



REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE BATNA
INSTITUT DE GENIE CIVIL D'HYDRAULIQUE ET D'ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en hydraulique

Option : hydraulique numérique et environnement

THEME

**COMPORTEMENT DES ELEMENTS CHIMIQUES DANS LES
EAUX DE SURFACE DU BARRAGE DE FOUM EL GUEISS
(EST-ALGERIE)**

Présenté par:

DJEMAI ISMAHANE

Ingénieur d'état en hydraulique

Devant le jury composé de :

Président : Dr. BOUHOUFANI Tarek

MCA Univ. Batna

Rapporteur : Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane

Pr Univ. Batna

Examineur : Dr. HOUICHI Larbi

MCA Univ. Batna

Examineur : Dr. BENKADJA Rachid

MCA Univ. Msila

Année Universitaire: 2012/2013

Remerciements

Je remercie en premier lieu dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement mon rapporteur, Monsieur le professeur Boudoukha Abderrahmane qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.

Mes remerciements vont à Monsieur Bouhoufani Tarek, Maître de conférences, au département d'hydraulique de l'université de BATNA pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Je tiens également à remercier Monsieur Houichi Larbi maître de conférences au département d'hydraulique de l'université de BATNA, pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté pendant mes études et la préparation de ce mémoire et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur Benkadjia Rachid maître de conférences à l'université de MSILA pour l'honneur qu'il me fait de faire partie du jury.

Je souhaite également remercier Monsieur Lahbari Noureddine maître de conférences à l'université de BATNA, doyen de l'institut de génie civil d'hydraulique et d'architecture, pour leur encouragement

Je remercie très sincèrement tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'étude hydroclimatologique géologique et hydrochimique du barrage Foum El Guiness situé au Sud-Est Algérien, a permis d'avoir un aperçu sur l'état qualitatif des eaux de la région. L'hydroclimatologie montre que la région est caractérisée par un climat semi-aride où l'évaporation réelle représente près de 90 % des précipitations et le ruissellement près de 10 %. Ceci a une influence sur le volume d'eau stocké et sur le chimisme des eaux du barrage par dilution pendant les périodes pluvieuses et par concentration par évaporation pendant la période sèche. L'étude hydrochimique des eaux du barrage a montré que le chimisme des eaux du barrage est beaucoup plus lié à la nature des terrains traversés et à l'activité agricole. La variation des éléments chimiques en fonction du volume d'eau de la retenue montre que presque tous les éléments évoluent d'une manière inverse avec ce dernier.

Mots clés : Barrage, Foum El Guiness, climat, hydrochimie, pollution, géologie, agriculture.

Abstract

The hydroclimatologic, geological and hydrochemic study of the dam located at Algerian South-East, made it possible to have an outline on the qualitative state of water of the region. The hydroclimatology shows that the region is characterized by a semi arid climate where real evaporation represents nearly 90% to precipitation and the streaming nearly 10% this affects of water dam by dilution for the rainy periods and concentration by evaporation for the dry period.

The hydrochemical study of the waters of the dam showed that the chemistry of the waters of the dam is much more related to the nature of the crossed land and farming. The variation of chemical elements in the volume of reservoir water shows that almost all elements operate in an inverse manner with it.

Keywords: Dam, Foum el Guiness, climate, hydrochemistry, pollution, geology, agriculture.

SOMMAIRE

Introduction générale..... 01

CHAPITRE I : GENERALITE ET SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1	Généralité et synthèse bibliographique sur les travaux réalisés dans la région.....	03
I.2	le cycle de l'eau.....	04
I.3	Norme qualité de l'eau.....	06
I.3.1	Norme – définition.....	06
I.3.2	Critère général de définition.....	06
I.3.2.1	Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation.....	07
I.3.3	Norme de L'OMS.....	07
I.3.3.1	législations algériennes.....	08
I.3.3.2	Eau de boisson.....	08
I.3.4	Norme des rejets liquides.....	12
I.3.4.1	Les différentes formes de pollution.....	15
I.4	Généralités sur les principaux polluants.....	16
I.4.1	Les polluants physiques.....	16
I.4.1.1	la chaleur.....	16
I.4.1.2	la radioactivité.....	16
I.4.2	Les polluants chimiques.....	16
I.4.2.1	Les micropolluants.....	16
I.4.2.2	Les métaux lourds.....	17
I.4.2.3	Les pesticides.....	17
I.4.3	Les polluants bactériologiques.....	17
	Conclusion.....	17

CHAPITRE II : CONDITIONS NATURELLES DU BASSIN VERSANT DE FOU M EL GUIESS

II.1	Situation géographique.....	18
II.2	Cadre géologique régional.....	19
II.2.1	Structure géologique.....	19
II.3	la stratigraphie.....	22
II.3.1.1	Quaternaire.....	22
II.3.1.2	Glacis polygéniques nappant les reliefs.....	24
II.3.2	Miocène.....	23
II.3.2.1	Turonien.....	23
II.3.2.2	Langhien-Serravalien	23
II.3.3	Crétacé	23
II.3.3.1	Campanien.....	23

SOMMAIRE

II.3.3.2	Santonien.....	24
II.3.3.3	Coniacien.....	24
II.3.3.4	Turonien moyen et supérieur.....	24
II.3.3.5	Turonien basal.....	24
II.3.3.6	Cénomaniensupérieur.....	24
II.3.3.7	Cénomaniensupérieur.....	25
II.4.	Etude stratigraphique et tectonique du foug el Guies.....	25
II.4.1	La Paléogéographie et tectonique.....	27
II.4.2	Les structures.....	28
II.4.2.1	Les grands plis de l'Ouest.....	28
II.4.2.2	Les diapirs de l'Est et du Nord-Est.....	28
II.5.	La Perméabilité.....	30
II.5.1	Classe des formations à perméabilité élevée.....	30
II.5.2	Classe des formations à perméabilité moyen.....	30
II.5.3	Classe des formations à perméabilité faible à moyenne.....	30
II.6.	Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de foug el Guies.....	30
II.6.1	L'Indice de Compacité (kc).....	30
II.6.2	Le Rectangle Equivalent	32
II.6.3	La courbe hypsométrique.....	32
II.6.4	Indice de pente globale (Ig).....	33
II.6.4.1	Les grands plis de l'Ouest.....	37
II.6.4.2	Indice de pente moyenne (I M).....	34
II.6.4.3	Dénivelée spécifique (Ds).....	35
II.7.	Caractéristiques du Réseau Hydrographique.....	35
II.7.1	Densité de drainage.....	35
II.7.2	Coefficient de torrentialité.....	36
II.7.3	Le temps de concentration (TC).....	36
	Conclusion.....	38

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

	Introduction.....	38
III.1	Choix et Localisation des Stations de Prélèvement.....	38
III.2	Répartition interannuelle des précipitations.....	38
III.2.1	Station Ain Mimoune.....	38
III.2.2	Station Tizi ALA.....	38
III.3	Les précipitations mensuelles et saisonnières.....	40
III.3.1	Caractéristiques statistiques des précipitations mensuelles.....	40
III.3.2	Précipitations saisonnières.....	42
III.4	Régime climatique.....	43
III.4.1	Répartition mensuelle des températures.....	43
III.4.2	Le régime climatique du bassin versant.....	43

III.4.2.1	Indice d'aridité.....	43
III.4.2.2	Diagramme Ombrothermique de Gaussen	45
III.4.3	L'évaporation.....	46
III.4.3.1	Evapotranspiration potentielle (ETP).....	46
III.4.3.2	Evapotranspiration réelle (ETR)	46
III.4.3.2	Méthode de Turc.....	47
III.4.3.2	Méthode de M. COUTAGNE.....	47
III.5	Bilan hydrique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite.....	48
III.6	Etablissement du bilan hydrologique	49
II.6.1	Détermination du ruissellement.....	50
III.6.2	Estimation de la lame d'eau infiltrée.....	50
III.7	Hydrologie.....	51
III.7.1	Evaluation de l'écoulement à l'aide de formules empiriques.....	51
III.7.1	Formule de SAMIE.....	51
III.7.1	Formule dite ALGERIENNE.....	52
III.7.1	Formule de MALLET- GAUTTHIER.....	52
III.7.2	Apport annuel mesuré.....	53
	Conclusion.....	54

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

IV.1	Evolution de la qualité des eaux de surface.....	55
IV.2	Statistiques descriptives de la qualité des eaux de surface du Barrage Foum el Gueiss.....	
IV.3	Faciès chimiques.....	56
IV.4	Analyse en composantes principales.....	60
IV.4.1	Principe.....	60
IV.4.2	Résultats et interprétations.....	61
IV.5	Evolution des paramètres physiques.....	64
IV.5.1	Paramètres physiques.....	64
IV.5.1.1	Température de l'eau.....	64
IV.5.1.2	Le potentiel d'hydrogène (pH).....	65
IV.5.1.3	La conductivité électrique (CE).....	66
IV.5.1.4	L'oxygène dissous (OD).....	66
IV.5.2	Éléments majeurs.....	67
IV.5.2.1	Le Calcium.....	67
IV.5.2.2	Le Magnésium	68
IV.5.2.3	Le Sodium.....	68
IV.5.2.4	Le Potassium (K).....	69
IV.5.2.5	Les Chlorures.....	70
IV.5.2.6	Les sulfates.....	70
IV.5.2.7	Les bicarbonates.....	70

SOMMAIRE

IV.5.3	L'azote.....	72
IV.5.3.1	Les nitrates.....	72
IV.5.3.2	Les nitrites	72
IV.5.4	Evolution des éléments chimiques en fonction du volume	73
IV.6	Qualité des eaux.....	79
IV.6.1	Pour l'AEP.....	79
IV.6.2	Pour l'irrigation	79
	Conclusion.....	81

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1	Cycle de l'eau.....	04
Figure I.2	Effet de la carence et de l'excès des éléments majeurs et traces sur la santé humaine Vettorazzi 1980.....	08

CHAPITRE II

Figure II.1	Carte de situation géographique du barrage de foug el Guieess et de son bassin versant.....	18
Figure II.2	Carte géologique de l'emplacement du barrage de Foug El Guieess (Savornin, 1941)	20
Figure II.3	Extrait des cartes géologiques de Toufana et de Khenchela au 1:50000.....	21
Figure II.4	Coupe géologique de l'emplacement du barrage de Foug El Guieess (Savornin, 1941).	29
Figure II.5	Carte de perméabilité du barrage de Foug El Guieess (Mehemai, 2009).....	33
Figure II.6	la courbe hypsométrique.....	33

CHAPITRE III

Figure III.1	Les différentes stations pluviométriques du bassin versant du barrage de Foug el Guieess.....	43
Figure III.2	variation interannuelles des précipitations au niveau du bassin versant de Foug el Guieess.....	44
Figure III.3	Variation mensuelles des précipitations au niveau du station Ain Mimoune et Tizi Ala.....	46
Figure III.4	Répartition mensuelle des températures.....	48
Figure III.5	Diagramme Ombrothermique.....	49
Figure III.6	Variation de l'apport annuel entre 1984 et 1996.....	57
Figure III.7	Liaison apport annuel-précipitations.....	58

