CHAPITRE V

HYDROCHIMIE ET POLLUTION

Partie I : bibliographie sur la rémobilitation des métaux

Partie II : résultats et discussion

Partie I

Bibliographie sur la rémobilitation des métaux

I- Origines des pollutions des cours d'eau étudiés :

Les eaux s'écoulant au niveau des différents Oueds peuvent avoir deux origines : les précipitations et les rejets. Si les précipitations se font de manière saisonnières et donc très peu présentes, les eaux des rejets particulièrement domestiques dans cette zone constitue la principales sources d'alimentation des cours d'eau, accentuant ainsi le risque de pollution soit directement soit indirectement.

I-1- Origine directe :

Les eaux en provenance des habitations et des divers établissements (écoles, hôpitaux, ..), sont généralement chargées en polluants et sont rejetées au niveau des cours d'eau sans aucun traitement et par conséquent augmentent le risque de pollution.

I-2- Origine indirecte :

En effet cette partie de la ville, renferme un pourcentage appréciable de la population, ce qui implique des apports sous formes liquides, solides et atmosphériques importants. Les deux premières formes sont dues aux eaux et particules contenues dans les rejets. La troisième est engendrée par le trafic routier.

II- Modes de pollution :

Pour essayer d'éviter les obstruction des canaux, les services concernés procèdent au curage des cours d'eau, cependant les sédiments récoltés sont déposés au niveau des berges car il n'existe pas de zones d'enfouissements et au moindre changement climatique (pluie, vent..), ils reviennent dans les cours d'eau accentuant la pollution.

II-1- Le curage et ses conséquences :

La contamination des sédiments est principalement due aux rejets industriels et urbains, comprenant :

- des éléments nutritifs (phosphore et composés azotés...) qui proviennent des rejets d'eaux usées urbaines et d'effluents agricoles et industriels, à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.
- des métaux lourds (cadmium, chrome, plomb, mercure, nickel,...), souvent à l'état de traces, peuvent se fixer sur les sédiments par adsorption physique (liaison électrostatique), ou par adsorption chimique (liaison par force de valence). Les métaux peuvent également précipiter sous forme d'oxydes, d'hydroxydes de carbonates, de phosphates solubles ou de sulfures insolubles ou former des complexes organiques ou inorganiques. Les métaux lourds piégés dans les sédiments sont en général en équilibre avec l'eau interstitielle mais la moindre perturbation des conditions environnementales peut entraîner des mécanismes de remobilisation des métaux.
- Ce relargage est d'autant plus problématique que les métaux lourds sont considérés comme dangereux pour les organismes vivants, par toxicité à court, moyen ou long terme. Chacun des métaux lourds a sa propre toxicité, avec des organes cibles spécifiques.

Les lésions induites peuvent être destructrices dans le cadre d'une intoxication aiguë (rein, foie, cerveau...) ou peuvent être responsables de pathologies toxiques, dégénératives et lésionnelles à moyen ou long terme, si la concentration est moindre. Les métaux lourds ont également un pouvoir mutagène qui peut se traduire sur la personne par un effet carcinogène, cocarcinogène ou sur sa descendance par l'intermédiaire de mutation génétique. Les traitements actuels d'élimination des métaux lourds sont illusoires, leurs efficacités sont variables, voire nulles pour certains, des substances organiques (hydrocarbures, HAP, produits phytosanitaires, solvants chlorés...), souvent très toxiques, solubles ou adsorbés sur les matières en suspension peuvent présenter des risques lors de l'extraction des matériaux de curage.

La restauration de la qualité et l'entretien des cours d'eau requièrent donc une gestion appropriée des sédiments lorsque les principaux apports de polluants ont été réduits

II-2- Les techniques de curage :

Il existe trois techniques traditionnelles de curage : mécanique, hydraulique et pneumatique.

II-2-1- Le curage mécanique :

Ce type de curage réalisé à partir d'engins à godets qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur pontons, dragues à godets...), est employé dans la plupart des cas pour l'extraction des sédiments graveleux et non contaminés. Cette technique est à déconseiller pour les sédiments organiques fins car le curage mécanique peut engendrer, dans certains cas, une grande remobilisation des sédiments en place. Des polluants contenus dans les sédiments peuvent ainsi se trouver en suspension à nouveau.

II-2-2- Le curage hydraulique :

Un des grands avantages de ce type de curage est le faible remis en suspension des sédiments. En revanche ce type de curage engendre de grands volumes d'eau avec les sédiments extraits (un volume de sédiment pour trois volumes d'eau). Il faut donc prévoir un ou plusieurs bassins de décantation en aval de l'extraction, et un dispositif de rejet des eaux.

II-2-3- Le curage doux :

Cette technique de curage fait appel à l'utilisation d'outils traditionnels respectant la fragilité du milieu (la "baguelette", sorte d'épuisette permet de retirer 25 kg de matière organique). C'est une activité quasiment disparue depuis les années 50 que les pêcheurs ont repris en développant des chantiers de travaux bénévoles. Le curage s'effectue à partir de la berge afin de ne pas perturber le milieu, et consiste à retirer la vase déposée sur le fond uniquement, sans approfondir le fossé initial.

III- LE TRAFIC ROUTIER :

Le trafic routier constitue la seconde source de pollution des cours d'eau de la zone étudiée. Cette partie de la ville, renferme un pourcentage appréciable de la population Annabi. Notons qu'au cours de ces dernières années le parc automobile s'est développé de manière significative, ce qui a entraîné une augmentation du risque de pollution.

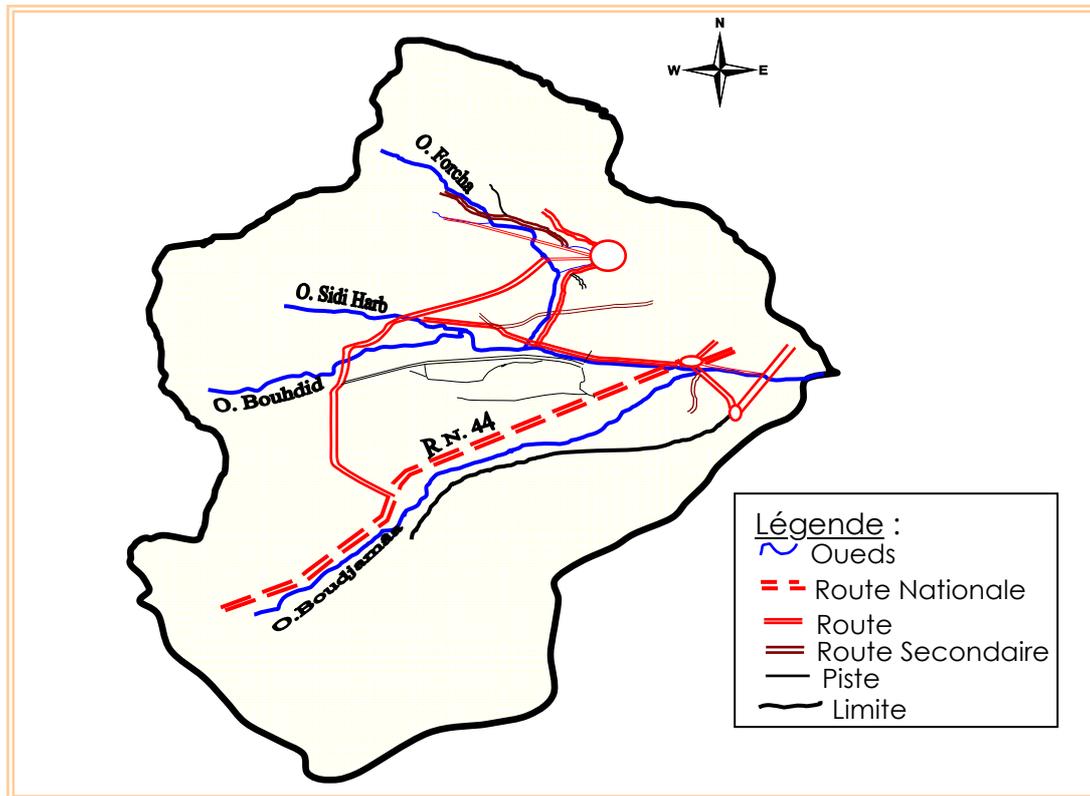


Fig. n° 33 : Densité des axes routiers dans la zone d'étude. (Raouf, 2008)

III-1- Mécanismes de pollution dus au trafic routier :

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier sont de deux sortes, les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides. Les principaux matériaux solides à considérer sont les pneumatiques, les garnitures de freins et la carrosserie. Les flux de plomb, de zinc et de chrome provenant de la corrosion des pneumatiques sont importants. Les garnitures de freins sont à l'origine d'apport en cadmium, chrome et plomb. L'utilisation de divers fluides comme le carburant, les graisses de lubrification ou l'huile de moteur, contribue également aux émissions polluantes des véhicules. Le carburant est la principale source en plomb, cela s'explique par l'ajout de dérivés alkylés du plomb (tétraéthyle et tétraméthyle de plomb) comme antidétonant dans les carburants (Alloway, 1995a). Après la combustion du carburant, le plomb est relargué dans l'atmosphère sous différentes formes : sulfates ou carbonates insolubles, oxydes peu solubles ou halogénures très solubles comme par exemple le bromo-chlorure de plomb (BrPbCl) (Falahi-Ardakani, 1984).

Le zinc est très présent dans les huiles du moteur ou les lubrifiants, dans lesquels il est ajouté comme antioxydant (Falahi Ardakani, 1984). Il est également présent dans le fluide de transmission. Le cuivre est faiblement rencontré dans les fluides cités, seul l'antigel en contient en quantité notable. Le plomb et le zinc sont les principaux éléments relargués au cours de la corrosion des infrastructures routières. Une pollution saisonnière due à la maintenance hivernale peut s'ajouter à la pollution chronique.

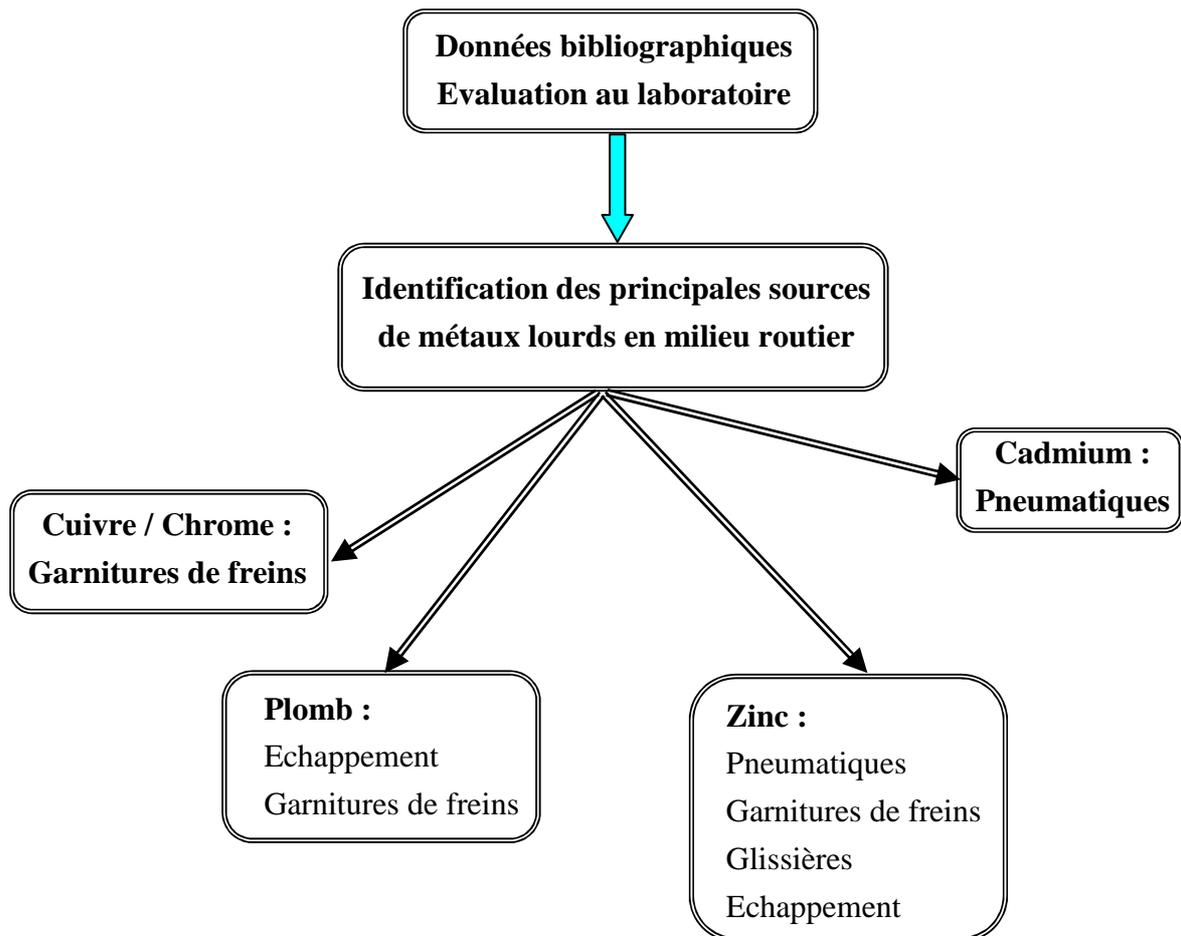


Fig. n° 34 : Sources de pollution prédominantes en domaine routier

Lors des précipitations, l'eau de pluie se charge en polluants présents dans l'atmosphère avant de lessiver les surfaces par ruissellement. La part de la pollution contenue dans les eaux de ruissellement provenant de l'atmosphère polluée est estimée entre 15 et 25%.

IV- La remobilisation et ses principes fondamentaux :

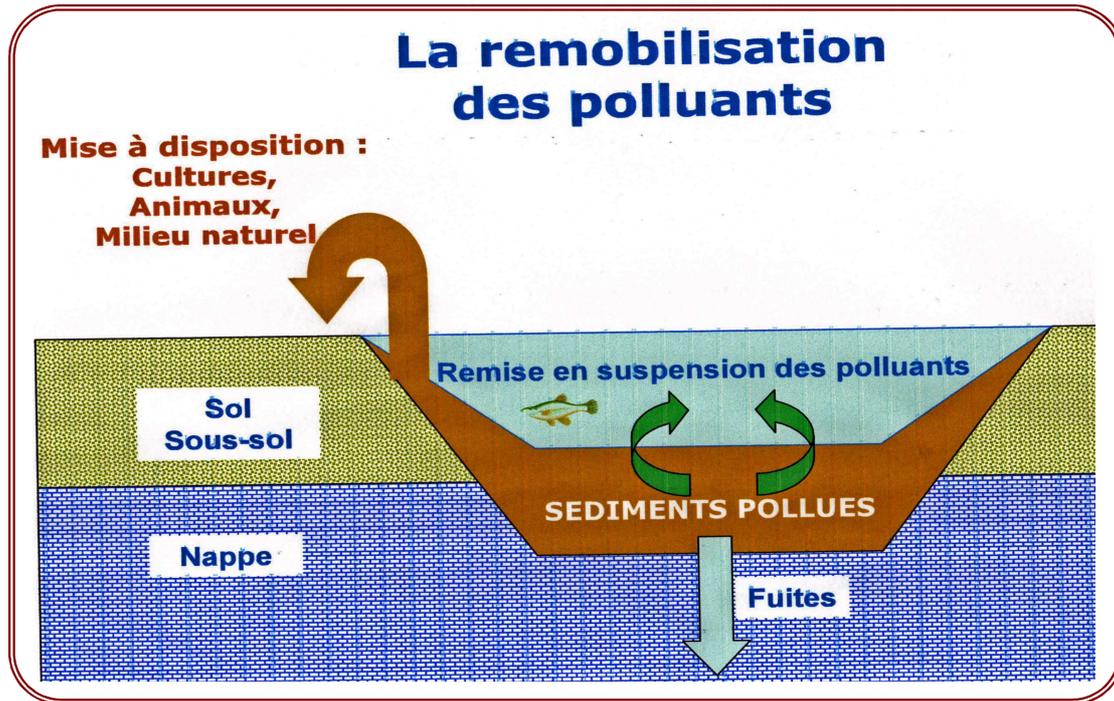


Fig. n° 35 : La remobilisation des polluants

Le schéma précédent (fig. n° 35) récapitule les processus de remobilisation, ce qui met en évidence le recours au curage. Il est admis que les cours d'eau peuvent subir une accumulation des sédiments qui altèrent le débit et qui peuvent devenir selon leur degré de pollution une source de contamination des eaux souterraines, superficielles ou bien du sol. Le curage consiste l'extraction des sédiments, et suivant leur toxicité peuvent être soit traité et réutilisés en d'autres usages, soit rejetés complètement dans des milieux bien étudiés afin d'éviter leur impact.

V- Pollution des sédiments :

V-1- Définition :

Le sédiment est un matériau issu de l'érosion, transporté et déposé par le cours d'eau, et n'ayant pas encore subi de transformation diagenétique (passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation de l'eau et de la pression). Il se caractérise essentiellement par, sa granulométrie, sa composition minérale, sa teneur en eau et en matière organique.

V-2- L'origine des sédiments :

Les sédiments peuvent être soit d'origine endogène ou exogène.

- *l'origine endogène* : de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Cette production primaire engendre des débris de macrophytes (plantes aquatiques, cadavres de microphytes et d'animaux) ;
- *l'origine exogène* : vient d'un apport de matières allochtones. Celles ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. Cet apport peut être d'origine naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétale), ou anthropique (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micro-polluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques).

V-3- Processus de contamination des sédiments

Ces dernières années, le phénomène d'envasement s'est amplifié en raison de l'accroissement des apports anthropiques et de l'érosion (dû notamment à des opérations de remembrement qui ont entraîné la destruction des haies et des talus). La contamination a commencé à la fin du siècle dernier. Cette pollution est principalement due aux rejets industriels et urbains

Les contaminants à l'origine de cette pollution sont généralement classés en trois grands groupes ;

a- les éléments nutritifs : (notamment le phosphore et des composés azotés comme l'ammoniaque). Ils proviennent des rejets d'eaux usées urbaines et d'effluents agricoles et industriels. Ils sont à l'origine de l'eutrophisation des milieux.

b- les micro-polluants organiques : représentent le troisième grand groupe de contaminants (les HAP : hydrocarbures polycycliques aromatiques, pesticides, solvants chlorés).

Ces éléments sont souvent très toxiques, solubles ou adsorbés sur les matières en suspension. Ils peuvent poser problème lors de l'extraction des sédiments.

c- les éléments traces métalliques (les métaux lourds) : se retrouvent souvent à l'état de traces, indispensables au métabolisme pour la plupart (sauf le plomb, le mercure et le cadmium). Une fois dépassé un seuil de tolérance, les métaux sont considérés comme toxiques. Les principaux métaux lourds sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel, le sélénium, l'arsenic, le manganèse, le zinc (métalloïde) et d'autres éléments spécifiques au passé industriel (argent).

Les métaux lourds peuvent être fixés sur les particules minérales et les matières organiques des sédiments. Cette phénomène de fixation aux particules solides et donc d'accumulation dans les sols est prépondérant. Dans la majorité des situations, eu égard aux processus physico-chimiques et aux processus microbiens, il apparaît que les éléments traces métalliques dans les sols sont surtout associés à la matrice solide, sous des formes chimiques très variées dépendant de la composition du sol et des conditions du milieu. La part présente en solution dans le sol ne représente qu'une fraction faible de la quantité totale.

Un autre mode d'immobilisation peut être lié aux phénomènes de précipitation. Les métaux précipitent alors sous des formes plus ou moins insolubles d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates, de phosphates, ou de sulfures. Les métaux piégés dans le sédiment sont en général en équilibre avec l'eau interstitielle. Mais la moindre perturbation de l'environnement peut remobiliser les métaux.

Le sol joue un rôle de stockage des éléments en traces. Toutefois, des processus de remobilisation sont possibles (mise en solution par des phénomènes d'oxydo-réduction, changements des conditions du sol ou des usages,...). La disponibilité des éléments traces est alors accrue (mobilité et biodisponibilité) et des transferts vers les eaux ou les plantes (et la chaîne alimentaire) peuvent se produire. Des transports particuliers vers les cours d'eau (éléments métalliques associés aux particules solides) peuvent également avoir lieu par érosion ou ruissellement.

En définitive, la sédimentation (donc l'envasement) est un phénomène naturel qui voue le plan d'eau à disparaître naturellement par comblement. Les problèmes que pose cette sédimentation à l'heure actuelle, viennent de l'augmentation de la vitesse d'envasement ainsi que de la toxicité accrue des sédiments.

V-4- Modes de contamination :

Les éléments traces métalliques sont transportés vers les sols selon deux processus.. Le premier, concerne les retombées sèches ou humides. En effet, depuis le début de l'ère industrielle et le développement des transports, les apports atmosphériques se sont notablement amplifiés. D'une part, le vent et l'atmosphère transportent des apports diffus aériens d'origine lointaine ou encore massifs localisés d'origine proche. Ces apports sont déposés de façon régulière et peuvent être absorbés directement par les plantes, mais la majorité pénètre dans les sols à partir de la surface. D'autre part, les eaux de pluie lessivent l'atmosphère et solubilisent des éléments traces métalliques avant de tomber sur les sols. Puis intervient un second processus lié au lessivage des surfaces imperméabilisées par le ruissellement des eaux pluviales. Il est communément considéré comme le plus important. Une part de la pollution accumulée sur la chaussée est mise en solution dans les eaux de ruissellement ou entraînée par arrachement. La figure n° 36 situe ces différents modes de transport.

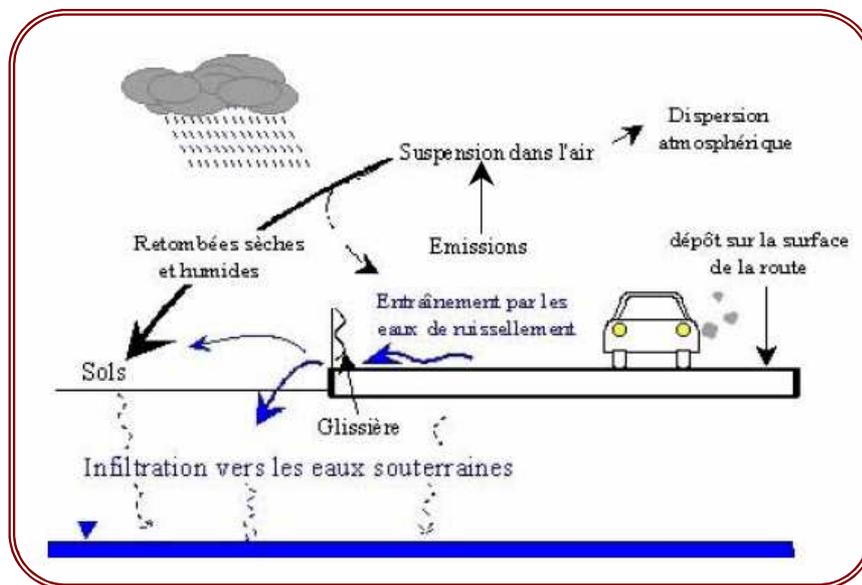


Fig. n° 36 : Mode de transfert des émissions polluantes vers les sols et les eaux souterraines

Les apports anthropiques en éléments traces métalliques vont modifier les teneurs présentes dans les sols. Il paraît donc important de définir des critères d'évaluation du degré de contamination

Les processus chimiques les plus importants affectant le devenir et la mobilité des éléments traces métalliques dans les sols, sont les transferts de la phase solide vers la phase liquide et inversement. Plusieurs mécanismes physico-chimiques interviennent au cours de ces transferts : l'échange ionique (ou adsorption non spécifique), l'adsorption spécifique (complexation de surface) sur les phases minérales, la complexation avec la matière organique et la précipitation et co-précipitation (figure n° 37). La solubilité des métaux lourds dépend de leur réactivité à l'interface solide-liquide.

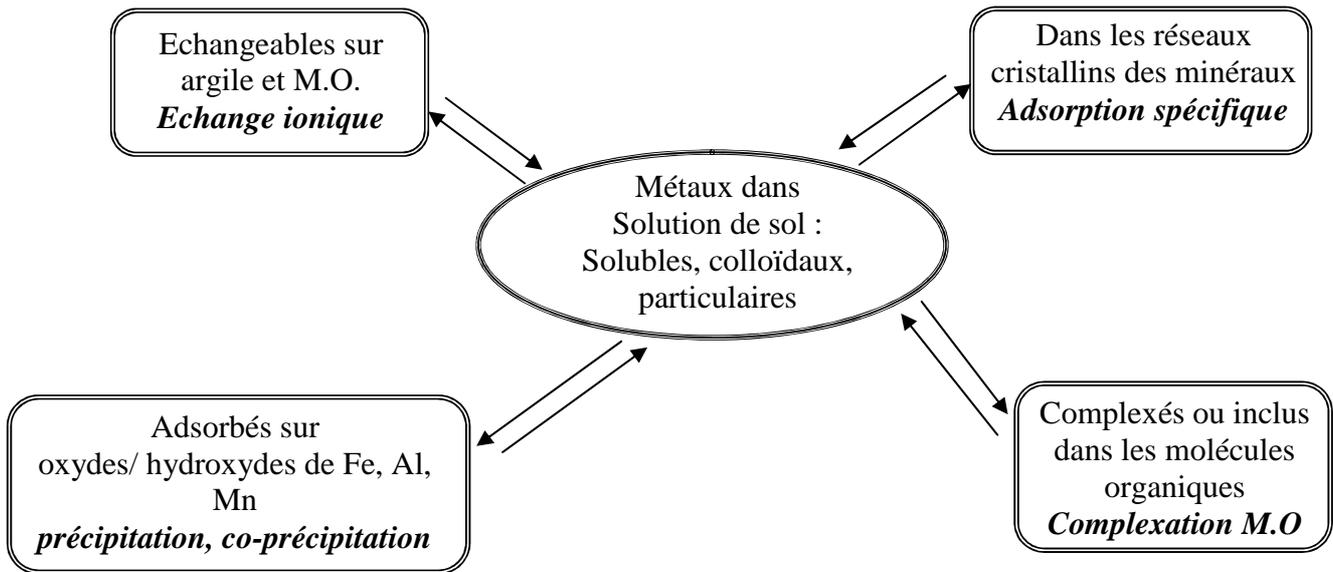


Fig. n° 37 : Différentes formes et mécanismes de fixation des éléments traces dans les sols.

Les principaux constituants des sols susceptibles de fixer les éléments traces métalliques sont les argiles, les carbonates, la silice, les (hydr)oxydes de métaux principalement ceux de fer ou de manganèse et la matière organique. Les processus physico-chimiques de rétention peuvent intervenir simultanément avec une plus ou moins grande importance sur l'interaction totale entre les contaminants et les constituants du sol. Selon les conditions physico-chimiques du milieu un processus peut être prédominant, par rapport aux autres, mais il n'est jamais seul et il est souvent difficile pour les milieux complexes tels que les sols de déterminer quels mécanismes sont à l'origine de la fixation sur le sol (*Singh et Steinness, 1994*).

V-5- Préparations des échantillons pour analyses :

V-5-1- L'extraction des sédiments

Le curage d'un cours d'eau est une opération envisagée pour des considérations hydrauliques, ou à l'entretien et à la restauration du milieu. IL est destiné à limiter l'engorgement du lit, à contrôler les zones de dépôt et à éviter le détournement du flux. Mais il peut entraîner un bouleversement majeur du cours d'eau par destruction du lit, des substrats et des végétaux présents, par modification des flux et par suppression de la surface du sédiment. Cette surface, interface eau-sédiment, est le siège d'un grand nombre de réactions chimiques et biologiques participant à l'auto-épuration du milieu et à la protection des nappes phréatiques.

La suppression de cette interface peut contribuer à la pollution de la nappe alluviale par les eaux de rivière qui ne sont plus filtrées par les sédiments et par la microflore bactérienne qui s'y trouvent. C'est pourquoi le curage des sédiments doit se faire selon des orientations bien précises : le curage ne sera réalisé que lors d'engorgements excessifs du cours d'eau. Il sera évité lorsque les dépôts sont limités et ne présentent de conséquences ni sur l'écoulement du chenal central ni sur la stabilité des berges,

V-5-2- Le devenir des sédiments extraits :

Une fois extraits, les sédiments subissent un prétraitement avant d'être transportés. Cette opération est réalisée afin de séparer les encombrants et détritiques des sédiments.

Il y'a plusieurs méthodes de prétraitement qui sont les suivantes :

- Le dégrillage.
- Le tamisage et le ressuyage.

Après traitement les sédiments ont plusieurs usages selon l'intérêt envisagé : le réglage sur berge, l'épandage, la mise en dépôts, la mise en dépôts confinés...etc.

V-5-3- Le traitement des sédiments :

Il y'a plusieurs types de traitements qui sont réalisés sur les aires aménagées et étanche :

- ↳ Prétraitement par déshydratation, pour but de réduire le volume des sédiments afin d'améliorer leur qualité.
- ↳ Traitement par lavage, concerne les sédiments ayant une granulométrie suffisante (sables).
- ↳ Traitement chimique, a pour objectif d'extraire ou de fixer les métaux, soit de détruire les micropolluants organiques.
- ↳ Techniques végétales, consiste à utiliser des plantes pour la gestion ou la décontamination de sites pollués par les métaux entre autres. Elle peut se faire soit par phytoextraction (métaux extraits par des plantes accumulatrices qui doivent être détruite après l'opération), soit par phytostabilisation (immobilisation des métaux dans le sol par des végétaux spécifiques pour empêcher la dispersion de la pollution).
- ↳ Traitement biologique, utilise des micro-organismes pour dégrader les micro-polluants organiques.
- ↳ Traitement physique, consiste à concentrer les polluants par procédés physiques.
- ↳ L'inertage, pour éviter la migration des polluants en introduisant des liants chimiques.
- ↳ L'incinération, effectuée en fonction des teneurs en éléments indésirables après analyses des sédiments.

La répartition des sédiments dans les cours d'eaux et leur composition minérale est différente selon la vitesse du courant (plus le courant sera faible, plus la sédimentation sera importante) et selon leur provenance.

- ➔ Les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont des sédiments terrigènes, c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols ; leur nature chimique dépend essentiellement des terrains érodés.
- ➔ Les sables sont essentiellement quartzes (silice SiO_2) ou silicatés (mica, feldspath), souvent accompagnés de minéraux lourds (amphiboles, grenats, disthène...) qui dépendent de la nature des sols érodés.

Les particules les plus fines, limons, boues et vases, sont composées de minéraux argileux d'origine terrigène, et aussi des squelettes d'organismes d'origine endogène.

Application à la zone d'étude :

Pour réaliser notre travail, nous avons effectué des prélèvements au niveau des stations choisies par nos soins (fig. n° 38). Les ETM et quelques éléments majeurs ont été dosés.

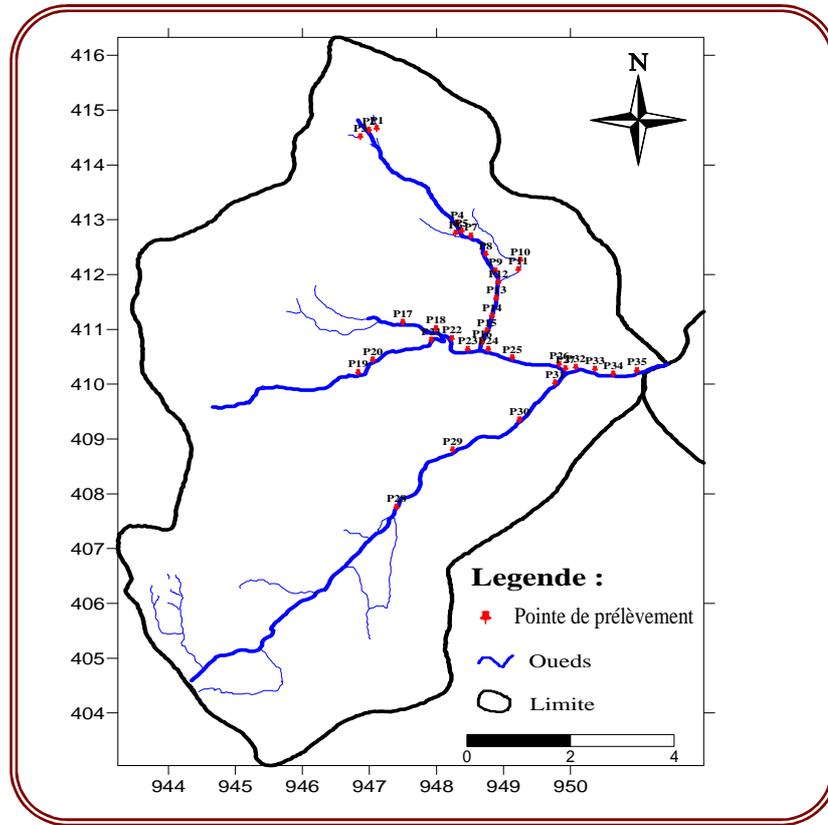


Fig. n° 38 : Carte d'inventaire de point de prélèvement (points d'analyses)

VI- Indications fournies par les ETM :

VI-1- Statistique élémentaire :

Les résultats obtenus sur les ETM, nous permettent la réalisation de l'étude statistique suivante. Le tableau suivant récapitule les principales indications statistiques.

Tableau n° 22 : résultats de l'analyse statistique.

Libellé	N	Moyenne	Maximum
Cu	121	0.09	0.45
Cr	121	0.01	0.05
Pb	121	0.13	1.80
Mn	121	0.04	0.45
Zn	120	0.03	0.88
Ni	121	0.26	1.32

ETM	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb
Normes	1	5	0.05	0.05	0.05	0.05

Tableau n° 23 : Les normes selon l'O.M.S

Tableau n° 22 : Les concentrations moyenne et maximum des EMT

L'observation du précédent tableau montre, que les eaux analysées présentent des concentrations importantes en chrome, plomb, manganèse et nickel. Par contre le cuivre et le zinc présentent des concentrations ne dépassant pas les normes admises.

Partie II

Résultats et discussions

La connaissance de la qualité des eaux passe par la réalisation des analyses chimiques des eaux. Plus le nombre d'analyse est important plus les informations sont précises. Pour réaliser notre travail, nous avons effectué 121 analyses, ces dernières ont portés sur quelques éléments majeurs et quelques ETM. Pour l'interprétation des résultats nous avons utilisé l'outil statistique et les profils de variation.

Statistiques élémentaires :

L'observation du tableau n° 24, montre que seuls le plomb et le nickel montrent des concentrations dépassant les normes.

Libellé de la variable	Effectif	Normes mg/l	Moyenne	Ecart-type	Maximum
Cu	121	0.02	0.088	0.119	0.450
Cr	121	0.05	0.008	0.013	0.050
Pb	121	0.05	0.130	0.279	1.800
Zn	120	0.5	0.030	0.087	0.880
Ni	121	0.5	0.257	0.342	1.320

Tableau n° 24 : Statistiques sommaires des variables continues (MET)

VI-2- Analyse en composantes principales (A.C.P) :

L'A.C.P, est un méthode factorielle utilisant des combinaisons linéaires entre les variables pour analyser les données. Cette méthode, consiste à la réduction des données et permet de présenter géométriquement les variables et les observations.

VI-2-1- Résultats et interprétations :

Interprétation des résultats des variables se fait sur le cercle de corrélation. Les variables qui se situent près du cercle, et qui sont proches l'une de l'autre présentent une forte relation linéaire entre elles. Par contre les points qui sont à l'opposé, présentent une relation inverse. La projection des variables nous permet d'interpréter les composantes principales et de repérer rapidement les groupes de caractères liés entre eux ou opposés, à condition que les points soient proches de la circonférence.

VI-2-2- L'ACP des métaux lourds :

Cette étude a été réalisée sur les ETM analysés à savoir Ni, Cu, Cr, Zn et Pb. Les observations (121) sont prises en compte. L'ACP réalisée fournit 51,35 % de l'information totale.

L'axe F1 avec 27,69 %, montre que le cuivre et le nickel, évoluent ensemble dans la partie positive, par contre selon l'axe F2 (22,66 % de la variance) on remarque une opposition entre le plomb (dans le pôle positive), le chrome et le zinc sur la partie négative.

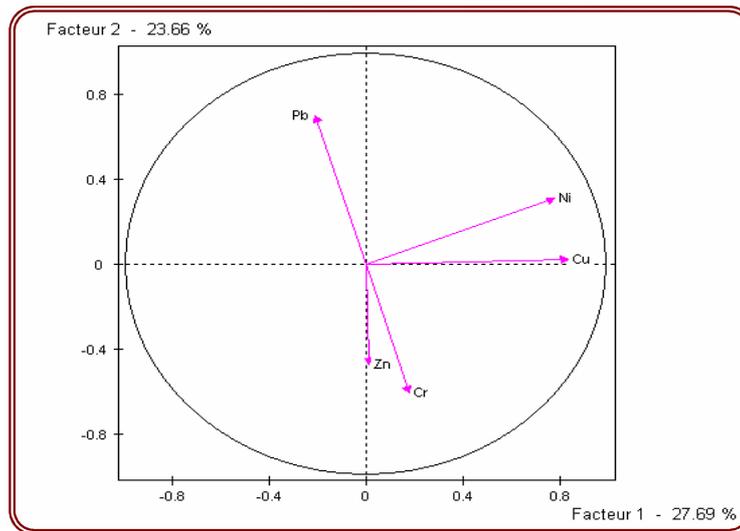


Fig. n° 39 : Cercle ACP ETM

VI-2-3- L'ACP des éléments majeurs :

L'analyse en composante principale des éléments chimiques (4 variables) sur 121 observations, présente une inertie totale de 71,39 %, étant donné que le nombre de variable (4 variables) est faible, cette ACP ne donne pas des résultats probants. La variation des éléments chimiques (Ca⁺, Mg⁺, Cl⁻ et HCO₃) reste liée seulement au premier l'axe F1 qui explique 49,63 % de la variance, et qui peut indiquer un pôle de la minéralisation naturelle.