CHAPITRE IV

Figure IV.1	Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foug elGuieess.....	57
Figure IV.2	Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foug el Guieess.....	58
Figure IV.3	Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foug el Guieess.....	59
Figure IV.4	Cercle de corrélation et répartition des variables de qualité des eaux de surface.....	62
Figure IV.5	Liaison salinité-Eléments chimiques.	64
Figure IV.6	Variation de la température de l'eau.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure IV.7	Evolution du potentiel d'hydrogène.....	65
Figure IV.8	Evolution de la conductivité électrique.....	66
Figure IV.9	Evolution de l'oxygène dissous.....	67
Figure IV.10	Evolution du Calcium.....	67
Figure IV.11	Evolution du Magnésium.....	68
Figure IV.12	Evolution du Sodium.....	69
Figure IV.13	Evolution du Potassium.....	69
Figure IV.14	Evolution des Chlorures.....	70
Figure IV.15	Evolution des Sulfates.....	71
Figure IV.16	Evolution des bicarbonates.....	71
Figure IV.17	Evolution des nitrates.....	72
Figure IV.18	Evolution des nitrites.....	73
Figure IV.19	Evolution du pH en fonction du volume d'eau.....	73
Figure IV.20	Evolution l'oxygène dissout en fonction du volume d'eau.....	74
Figure IV.21	Evolution Calcium en fonction du volume d'eau.....	74
Figure IV.22	Evolution Magnésium en fonction du volume d'eau.....	75
Figure IV.23	Evolution du sodium en fonction du volume d'eau.....	75
Figure IV.24	Evolutions du Potassium en fonction du volume d'eau.....	76
Figure IV.25	Evolution du chlorure en fonction du volume d'eau.....	76
Figure IV.26	Evolution du sulfate en fonction du volume d'eau.....	77
Figure IV.27	Evolution des bicarbonates en fonction du volume d'eau.....	77
Figure IV.28	Evolution des nitrates en fonction du volume d'eau.....	78
Figure IV.29	Evolution des nitrites en fonction du volume d'eau.....	78
Figure IV.30	Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de SAR.....	81

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.1	Produits chimiques pour lesquels il n'a pas été établi de valeur guide. (OMS 2011)	09
Tableau I.2	Valeurs guides affectées à des produits chimiques dont la présence dans l'eau de boisson est importante sur le plan sanitaire.(OMS 2011)	10
Tableau I.3	Caractéristiques de qualité d'une eau minérale naturelle et d'une eau de source. Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00).....	14

CHAPITRE II

Tableau II.1	Récapitulatif du rectangle équivalent.....	32
Tableau II.2	Répartition altimétrique du bassin versant Foug el Guieiss.....	34
Tableau II.3	Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant de Foug el Guieiss	37

CHAPITRE III

Tableau III.1	Caractéristiques des stations pluviométrique du bassin versant de Foug el Guieiss.....	38
Tableau III.1	Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques	41
Tableau III.2	Répartition saisonnière des précipitations.....	42
Tableau III.3	Variation de la température mensuelle à Ain Mimoune.....	44
Tableau III.4	Calcul E T P mensuelle selon Thornthwaite à la station de Ain Mimoune.....	47
Tableau III.5	Bilan hydrologique station de Ain Mimoune.....	49
Tableau III.6	Récapitulatif du bilan hydrologique à la station de Ain Mimoune.....	51
Tableau III.7	Tableau récapitulatif	53

CHAPITRE IV

Tableau IV.1	Statistiques descriptives des analyses chimiques des eaux du Barrage Foug el Gueiss (1984-2004).....	56
Tableau IV.2	Caractéristiques de l'ACP appliquée aux données chimiques des eaux du barrage Foug El Guieiss.....	61
Tableau IV.3	Liaisons variables-CP.....	62
Tableau IV.4	Matrice de corrélation.....	63
Tableau IV.5	Qualité des eaux du barrage Foug El Guieiss.....	80

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

L'eau est indispensable à la vie, et pourtant un ensemble de facteurs en réduisent toujours plus la disponibilité: croissance démographique, production agricole, pauvreté, mauvaise gestion des ressources en eau ou troubles politiques. Les ressources en eau potable se raréfient sur Terre, alors que les besoins s'accroissent au jour le jour. Comment peut-on accepter qu'au début du 21^{ème} siècle, plus d'un milliard d'habitants de notre planète n'aient pas accès à l'eau potable; plus de deux milliards d'entre eux ne disposent pas d'un assainissement de base; des millions d'enfants meurent chaque année à cause de maladies liées à l'eau. (Michel, 2004).

Avoir de l'eau à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Elle peut être aussi source de maladie du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles et divers déchets organiques. La pollution de l'eau est un phénomène mondial qui n'épargne ni les océans, ni les eaux terrestres. Elle met en cause, par le biais des chaînes alimentaires, la santé des populations. Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, du développement de l'industrie et de l'accroissement des activités humaines qui à leur tour engendrent une pollution des ressources disponibles les rendant ainsi impropres à la consommation.

La pollution de l'eau engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines a fait qu'aujourd'hui, l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement. L'eau est une ressource aussi précieuse que vitale et les hommes doivent en disposer en quantité et en qualité. L'accès à une eau de boisson saine est incontestablement bénéfique pour la santé.

L'importance de l'eau dans l'économie ne cesse de croître et sa disponibilité devient de plus en plus difficile tant en raison des aléas climatiques que de l'accroissement rapide de la population. La qualité de l'eau de boisson est un problème de santé universel. L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre et transmet des maladies dans les pays de tous les continents des plus pauvres aux plus riches. Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort

impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'homme.

L'eau, une ressource essentielle, est utilisée à des fins alimentaires, d'hygiène corporelle, ou récréatives, nécessitant un haut niveau de qualité physico-chimique, chimique et microbiologique. Les substances qu'elle transporte sont en effet susceptibles d'être ingérées, inhalées, ou d'entrer en contact avec la peau.

Dans cette étude nous chercherons à connaître l'évolution de la qualité des eaux brutes dans la retenue du barrage de Foug el Guiss se trouvant à l'Ouest de Khenchela, dans l'Est algérien. Cette qualité est conditionnée par les rejets domestiques, l'utilisation agricole et par la contamination naturelle.

Pour réaliser cette étude, nous allons adopter la méthodologie suivante :

*Dans le premier chapitre, nous allons faire une Généralités et synthèse bibliographique sur les travaux réalisés dans la région.

* Dans le deuxième chapitre nous allons essayer d'étudier les conditions naturelles du bassin versant de Foug el Guiss, nous allons faire une étude géologique pour voir les différentes formations géologiques qui se trouvent dans la région, ensuite nous allons aborder les caractéristiques morphométriques qui jouent un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin.

*Dans le troisième chapitre nous présentons une étude hydroclimatologique qui permettra d'évaluer les apports d'eau de surface.

* Dans le quatrième chapitre, nous allons procéder à la collecte des données hydrochimique et nous allons essayer à travers la technique d'analyse en composante principale(ACP), de faire une critique et une classification des paramètres, et de définir les faciès Chimiques des eaux de surface, de suivre leur évolution dans le temps ,et d'estimer la qualité des eaux de surface du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

Chapitre I

I.1 / GENERALITES ET SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES TRAVAUX REALISES DANS LA REGION

Le suivi de la qualité des eaux et l'évolution de leur chimisme a été traité par le passé par plusieurs chercheurs, citons à titre indicatif ceux qui ont travaillé sur le même problème dans la région, Tiri, (2005 et 2010) qui a traité le comportement hydrochimique du bassin versant d'oued Raboa qui alimente le barrage de Koudiat Medaour, qui a essayé de déterminer l'origine de la pollution de ces eaux, en fonction du débit. Les données acquises sur le terrain lors de l'élaboration de ce travail, a permis de définir le degré de pollution des eaux de surface.

Kemoukh, (2005) a étudié une autre région Oued SAF- SAF contrôlé par le barrage de Zardezas se trouvant au Nord Est de L'Algérie à 345km à l'Est d'Alger. Au terme de son étude, il a montré que les eaux du barrage de Zardezas sont aptes à être utilisées pour l'agriculture mais non pas pour l'AEP à cause de l'existence de quelques minéraux nocifs et dangereux pour la santé tel que le mercure et le plomb. Bouguerne, (2001) a cherché à mieux connaître le comportement hydrochimique des eaux du barrage de Ain Zada et celui de Hammam Grouz se trouvant respectivement dans la wilaya de Sétif et celle de Mila. Le suivi de ces eaux a montré une évolution croissante surtout pour certains éléments tels que le chlorure, le plomb, le zinc,...etc.

Belhadj, (2006) il a basé son étude sur la pollution du barrage de Zit -Emba willaya de skikda, il a intéressé par les causes et l'origine de la pollution de oued el Hammam et l'évaluation de sa charge polluante ,et il a essayer de comprendre le mécanisme de cette pollution le long du cours d'eau principal ,il a apprécié les différents paramètres qui quantifient sur la qualité et la potabilité des eaux du barrage afin de déterminer la vulnérabilité des eaux stockés.

Mekaoussi, (2003) .il a cherché du connaître les mécanismes du comportement hydrochimique des confluent de Oued el Hai du bassin versant de fontaine des gazelles, cette étude consiste à analyser des échantillons d'eau pris dans les différentes stations et déterminer par suite l'origine de cette pollution.

Gaagai, (2009) il a intéressé par étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued el Arab région Est de l'Algérie. Il a cherché de connaître le type de pollution qui affecte le barrage qui a une origine domestique, industrielle, agricole et

peut être naturelle. son travail a été achevé par une étude approfondie de la qualité des eaux du barrage de Babar et celle des Oueds qui l'alimentent.

Notre travail, envisage à faire une étude qui consiste à traiter les données chimiques en notre possession qui concernent les eaux du barrage de Foum El Guess. Avant cela, nous allons essayer de donner quelques généralités sur les différents aspects de l'eau, sur ses formes et sur les diverses origines de la pollution anthropique.

I.2 / Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau décrit l'existence et le mouvement de l'eau sur, dans et au-dessus de la Terre. Fig. 1. Cette eau est toujours en mouvement et change toujours d'états, du liquide, à la vapeur, à la glace et vice versa. Le cycle de l'eau fonctionne depuis des millions d'années et toute vie sur Terre en dépend; la Terre serait un bien triste endroit à vivre sans elle. . (Gleick, 1996).

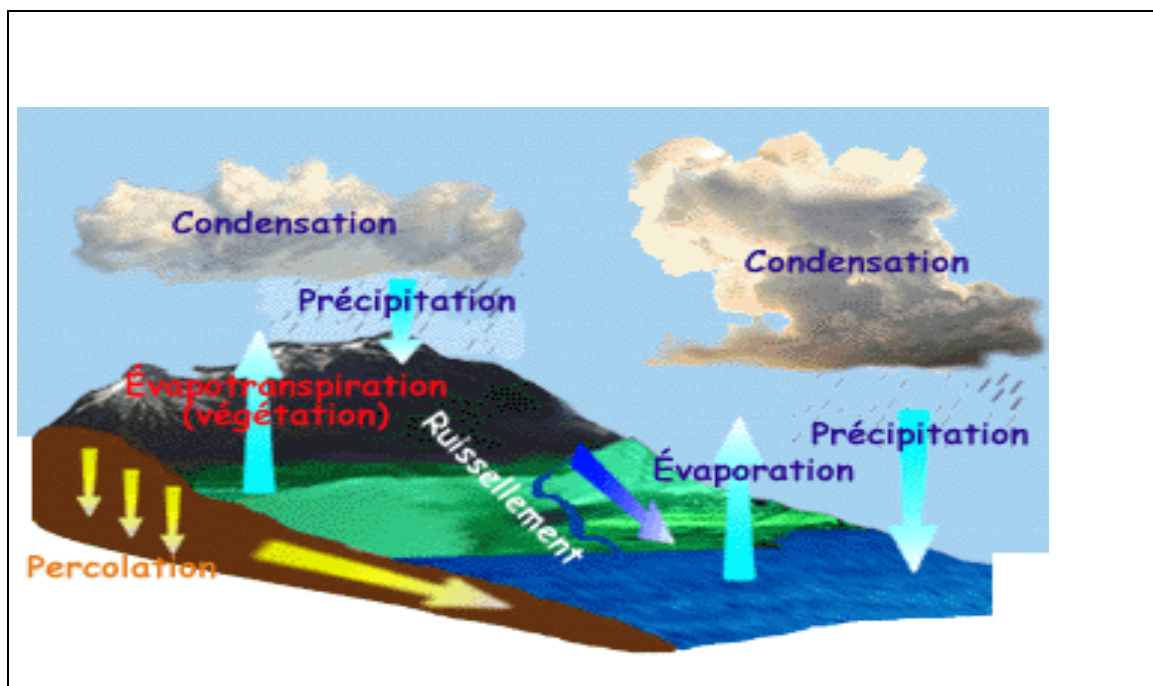


Figure I. 1. Cycle de l'eau.