Le tableau ci-dessous (Tableau n° 25) montre une variation très large des teneurs des chlorures et des bicarbonates notent que les teneurs des chlorures varient entre 117 mg/l et 1063 mg/l, et les concentrations des bicarbonates oscillent entre 20 mg/l et 1120 mg/l.

Libellé de la variable	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Ca+	121	161.488	61.492	50.000	360.000
Cl-	121	253.488	103.379	177.500	1065.000
Mg+	121	158.182	61.925	30.000	370.000
HCO3	120	340.958	197.080	20.000	1120.000

Tableau n° 25 : Statistiques sommaires des variables continues (Eléments major)

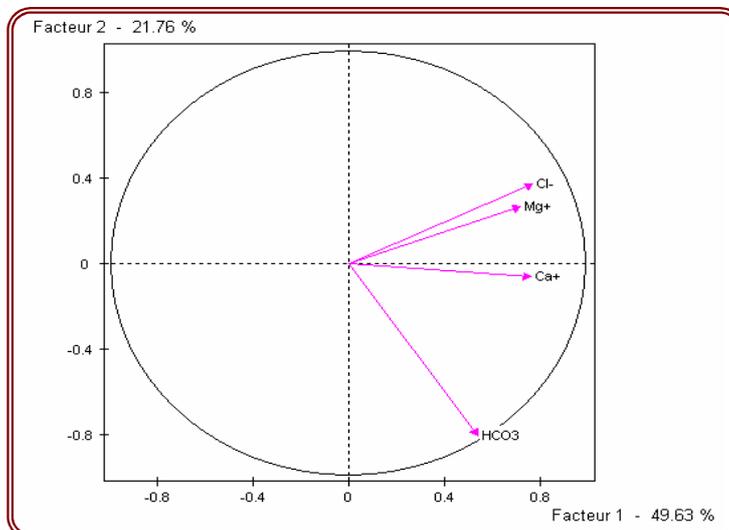


Fig. n° 40 : Cercle ACP éléments majeurs

VI-3-Variations des concentrations au niveau des différents cours d'eau :

VI-3-1- Variation spatio-temporelle des ETM :

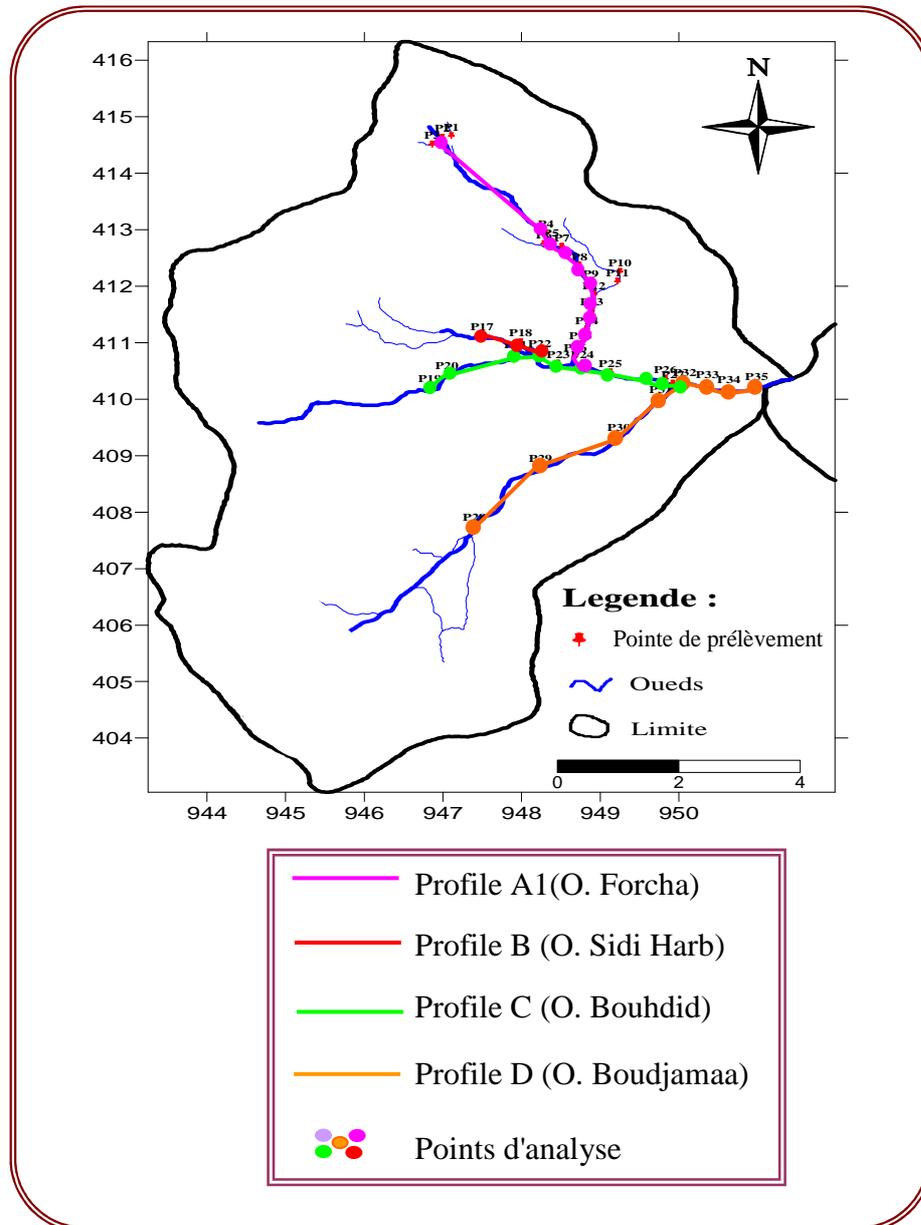


Fig. n° 41 : Carte de différents profils des points d'analyse

➤ **Cuivre**

La norme admise est de 1 mg/l, cette valeur n'est pas dépassée, la teneur oscille entre 0 et 0.4 mg/l. Dans le détail nous pouvons faire les observations suivantes :

• **Oued Forcha:**

Les Diagrammes réalisés montrent une augmentation des concentrations entre les différentes campagnes. On remarque l'apparition de pic de concentrations mais en différents points. Cette augmentation se fait lors des épisodes pluvieux. Ce qui peut s'expliquer par la remise en solution des éléments, sous nouvelles conditions de température et de pH, générant ainsi un accroissement des concentrations.

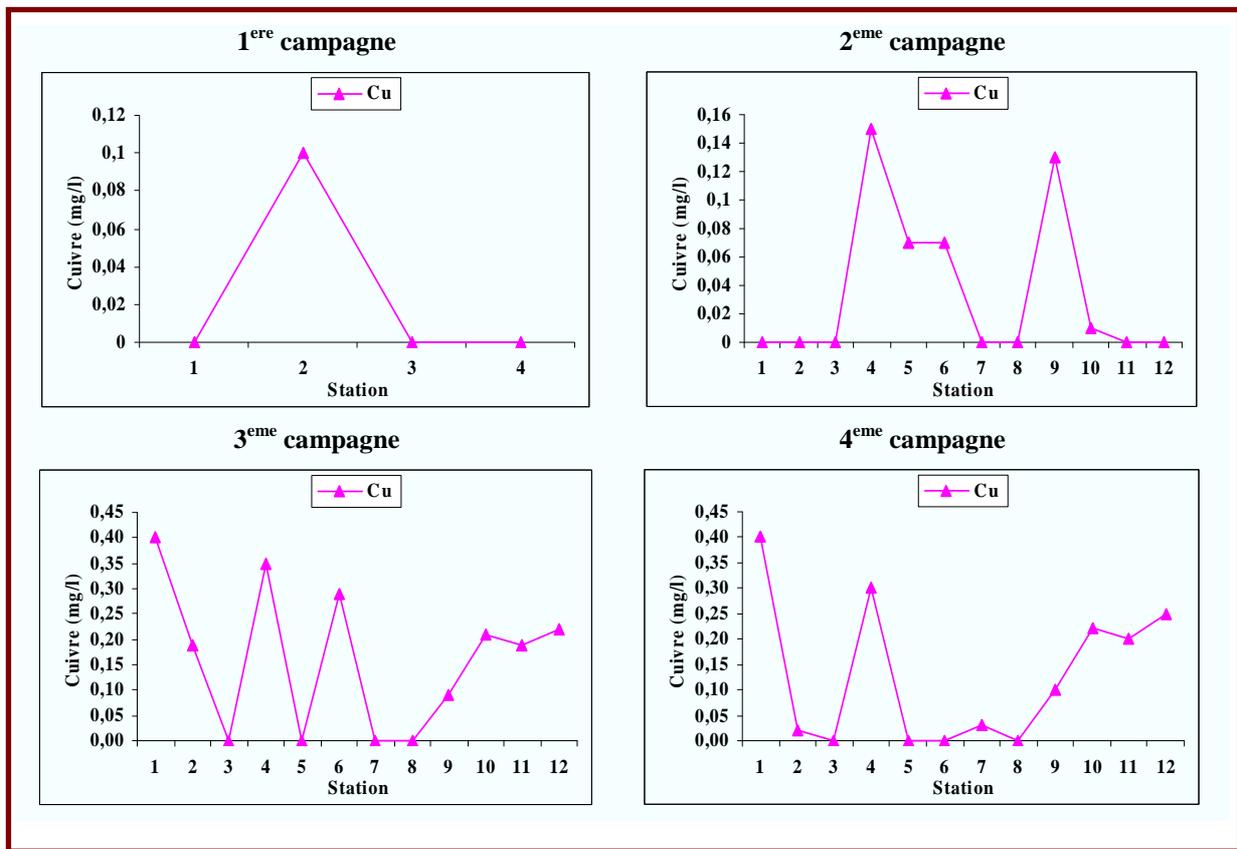


Fig. n° 42 : Les variations spatio-temporelles du **Cuivre** (Oued Forcha)

• **Oued Sidi Harb :**

Les concentrations de cuivre sont nulles lors de la première campagne, s'ensuit une légère augmentation lors de la deuxième campagne. Au cours des deux dernières campagnes nous notons un léger accroissement des teneurs mais elles restent inférieures à la norme (0.35 mg/l) et n'indiquent pas une pollution.

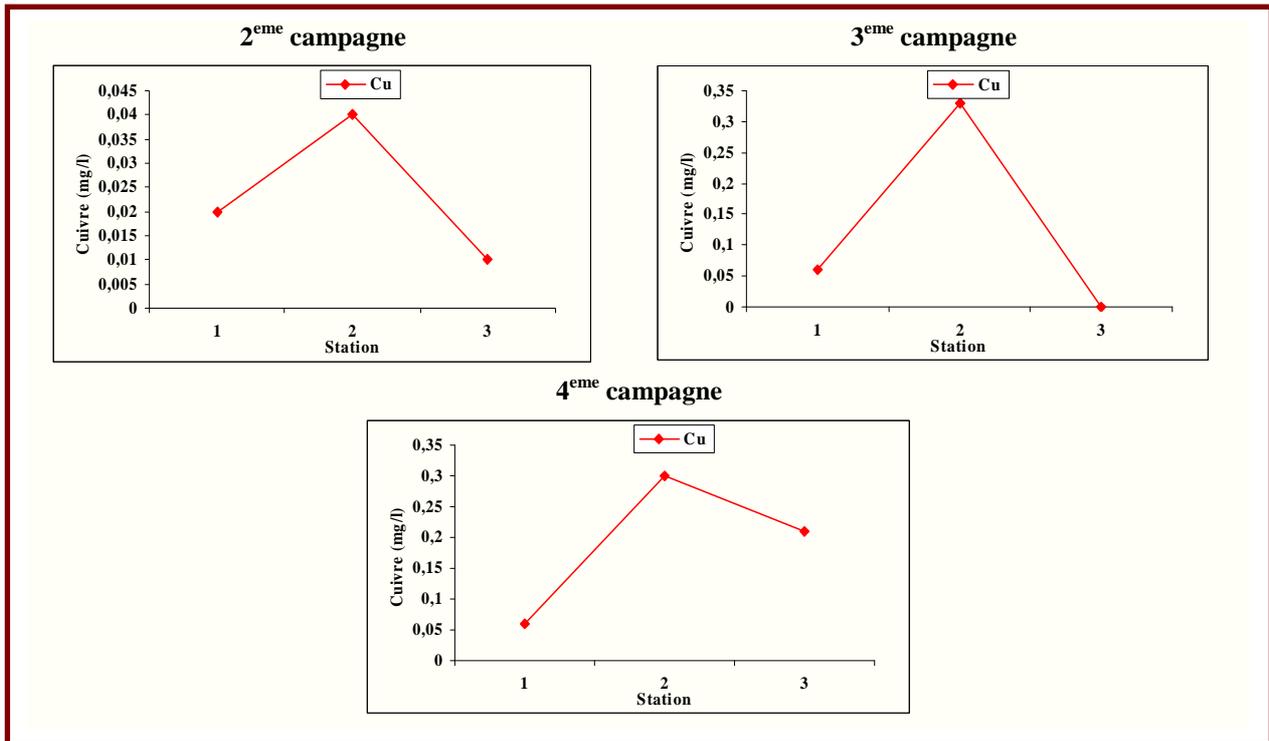


Fig. n° 43 : Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Sidi Harbe)

• Oued Bouhdid :

Les deux premières campagnes se caractérisent par des concentrations très faibles, par contre les deux dernières campagnes (3 et 4), indiquent une augmentation des concentrations. Cette situation serait due aux précipitations qui ont entraînées une remise en solution des ETM, par ailleurs les apports au niveau de l’Oued contribuent de manière significative à cette augmentation.

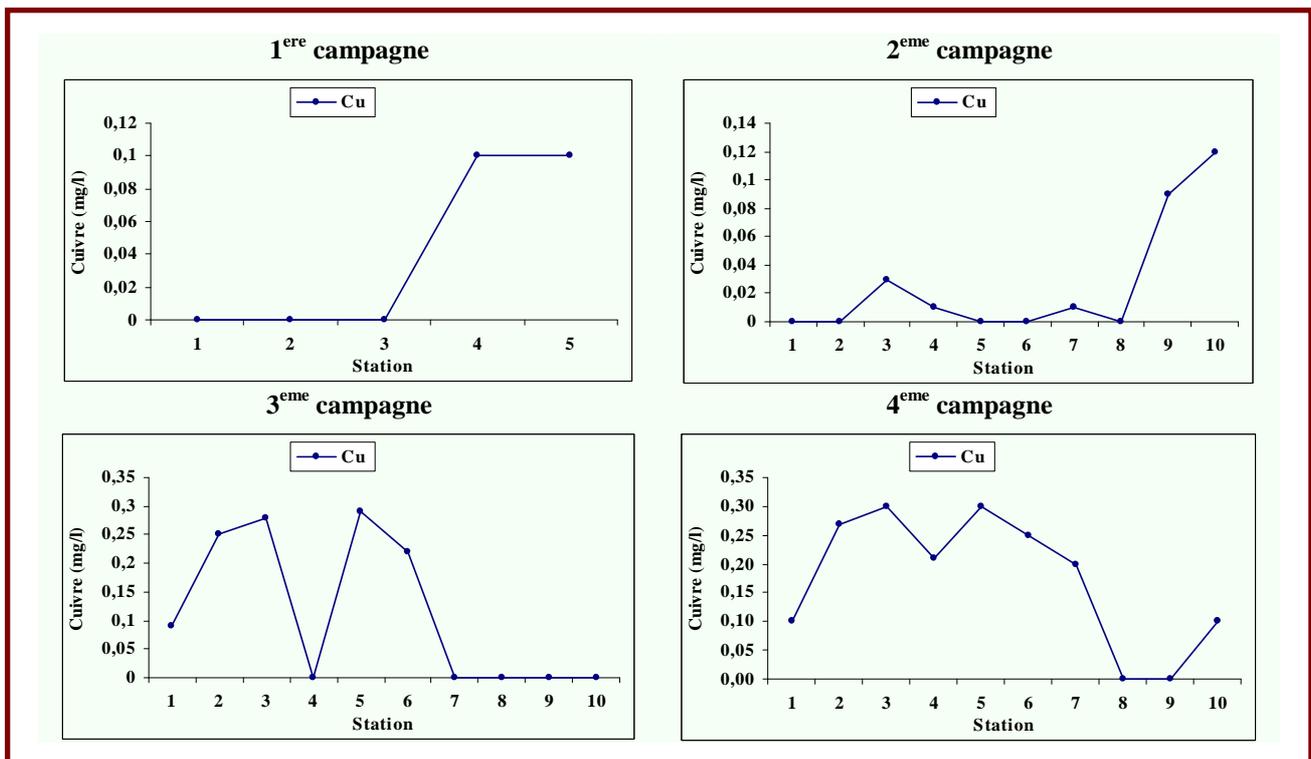


Fig. n° 44 : Les variations spatio-temporelles du Cuivre (Oued Bouhdid)

- **Oued Boudjemâa :**

Les concentrations enregistrées restent faibles. Cette tendance serait liée au fait que l'Oued Boudjemâa reçoit dans sa partie amont des eaux en provenance du massif de L'Edough. La variation en dents de scie montre des apports momentanés d'eau riches en cuivre.

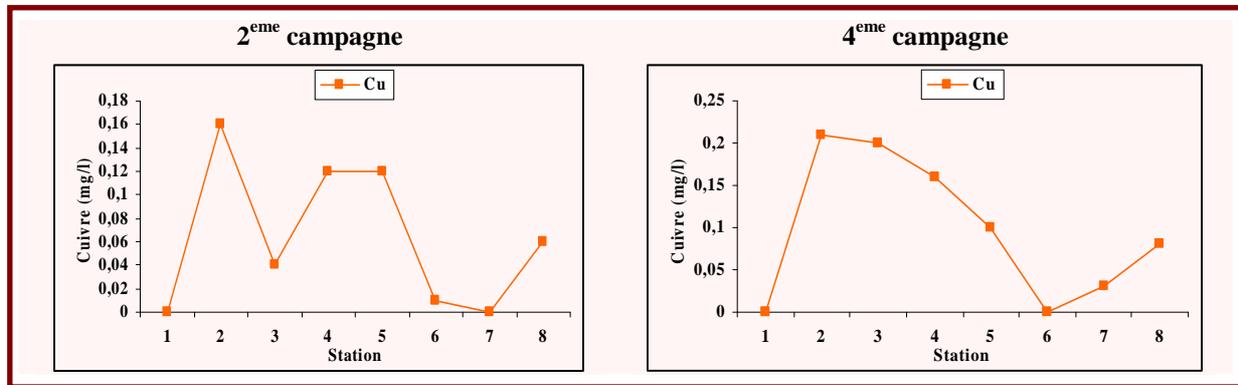


Fig. n° 45 : Les variations spatio-temporelles du **Cuivre** (Oued **Boudjamâa**)

➤ **Le plomb:**

En dehors des gisements plombifères, le plomb est un constituant naturel largement répandu dans la croûte terrestre. La norme fixée par l'OMS est de 0.01 mg/l on remarquera ainsi que la plupart des échantillons possèdent des teneurs élevées dépassant la valeur seuil. Dans cette zone le plomb peut provenir des rejets domestiques particulièrement présents. La présence du plomb dans ces eaux est d'origine anthropique.