Le cycle de l'eau n'a pas de point de départ, mais les océans semblent un bon point de départ. . (Gleick, 1996). Le soleil réchauffe l'eau des océans, celle-ci s'évapore, les courants d'air ascendants entraînent la vapeur dans l'atmosphère, où les températures plus basses provoquent la condensation de la vapeur, en nuages.

Les courants d'air entraînent les nuages autour de la Terre, les particules de nuage se heurtent, s'amoncellent et retombent sous forme de précipitations. Certaines précipitations retombent sous forme de neige et peuvent s'accumuler en tant que calottes glaciales et glaciers. Au printemps, la neige fond et l'eau ruisselle. Une grande partie des précipitations retournent aux océans, le reste s'infiltré ou s'écoule en surface. Certains écoulements retournent à la rivière et donc vers les océans. L'écoulement de surface et le suintement souterrain s'accumulent en tant qu'eau douce dans les lacs et rivières.

L'eau souterraine peu profonde est absorbée par les racines des plantes et rejetée dans l'atmosphère via la transpiration des feuilles. Une quantité des eaux infiltrées descend encore plus profondément et réalimente les aquifères (roche souterraine saturée), qui stockent d'énormes quantités d'eau douce pour de longues périodes. Bien entendu, cette eau continue à bouger et une partie retourne à l'océan où le cycle de l'eau "se termine" et "recommence".

Dans le détail, les éléments qui composent le cycle de l'eau sont respectivement :

- **Les précipitations** : eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et/ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).
- **L'évaporation** : passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique.
- **L'évapotranspiration** : englobe les processus d'évaporation et de transpiration de la végétation.
- **L'interception** : processus selon lequel la pluie (ou dans certains cas la neige) est retenue par la végétation, puis redistribuée en une partie qui parvient au sol et une autre qui s'évapore.
- **Le ruissellement ou écoulement de surface** : mouvement de l'eau sur ou dans les premiers horizons du sol (écoulement de subsurface), consécutif à une précipitation.
- **Le stockage dans les dépressions** : processus au cours duquel l'eau est retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant une averse.

- L'infiltration : mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol.
- La percolation : mouvement de l'eau en profondeur dans les sols faisant suite à l'infiltration.

I.3 / Normes de qualité de l'eau

I.3.1 / Norme

Définition

Les mots « norme », « objectif », « critère » sont fréquemment utilisés sans discrimination, mais la plupart des chercheurs et autres personnes chargées de la protection qualitative des eaux se conforment aux définitions données par Warren (1971) :

✓ Le mot norme désigne une règle, une mesure ou un principe précis établis par l'autorité. le fait d'avoir été établie par l'autorité donne à une norme un caractère quelque peu rigide, officiel et presque juridique, mais cela ne signifie pas nécessairement que la norme soit juste, équitable ou basée sur les connaissances scientifiques appropriées car elle peut avoir été établie assez arbitrairement sur la base de données technique insuffisante, tempérées par une marge prudente de sécurité .ces normes arbitraires peuvent se justifier quand les données technique rares ;

✓ Le mot « objectif » désigne un but vers lequel il faut tendre et il peut s'appliquer à une situation idéale .Toutefois, il n'implique certainement pas une stricte observation ni une stricte application de la part d'une institution ou d'un service sanitaire.

✓ Le mot « critère » désigne un état défini à la suite d'une analyse critique des informations scientifiques disponibles et propre à conserver les structures et les fonctions des écosystèmes .contrairement à la norme, il n'implique pas une imposition par l'autorité ; il procède de la simple notion d'équité et il ne réfère pas implicitement à un état idéal.

I.3.2 / Critère général de définition

L'approche la plus utilisée, limite la quantité du polluant en fonction des caractéristiques du récepteur (cours d'eau, lac, eaux côtières) et tient compte des caractéristiques des polluants (toxicité, persistance, bioaccumulation).elle est favorisée à bien des égards, parce qu'elle comporte un niveau de traitement qui est défini dans chaque cas en fonction de la

capacité de réception et de l'utilisation à laquelle l'eau est destinée (normes flexibles).cette procédure est donc considérée comme la plus économique et comme la plus sûre pour la protection de l'environnement.

I.3.2.1 / Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Les normes s'appuient en général sur les travaux d'établissement des doses maximales admissibles (DMA), c'est -à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.sur cette base, on calcule quelle quantité maximale peut être apporté par l'eau, en prenant un coefficient de sécurité. Tout dépassement des normes ne comporte pas nécessairement un risque pour la consommation .Elle ont été fixées avec beaucoup de prudence ,de telle sorte qu'un individu de 70kg peut consommer sans danger 2l/j d'eau contaminée par ces éléments pendant (70ans) (Maurel ,2006).l'idéal serait que la concentration des éléments essentiels se situe au niveau de l'effet minimum et que celle des substances toxiques soit au-dessus du niveau de non effet ou nulle .Figure.1.Il est important que les normes soient revues et mises à jour périodiquement afin qu'elles puissent refléter les connaissances les plus récentes.

Les concentrations des différents chimiques dans l'eau du niveau interviennent directement dans la qualité et la potabilité des eaux .différents pays ont établi des normes de potabilité en fonction de la teneur de ces éléments .il était entendu qu'une eau réservée à la consommation devrait satisfaire à un certain nombre de qualités physiques, chimiques et biologiques et ne devrait pas contenir de substances chimiques nocives, ni de germes pathogènes pour l'homme.

I.3.3 / Normes de l'OMS

La réglementation internationale se résume dans le texte de l'OMS. Cette organisation s'est employée ,depuis de nombreuses années passer en revue et à évaluer les informations concernant les aspects sanitaires liés à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine avant d'établir à ce sujet un document à caractère consultatif :Guidelines for Drinking water Quality ,la 1^{ère} publication de ce rapport date de 1958 et il est régulièrement mis à jour et la dernière version date 2011.Tableau 1.

Les valeurs des différents paramètres de qualité des eaux souterraines, sont à titre de recommandations, sous forme de valeurs guides qui correspondent à la concentration à

laquelle l'eau ne présente pas de risque sensible pour la santé du consommateur et conserve ses qualités organoleptiques.

Ces recommandations concernant un grand nombre de paramètres mais n'ont pas de caractère contraignant ; ainsi chaque pays pourra se servir de ces recommandations pour mettre en place sa propre législation.

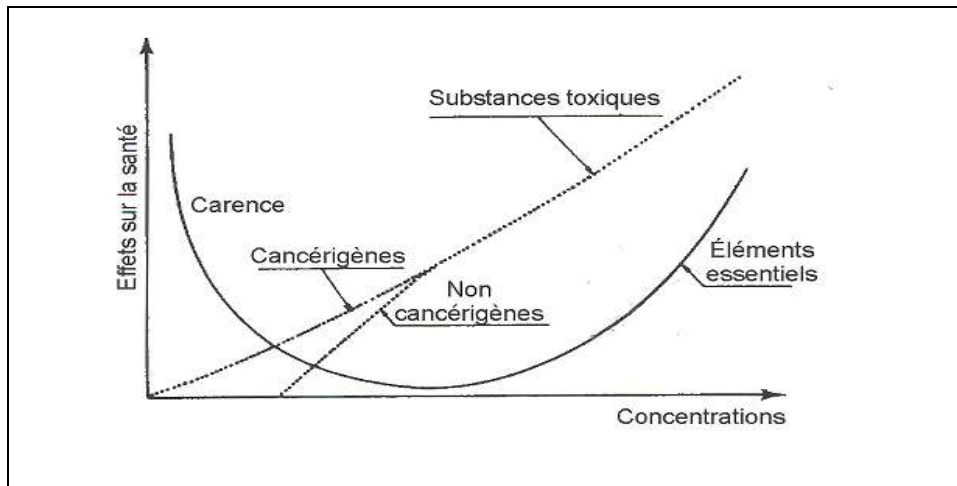


Figure I. 2. Effet de la carence et de l'excès des éléments majeurs et traces sur la santé humaine. Vettorazzi, 1980.

I.3.3.1 /Législation algérienne

I.3.3.1.1/ Eau de boisson

Le terme eau potable, en usage jusqu'à présent, est de moins en moins utilisé, pour désigner la qualité de l'eau. Actuellement, certaines réglementations Européennes n'utilisent plus les termes eau potable ou potabilité des eaux, car il est admis, qu'une eau dans laquelle tous les critères de qualité ne sont des eaux, car il pourrait cependant être potable. Etant donnée la marge de sécurité intégrée dans les normes de qualité de l'eau, un dépassement temporaire et modéré, d'un polluant est la plupart du temps sans conséquences, il doit tout de même déclencher la mise en œuvre d'un programme d'action et de surveillance.

Tableau I.1. Produits chimiques pour lesquels il n'a pas été établi de valeur guide.
(OMS 2011).

Produit chimique	Motif de l'absence de valeur guide définie
Aluminium	En raison des possibilités limitées d'utiliser les données obtenues en expérimentation animale comme modèle pour l'homme et de l'incertitude entachant les données humaines, il est impossible de déterminer une valeur guide reposant sur des arguments sanitaires. Néanmoins, l'optimisation des procédés de coagulation utilisant des agents coagulants à base d'aluminium dans les installations de traitement de l'eau de boisson a conduit à la définition de valeurs limites pratiques : 0,1 mg/l ou moins dans les grandes installations de traitement de l'eau et 0,2 mg/l ou moins dans les petites installations de traitement
Ammoniac	Présent dans l'eau de boisson à des concentrations bien inférieures à celles susceptibles de provoquer des effets toxiques
Amiante	On ne dispose pas de preuves cohérentes de la toxicité de l'amiante par ingestion
Chlorure	Non préoccupant pour la santé aux concentrations relevées dans l'eau de boisson ^a
Dureté	Non préoccupante pour la santé aux niveaux relevés dans l'eau de boisson ^a
Sulfure d'hydrogène	Non préoccupant pour la santé aux concentrations relevées dans l'eau de boisson ^a
Iode	Les données disponibles ne permettent pas la détermination d'une valeur guide reposant sur des arguments sanitaires et une exposition à l'iode sur la durée d'une vie par le biais de la désinfection de l'eau par cette substance est improbable.
Fer	Non préoccupant pour la santé aux concentrations normalement relevées dans l'eau de boisson, le goût et l'aspect de l'eau étant modifiés par des concentrations inférieures à la valeur limite définie sur la base d'arguments sanitaires.
Produits pétroliers	Dans la plupart des situations, le goût et l'odeur permettront de détecter la présence de ces produits à des concentrations inférieures à celles préoccupantes pour la santé, notamment en cas d'exposition à court terme
pH	Non préoccupant pour la santé aux niveaux relevés dans l'eau de boisson ^b
Argent	Les données disponibles ne permettent pas la détermination d'une valeur guide reposant sur des arguments sanitaires
Sodium	Non préoccupant pour la santé aux concentrations relevées dans l'eau de boisson ^a
Sulfate	Non préoccupant pour la santé aux concentrations relevées dans l'eau de boisson ^a
Matières solides totales	Non préoccupantes pour la santé aux concentrations relevées
Dissoutes (TDS)	dans l'eau de boisson ^a
Zinc	Non préoccupant pour la santé aux concentrations normalement relevées dans l'eau de boisson ^a

^a susceptible de nuire à l'acceptabilité de l'eau de boisson .

^b paramètre opératoire important pour la qualité de l'eau.

Tableau I.2 : Valeurs guides affectées à des produits chimiques dont la présence dans l'eau de boisson est importante sur le plan sanitaire.(OMS 2011).