- **Oued Forcha:**

Chaque campagne présente sa propre évolution. Lors de la campagne 1, les concentrations varient entre 0.1 et 0.3 mg/l, indiquant donc un excès de plomb par contre lors de la campagne 2 l'élément plomb montre deux situations, la première caractérisée par de fortes teneurs allant jusqu'à 0.2 mg/l caractérisant les stations 1,2, 3 et 4, à partir de la station 5, les concentrations baissent de manière significative et n'atteignent pas la valeur limite. Au cours de la troisième campagne on note une évolution inverse par rapport à la précédente, ce lui laisse supposer la poursuite du processus de remise en solution généré par les précipitations. Lors de la quatrième période on note une évolution aléatoire produite par les apports des rejets des eaux domestiques particulièrement chargées en plomb.

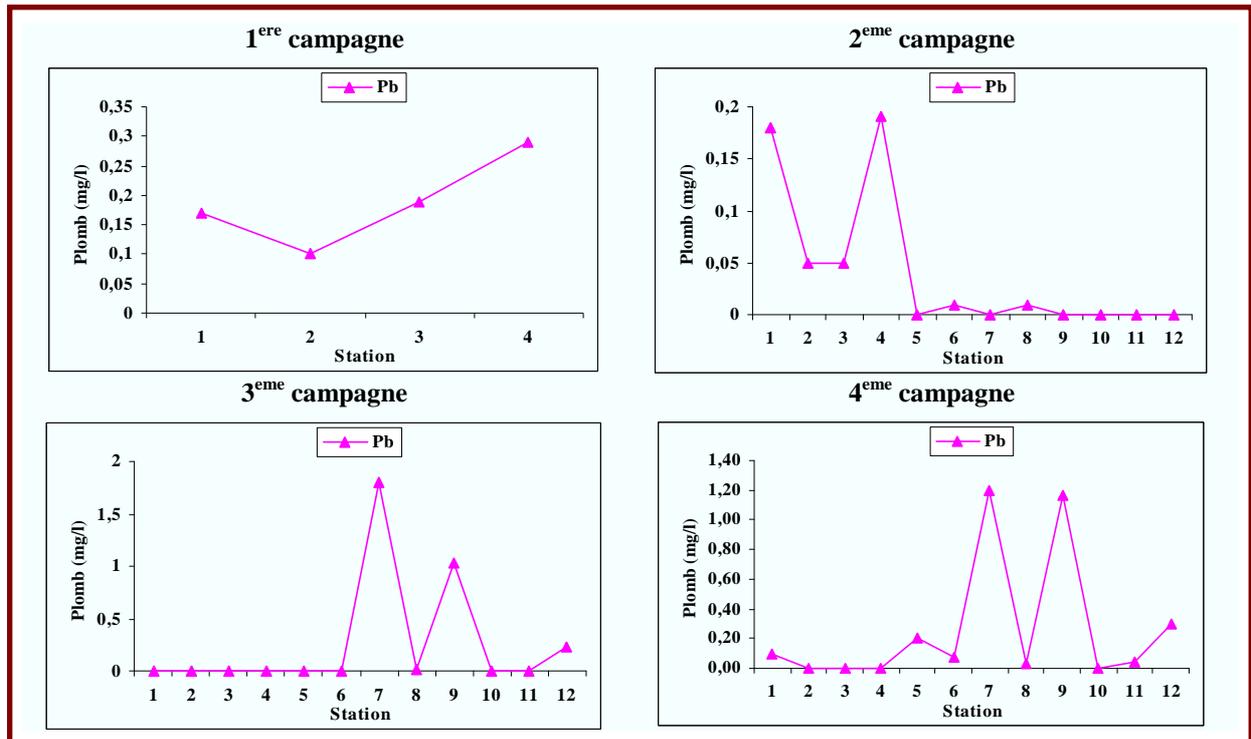


Fig. n° 46 : Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Forcha)

• Oued Sidi Harb :

D'une manière générale les teneurs en plomb restent supérieures aux normes pour toutes les stations de prélèvement, cependant au niveau de la station 2 (campagne 3), on remarque que les teneurs sont inférieures à la norme admise. Par ailleurs en allant de l'amont vers l'aval on note que les teneurs évoluent de la même manière pendant la campagne 1 et 4.

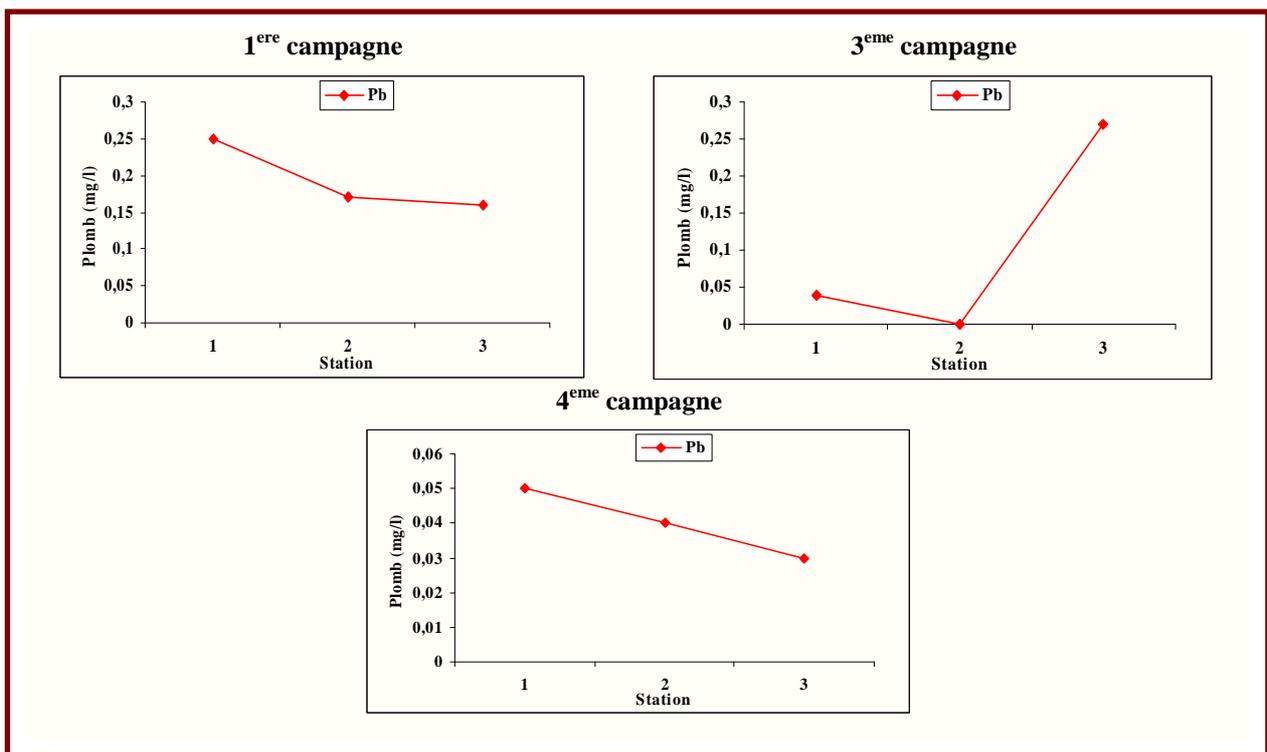


Fig. n° 47 : Les variations spatio-temporelles du Plomb (Oued Sidi Harb)

• **Oued Bouhdid :**

Nous remarquons une variation irrégulière d'une station à l'autre. Les concentrations sont parfois supérieures à la norme admise et parfois presque nulles. Cette évolution dépend de la nature des rejets qui arrivent à l'oued.

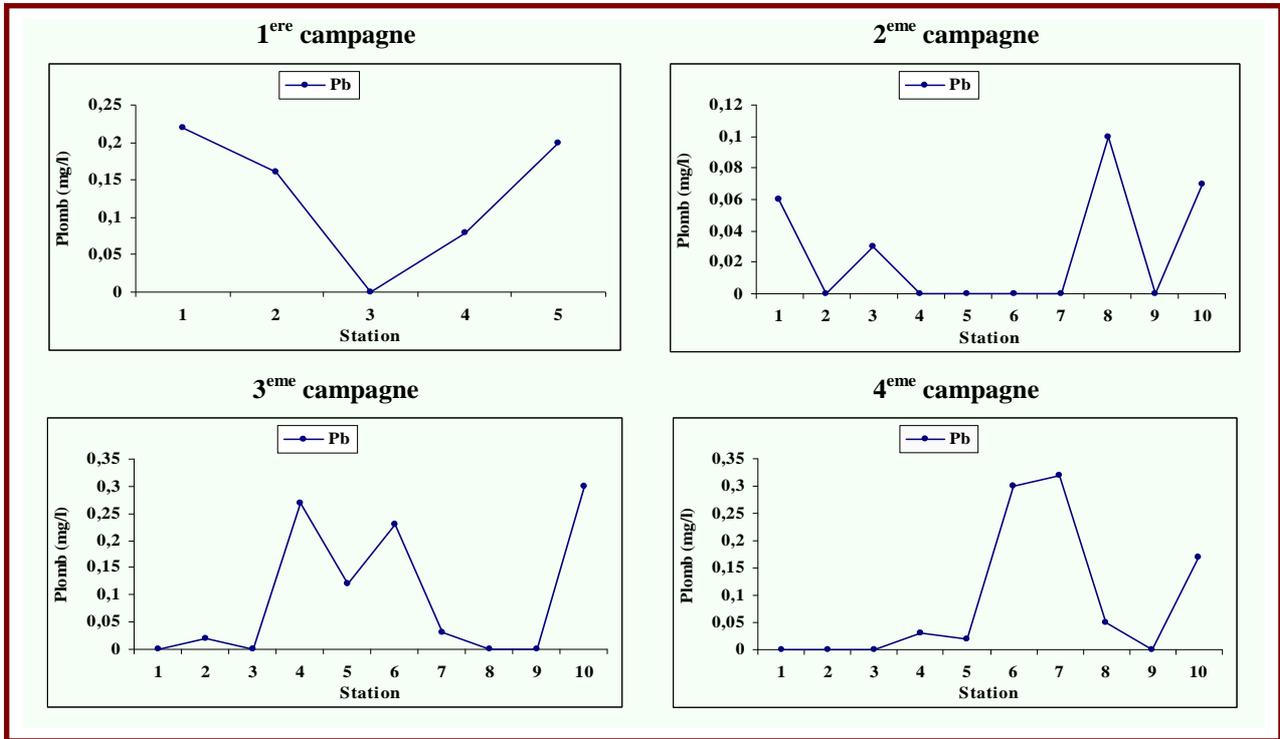


Fig. n° 48 : Les variations spatio-temporelles du **Plomb** (Oued **Bouhdid**)

• **Oued Boudjamâa :**

La plupart des points de prélèvement ont des concentrations supérieures à la norme, lors des campagnes 3 et 4, les concentrations sont importantes, les précipitations enregistrées ont entraîné la remobilisation de cet élément, provoquant ainsi son accroissement.

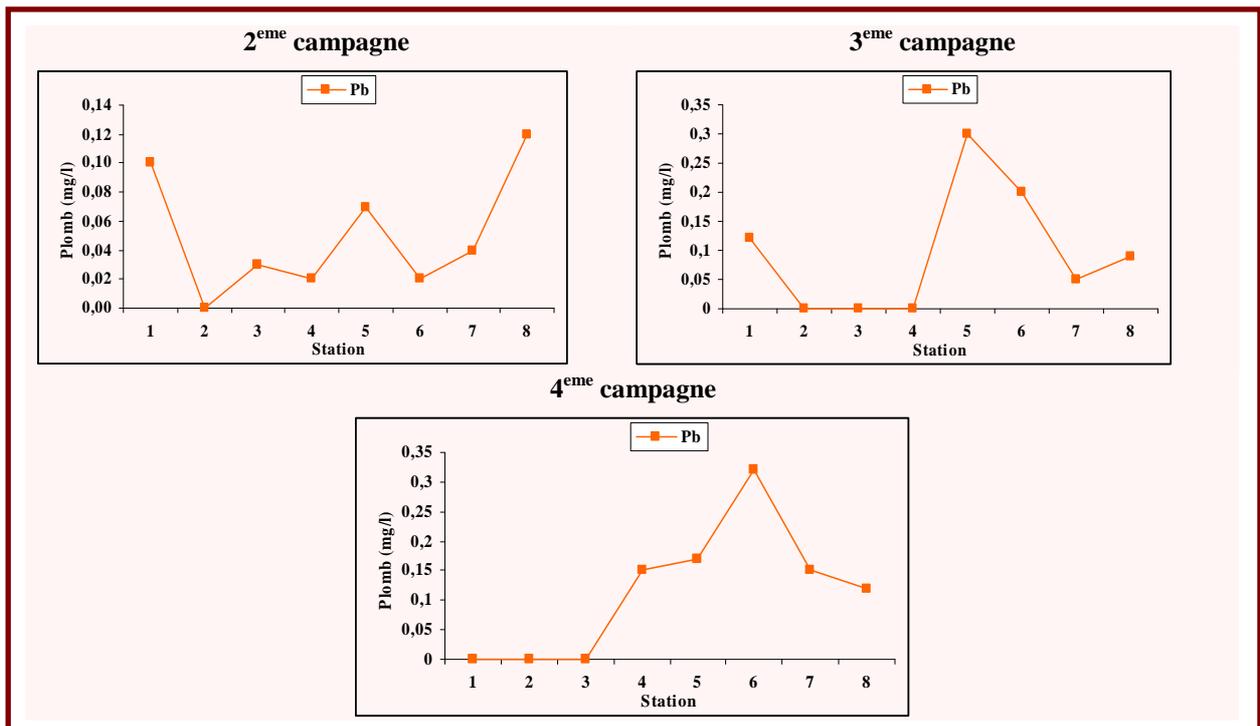


Fig. n° 49 : Les variations spatio-temporelles du **Plomb** (Oued **Boudjamâa**)

➤ **Le Nickel :**

La norme est de 0.5 mg/l, la législation Algérienne préconise 0.7 mg/l.

• **Oued Forcha:**

Lors des deux premières campagnes on constate que la plupart des stations des prélèvements présentent des teneurs inférieures aux normes admises. Lors de la troisième et de la quatrième campagnes, les teneurs sont supérieures à la norme elles atteignent 0.8 mg/l à la station 11 (campagne 4).

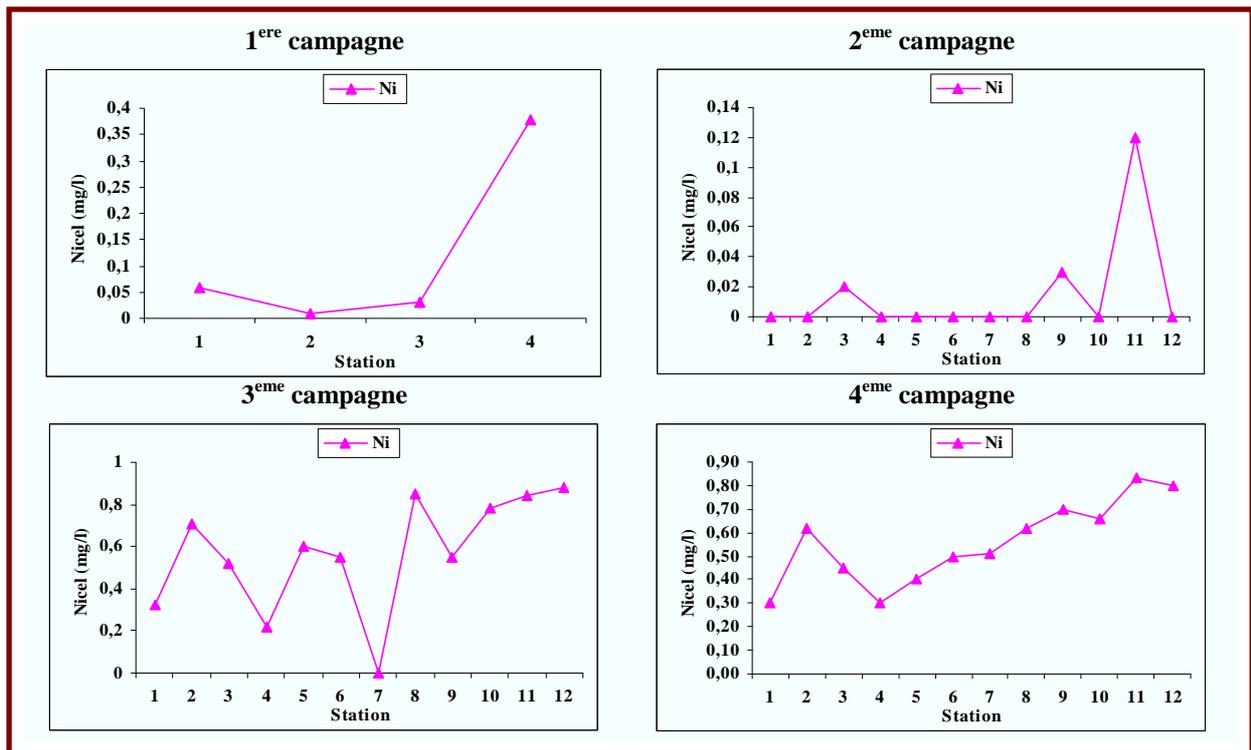


Fig. n° 50 : Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Forcha)

• **Oued Sidi Harb :**

Les deux premiers graphes présentent des concentrations inférieures à 0.5 mg/l. Les prélèvements effectués lors des campagnes 3 et 4 présentent des concentrations de l'ordre de 1.2 mg/l, indiquant une pollution, cette dernière est générée par les précipitations ayant entraînés la remobilisation de cet élément.