Produit chimique	Valeur guide ^a (mg/litre)	Observations
Antimoine	0.02	
Arsenic	0,01 (P)	
Baryum	0.7	
Bore	0,5 (T)	
Cadmium	0,003	
Chlore	5 (C)	Pour la désinfection soit efficace il doit rester dans l'eau une concentration résiduelle du chlore libre $\geq 0,5$ mg/l après un temps de contact de 30 min au moins à PH < 8,0.
Chrome	0,05 (P)	Applicable au chrome total
Cuivre	2	Une coloration du linge et des sanitaires peut apparaître au dessous de cette valeur guide.
Cyanure	0.07	
Fluorure	1.5	Il convient de prendre en compte le volume d'eau consommé et l'absorption à partir d'autres sources dans la définition des normes nationales.
Plomb	0.01	
Manganèse	0,4 (C)	
Mercuré	0,006	Applicable au mercure inorganique
Nickel	0	
Nitrates (sous forme NO ₃ -)	50	Exposition à court terme
Nitrite (sous forme NO ₂ -)	3	Exposition à court terme
Sélénium	0,2 (P)	Exposition à court terme
Uranium	0.01	Seuls les effets chimiques de l'uranium sont considérés dans ce document
Chrome	0,05 (P)	Applicable au chrome total
Cuivre	2	Une coloration du linge et des sanitaires peut apparaître au dessous de cette valeur guide.
Cyanure	0.07	
Fluorure	1.5	Il convient de prendre en compte le volume d'eau consommé et l'absorption à partir d'autres sources dans la définition des normes nationales.

a) P=valeur guide provisoire dans la mesure où l'on dispose d'éléments indiquant un danger, mais où les données disponibles sur les effets sanitaires sont limitées ;

Ø T=valeur guide provisoire parce que la valeur guide calculée est inférieure aux valeurs pouvant être obtenues dans la pratique par les méthodes de traitement, par la protection des sources, etc.

Ø A=valeur guide provisoire parce que la valeur guide calculée est inférieure au seuil de quantification pouvant être atteint ;

Ø D=valeur guide provisoire parce que la désinfection est susceptible d'entraîner un dépassement de la valeur guide ;

Ø C=à des concentrations inférieures ou égales à la valeur guide définie sur la base d'arguments sanitaires, la substance peut influencer sur l'aspect, l'odeur ou le goût de l'eau, ce qui suscite des plaintes de la part des consommateurs.

a) Dans le cas des substances considérées comme cancérogènes, la valeur guide correspond à la concentration dans l'eau de boisson associée à une valeur limite supérieure plausible de l'excès de risque de cancer de 10^{-5} (un cas supplémentaire de cancer pour 100 000 habitants consommant l'eau de boisson contenant la substance à la concentration définie comme valeur guide pendant (70ans).on peut calculer les concentrations associées aux valeurs limites.

b) supérieure plausible de l'excès de cancer sur la durée de vie de 10^{-4} et 10^{-6} multipliant ou en divisant respectivement la valeur guide par 10.

En revanche, la qualité bactériologique doit être assurée en toutes circonstances et faire l'objet d'une surveillance de tous les instants .le code de l'eau en Algérie, du 16 juillet 1983 (Jon° 30/83) qui a été repris par la loi 05-12 du 4 Aout 2005 relative à l'eau (JO n°5/05) stipule :

-Art .52.l'eau potable, lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. Elle ne doit contenir, en quantité nuisible, ni substances chimiques, ni germes nocifs à la santé.

-La loi 85-05 du 16 février 1985 (JO n°8/85) relative à la protection et à la promotion de la santé fait référence, dans son chapitre II, à des normes de qualité dans les articles 32 et 33.

- Art.32.l'eau destinée à la boisson, à l'usage ménager et à l'usage corporel, doit satisfaire aux normes de qualité définies par voie réglementaire, tant en qualité, qu'en quantité.

- Art.33. pour l'adduction de l'eau destinée à la boisson et à usage ménager ,il établi des règles et des normes de protection pour assurer une quantité appropriée de l'eau.

- La loi 03-10 du 19juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, (JOn°43/03) dans son chapitre II, aux normes environnementales par le biais de l'article 10.

- Art.10. l'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement.

L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie réglementaire.

Sur cette base, l'Algérie à établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n°51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation émanant du ministère du commerce. Tableau 2.ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique de wilaya du Nord et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories :

- Les paramètres organoleptiques ;
- Les paramètres physico chimiques ;
- Les substances indésirables ;
- Les substances toxiques.

I.3.4 / Normes des rejets liquides

Les eaux usées constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme pour ses propres besoins et au cours se ses activités domestiques, agricoles et industrielles.ces eaux sont généralement chargées de détritrus divers, de matières minérales dissoutes et de produits organiques en suspension.ces divers polluants contenus dans l'eau usée ,sont susceptibles de contaminer les eaux de surface et souterraine et son également des sources de nuisance désagréables car en décomposant ,certaine matières émettent des gaz fétides. c'est pour cette raison que, le rejet de ces effluents domestiques et industriels.

En grandes quantités dans les rivières et le littoral, génère de graves accidents de pollution des eaux .devant le danger à moyen et long terme que constituent ces rejets, en Algérie comme dans de nombreux pays, il a été établi une réglementation stricte qui normalise ces rejets. En Algérie, la loi 05-12 du 4 aout 2005 relative à l'eau a règlementé ces rejets à l'aide de 9 articles (44à52).

La loi 05-12 du 4 aout 2005 relatives à l'eau, défini l'eau de consommation et les objectifs de qualité de ces eaux par le biais des articles 50 et 111.

-Art 50. les objectifs de qualités auxquels doivent répondre les eaux souterraines ainsi que les écoulements et les retenues d'eau superficielle destinées à l'alimentation en eau des population, sont fixés par voie règlementaire.

-Art.111. Au sens de la présente loi, on entend par eau de consommation humaine tout eau destinée à :

-la boisson et aux usages domestiques ;

-la fabrication des boissons gazeuses et de la glace ;

-la préparation au conditionnement et à la conservation de toutes denrées alimentaires et le mode de surveillance de la qualité de cette eau par le biais des articles 112 à117.

-Art.44. les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toutes natures ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie règlementaire.

-Art .46 : sont interdits :

-tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux ;

-tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle ;

-l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau ;

-le dépôt et /ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étanges et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics.

Le décret exécutif 93-160 du 10 juillet 1993 (JOn° 46-93) règlemente les rejets des effluents liquides industriels.

-Art.2 Au sens du présent décret, il est entendu par rejet, tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel.

-Art .4.les rejets d'effluents liquides industriels, tels que définis à l'article 2, ne peuvent être autorisés que s'ils ne dépassent pas à la source les valeurs limites maximales telles qu'annexées au présent décret

Tableau I.3 Caractéristiques de qualité d'une eau minérale naturelle et d'une eau de source. Arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00)

Paramètres	Teneur	Unité
PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES		
Couleur	25	mg/l
Odeur	Doit être accessible	Taux de dilution
Turbidité	1 – 2	NTU
Saveur	Doit être accessible	Taux de dilution
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		
Température	25	°C
pH	6.5 – 8.5	-
Conductivité électrique	2 800	µS.cm ⁻¹
Résidu sec (110 °C)	2 000	mg/l
Calcium	75 – 200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Sodium	200	mg/l
Potassium	20	mg/l
Chlorures	200 – 500	mg/l
Sulfates	200 – 400	mg/l
Carbonates – bicarbonates	-	-
SUBSTANCES INDESIRABLES		
Aluminium	0.2	mg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l
Ammonium	0.05 – 0.5	mg/l
Phosphates	0.5	mg/l
MO (permanganate)	3.5	mg/l
Bore	0.3	mg/l
Fer	0.3	mg/l
Cuivre	0.05 – 1.5	mg/l
Zinc	1 – 5	mg/l
Manganèse	0.5	mg/l
Baryum	0.7	mg/l
Phénols	-	-
Fluorures	0.8 – 2	mg/l
Argent	-	-
COT	-	-
Azote Kjeldahl	2	mg/l
SUBSTANCES TOXIQUES		
Arsenic	0.05	mg/l
Cadmium	0.01	mg/l
Cyanure	0.05	mg/l
Mercure	0.001	mg/l
Plomb	0.05	mg/l
Chrome	0.05	mg/l
Nickel	0.02	mg/l
Antimoine	0.005	mg/l
Sélénium	0.01	mg/l

I.3.4.1 /Les différentes formes de pollution

L'activité humaine, qu'elle soit industrielle (chimie, papeterie, industrie agroalimentaire, etc.), urbaine (usages domestiques, commerce, entretien des rues), ou agricole (utilisation d'engrais et de pesticides), produit quantité de substances polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollutions : des pollutions organiques essentiellement d'origine animale), chimiques (fertilisants, pesticides, métaux, détergents...), biologiques (bactéries, virus et autres champignons), radioactives ou acides. Ces polluants sont émis dans l'atmosphère, évacués dans les eaux usées ou épandus sur les sols, sous forme de gaz, de substances dissoutes ou de particules. La plupart finissent par rejoindre les milieux aquatiques grâce à l'eau qui est capable de dissoudre de grandes quantités de substances. Elle est en effet, au cours de son cycle, le véhicule privilégié de la pollution. Des voies diverses peuvent être empruntées : déversement direct d'effluents industriels et d'eaux d'égouts (dans les pays ne disposant pas d'infrastructures d'assainissement), ou indirect par voie atmosphérique. Selon la manière dont ils sont mis en circulation, les polluants mettent plus ou moins de temps pour atteindre les milieux aquatiques.

On distingue deux grandes formes de pollution :

- la pollution ponctuelle, souvent relativement immédiate, qui provient de sources bien identifiées (rejets domestiques ou industriels, effluents d'élevage...) et peuvent être traitées par des stations d'épuration ;
- la pollution diffuse, comme celle due aux épandages de pesticides et d'engrais sur les terres agricoles, qui concernent l'ensemble d'un bassin versant, mettent plus de temps à atteindre les milieux aquatiques et ne peut être traitée qu'à la source en diminuant l'usage des substances responsables.

Ces pollutions peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville, par exemple), périodiques (augmentations saisonnières des rejets liées au tourisme, aux crues...), ou encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif de produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou du lessivage des sols urbains lors de fortes pluies.

I.4/ Généralités sur les principaux polluants

Le nombre des polluants est considérable et ils peuvent être classés selon leur nature en trois grandes catégories : physiques, chimiques et bactériologique.

I.4.1/ Les polluants physiques

Les deux principaux polluants physiques sont la chaleur et la radioactivité.

I.4.1.1/ La chaleur

La chaleur par l'élévation de la température de l'eau en surface, provoque des effets sur la vie aquatique telle que le développement de microorganismes comme les algues et la diminution de la solubilité de l'oxygène.

I.4.1.2/ La radioactivité

La radioactivité est la pollution potentiellement la plus dangereuse des polluants physiques, elle a une forte potentialité mutagène et cancérigène et les éléments radioactifs peuvent persister pendant des années. Ce type de pollution par la radioactivité par le biais des effluents des centrales électronucléaires, réchauffe l'eau des rivières en provoquant une pollution thermique.

I.4.2/ Les polluants chimiques

L'eau par son pouvoir dissolvant élevé, dissout les substances rejetées par l'activité humaine et les polluants chimiques sont nombreux et d'origine diverses.

ü les composés azotés : nitrate (NO_3^-) et nitrite (NO_2^-) sont très nocifs, ils provoquent des troubles graves aux nourrissons par dégradation de l'hémoglobine du sang et production de méthémoglobine toxique ; ils peuvent aussi provoquer l'hypertension.

ü les sulfates et les chlorures : ils sont naturellement présents dans l'eau, mais l'augmentation de leur teneur est inquiétante.

I.4.2.1/ Les micropolluants

Les micropolluants sont des substances qui sont à très faible teneur dans l'eau, de l'ordre de microgramme (millionième de gramme), voire du nanogramme (milliardième de

gramme) par litre.ils sont dangereux car mêmes a des doses minimales, la chaine alimentaire a un effet cumulatif

I.4.2.2/ Les métaux lourds

L'ingestion répétées des métaux lourds tel que le plomb, le cadmium, ou le mercure provoque des stockages nocifs, une dose de 2 grammes de mercure, de sélénium, d'arsenic ou de cadmium, peut tuer un homme, mais leur teneur dans l'eau est fortement règlementée.

I.4.2.3/ Les pesticides

Il s'infiltrent facilement dans le sol, on en a trouvé dans des nappes de 60m de profondeur, ils sont plus ou moins toxiques et plus ou moins biodégradables.(RENARD, 2002).