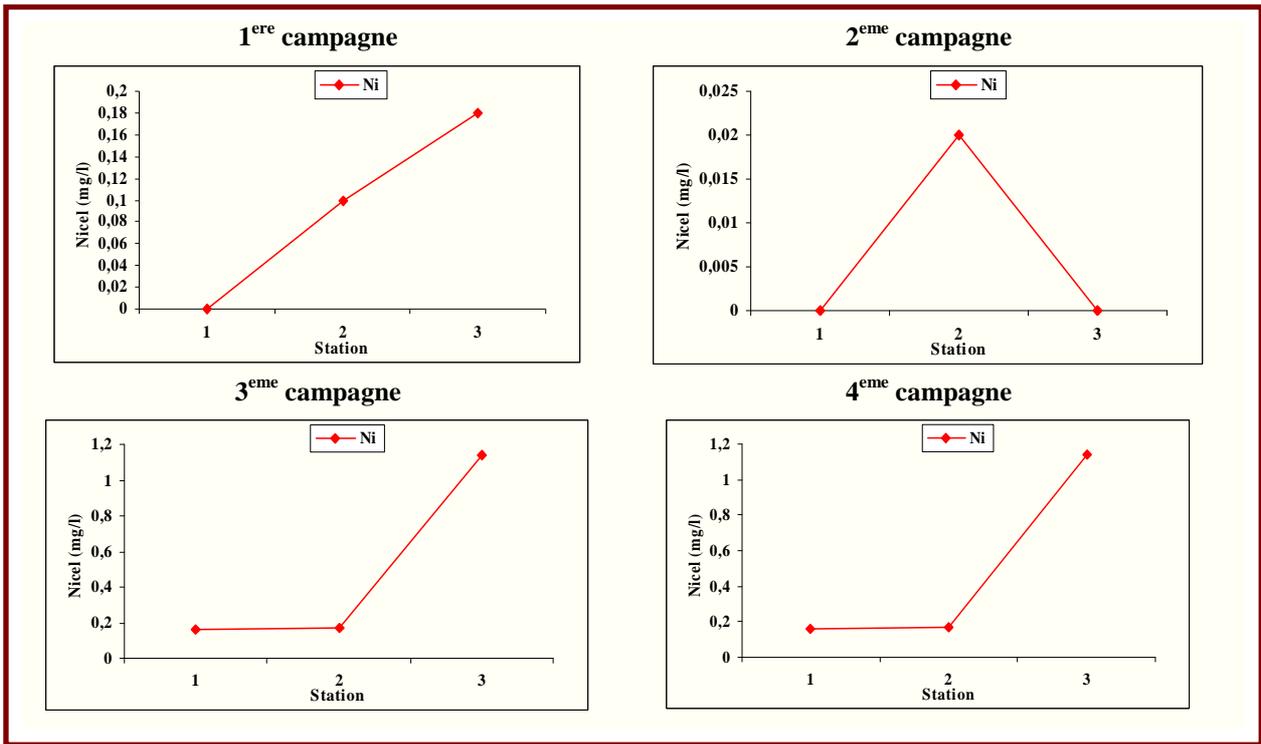


Fig. n° 51 : Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Sidi Harb)

• Oued Bouhdid :

On retrouve une évolution analogue à la précédente.

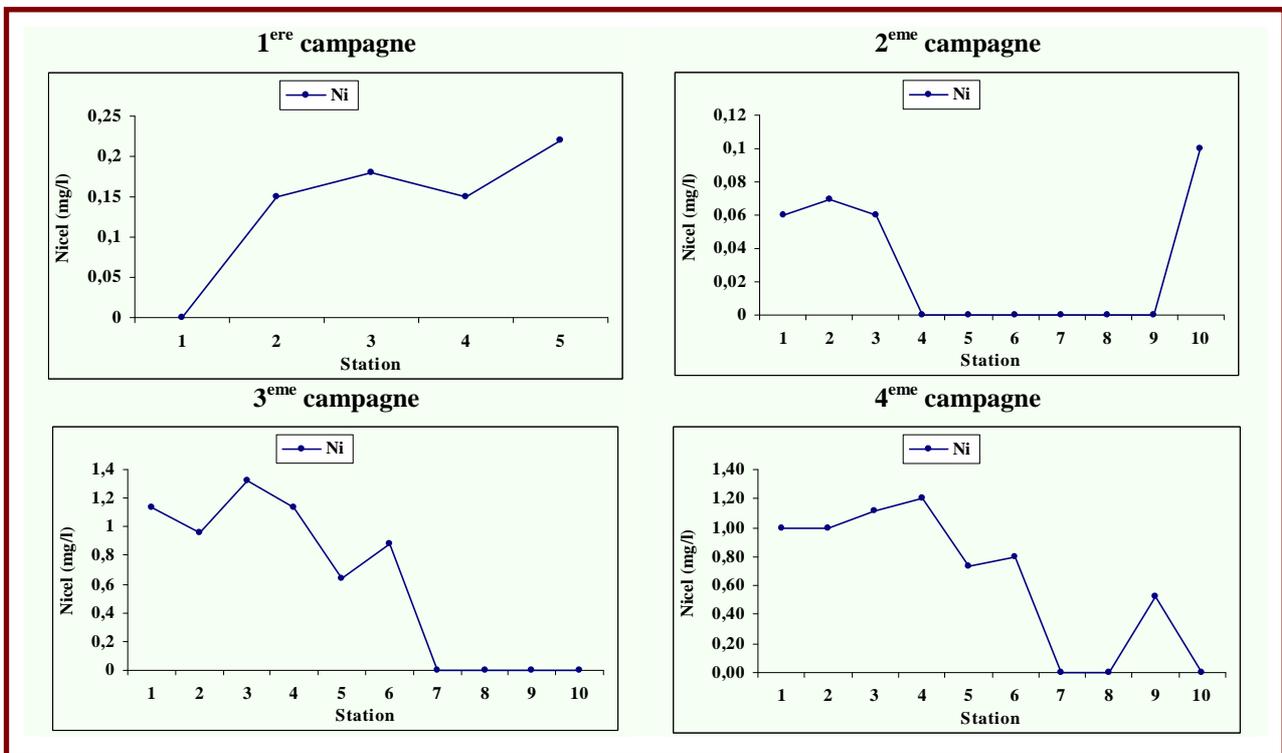


Fig. n° 52 : Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Bouhdid)

- **Oued Boudjamâa :**

Les concentrations obtenues sont faibles et n'indiquent pas une pollution des eaux de ce cours d'eau. Cette situation serait due au fait que ce cours d'eau ne véhicule pas uniquement les eaux usées.

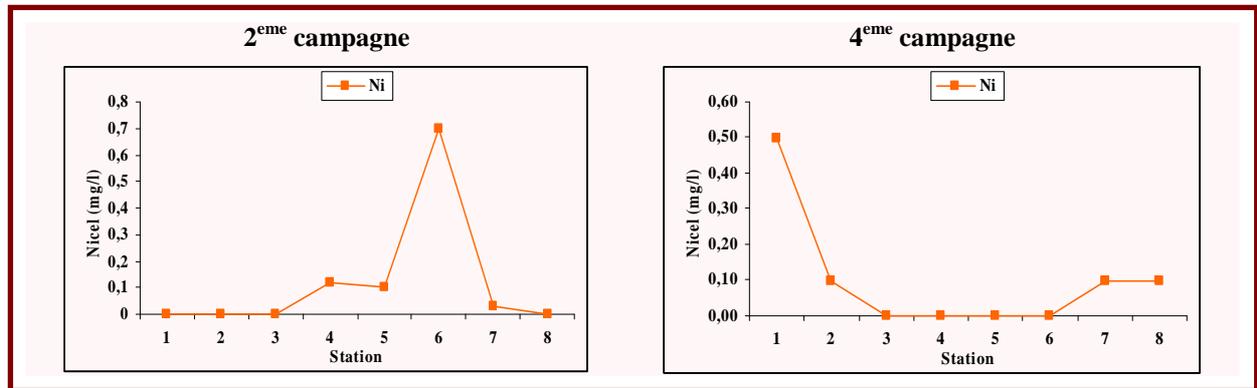


Fig. n° 53 : Les variations spatio-temporelles du Nickel (Oued Boudjamâa)

- **Le Chrome :**

Cet élément ne présente pas des concentrations indiquant une pollution des eaux des cours d'eau, sa présence en petite quantité serait d'origine géologique.

- **Le Manganèse :**

La norme fixée est de 0.05 mg/l. Le manganèse est très réparti dans la nature, Les concentrations dans l'écorce terrestre varient de 500 à 900 mg/kg. La présence de cet élément du point de vue industrie, est lié à la métallurgie; l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées les concentrations de ces deux éléments sont souvent faibles.

- **Oued Forcha :**

La première campagne montre des concentrations faibles inférieures à la norme par contre les autres campagnes (2, 3 et 4), montrent une présence très significative de cet élément dans les eaux analysées. Les eaux rejetées sont riches en manganèse.

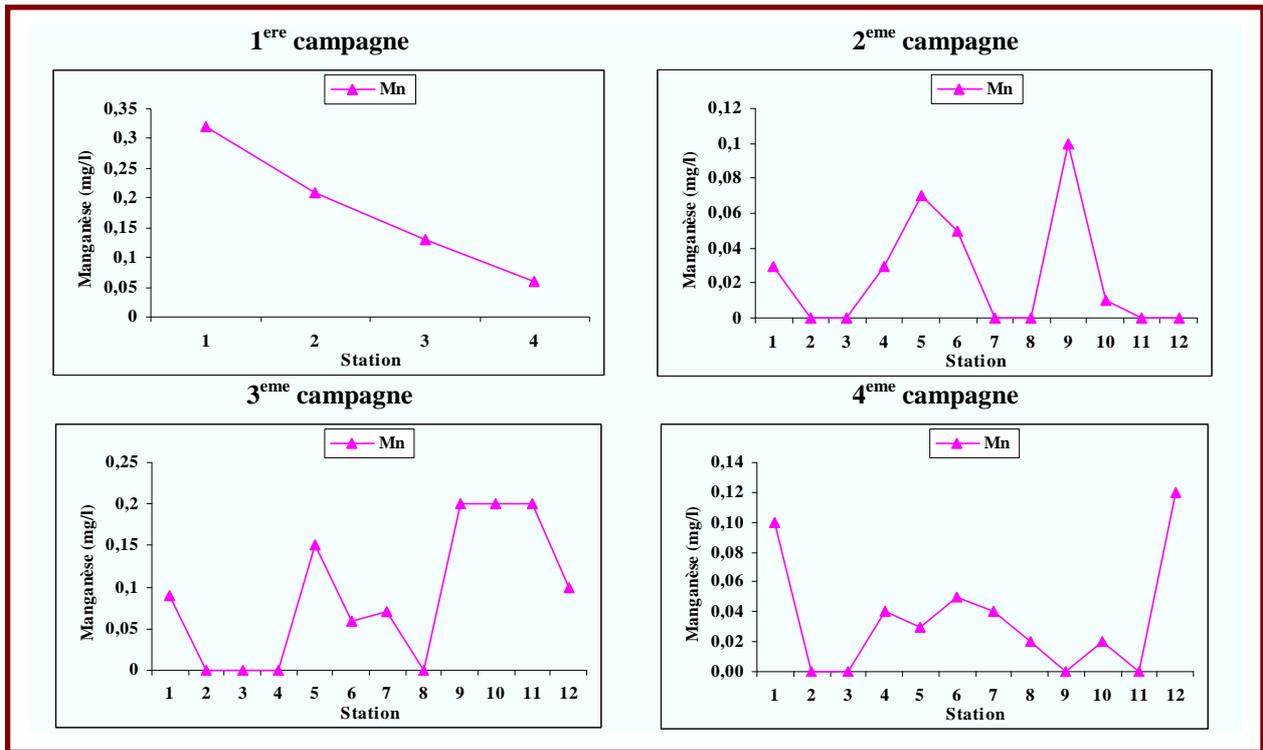


Fig. n° 54 : Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Forcha)

• **Oued Bouhdid :**

On retrouve la même tendance qu’au niveau de l’Oued Forcha. La présence du manganèse serait probablement due à la nature des eaux usées se déversant dans cet Oued. En effet dans ce secteur les rejets sont issus des habitations.

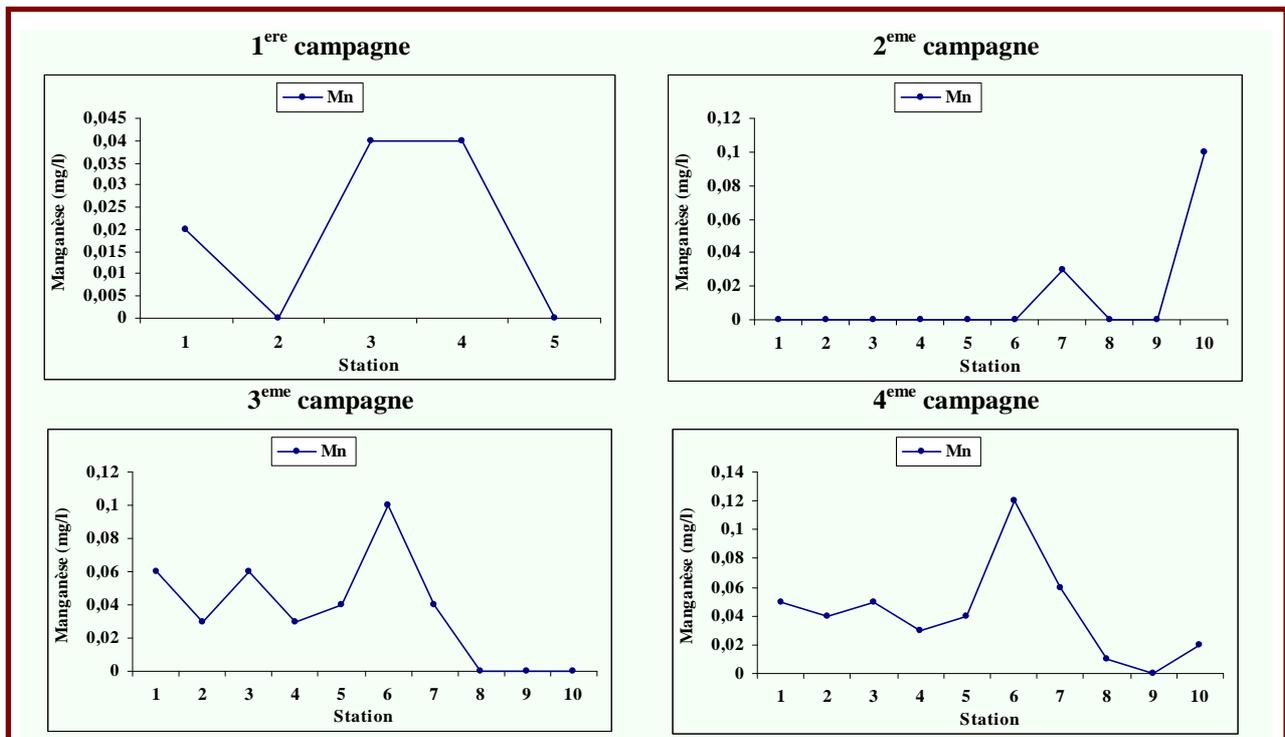


Fig. n° 55 : Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Bouhdid)

• **Oued Sidi Harb :**

Les eaux d'oued Sidi Harb présentent des teneurs importantes particulièrement lors des deux dernières campagnes. Ces concentrations indiquent une pollution des eaux par cet élément.

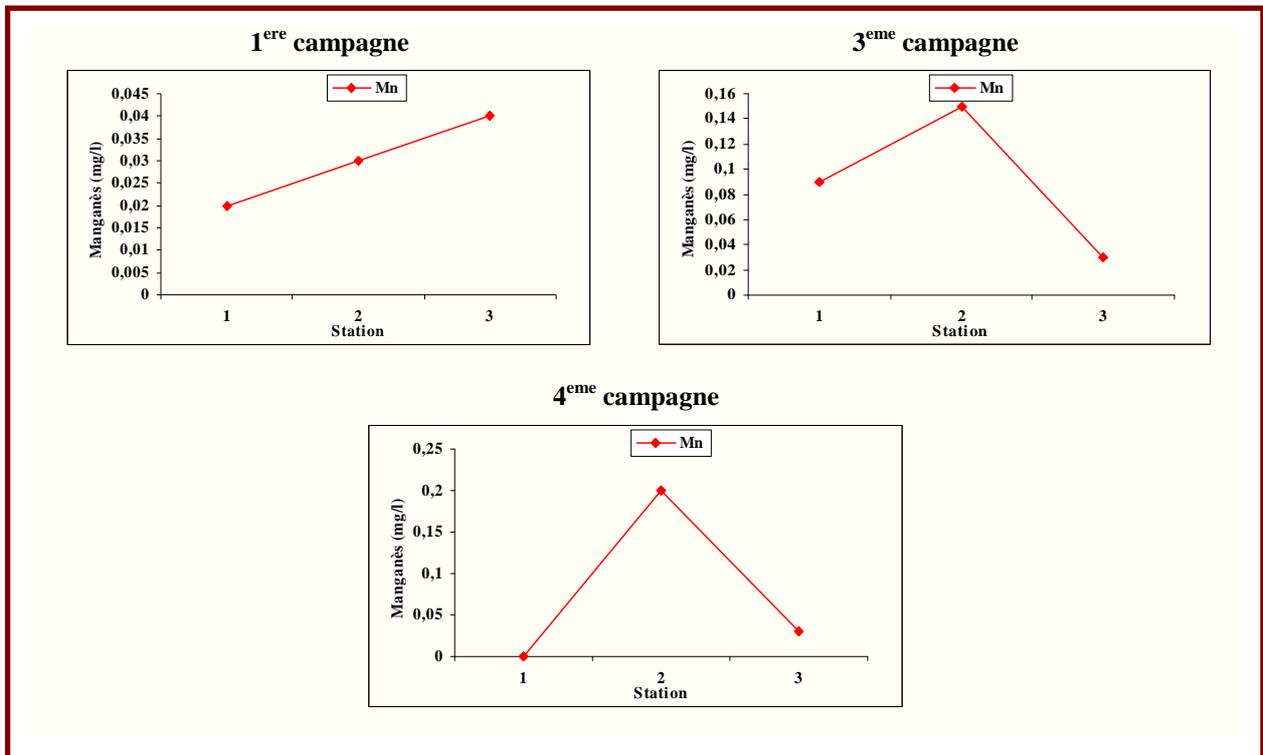


Fig. n° 56 : Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Sidi Harb)

• **Oued Boudjamâa :**

D'une manière générale, on remarque une variation rapide des concentrations d'une station à l'autre dans les deux campagnes, dont les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des eaux de la deuxième campagne, dû probablement à une perturbation du milieu suite à l'opération du dragage de l'oued.

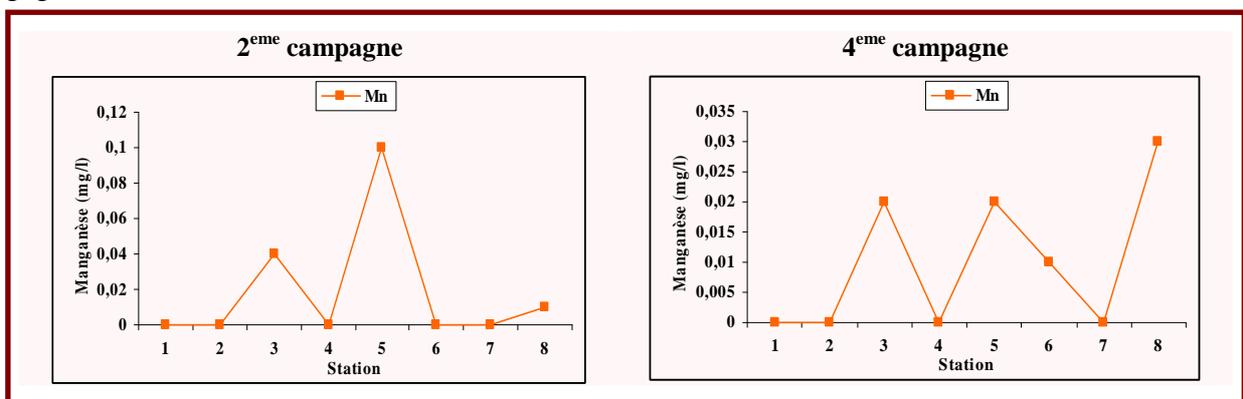


Fig. n° 57 : Les variations spatio-temporelles du Manganèse (Oued Boudjamâa)

➤ **Le Zinc :**

Le zinc est un métal très répandu sur le globe. Il entre dans les alliages, la galvanisation des pièces métalliques et dans la fabrication des pigments pour la teinture.