I.4.3/ Les polluants bactériologiques

La pollution microbiologique est une autre forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies aussi graves que le choléra, la typhoïde, la dysenterie... Ils ont été jadis responsables d'épidémies dramatiques dans nos pays. Aujourd'hui, cette pollution des eaux continentales a fortement diminué dans les pays industrialisés grâce à la mise en service de stations d'épuration qui assurent le traitement des eaux usées avant leur rejet dans la nature. Mais cela n'est pas le cas des pays en développement où elle provoque encore des morts innombrables.

Conclusion

La gestion de l'eau suppose des actions coordonnées avec la politique d'aménagement du territoire. Ainsi, les ressources hydrauliques seraient mises en valeur et préservées. Pour cela, des moyens scientifiques, techniques et financiers sont indispensables.

Le réseau de distribution devrait faire l'objet d'un plan de rénovation en relation avec son développement dans les nouvelles cités. (KADI, 1997). Les conduites doivent être protégées des infiltrations accidentelles des eaux usées. Pour cela, il est souhaitable que les canalisations ne contiennent que les conduites de l'eau potable.

Chapitre II

II.1/Situation Géographique

La zone d'étude se trouve dans la commune de Kais, le barrage de foug el gueiss est situé sur l'oued gueiss. (Fig. II.1). Les principaux affluents de ce cours d'eau sont Ben Ber, Isouel, Krefadja et Kebass, drainent un bassin versant du versant nord des Aures, chaîne de montagne qui sépare les hautes plaines constantinoises du Sahara.

La superficie du bassin versant est 156 km², où 90% sont recouverts par des forêts.

le bassin versant est presque entièrement situé en montagne, avec un point culminant à Dj. Aidel à 2177m . Le point le plus bas du bassin se trouve à la cote 965 m au niveau du barrage. L'altitude moyenne du bassin versant est de 1289 m.

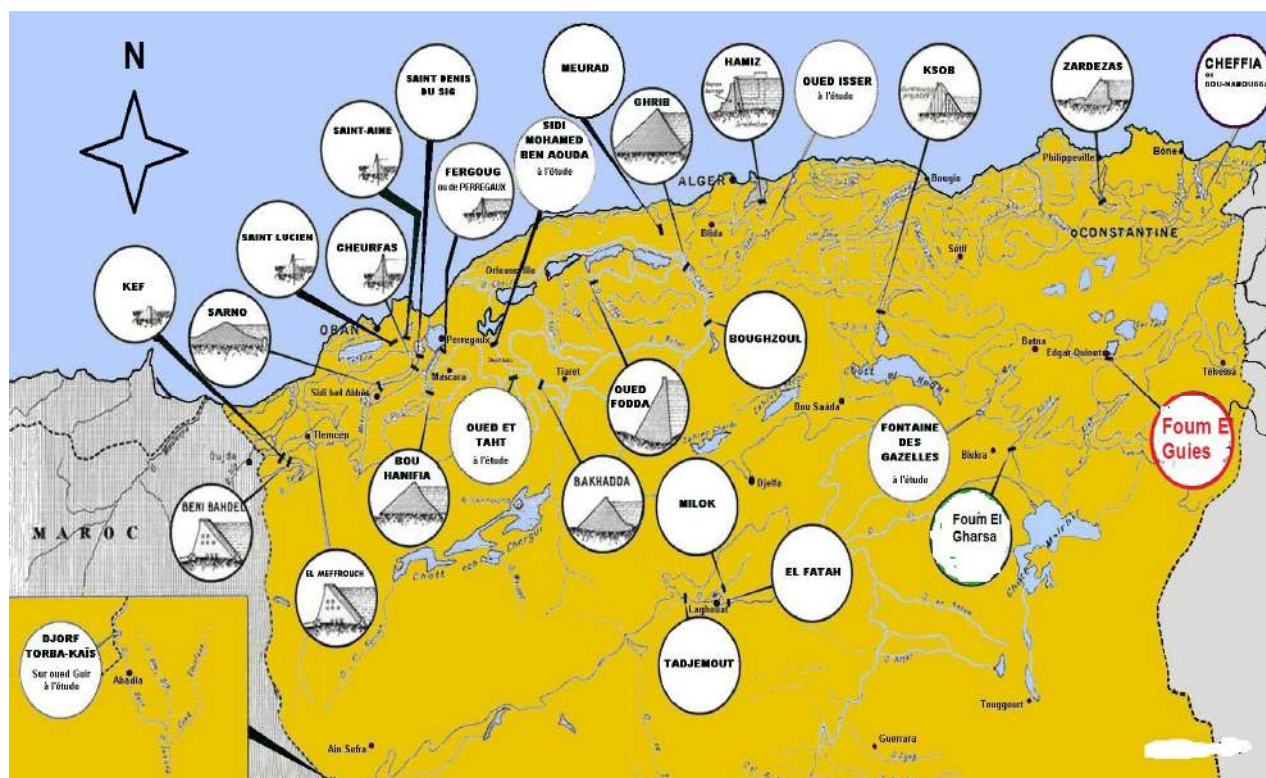


Figure II.1. Carte de situation géographique du barrage de foug el Guieiss et de son bassin versant.

II.2 / Cadre géologique régional

II.2.1 / Structure géologique

Le bassin versant de l'Oued el Gueiss s'étend sur trois unités structurales bien définies : l'anticlinal de Khenchela, le synclinal de Dj. Aurès et la terminaison Nord-Est de l'anticlinal de L'Ichmoul Chelia. (Lessard, 1952). Ce sont des plis droits, style jurassien, orientés d'une façon générale Sud-Ouest, Nord-Est dont les niveaux stratigraphiques s'échelonnent depuis le Barrémien jusqu'au Sénonien. En discordance sur la série crétacée, quelques petits lambeaux de poudingue oligocène, témoins d'un épisode continental, rendent compte par le niveau atteint par l'érosion ante-miocène après la phase majeure de plissements de l'éocène supérieur.

La transgression Burdigalienne, consécutive à un affaissement progressif des unités tectoniques mentionnées plus haut, amena dans toute la région une sédimentation littorale ou sublittoral dont les dépôts, d'abord Calcaires à la base, puis Marno-Gréseux, discordants sur le Crétacé, furent gauchis lors de la deuxième phase de plissements post-Burdigalienne qui provoqua un exhaussement du massif. Ces dépôts constituent la bordure nord des contreforts des Aurès et se disposent en pli Synclinal sous la plaine de Remila au Sud-Ouest du Tarf.

Les conditions géologiques relatives à l'établissement d'un barrage dans le Foug el Gueiss se révélaient en première approximation très favorables : d'une part la disposition des bancs rigides de Grés Burdigaliens plongeant vers le Nord avec un pendage moyen de 20° assurait la stabilité de l'ouvrage, d'autre part les assises Turoniennes Marneuses et Marno-calcaires imperméables participant à la fermeture de l'anticlinal de L'Ichmoul-Chelia constituaient une garantie de l'étanchéité de la retenue.

Les formations du Quaternaire, sont constituées par les alluvions récentes formées le long des oueds sur les terrasses, et des colluvions disposés sur les Glacis souvent encroûtés, bien que leurs épaisseurs soient généralement faibles.

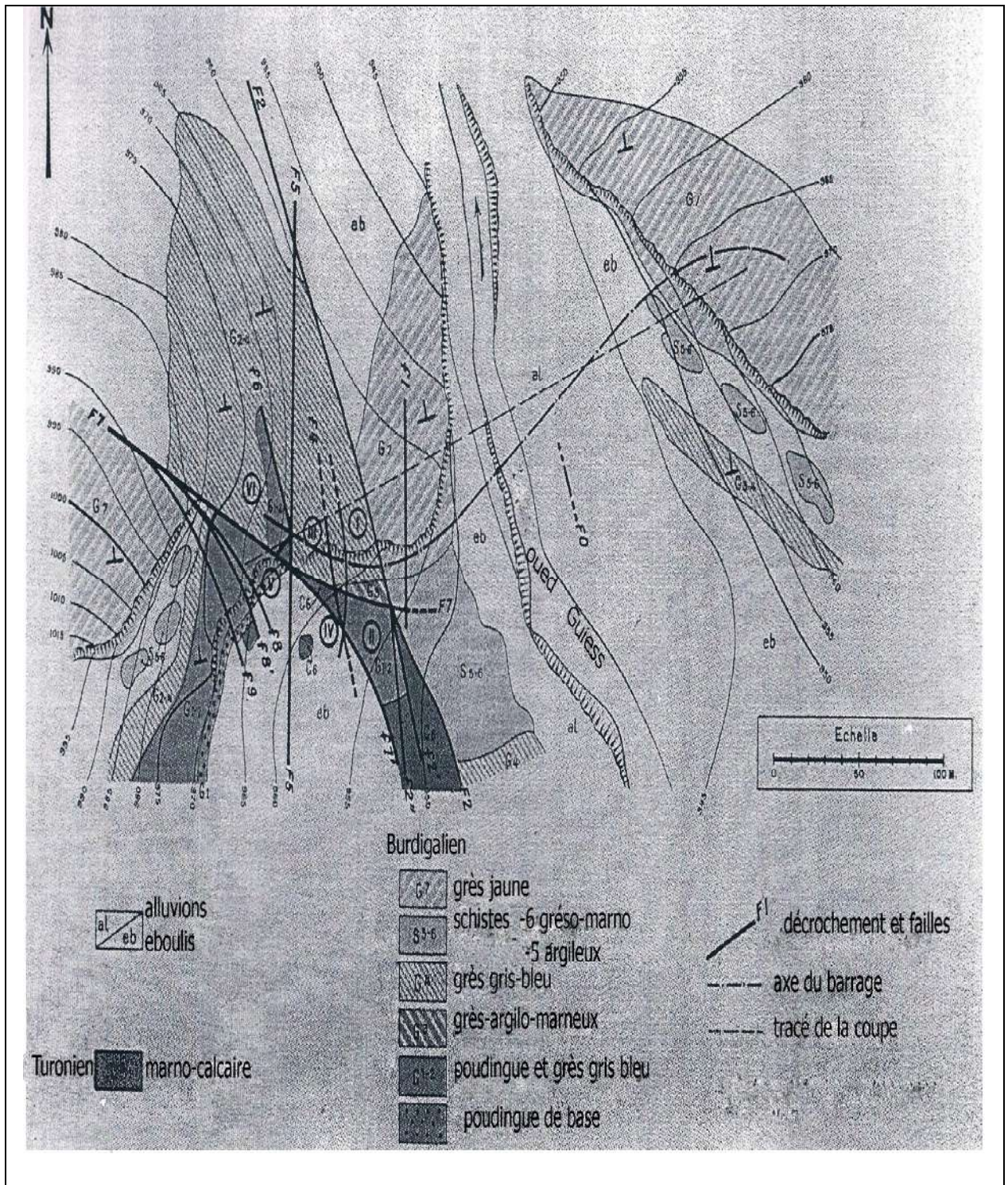


Figure II.2. Carte géologique de l'emplacement du barrage de Foug El Guieff. (Savornin, 1941).

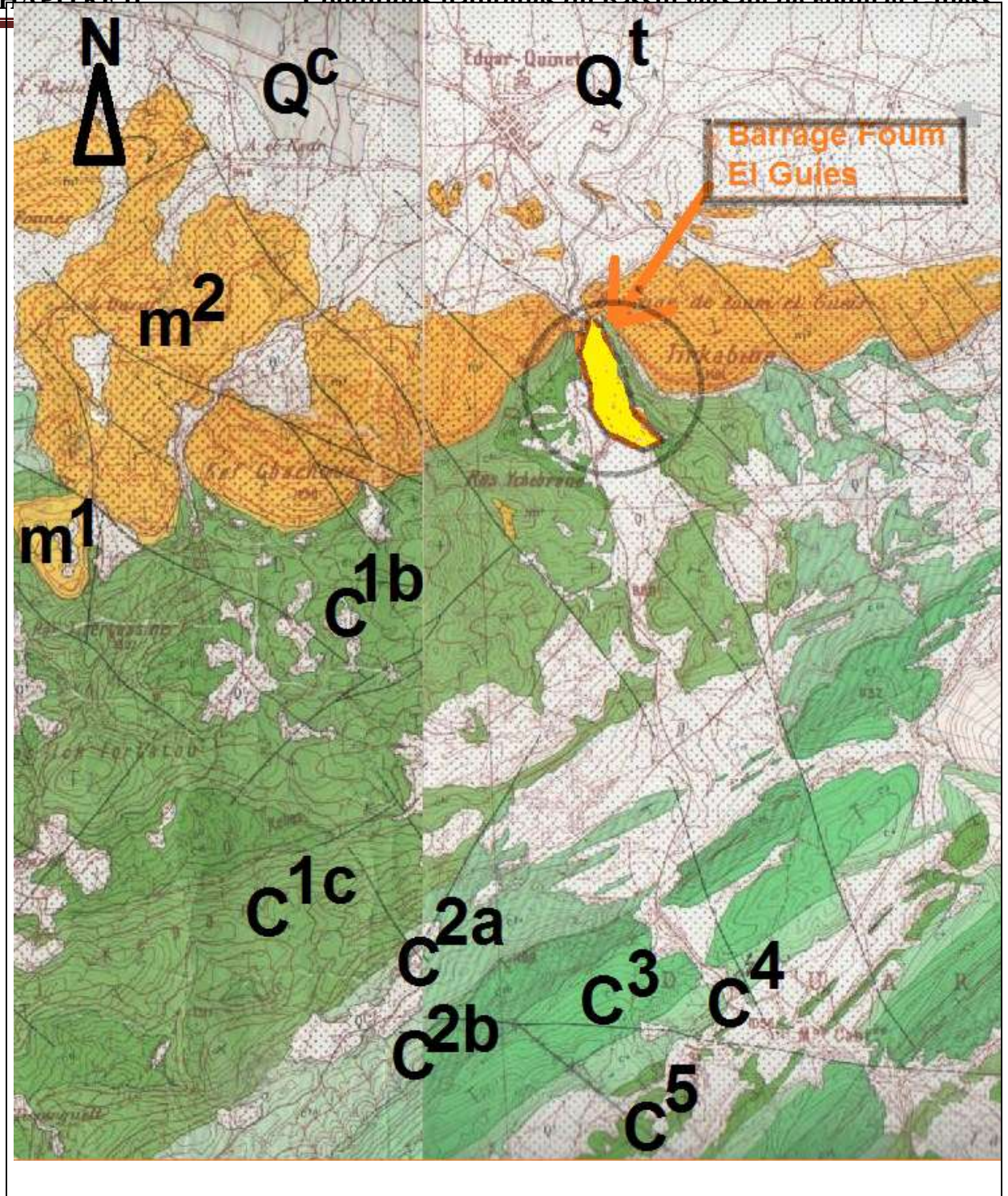


Figure II.3. Extrait des cartes géologiques de Toufana et de Khenchela au 1 :50 000

LEGENDE**Quaternaire :****e :** Eboulis à blocs**Q^t :** Glacis polygéniques nappant les reliefs**Q^c :** Villafranchien probable : croute calcaire**Miocène :****m² :** Tortonien : grès blanc et bossier**m¹ :** Langhien-Serravalien : marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blancs.**Crétacé :****C⁵ :** Campanien : marne et calcaire crayeux**C⁴ :** Santonien : marne gris bleu et calcaire marneux à Inocérames**C³ :** Coniacien : Alternance de marne grise et de marno-calcaire à Inocérames**C^{2b} :** Turonien moyen et supérieur : Alternance de marne beige et de calcaire zoogène noduleux**C^{2a} :** Turonien basal : marno-calcaire bitumineux en plaquettes et alternance de marnes bleues et de petits bancs marno-calcaires fins.**C^{1c} :** Cénomaniens supérieur : Calcaire marneux gris-bleu à cassure noirâtre en bancs métriques**C^{1b} :** Cénomaniens moyen : marne grise**a** Faille : a : visible b : cachée.**II.3 /Stratigraphie****II.3.1 /Quaternaire**

e : Eboulis à blocs :les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela, du synclinal du Djebel Aourès et du Djebel chettaia.ils s'installent au pied des corniches Calcaires ou Graiseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis pour la plupart peu actifs sauf à leur partie supérieure .le type de morphologie réalisé tend vers la réalisation d'un glacis.

II.3.1.1 /Q^t : Glacis polygéniques nappant les reliefs : ces glacis couvrent de très vastes surfaces. facile à reconnaître puisqu'il est caractérisé par des croutes massives. C'est un nappe complexe à débris bien calibrés, parfois encroutés, l'aspect est alors celui des croutes rosâtres feuilletées classiquement attribuées au Ten-siftien.

II.3.1.2 /Q^c : Villafranchien probable : croute calcaire : ces formations perchées par rapport aux surface précédentes sont très faciles à repérer .entaillées par les cycles qui ont suivi, leur témoins forment de petites mesas très caractéristiques.

leur abrupt périphérique est suffisamment marqué par le fond topographique le représente presque systématiquement. L'aspect le plus fréquemment réalisé est celui de croutes massives développées au dessus d'horizons tuffacés surmontant eux-mêmes des niveaux à poupees calcaires.

Ces formations sont habituellement rapportées au villafranchien, bien daté plus au Nord-Ouest dans les régions de Sétif (à El Eulma, ex -saint-Arnaud) et de Constantine (Oued Seguin).

II.3.2 /Miocène

II.3.2.1 / m² : Tortonien : grès blanc et bossier : cette formation est discordante et peut reposer directement sur des termes allant du sénonien à l'Albien (secteur du Djebel El Krouma). Elle est composée de Grès blancs grossiers en bancs plurimétriques, à abondantes dragées de Quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm). la disposition en chenaux hectométriques est fréquentes. de rares interactions argileuses existent.

Cette formation a une puissance d'environ 300m aisément estimable au Djebel el Kharroub, à El Meunchar ou au Douar Khenchela.

II.3.2.2 / m¹ : Langhien-Serravalien : marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blancs : cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud du Djebel Knif et à l'Est du Djebel Chettaia ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifekressa et du ras serdoun.

Au dessus des brefs épisodes conglomératiques de la base de la série, les premiers niveaux Marneux ont fourni une faune du Langhien -Serravalien.

Au dessus, 6m de grès blancs sont surmontés par des biosparites gréseuses et biomicrites à joint marneux.

Au sommet, la série est constituée par 15m de Biosparites intraclastiques massives à Biolithites algales.

II.3.3 /Crétacé

II.3.3.1 /C5 : Campanien : marne et calcaire crayeux : le campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia est Knif et dans le synclinal du Djebel Aourès.

Dans le Synclinal du Djebel Aourès le campanien correspond à 170m de Marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires ocres noduleux, légèrement phosphatés, Au Djebel Chettaia le campanien comporte à sa base une barre de calcaires crayeux (65m) en banc décimétriques ou métriques.

II.3.3.2 / C4 : Santonien : Marne Gris bleu et Calcaire Marneux à Incérames : dans le Synclinal du Djebel Aourès le Santonien correspond à 250m de Marnes Gris-Bleu avec , à la base et au sommet des marno calcaires en bancs décimétriques ou métriques riches en débris d'Incérames et organisés en barres décamétriques.

II.3.3.3 / C³ : Coniacien : Alternance de marne grise et de marno-calcaire à Inocérames : Au Djebel Chettaia ,le coniacien est formé de base sur 90m par des alternances de marnes beiges ou Grises et de calcaires gris ,biogéniques et grumeleux. Le synclinal du Djebel Aourès possède une série Coniacienne comparable par microfaunes et ses faciès que par son épaisseur.

II.3.3.4 / C2b : Turonien moyen et supérieur : Alternance de Marne beige et de calcaire zoogène noduleux : le sommet du Turonien est représenté dans l'anticlinal du Djebel Aourès et au Nord du Djebel Chettaia avec une épaisseur identique d'environ 150m.

Ce sont des alternances de Marnes grises à beiges et de Calcaires Zoogène noduleux, en bancs décimétriques ou métriques. la prédominance des intercalations calcaires créent une barre bien visible dans la morphologie au nord de Djebel Chettaia.

II.3.3.5 / C^{2a} : Turonien basal : marno-calcaire bitumineux en plaquettes et alternance de marnes bleues et de petits bancs marno-calcaires fins : la base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de Marno Calcaires Blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtres Bitumineuse. Leur débit en feuillets centimétriques est tout à fait caractéristique. Cette série est homogène du Djebel Aourès au Djebel Chettaia mais l'épaisseur est plus grande que Djebel Amrane.

II.3.3.6 / C^{1c} : Cénomaniens supérieur : Calcaire marneux gris-bleu à cassure noirâtre en bancs métriques : dans l'Anticlinal du Djebel Chelia, sur le bord ouest de la carte, le sommet du Cénomaniens est simplement calcaire. il s'agit d'une barre d'épais bancs

Calcaires à pâte fine et à cassure écaillée, à aspect Bitumineux et à films centimétriques de Marnes Gris-Bleu.

II.3.3.7 / C^{1b}: Cénomaniens moyens : marne grise : c'est une puissante formation qui débute par 650m de Marnes Grises accompagnées sporadiquement de micrites gris Blanchâtres à fins tests de lamellibranches.

II.4 / Etude stratigraphique et tectonique du Foug el Guies

La disposition des assises Burdigaliennes dans la gorge donne lieu à une morphologie qui traduit fidèlement leur nature lithologique : les couches Gréseuses résistant à l'érosion forment des « barres » et alternent avec les couches Argileuses et Marneuses qui, plus tendres, correspondent à des zones déprimées.

La série lithologique (figure II.4) établie au Foug el Guies n'a qu'une valeur locale. Elle débute par un conglomérat à galets roulés ou anguleux représentant les premiers « appareils littoraux » marquant l'arrivée de la mer miocène. L'épaisseur de cette couche de base est très variable et ses affleurements sporadiques (couche1).

Au dessus, un Grès Gris Bleu, très compact, à grain fin, se présente sous la forme de gros rognons dont le diamètre peut atteindre 2 ou 3 m. ces rognons semblent enrobés d'un grès jaunâtre plus tendre qui n'est sans doute qu'un faciès d'altération (couche2).

A cette assise succède un banc de Grès tendre Argilo Marneux pétri de pectinidés (couche3).

On assiste ensuite à une récurrence de Grès Gris Bleu (couche4) qui précède un complexe de schistes argileux (couche5) passant progressivement vers le haut à des schistes grès-marneux (couche6). Cette dernière formation est couronnée par une corniche de Grès jaune Quartzeux à grain grossier (couche7), sommet de la série, intéressant directement l'implantation de l'ouvrage.

Cette succession lithologique élayée par de minutieuses observations sur la rive droite de la cluse est moins nette sur le flanc gauche « en raison de fractures avec rejets verticaux et horizontaux occasionnant des apparences confuses de superpositions répétées ».

Soupçonnée des premières observations, l'existence d'un compartiment médian effondré constitue le trait dominant de la tectonique dans le Foug el Guies.

Ce compartiment est délimité par une faille F_0 subverticale située dans le lit majeur de l'oued et par un grand décrochement F_0 parfaitement visible rive gauche, dont la direction NW-SE a pu être suivie grâce à un miroir de faille à stries horizontales.

Cette disposition tectonique (figure II.3) s'est trouvée précisée dans le détail par l'exécution de galeries, d'excavations et par une campagne de sondages de reconnaissances ; il est dès lors apparu que la gorge s'est constituée grâce à un véritable champ de fractures qui se serait comporté vis-à-vis des agents d'érosion comme une zone de moindre résistance .

On a pu ainsi relever au Foug el Guies deux faisceaux de cassures. Le premier faisceau, d'orientation générale NW-SE, comporte deux grands décrochements F_2 et F_5 constituant ses éléments directeurs. Le second faisceau est matérialisé par la grande faille F_7 , que l'on peut qualifier de transversale puisque ,dirigée W.NE-E.SE, elle recoupe obliquement le faisceau précédent.

Ces décrochements importants envoient vers l'amont des ramifications de moindre amplitude qui « jalonnent leur tracé ».

A l'E du décrochement F_2 la faille transversale F_7 s'amortissant rapidement, n'a qu'une répercussion sur les grès 4, les chistes 5-6 et les grès 7, légèrement affectés par la faille F_1 , et qui appartiennent au compartiment médian affaissé.