• **Oued Forcha :**

Les concentrations déterminées sont faibles comparativement à la valeur admises (0.5 mg/l).

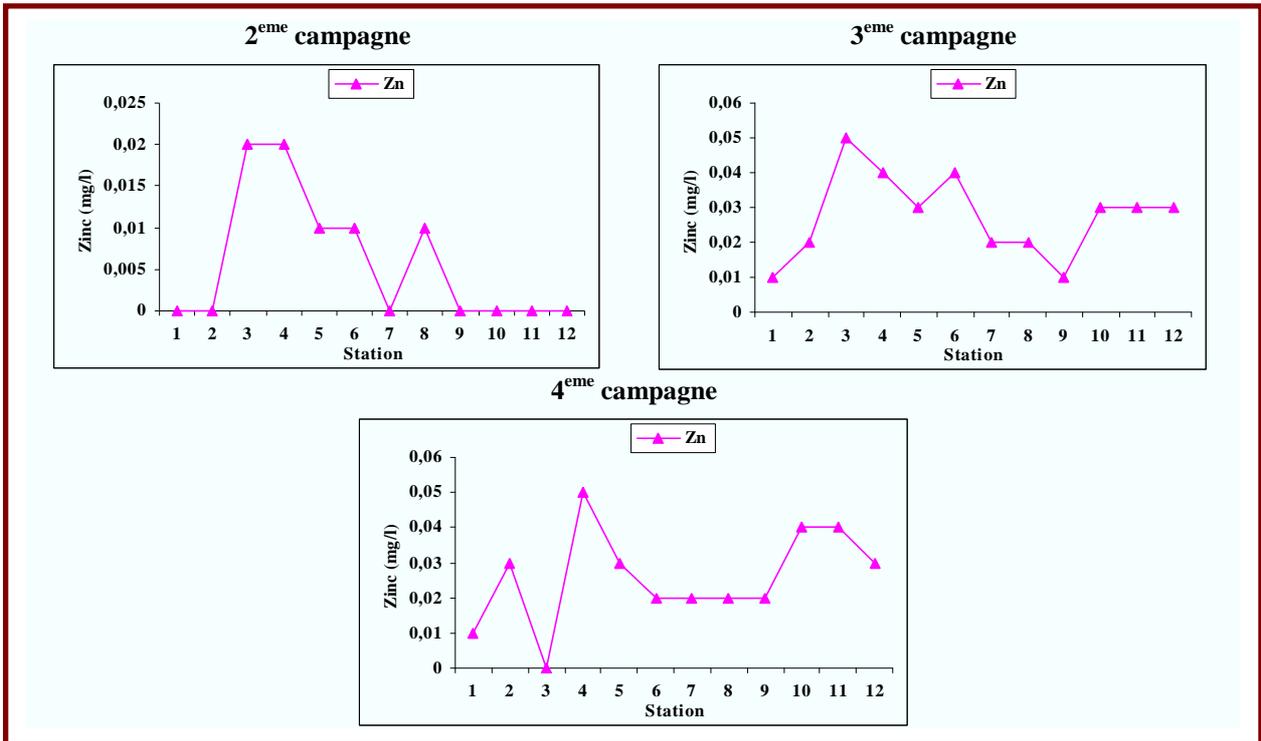


Fig. n° 58 : Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Forcha)

• **Oued Sidi Harb :**

Les teneurs déterminées sont inférieures à la norme. La maximale enregistrée est de l'ordre de 0.04 mg/l. On note une faible variation entre les différentes campagnes de prélèvement.

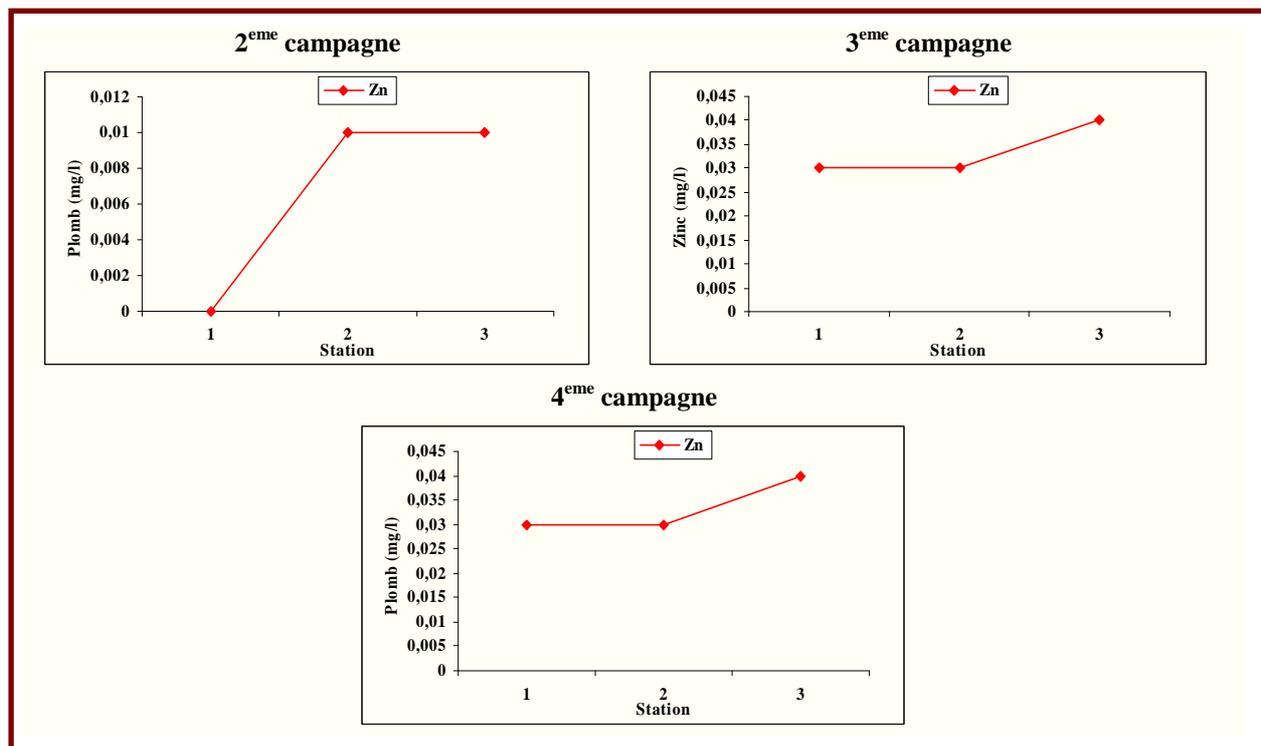


Fig. n° 59 : Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Sidi Harb)

• **Oued Bouhdid :**

Les teneurs de zinc sont très faibles, le maximum est enregistré 1.00 mg/l, se rapporte à la troisième campagne et indique une pollution des eaux au niveau de la station 6.

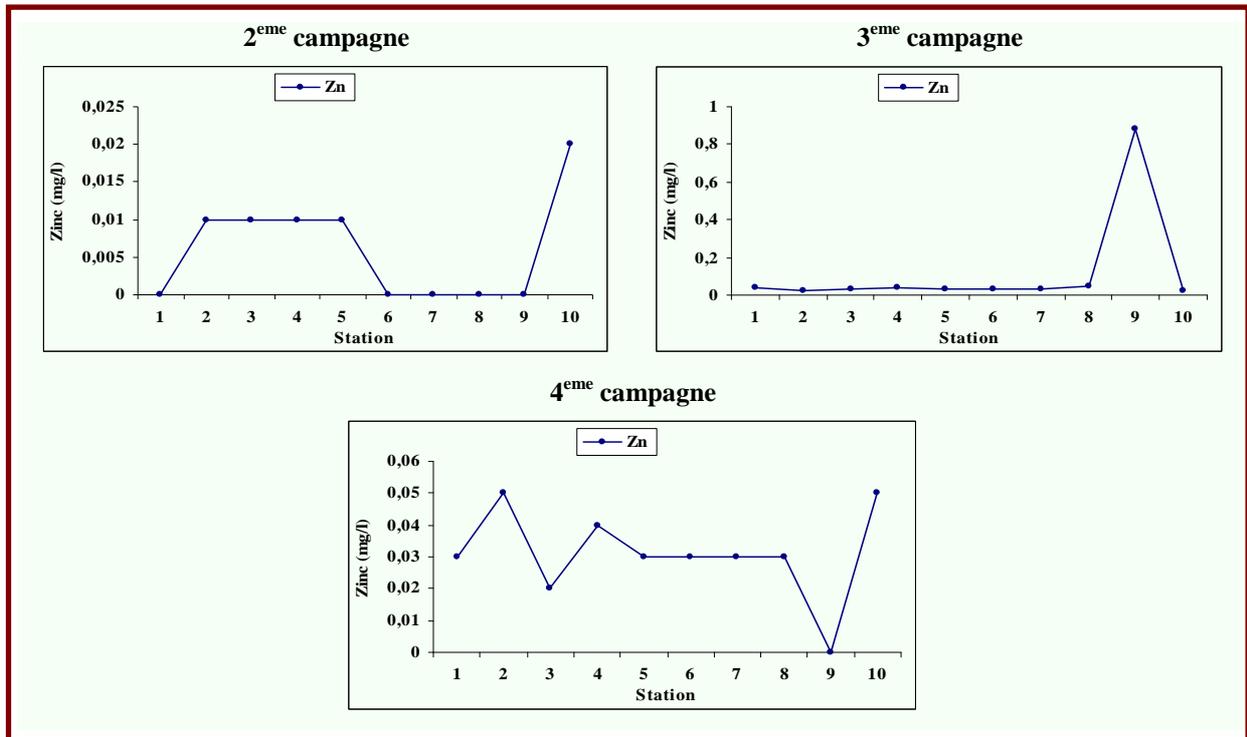


Fig. n° 60 : Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Bouhdid)

• **Oued Boudjamâa :**

Les concentrations sont très faibles dans les eaux de l'oued Boudjamâa. Elles varient entre 0 et 0.35 mg/l au maximum.

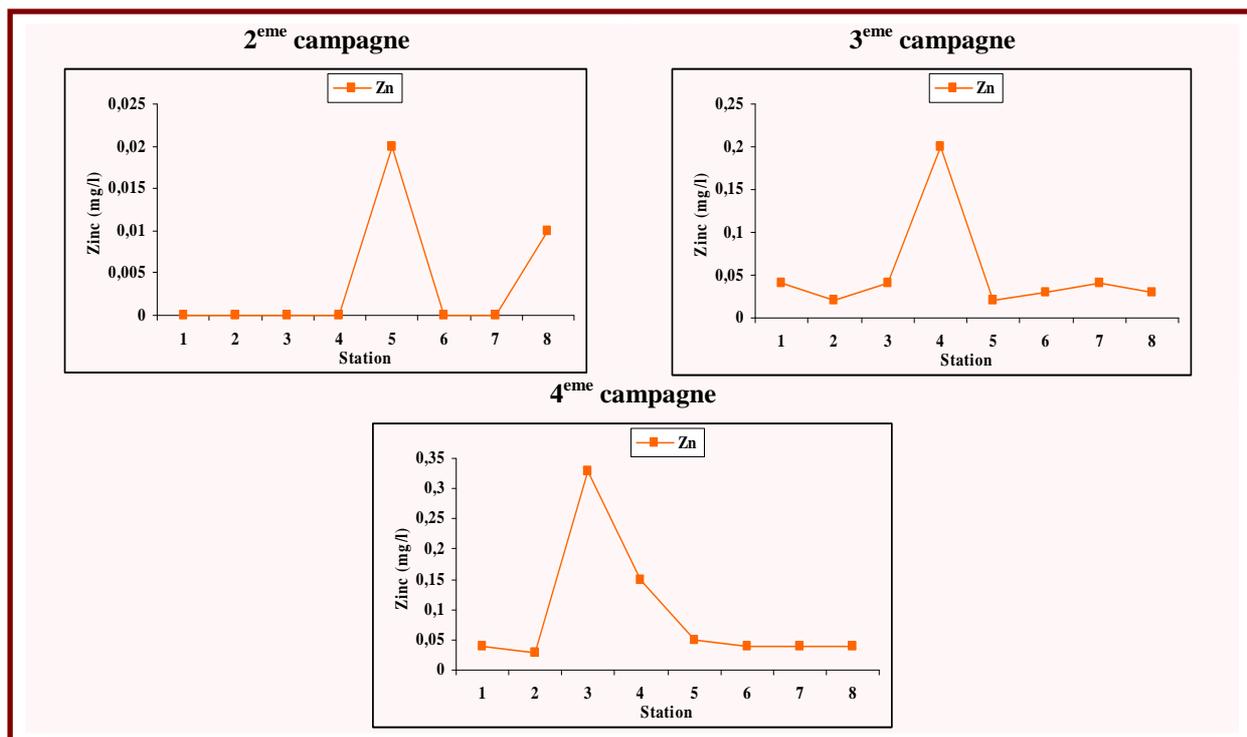


Fig. n° 61 : Les variations spatio-temporelles du Zinc (Oued Boudjamâa)

VII- Mise en évidence d'une pollution par la méthode de la fréquence de dépassement :

Les concentrations déterminées sont souvent importantes, exprimant une pollution des eaux, ce qui nous a incité à rechercher le ou les polluants montrant un dépassement. L'analyse statistique réalisée a montré des éléments dont la valeur moyenne dépassée la valeur guide par contre pour d'autre c'est la valeur maximale qui indique une pollution. Cette répartition nous amène à prendre en considération deux situations selon deux scénarios, l'un optimiste et l'autre pessimiste.

VII-1- Méthode de la fréquence de dépassement :

Cette méthode est basée sur deux facteurs :

- l'utilisation des valeurs guides comme limite,
- un calcul de la fréquence de dépassement.

L'équation écrite comme la suivante :

$$F_i = \sum^n (N-C) / n$$

Avec ;

- F_i = Fréquence de dépassement.
- N = Norme guide pour l'élément.
- C = Concentration pour l'élément pour n échantillon.
- n = Nombre d'échantillon,

*** Valeurs guides :**

Le tableau suivant donne les valeurs guides des éléments étudiés :

Element	N	Valeur Guide (N)
Mn	121	0.05
Cu	121	0.02
Cr	121	0.05
Pb	121	0.05
Zn	121	0.5
Ni	121	0.5

Tableau n° 26 : Valeurs Guides (N)

*** Les moyennes des concentrations :**

- Calcul du (C) :

$$C = \sum c_i / n$$

Avec :

- C_i : Concentration d'élément
- n : le nombre d'échantillons

a)- Cas d'une situation optimiste :

Dans ce cas nous allons utiliser la concentration moyenne pour le calcul de la fréquence de dépassement. Le tableau n° 27 extrait du tableau de la statistique élémentaire, récapitule les valeurs des concentrations moyennes qui seront utilisées pour le calcul de la fréquence de dépassement.

Element	N	Concentration moyenne (C)
Mn	121	0.040
Cu	121	0.088
Cr	121	0.008
Pb	121	0.130
Zn	121	0.030
Ni	121	0.257

Tableau n° 27 : Concentration moyenne (C)

a-1- Calcul (N-C) :

Les résultats sont récapitulés dans le tableau n° 28 suivant :

Element	N	Valeur Guide (N)	Concentration moyenne (C)	(N-C)
Mn	121	0.05	0.040	0.010
Cu	121	0.02	0.088	- 0.068
Cr	121	0.05	0.008	0.042
Pb	121	0.05	0.130	- 0.08
Zn	121	0.5	0.030	0.47
Ni	121	0.5	0.257	0.243

Tableau n° 28 : Les résultats de (N – C)

Si N-C supérieur à zéro donc pas de pollution,

Si N-C, inférieur à zéro il y a pollution.

a-2- L'interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus on a :

*** Pour le Cuivre (Cu) :**

$$N-C = - 0.068 < 0 \quad \Rightarrow \text{il y a une pollution.}$$

*** Pour le Chrome (Cr) :**

$$N-C = 0.042 > 0 \quad \Rightarrow \text{pas de pollution.}$$

*** Pour le Plomb (Pb) :**

$$N-C = - 0.08 < 0 \quad \Rightarrow \text{il y a une pollution.}$$

* Pour le Zinc (Zn) :

$$N-C = 0.47 > 0 \quad \Rightarrow \text{pas de pollution.}$$

* Pour le Nickel (Ni) :

$$N-C = 0.243 > 0 \quad \Rightarrow \text{pas de pollution.}$$

* Pour le Manganèse (Mn) :

$$N-C = 0.010 > 0 \quad \Rightarrow \text{pas de pollution.}$$

Les résultats obtenus montrent une pollution par le plomb et par le cuivre, par contre les autres éléments (le Manganèse, le Nickel, le Chrome et le Zinc), restent dans des limites acceptables.

b)- Cas d'une situation pessimiste :

Dans ce cas on prend en considération les concentrations maximales obtenues lors des analyses. Le tableau suivant n° 29, récapitule les valeurs maximales des éléments dosés.

Elément	N	Concentrations maximales (C)
Mn	121	0.450
Cu	121	0.450
Cr	121	0.050
Pb	121	1.800
Zn	121	0.880
Ni	121	1.320

Tableau n° 29 : Concentration maximales calculées

b-1- Calcul (N-C) :

Les résultats sont récapitulés sur le tableau suivant :

Element	N	Valeur Guide (N)	Concentrations maximales (C)	(N-C)
Mn	121	0.05	0.450	- 0.40
Cu	121	0.02	0.450	- 0.43
Cr	121	0.05	0.050	0.00
Pb	121	0.05	1.800	- 1.75
Zn	121	0.5	0.880	- 0.38
Ni	121	0.5	1.320	- 0.82

Tableau n° 30 : Les résultats de (N – C)

Si N-C supérieur à zéro donc pas de pollution,

Si N-C, inférieur à zéro il y a pollution.

b-2- L'interprétation des résultats : D'après les résultats obtenus on a :

* Pour le Cuivre (Cu) :

$$N-C = - 0.43 < 0 \quad \Rightarrow \text{pollution confirmée.}$$

* Pour le Chrome (Cr) :

$$N-C = 0.00 = 0 \quad \Rightarrow \text{limite de pollution.}$$

* Pour le Plomb (Pb) :

$$N-C = - 1.75 < 0 \quad \Rightarrow \text{pollution confirmée.}$$

* Pour le Zinc (Zn) :

$$N-C = - 0.38 < 0 \quad \Rightarrow \text{pollution confirmée}$$

* Pour le Nickel (Ni) :

$$N-C = - 0.82 < 0 \quad \Rightarrow \text{pollution confirmée.}$$

* Pour le Manganèse (Mn) :

$$N-C = - 0.40 < 0 \quad \Rightarrow \text{pollution confirmée.}$$

Les résultats obtenus indiquent une pollution des eaux des oueds par le Cuivre, Plomb, Manganèse, Nickel et le Zinc. Le chrome reste dans les limites et peut indiquer tantôt une pollution tantôt le contraire, c'est pourquoi nous avons parlé de pollution perceptible.