A l'W de F_2 , par contre, la faille F_7 permet de distinguer deux domaines, amont et aval, pratiquement indépendants, que l'on peut diviser en plusieurs zones définies par les accidents qui les circonscrivent.

En aval de F_7 , la zone I, délimitée par le décrochement F_2 .par le jeu de F_2 . Les grès 4 continuent la corniche rocheuse constituée dans le compartiment médian par les grès 7.

En amont de F_7 , circonscrite par rapport à la zone amont II et relevée par rapport au domaine aval adjacent délimité par les accidents F_2 et f_1 .

A l'W de la faille f_1 et jusqu'à la faille F_5 , la faille F_7 a un rejet assez considérable juxtaposant en contact anormal les zones aval III et amont IV (grès 4 et Turonien). La zone aval III est légèrement affaissée par rapport à la zone adjacente I et le substratum turonien qui apparaît dans la zone amont IV est très relevé par rapport à toutes les zones précédentes.

Enfin, au delà de la faille F_5 , le rôle de F_7 s'efface de plus en plus et les zones V et IV, les plus surélevées, sont constituées par la série stratigraphique normale légèrement affectée

Par la « gèrbe » des failles secondaires f_8 et f_9 .

II.4.1 / La Paléogéographie et tectonique

Sur la carte géologique de Khenchela permet d'établir une opposition entre deux secteurs :

- a) l'Ouest de Khenchela le style tectonique est celui de l'Aurès.
- b) à l'Est de Khenchela l'organisation plissée perd sa prédominance et les structures sont compliquées par la présence de diapirs triasiques.

Les premiers mouvements enregistrés dans la sédimentation, si l'on accepte une lacune de l'Aptien inférieur, sont liés au diapirisme Sénonien. Les nombreux éléments triasiques remaniés avec des débris de quelques formations, montrent que le Trias était déjà organisé en diapir affleurant à cette époque.

Les formations rouges de l'Aquitano-Burdigalien montrent qu'il faut attendre la phase atlastique pour avoir une première phase tectonique véritable qui a engagé les grands plis Anticlinaux Auresiens.

Les microfaunes pélagiques oligocène remaniée dans le Miocène marin montre que cette Période correspond à une sédimentation de mer ouverte.

Les formations rouges de l'Anticlinal de Khenchela correspondent à la phase Eocène supérieure. Il est probable que la genèse des plis Atlastiques a dû accentuer le diapirisme Triasique ancien.

La présence du Miocène marin discordant sur les diapirs montre qu'à partir de cette époque, leur fonctionnement est achevé. Cette discordance générale sur toutes les structures est le seul héritage de la phase alpine.

Si la fin brutale vers le Nord Est des grands plis du Djebel Chelia, du Djebel Aurès et de Khenchela n'est pas imputable à des coulissements dextres analogues à ce qui, plus à l'Ouest, tronçonnent l'Anticlinal du Djebel Tombait ou donnent l'anticlinal du djebel Bou Arif.

II.4.2 / Les structures

II.4.2.1/ Les grands plis de l'Ouest

Du Nord-Ouest au Sud-Est se succèdent :

✓ l'Anticlinal de Djebel Chelia dont la voûte est visible à l'Est, un peu au Sud-est du Djebel Tirkabine, précisons qu'il ne s'agit pas d'une terminaison périclinale.

Cet Anticlinal paraît effondré et son extrémité Sud-Est est affecté par des accidents cassants orientés selon une direction NW-SE qui peuvent être d'anciens coulissements Alpines;

✓ le synclinal de Djebel Aurès qui s'enfonce sous le Miocène gréseux sans terminaison périclinale visible;

✓ l'anticlinal de Khenchela, puissamment fracturé par des failles directionnelles ou sensiblement E-W.

II.4.2.2/ Les diapirs de l'Est et du Nord-Est

Ce sont des zones en forme d'anticlinal. Il s'agit:

✓ le diapir de Khenchela qui a une forme très allongée. Le Trias recoupe des terrains allant du Cénomaniens inférieur au Coniacien;

✓ le Diapir de Djebel El-Krouma et Knif qui possèdent une forme plus complexe qui peut être induite par la présence des corps récifaux et des compartiments bousculés par la phase Alpine. Le Trias découpe des terrains allant de l'Albien au Maestrichtien supérieur;

✓ le Diapir de Tazougert et Merakeb qui est le plus développé malgré le recouvrement Quaternaire qui empêche d'évaluer son tracé et ses dimensions. Le Trias n'est en contact qu'avec le Crétacé supérieur. Entre ces diapirs, les terrains ont gardé une disposition Subtabulaire ou faiblement synclinale comme Djebel Chelia.

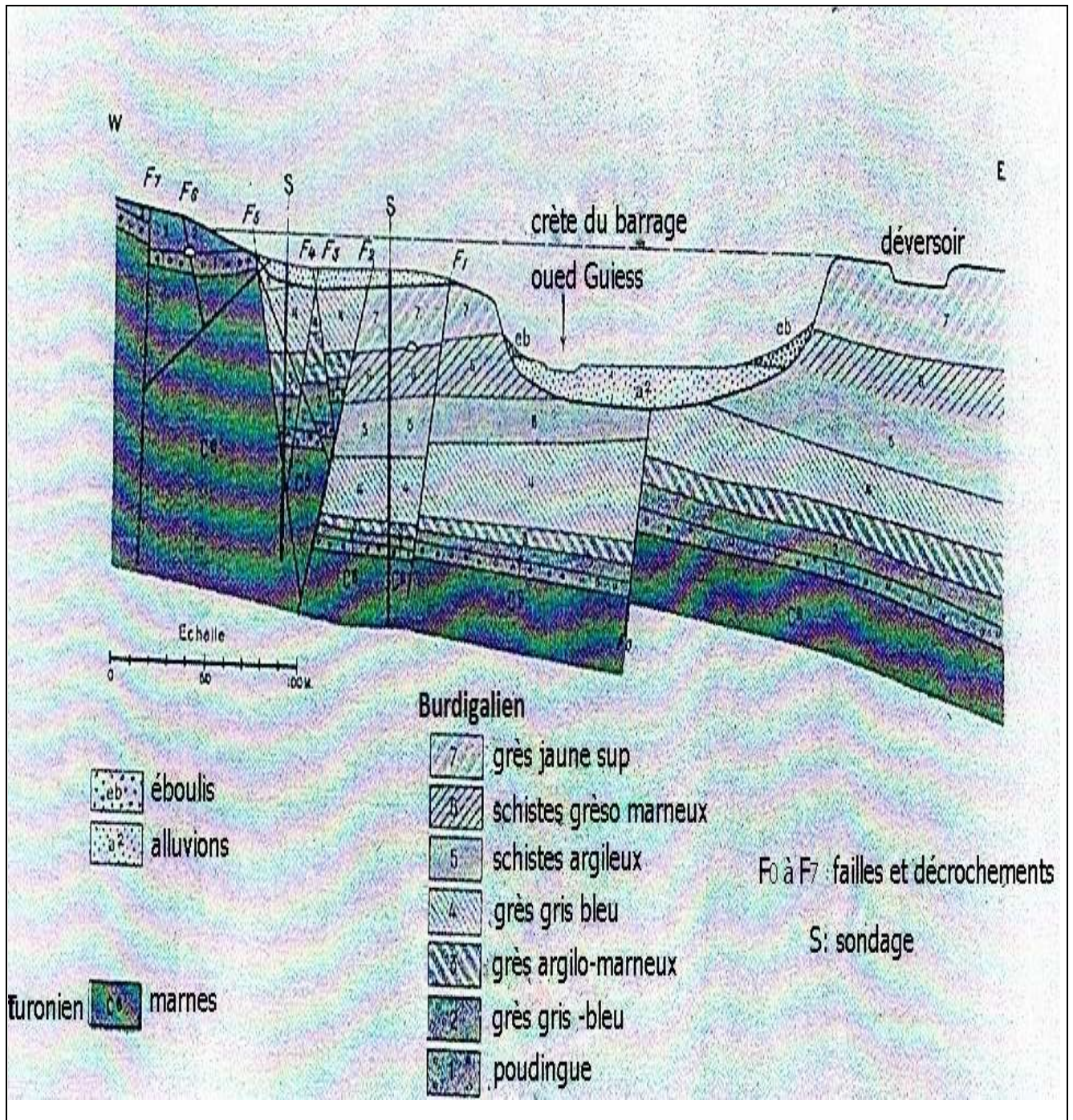


Figure II.4. Coupe géologique de l'emplacement du barrage de Foug El Guieiss (Savornin, 1941).

II.5 / La Perméabilité**II.5.1 / Classe des formations à perméabilité élevée**

L'accroissement des formations quaternaires, surtout dans les montagnes de Kouanana et l'Aurès.

II.5.2 / Classe des formations à perméabilité moyenne

Les formations Gréseuses et les formations marneuses Calcaires, occupent la plus grande superficie de la zone d'étude.

II.5.3 / Classe des formations à perméabilité faible à moyenne

Les formations Argileuse ou marneuse, et du Crétacé qui sont les plus représentées de la surface totale.

II.6 / Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de foum el Guieiss

L'approche morphologique présente les secteurs ayant une influence sur la stabilité du régime d'écoulement, on distingue :

Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphologiques favorables à la genèse et la propagation des crues ; Les secteurs de piémonts ont degré moindre ; alors que les secteurs de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement.

II.6.1 / L'Indice de Compacité (kc)

La compacité d'un bassin versant influe fortement sur le temps de réponse du bassin Versant lors d'une crue c'est-à-dire le temps de concentration de la crue.

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{s}}$$

$$kc=1.19$$

$K_c \leq 1$ ———> Bassin versant de forme circulaire.

$K_c = 1,12$ ———> Bassin versant de forme carrée.

$K_c > 1,12$ ———> Bassin versant allongé.

Le B.V de Foum El-Gueiss a une forme allongée.

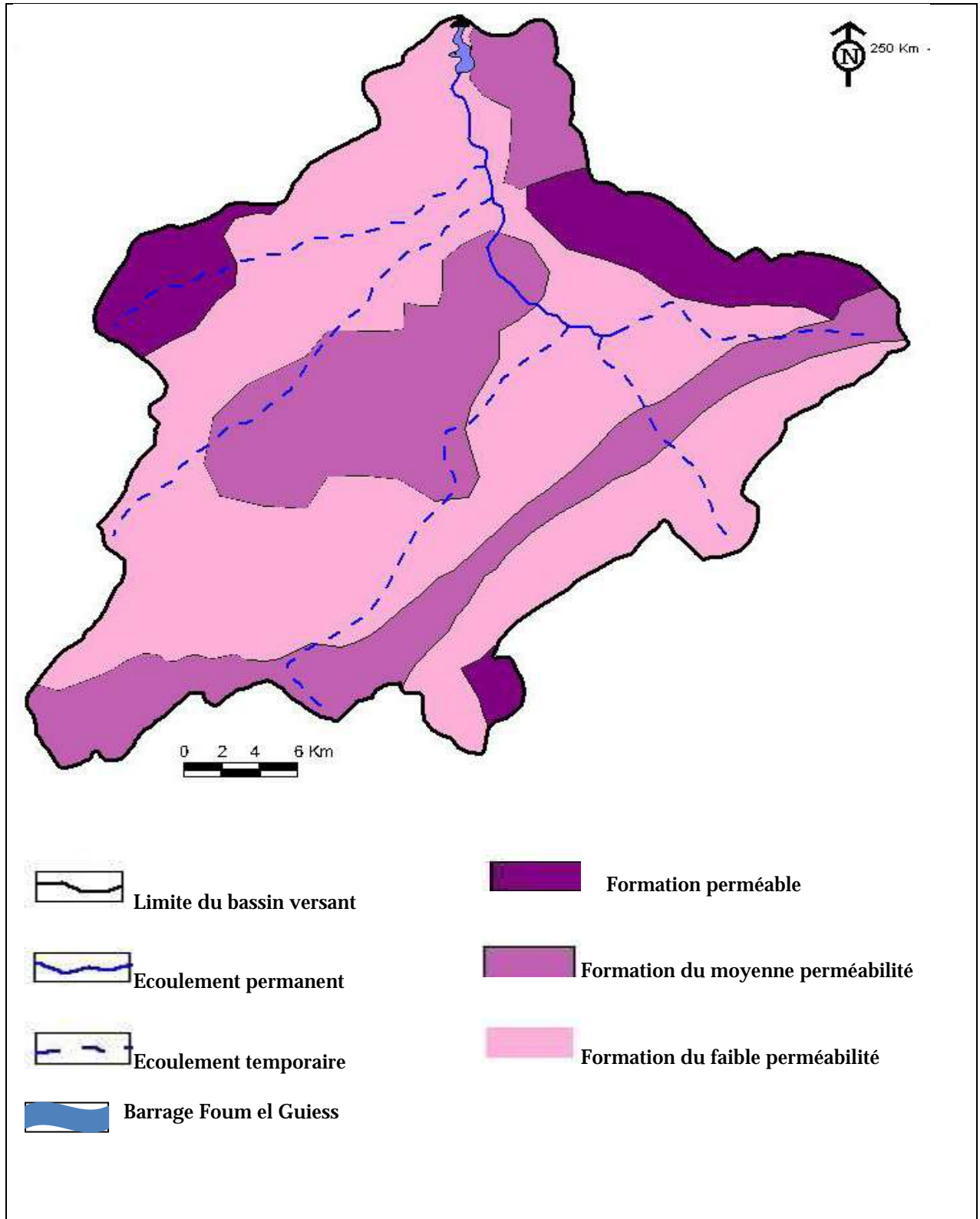


Figure II.5. Carte de perméabilité du barrage de Foug el Guieess. in (Mehemai, 2009).