VII-2- Calcul les pourcentages des points d'eau de dépassement (les points d'eaux qui représente une pollution) :

On a un total de 121 points d'eau échantillonné

a) – pourcentage du Cuivre :

Il y a 61 point d'eau qui dépasse les valeurs guide donc :

$$\left. \begin{array}{l} 121 \longrightarrow 100 \% \\ 61 \longrightarrow X_{Cu} \end{array} \right\} X_{Cu} = 61 \cdot 100 / 121 = 50,41 \%$$

$$X = 50,41 \%$$

- Dans l'oued Forcha on a 26 points de dépassements c'est dire 42,62 %.
- Dans l'oued Sidi Harb on a 06 points de dépassements c'est dire 9,83 %.
- Dans l'oued Bouhdid on a 18 points de dépassements c'est dire 29,51 %.
- Dans l'oued Boudjamâa on a 11 points de dépassements c'est dire 18,03 %.

b) – pourcentage du Plomb :

Il y a 55 point d'eau qui dépasse les valeurs guide donc :

$$\left. \begin{array}{l} 121 \longrightarrow 100 \% \\ 55 \longrightarrow X_{Pb} \end{array} \right\} X_{Pb} = 55 \cdot 100 / 121 = 45,45 \%$$

$$X = 45,45 \%$$

- Dans l'oued Forcha on a 24 points de dépassements c'est dire 43,64 %.
- Dans l'oued Sidi Harb on a 05 points de dépassements c'est dire 9,09 %.
- Dans l'oued Bouhdid on a 14 points de dépassements c'est dire 25,45 %.
- Dans l'oued Boudjamâa on a 12 points de dépassements c'est dire 21,82 %.

c) – pourcentage du Manganèse :

Il y a 32 point d'eau qui dépasse les valeurs guide donc :

$$\left. \begin{array}{l} 121 \longrightarrow 100 \% \\ 32 \longrightarrow X_{Mn} \end{array} \right\} X_{Mn} = 32 \cdot 100 / 121 = 26,45 \%$$

$$\boxed{X = 26,45 \%}$$

- Dans l'oued Forcha on a 20 points de dépassements c'est dire 62,50 %.
- Dans l'oued Sidi Harb on a 03 points de dépassements c'est dire 9,37 %.
- Dans l'oued Bouhdid on a 08 points de dépassements c'est dire 25 %.
- Dans l'oued Boudjamâa on a 01 points de dépassements c'est dire 03,12 %.

d) – pourcentage du Zinc :

Il y a 1 point d'eau qui dépasse les valeurs guide donc :

$$\left. \begin{array}{l} 121 \longrightarrow 100 \% \\ 01 \longrightarrow X_{Zn} \end{array} \right\} X_{Zn} = 01 \cdot 100 / 121 = 0,83 \%$$

$$\boxed{X = 0,83 \%}$$

- Dans l'oued Forcha, Sidi Harb et oued Bouhdid pas de points de dépassement 00 %
- Dans l'oued Boudjamâa on a 01 points de dépassements c'est dire 100 %.

e) – pourcentage du Nickel :

Il y a 31 point d'eau qui dépasse les valeurs guide donc :

$$\left. \begin{array}{l} 121 \longrightarrow 100 \% \\ 31 \longrightarrow X_{Ni} \end{array} \right\} X_{Ni} = 31 \cdot 100 / 121 = 25,62 \%$$

$$\boxed{X = 25,62 \%}$$

- Dans l'oued Forcha on a 18 points de dépassements c'est dire 58,06 %.
- Dans l'oued Sidi Harb on a 02 points de dépassements c'est dire 6,45 %.
- Dans l'oued Bouhdid on a 10 points de dépassements c'est dire 32,26 %.
- Dans l'oued Boudjamâa on a 01 points de dépassements c'est dire 03,23 %.

Nous remarquons que la fréquence de dépassement reste faible pour l'Oued Boudjemaa, elle atteint au maximum 21 % pour le plomb. L'oued Forcha reste le plus pollué avec 58, 06 % en nickel, 62.50 % en manganèse, 43,64 % en plomb, 42,62 % en cuivre. L'oued Bouhdid indique également une pollution conséquente. .

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les trois oueds collecteurs des eaux usées (Oued Forcha, Bouhdid et Sidi Harb), sont pollués. Cette pollution diffère d'un cours d'eau à l'autre. Cette différence serait liée aux apports se faisant à partir des habitations. En effet l'oued Forcha charrie les eaux en provenance de toute la zone Nord, ces dernières se déversent dans le collecteur principal.

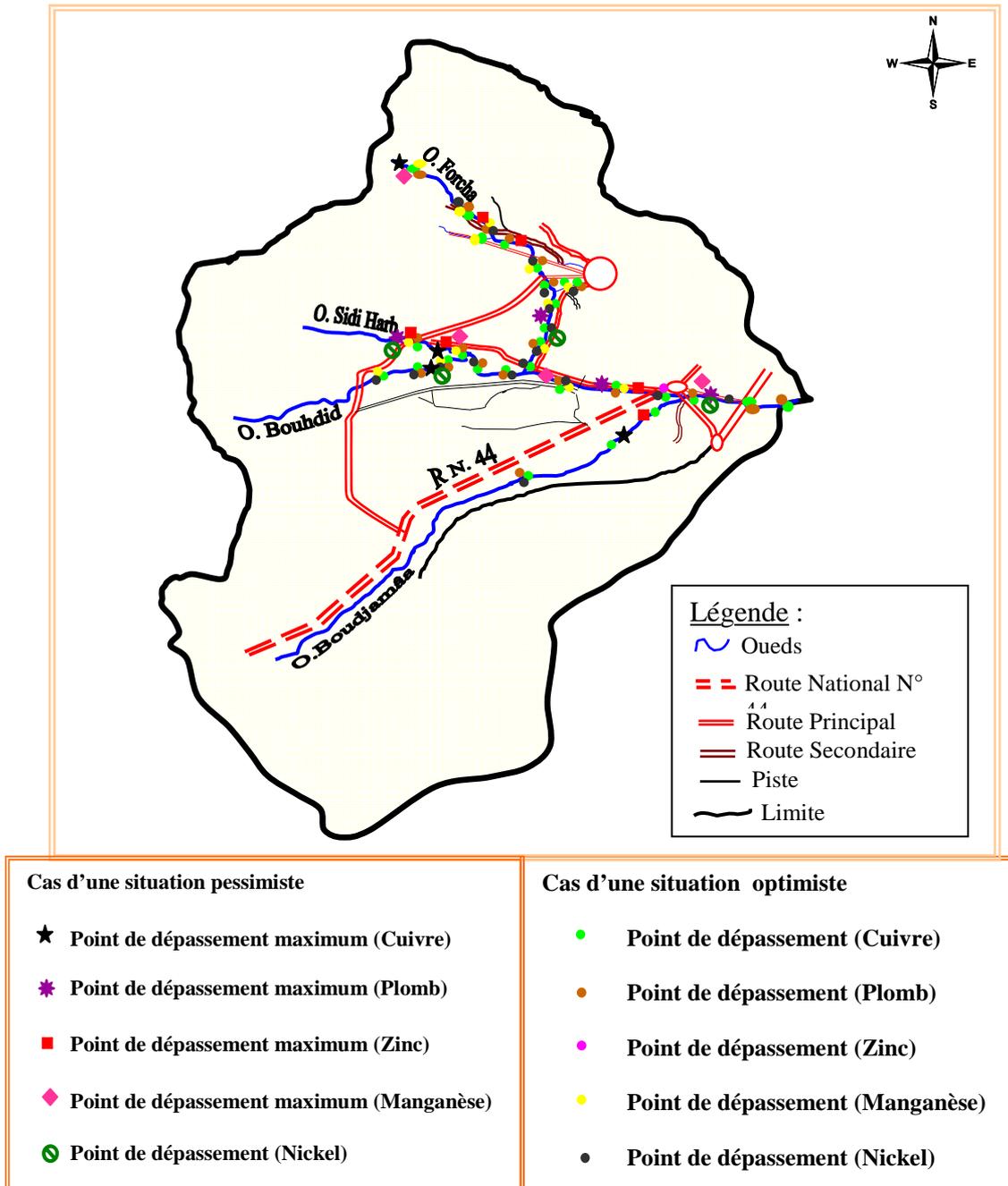


Fig. n° 62 : Carte de l'emplacement des différents points de dépassement (Points d'eau qui présentent une pollution par les métaux « Cu, Cr, Zn, Mn, Pb et Ni »)

Les Oueds Sidi Harb et Bouhdid, drainent les eaux des massifs environnants et les eaux usées en provenance des cités environnantes. Comparativement à la cité de l'Oued Forcha, ces cités ne sont pas très peuplées. Les points indiquant une pollution importante se localisent au niveau du collecteur principal. C'est au niveau de cet oued où convergent les eaux des trois cours d'eau. L'Oued Boudjemaa caractérisé par des eaux moins polluées. Ces eaux en proviennent de Boukhadra et de la zone marécageuse, donc moins chargées.

Conclusion :

Pour connaître l'état de la pollution des Oueds et par conséquent l'impact des rejets domestiques sur la qualité des eaux. Un suivi mensuel s'étalant sur quatre campagnes a été réalisé, les résultats obtenus ont montré une pollution des eaux des Oueds par les ETM. La mise en évidence de cette pollution a été illustrée par la méthode de dépassement, cette dernière a montré que les cours d'eau sont pollués mais à différents degrés. En effet l'Oued Forcha reste le plus pollué car les apports en eaux usées restent considérables.

Les variations spatio-temporelles montrent une existence de ces éléments (Cu, Cr, Pb, Mn, Ni, Zn) dans les eaux de l'oued Boudjamâa et ces affluents (oued Forcha, Bouhdid, et oued sidi harbe) avec des concentrations variantes d'un point à l'autre et d'une campagne à une autre.

Dans le cas de la situation optimiste, les résultats obtenus montrent une pollution des différents oueds par le plomb et le cuivre (les valeurs guides – les concentrations moyennes < 0), et les autres éléments (le Manganèse, le Nickel, le Chrome et le Zinc), restent dans des limites acceptables (les valeurs guides – les concentrations moyennes > 0). Par contre le cas d'une situation pessimiste le N-C est inférieur à 0, qui confirme la pollution des eaux de ces oueds par ces métaux (le plomb, le cuivre, le Manganèse, le Nickel et le Zinc), sauf le Chrome reste au limite de pollution (N-C égale à 0).

Les résultats des calculs de pourcentages des points de dépassements (varie entre 25 % et 51%) montrent que la plupart des points de dépassements enregistrés au niveau des eaux d'oued Forcha, ceci indique que cette oued est le plus polluée par ces éléments. Par contre les pourcentages des points de dépassement du zinc restent à des faibles valeurs qui ne dépassent pas 0.83 %.

*CONCLUSION
GENERALE*

Conclusion Générale :

La zone d'étude située dans la petite plaine de Annaba, s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel Êdough, les terminaisons du Boukantas et de Bouhamra fait suite à la plaine des Kherazas. Autrefois en partie couverte de marécages, elle est aujourd'hui presque entièrement asséchée. Le site étudié est caractérisé par une topographie plane au centre, marquée par des inclinaisons sur les bordures Ouest et Sud dues à l'anticlinal formé par le massif de l'Edough, Bellelita et la chaîne Numidique de Ain Berda.

L'étude géomorphologique nous a permis de distinguer trois formes morphologiques : les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Bellelita au Sud Ouest et Bouhamra au Sud, le cordon dunaire d'origine éolienne et marine qui longe la mer du nord ouest au Nord-est depuis la cité Seybouse à l'ouest et El-Kala à l'est et la petite plaine de Annaba. Le réseau hydrographique est caractérisé par quatre oueds principaux constituent les sous bassins de la région d'étude : le sous bassin versant de l'oued Forcha, le sous bassin versant de l'oued Sidi Harb, le sous bassin versant de l'oued Bouhdid et le sous bassin versant de l'oued Boudjemâa, ce dernier est drainé par l'Oued du même nom. Celui-ci collecte les eaux en provenance des oueds Forcha, Harb et Bouhdid, qui constituent ses principaux affluents. L'Oued Boudjemma est le principal cours d'eau, il se déverse en mer.

Les études géologiques réalisées sur la région (H. Joleaud, 1936 ; J. Hilly, 1962 ; J. M. Vila, 1980 ; J.C. Lahondere, 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992 ; Laouar et al., 2002), ont montré que la géologie de la région de Annaba se caractérise par deux types de formations, la première métamorphique représentée par le massif de l'Edough, qui occupe la partie Nord du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien d'âge précambrien la seconde d'origine sédimentaire occupant la quasi-totalité de la plaine d'Annaba.

L'analyse des données climatiques portant sur une série de 30 années d'observations montre que le climat de la région d'étude est de type méditerranéen, avec deux saisons bien distinctes : une saison chaude et sèche, et l'autre froide et humide.

La plaine de Annaba demeure parmi les régions les plus arrosées en Algérie. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de (679.38 mm) à la station des Salines, de l'ordre de (606.45 mm) à la station de Pont Bouchet et de l'ordre de (1124.80 mm) à la station de Séraïdi.

L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 895.90 mm pour les deux stations des salines et de Pont Bouchet, et de (485.76 mm) pour la station de Séraïdi.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à partir du mois de novembre, l'apport considérable par les précipitations entraîne la baisse l'évapotranspiration ce qui implique une recharge. En été on observe le phénomène contraire, ce qui implique une irrigation. La quantité d'eau ruisselée à la station de Séraïdi est de 663.15 mm, elle est supérieure à celle des Salines (130.23 mm) et de Pont Bouchet (92.63 mm). Ce ruissellement est du à la forte pente.

Le système aquifère de la plaine de Kherazas comprend essentiellement deux types d'aquifère : un aquifère superficiel contenu dans les formations sableuses et l'autre profond. L'ensemble se compte comme un même système avec des transferts hydrauliques horizontaux et verticaux.

La zone d'étude se caractérise par la présence de plusieurs cours d'eau, un trafic routier important. Ces deux facteurs sont générateurs de pollutions par les métaux lourds surtout. En effet les cours d'eau véhiculent surtout les eaux usées la zone ouest de la ville. De ce fait ces oueds constituent un égout à ciel ouvert, qui reçoit toutes sortes de polluants.

Pour permettre une fluidité des écoulements des eaux au niveau des cours d'eau, la recours au courage reste la seule, les sédiments ainsi récupérés sont déposés sur les berges, mais en cas de vents et de précipitations, cette vase est reprise et larguée au fond des oueds accentuant la pollution.

L'étude Hydrochimique des eaux des oueds de la région d'étude permet d'apprécier l'état de pollution des eaux des Oueds. Pour réaliser notre travail nous avons effectué 121 analyses portant sur les ETM suivants (Cuivre, Plomb, Manganèse, Nickel, Chrome et Zinc) et quelques éléments majeurs.

Pour l'interprétation des résultats on a utilisé deux méthodes :

- l'outil statistique
- les spatio temporel des concentrations.

La première méthode, a montré que les concentrations moyennes étaient faibles vis-à-vis de la valeur guide par contre celle les valeurs guides sont faibles comparativement aux valeurs maximum. L'analyse en composantes principales a montré que le plomb évoluait inversement par rapport au chrome et au zinc. Pour déterminer le degré de pollution des eaux, nous avons utilisé la méthode de la fréquence de dépassement, Cette méthode basée sur deux facteurs : l'utilisation des valeurs guides comme limite et la calcul de la fréquence de dépasse (F_i). Les calculs effectués se rapportent au deux scénarios suivants :

- Scénario optimiste, dans ce cas nous avons utilisé les valeurs moyennes,
- Scénario pessimiste, dans cas nous avons pris en considération les valeurs maximums.

Les résultats obtenus diffèrent d'un cas à l'autre et montrent dans le premier cas une pollution des eaux par le Cuivre et le Plomb. Dans le cas du second scénario la pollution des eaux paraît plus évidente, car les obtenus indiquent un dépassement particulièrement en ce qui concerne les éléments suivants : Ni, Mn, Zn, Pb, et le Cu. Seul le chrome n'indique pas de pollution mais reste limite.

La cartographie réalisée montre la répartition des éléments de pollution au niveau des différents cours d'eau. On remarque que l'Oued Forcha reste le plus pollué.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- 1- **Ahmed Said, Y. et Leake, 1993.** The Edough leptynites, Annaba NE Algérie, are they good indicators to the origine of the biotite gneisses. *Bulletin du service géologique de l'Algérie, volume 4, pp. 99-107.*
 - 2- **Alloway, 1995.** The mobilisation of trace elements in soils. Proceeding contaminated soils 3rd *International Conferenc on the Biogeochemistry of trace Elements, Paris, France, 15-19 May.*
 - 3- **Aissa, D. E, 1985.** Etude des indices et gisements métallifères du massif de l'Edough. *Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, USTHB Alger,*
 - 4- **Aissa et al, 1995.** Alpine métamorphic core complexes and metallogenesis the Edough. Cas (N.E Algeria). In PA Sa, J. Kribek, B and Zak, K (Eds) *minéral deposits : from. their. Origin to their. Environnemental impacts* Belkema, Rotterdam. Pp 23.26.
 - 5- **Aissa et al, 1998.** Geologie et metallogénie sommaire du massif de l'Edough (N.E Algérie). *Mémoires du service géologique de l'Algérie, 9, 7 – 55.*
 - 6- **Baron, J. 1991.** Interactions des métaux lourds avec des boues d'épuration et les sols, complexation de Cu et Cd par des boues et spéciation dans les solutions de sols. In LCPC (Ed), *Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Volume EG7, p. 147.* Ministère de l'équipement.
 - 7- **Beckett, P. 1989.** The use of extractants in studies on trace metal in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils. *Advances in Soil Science 9, 143-176.*
 - 8- **Blanchard, C. 2000.** Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. Thèse, INSA-Lyon.
 - 9- **Bordas, F. et A. Bourg. 2001.** Effect of solid/liquid ration on the remobilization of Cu, Pb, Cd and Zn from polluted river sediment. *Water, Air and Soil Pollution 128, 391-400.*
 - 10- **Bouguerra, A, 1990.** Etude des skarns et de la minéralisation associée dans le massif de l'Edough (cas du gisement As-W de Karésas comparé à l'indice de Bouzizi). *Thèse de Magister, 2 volumes, Université de Constantine, Algérie,*
 - 11- **Bouillin, J.-P, 1979.** La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie): une region-clef pour l'interprétation de la tectonique alpine de la chaîne littorale d'Algérie. *Mémoire de la Société Géologique de France, (n.s.)*
-

- 12- **BRGM 2000.** Guide méthodologique : Gestion des sites (potentiellement) pollués. Rapport technique, BRGM Editions.
- 13- **Caille, N. 2002.** Mobilité et phytodisponibilité du mercure dans des dépôts de sédiment de curage. Thèse, ENSAIA – Nancy.
- 14- **Calmano, W. J. Hong, et U. Frostner, 1993.** Bindige and mobilisation of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Wat. Sci. Tech.* 28 (8-9), 223-235.
- 15- **Chenu, C. et G. Stotzky 2002.** Interactions between microorganism and soil particles : An overview. John Wiley and Sons.
- 16- **Carole, D, Gadras, 2000.** Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du Plomb et du Zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. *Univ de PAU et des pays de l'ADOUR (U.F.R. Science)*
- 17- **Cohen, C.R, 1980.** Plate tectonic model for the oligo-miocene evolution of the western Mediterranean. *Tectonophysics,*
- 18- **E.R.E.M. (Entreprise de Recherches Géologiques et Minières), 1989.** Le gisement à Sn-W de Beleleita. *Rapport interne, (Inédit).*
- 19- **Debieche, T.H, 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. *Application à la basse plaine de la Seybouse – Nord-Est Algérien. Th. Doct. Univ. de France-Comté*
- 20- **Djabri, L, 1983.** Influences des conditions hydrogéologiques sur la stabilité des pentes dans une région d'écoulement à Annaba (oued Forcha, oued Kouba et canal de sécurité).
- 21- **Djabri, L, 1996:** Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. *Th. Doct. Es sciences. Univ d'Annaba.*
- 22- **Djebbar, H. Touati S.L. 1992.** étude géologique des indices de fer de Berrahal et comparaison avec les secteurs de Belleleita et Boumaiza. Mémoire d'ingénieur.
- 23- **Djetni, A. Defous, A. Mahri. A, Ouerrad, L. 1990.** Etude hydrochimique et pédologique en vue de la protection de la nappe profonde des graviers de la plaine de Annaba. Mémoire d'ingénieur. Université Annaba en hydrogéologie.
- 24- **Falahi-Ardakani, 1984.** Contamination of envernement with heavy metals emitted from automobiles, Exotoxicology and envernemental Safety. *Vol 8.*
- 25- **Fares, S. 1998.** Analyse et interpretation des données d'une campagne de prospection géochimique cas du massif de Belleleita. (Sud de Edough).
- 26- **Gleizes, G. Bouloton,J., Bossière, G., Collomb, P., 1988.** Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris 306, série II, 1001-1008.*
-

- 27- Gleizes, G. et al, 1988. Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérie). C. R Acad. Sci, Paris, 36,1001-1008.
- 28- Hilly. J, 1962. Etude géologique du massif de l'Edough, du Cap de fer (Est constantinois). *Bull. serv. Geol. Algérie. Nlle. Série N° 19.*
- 29- Hammor, D. 1992. Du panafricain au miocène 600 Ma d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie nord orientale) retracée par la pétrologie, la tectonique et la Ar39/ Ar40. *Thèse de doctorat université Montpellier II. Pp 205*
- 30- Hammor, D. et Lancelot, J. 1998. Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie) – CR. Acad. Sci. Paris, 327,391-396.
- 31- Hani, A, 2003. Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranées. *Th. Doct d'état en géologie appliquée. Univ d'Annaba.*
- 32- Hani, A. Djabri, L. Mania, J et Majour, H. 2002. Evolution des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines du massif cristallophyllien de l'Edough (Annaba, Algérie). 19^{ème} colloque de géologie Africaine, El Jadida (Maroc) pp.100.
- 33- Joleaud. L, 1936. Etude géologique de bone (Annaba) – la calle (El Kala). B.S.G.A. Alger (2) N° 12, Algérie.
- 34- Julie L, 2004. Etude hydrogéologique de la mobilité de polluants inorganiques dans des sédiments de curage mise en dépôt (expérimentation, étude in situ et modélisations) thèse de doctorats en hydrogéologie, hydrologie quantitatives (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- 35- Kahoul, M. 2005. Approche d'étude de l'interaction Roche-Eau au niveau des sources du massif de l'Edough. Mémoire d'ingénieur Université de Annaba en géologie minière.
- 36- Kherici N 1985. Aquifer sableux de bords de mer hydrodynamique et hydrochimique. Exemple de la nappe de Bouteldja (Algérien). These Doct. 3^{ème} cycle. USTL. Montpellier 202p.
- 37- Kherici N 1993. Vulnérabilité a la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole. (Annaba – la Mafragh) N.E Algérien. These de doctorate sciences de l'université d'Annaba. P170.
- 38- Laouar, R, 2002. Petrogenetic and metallogenetic studies of the Tertiary igneous complexes of northeast Algeria: A stable isotope study. *Thèse de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar Annaba*
- 39- Laouar, R et al. 2002, Stable isotope study of the Igneons, métamorphique and minéralized rock of the Edough complexe, Annaba, north – east Algéria. *Journal of African Earth Sciences.* 35, 271-283.
-

- 40- **Laouar, R et al. 2005**, Petrological, geochemical and stable isotope constraints on the genesis of the Miocene igneous rocks of Chetaibi and Cap de Fer (N.E Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 41,445,465.
- 41- **Villa. J. M. 1980**. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, *Th Doct. Es-Scie. Nat. Univ. Pierre et Marie-Curie, Paris VI, France, pp. 58 - 68*
- 42- **Villa. J. M. 1970**. Le dj. Edough ; un massif cristallin externe du Nord-Est de la Berberi/ *Bull. Soc. Géol. Fr. 7-XII, n° 5*,
- 43- **Lahondere. J.C. 1987**; Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans leur cadre structural. *Th. Doct. Es-Scie. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France*,
- 44- **Mameria, S. ED et R, 1999**. Hydroclimatologie et couvert végétale du sous bassin versant de oued Bou Hdid. *Mémoire d'ing. Univ d'Annaba*.
- 45- **Marignac, Ch., 1983**. The polymetallic ore veins of Ain Barbar (Algeria) as a consequence of alpine geothermal activity. In: Schneider, H.J. (Ed.) *Mineral deposits of the Alps and of the alpine epoch in Europe*. Spriger-Verlag, Heidelberg,
- 46- **Marignac, C., Zimmerman, J. L, 1983**. Ages K-Ar de l'événement hydrothermal et des intrusions associés dans le district miocène de Ain Barbar. (Est constantinois, Algérie).
- 47- **Marignac, C, 1985**. La minéralisation filonienne d'Ain Barbar. Un exemple d'hydrothermalisme lié à l'activité géothermique alpine en Algérie du nord. *Thèse de doctorat d'état 2 tomes. I. N. P, Lorraine Nancy*.
- 48- **Messaoudi. S, Toumi. N, 2006**. Impact des rejets urbaine sur l'environnement. Cas de la plaine Ouest de Annaba. *Mémoire d'ing. Univ d'Annaba*.
- 49- **Monié, P., Montigny, R., Maluski, H., 1992**. Age burdigalien de la tectonique ductile extensive dans le massif de l'Edough (Kabylies, Algérie). Données radiométriques $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$. *Bulletin de la Société Géologique de France*,
- 50- **PDAU Intercommunal Annaba – El Bouni, Sidi Amar – El Hadjar. J. Volume I. Urbanisme (Etat de Fait)**.
- 51- **Remita, R et Saadali, B, 2005**. Contribution à l'étude hydrogéologie et hydrochimique dans le bassin versant de la Mafragh. *Mémoire d'ing. Univ d'Annaba*.
- 52- **Rodier. J, 1996**, L'Analyse de l'eau 7^{eme} et 8^{eme} édition. *Dunod 1996 Paris*.
- 53- **Saadali Riad, 2007** : Détermination des paramètres hydrodispersifs de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf (W de Skikda). Mémoire de magister. Univ d'Annaba. 96 p.
-

54- Slama, L. 2001. Quelques indicateurs de pollution au niveau de l'oued Meboudja. Mémoire d'ingénieur en hydrogéologie. Université de Annaba.

55- Singh et Steinness, 1994. soil and water contamination by heavy metals. In soil processes and water quality, *Edition lewis*.

56- Tili M, 1989. Les gîtes minéraux de massif de l'Edough critères de prospection et perspectives pour l'avenir. *Mémoire d'ing. Univ d'Annaba*.

ANNEXE

Annexe n° 01 :

I- Méthodes et stratégie de travail :

I-1- Prélèvement et échantillonnage :

Pour étudier la contamination des l'eau de surface (les 4 oueds, Bouhdid, Forcha, Sidi Harb et Boudjammâa), par les métaux et leur rémobilité en à effectué plusieurs campagnes d'échantillonnages mensuellement (quatre campagnes a partir de mois Janvier jusqu'au mois d'avril).

I-2- Points de prélèvement et échantillonnage :

Au total, 110 points de prélèvement d'eau ont été échantillonnés dans la zone d'étude qui se répartissent comme suit :

- 16 échantillons au mois de janvier et 35 échantillons pour les trois mois qui reste, février, mars et avril).

Le prélèvement des échantillons fait selon le programme suivant :

- ☉ la première campagne effectué le : 15/01/2007
- ☉ la deuxième campagne effectué le : 12/02/2007 et 13/02/2007
- ☉ la troisième campagne effectué le : 05/03/2007 et 06/03/2007
- ☉ la quatrième campagne effectué le : 05/04/2007 et 06/04/2007

I-3- Mode d'échantillonnage :

On a utilise des flacons neufs, qu'on a rince deux au trois fois avec l'eau a analyser (l'eau distillé) pour ce qui derniers présentent les caractéristiques de ces eaux. En suit on les rempli d'eau jusqu'au débordement, pour éviter toute éventuelle réaction chimique. Et enfin après les avoir bouché, chacun des flacons a été étiqueté numéroté soigneusement, pour nous renseigner sur la date, l'endroit et le numéro d'échantillonnage.

I-4- Mode opératoire :

Les échantillons prélevés durant la période de 04 mois (de mois de Janvier 2007 jusqu'au mois d'avril 2007) ont été analysés dans le laboratoire de la Direction des Recherches Appliquées (D.R.A) au niveau d'El Hadjar.

On signale que les éléments qui été dosés au niveau de laboratoire sont bien :

- Les élément majeurs (Ca^+ , Mg^+ , Cl^- , HCO_3^-)
 - Le TA (Titre Alcanométrique) , TAC (Titre Alcanométrique complet).
 - Les métaux (Cu, Cr, Zn, Mn, Ni, Pb).
-

Annexe n° 02 :

Méthode de dosage :

a- Dosage du TH (Titre Hydrométrique) :

Réactifs :

- EDTA : 3.725 g/l à 0.01 M.
- Solution tompon Ammoniacal :
 - Ammoniaque : 285 ml (1/4 l = 71.25 ml).
 - NH_4Cl : 34 g (1/4 = 8.5 g).
 - Taltrate (db) : K,Na : 200 g (1/4 = 50 g).
 - Eau distillée : 1000 ml (1/4 = 250 ml).

Net : - 0.25 g / 100 Alcol.
- 0.5 NaCl.

Mode Opérateur :

Pa : 100 ml eau a analysé.
+ 4 à 5 ml solution Ammoniacal.
+ 1 pincée de indicateur.
- Titrer avec EDTA : jusqu'à virage du violet au bleu.

b- Dosage du chlorure (Cl^-):

Filtration avant

Les réactifs préparer :

- Le chromât du potassium à 10 % utiliser comme indicateur.
- Nitrate d'argent à 0.1 N.

Mode Opérateur :

- Prendre 100 ml de l'échantillon analysé.
- Ajouter de quelque goûte de chromate de potassium (coloration jans)
- Titrée avec les nitrate d'argent jusqu'au virage de jans au rouge brique
- Notée le volume.

Teneur en chlorure exprimé en mg/l qu'est égale $V = 35.5$ (pour 100 ml).

c- Dosage du calcium (Ca^{+}) :

C'est un dosage complexométrique

- Avec le complexant : EDTA.
- Indicateur coloré : Murixyde.
- La coloration du rose au mauve.
- La colore rose indique la présence du Ca
- En présence d'un milieu tamponnée de soude cons tique (NaOH).

Réactif :

- murixyde : 0.5 g NaCl (ou KCl).
 - La soude (NaOH) : 1 N.
 - EDTA : 0.01 N
-

Mode Opérateur :

- 100 ml de l'échantillon bien filtré (bien préparé).
- 5 ml de milieu tamponnée (pour 100 ml de solution).
- Une pincée du murixyde (s'il y a le Ca la coloration sera rose).
- Titré avec l'EDTA jusqu'au virage de **Rose au Mauve**.
- Noté le volume (V ml).
- Teneur en Ca exprimé en (mg/l).
- Concentration en Ca : **[Ca] = Volume en degré française ([Ca] = V°C).**

d- Dosage de Titre Alcanométrique (TA) et Titre Alcalimétrique Complait (TAC) :

Principe : c'est la détermination des Ions des Carbonates, Bicarbonates et les Hydroxydes.

TA : titre Alcalimétrique simple permet de déterminée les Ions Hydroxydes est la moitié des Carbonates.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet permet de déterminer la totalité hydroxydes, Bicarbonates et la moitié des Carbonates.

Les Réactifs :

- 1- l'Alcool : (100 ml pour 0.5 de la Phénol – Phtaléine).
- 2- Méthyle Orange : 0.25 pour 100 ml d'eau.
- 3- Acide sulfurique préparé à N/50 (prendre 0.53 ml dans un litre d'eau distillée).

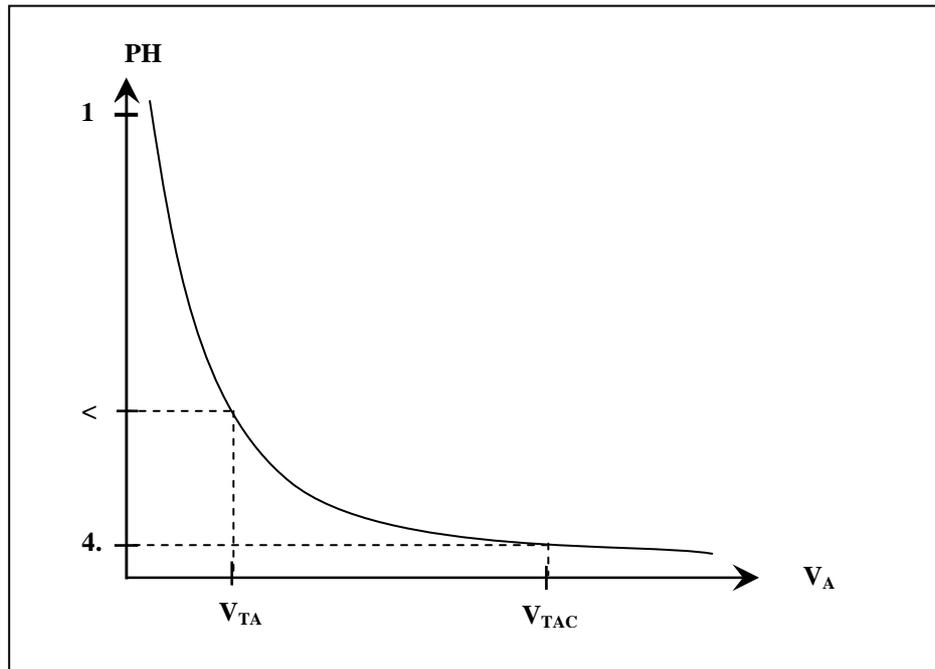
Mode Opérateur : pour le dosage de TA et TAC.

- On prend 100 ml d'échantillon.
- On ajoutes quelques goûtes de solution étalon (La Phénol Phtaléine « donné la colore rose bonbon » qui indique la présence de TA « Carbonates + Hydroxydes = combinée »).
- Titré par l'Acide sulfurique
- La Phénol Phtaléine vire la coloration du rose au transparent.

Après la vire de coloration en prendre le volume V_1 (par ex 0.7 ml) qui représente le volumes du TA et la diminution de PH↓.

- Dans la même solution on ajouts 2 à 3 goûtes du Méthyle Orangée, sa donne la colore Juans Orange.
- Titré par l'Acide sulfurique.
- La coloration est vire de juans Orangée jusqu'à la coloration du rose Orangée.
- Noté le volume V_2 .

La courbe suivant représenté la diminution du PH en fonction du Volume V_A .



NB : Rose : PH > 8.3

Incolore : PH < 8.3

Pour calculer le TA et TAC en utilise les formules suivant :

$$TA = \frac{V_1 \times N \times 1000}{V} \text{ (még/l)}$$

$$TAC = \frac{V_2 \times N \times 1000}{V} \text{ (még/l)}$$

N : Normalité N = 0.02 / (N/50)

1°F = 0.2 még

1°F = 10 ppm (mg/l)

Par ex :

$$TAC = \frac{3.2 \times 0.02 \times 1000}{10} = 6.4 \text{ (még/l)}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1^\circ\text{F} \longrightarrow 0.2 \text{ még} \\ X \longrightarrow 6.4 \text{ még} \end{array} \right\} X = 6.4/0.2 = 32 \text{ }^\circ\text{F} = 320 \text{ mg/l}$$

Annexe n° 03 :

Les valeurs limites des métaux lourds dans les eaux superficielles : La CEE a établie des normes relatives à l'eau de surface :

	Les eaux de surfaces		
Fer	<100	100 - 1000	> 1000
Cuivre	< 20	20 – 50	50 – 1000
Zinc	< 500	500 - 1000	> 1000
Manganèse	< 30	50 - 100	100 – 1000
Plomb	50 NI	50 NI	50 NI
Nickel	-	-	-
Chrome	50 NI	50 NI	50 NI
Cadmium	1	1.5	> 5
Mercure	0.5	0.1 – 1	> 1
Situation	Normal	Suspect	Risque

Directive de la CEE pour les eaux de surface

NI : norme impérative ou norme guide

Selon le tableau ci-dessus , trois classes sont définies d'après la directives de la communauté européenne concernant les eaux de surface : Zone Normal , zone suspect et zone de risque.

Annexe n° 04 :

- Normes des métaux lourds dans le sédiment :

Concentrations en mg /kg considérées comme normale dans les sédiment	
Fer	2000
Cuivre	26
Zinc	88
Manganèse	400
Plomb	22
Nickel	45
Cadmium	0.6
Chrome	45
Mercure	0.2

- La CEE à partir des donnée de ce tableau à établit trois classes de pollution en fonction de l'indice de contamination « **Ic** » qui est le rapport entre la valeur qui est considérée comme normale et ce qui est effectivement observé dans le sédiment .

Indice de contamination	Interprétation Agence	Interprétation proposés
$Ic < 3$	-	Normal
$Ic \leq Ic < 10$	-	Pollution
$10 \leq Ic$	-	Zone à risque