II.6.2 / Le Rectangle Equivalent

Le rectangle équivalent est définie comme étant le rectangle de longueur (L) et de largeur (l) qui à la même surface (S), même périmètre (P), même indice de compacité (KC) et même hypsométrie que le bassin versant étudié.

$$L = \frac{\sqrt{S} \cdot C}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right] = 17.75 \text{ km}$$

Où :

S : représente la surface du bassin versant

C : représente l'indice de compacité

La : largeur du rectangle équivalent exprimée par la relation suivante :

$$L_a = \frac{\sqrt{S} \cdot C}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right] = 8.78 \text{ km}$$

Tableau II.1 : récapitulatif du rectangle équivalent

L(km)	17.75Km
L(Km)	8.78Km

II.6.3 / La courbe hypsométrique

Cette courbe est obtenue en portant : En abscisses, l'altitude considérée et en ordonnées, la surface partielle du bassin versant pour laquelle chaque point à une cote au moins égale à cette altitude.

A partir de cette courbe on détermine:

- l'altitude à 95 % de la surface, (H 95%) = 1044.10m
- l'altitude à 5 % de la surface, (H 5%) = 1838.36 m
- l'altitude médiane, (H 50%) = 1302.62m

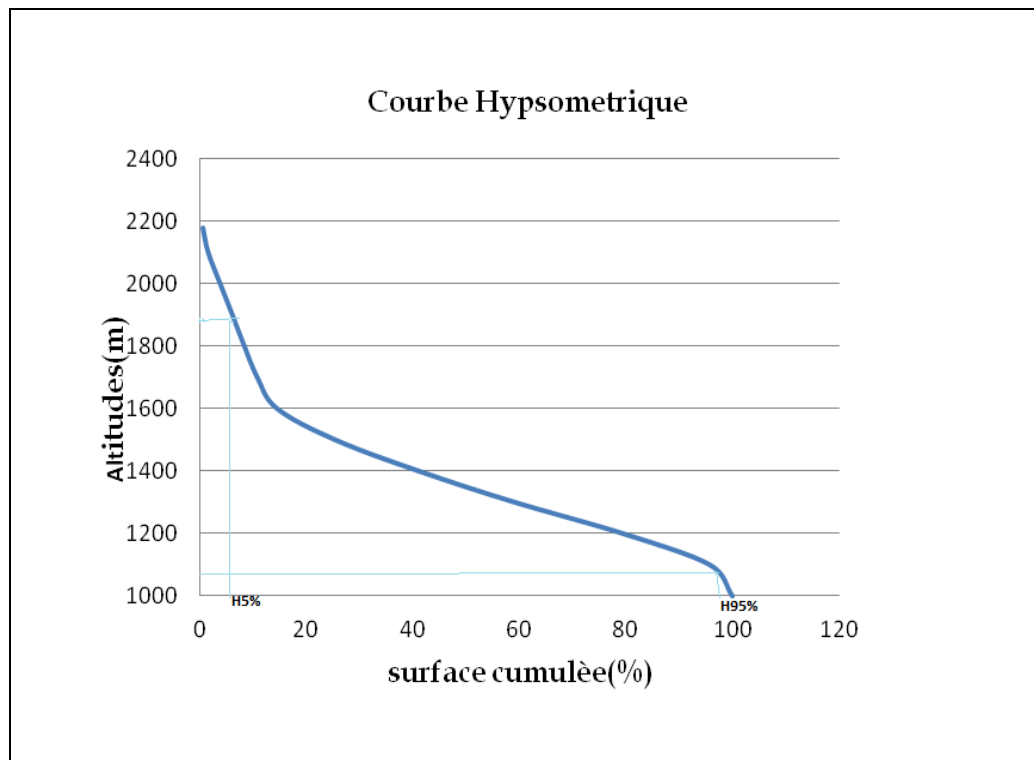


Figure II.6 : la courbe hypsométrique.

II.6.4 / Indice de pente globale (Ig)

C'est un indice qui tient compte de la dénivelée (D) et de la longueur du rectangle équivalent (L), calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où :

Ig : Indice de pente globale (m/Km) ;

D : La dénivelée ou bien la distance qui sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin et celles de 95% ou bien la distance qui sépare les deux courbes de niveau maitresses extrêmes H5% et H95%.

$$D = H5\% - H95\%$$

L : Longueur de rectangle équivalent (Km).

L'application de cette formule a permis d'avoir la valeur suivante :

$$I_g = 44.74 \text{ (m/Km)}.$$

Tableau II.2 Répartition altimétrique du bassin versant Foum el Guieiss

Altitude (m)	Borne sup (m)	Surfaces entre courbes		Surfaces cumulées	
		S _i (km ²)	%	S _i (km ²)	%
2177-2100	2177	0.8	0.51	0.8	0.51
2100-2000	2100	1.5	0.96	2.3	1.47
2000-1900	2000	3.5	2.24	5.8	3.71
1900-1800	1900	3.6	2.30	9.04	6.02
1800-1700	1800	3.25	2.24	12.9	8.26
1700-1600	1700	3.8	2.43	16.7	10.70
1600-1500	1600	5.75	3.68	22.46	14.39
1500-1400	1500	17.01	10.90	39.47	25.30
1400-1300	1400	24.5	15.70	63.97	41.00
1300-1200	1300	28.2	18.08	92.17	59.08
1200-1100	1200	31.7	20.32	123.87	79.40
1100-1000	1100	25.5	16.34	149.37	95.75
1000-968	1000	6.63	4.25	156	100

II.6.4.1 / Indice de pente moyenne (I M)

C'est le rapport entre la dénivelée totale du bassin versant (D) et la longueur du rectangle équivalent (L)

$$I m = \Delta H / L$$

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

L : la longueur de rectangle équivalent

$$I m = 68.28 \text{ (m/Km).}$$

II.6.4.2 / L'Indice De Pente de M.ROCHE (I P)

C'est la moyenne de la racine carré des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérées par la surface.

$$I_p = \sum_i^n \frac{\sqrt{S_i H_i}}{\sqrt{L}}$$

L : longueur du rectangle équivalent.

S_i : facteur de la surface totale comprise entre deux courbes de niveau.

H_i : en (m) dénivelé entre deux courbes de niveau.

$$I_p = 4.47$$

II.6.4.3 / Dénivelée spécifique (DS)

La dénivelée spécifique (DS) dépend de la courbe hypsométrique du bassin et de sa forme, Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Où :

DS : Dénivelée spécifique en (m) ;

I_g : Indice de pente globale (m/Km) ;

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

Ce qui nous donne : DS=558.80m ;

I_g : indice de pente globale

S : superficie du bassin versant.

II.7 / Caractéristiques du Réseau Hydrographique

II.7.1 / Densité de drainage

Le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre (L_x) sur la surface du bassin versant (S).

La densité de drainage est donnée par l'équation suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{x=1}^1 L_x}{S}$$

$$D_d = 3.81 \text{ km/km}^2.$$

II.7.2 / Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité tient compte de la densité de drainage et de la densité du thalweg élémentaire d'ordre 1. Il est égal au produit de ces derniers.

$$C_t = F1 \times Dd$$

F1: densité du thalweg

Dd : densité de drainage

F1	3.88
Dd	9.85

$$C_t = 38.22$$

II.7.3 / Le temps de concentration (Tc)

Il correspond au temps qui met une goutte d'eau la plus éloignée de l'exutoire pour arriver à celui-ci il se mesure de la fin de la pluie efficace à la fin de l'écoulement superficiel il a déterminer par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy} H_{min}}}$$

$$T_c = 3.41 \text{ heures.}$$

Tableau II.3 Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant de foug el Guies

caractéristiques	Unités	Symboles	Valeurs
Surface	Km ²	S	156
Périmètre	km	P	53
Altitude maximale	m	Hmax	1267
Altitude minimale	m	Hmin	890
Altitude moyenne	m	Hmoy	1300.30
H5%	m	H5%	1838.36
H95%	m	H95%	1044.10
Indice de compacité	---	Kc	1.19
Longueur du rectangle équivalent	km	L	17.75
Largeur du rectangle équivalent	km	l	8.78
Indice de pente globale	m/km	Ig	44.74
Indice de pente M .ROCHE	m/km	I p	4.47
Indice de pente moyenne	m/km	Im	68.28
Altitude médiane	m	H50%	1302.62
Dénivelée spécifique	m	Ds	558.80
Longueur du talweg principal	km	Lp	17.5
Densité de drainage	Km/km ²	Dd	2.51
Coefficient de torrentialité	---	Ct	38.22
Temps de concentration	heures	Tc	3.41 heures

Conclusion

Les terrains perméables jouent plutôt un rôle régulateur de l'écoulement, les terrains imperméables favorisent un ruissellement immédiat et donc les cours d'eau à manifestations rapides.

✓ Ces formations offrent généralement une structure fragile, à faible résistance aux forces érosives, notamment dans les formations marneuses et argileuses.

✓ Les caractéristiques morphométriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, de plus le coefficient de torrentialité semble être assez élevé et le temps de concentration est d'environ, 3.4 heures.

chapitre III

III / Introduction

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour appréhender le fonctionnement d'un système hydraulique de surface ou souterraine, la connaissance des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration. Ces différentes composantes, constituent le cycle de l'eau.

III.1 / Choix et Localisation Des Stations De Prélèvement

L'étude hydrochimique des eaux du barrage Foug El Guess, nécessite la disponibilité de données climatiques. Pour cela, nous avons sélectionné deux stations pluviométriques situées à l'intérieur du bassin versant contrôlé par le barrage de Foug El Guess, il s'agit des stations de Ain Mimoune et Tizi Tala. Tableau III.1 et figure III.1. Les données disponibles s'étalent de 1984 à 1994.

Tableau III.1 : caractéristiques des stations pluviométrique du bassin versant de Foug el Guess

Station		Ain Mimoune	Tizi Ala
Code		070704	070703
Coordonnées	X (km)	886,35	887,2
	Y (km)	243,6	241,4
	Z (m)	1180	1345

III.2 / Répartition interannuelle des précipitations**III.2.1 / Station Ain Mimoune**

Le maximum de la pluviométrie a été observé en 1989 avec 704.4 mm alors que le minimum a été enregistré en 1987 avec 292.4 mm.

Le module pluviométrique interannuel est égal à 433,3mm.

III.2.2 / Station Tizi ALA

Le maximum de la pluviométrie a été observé en 1989 avec 747mm, alors que le minimum a été enregistré en 1993 avec 255.1 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 484.5 mm.

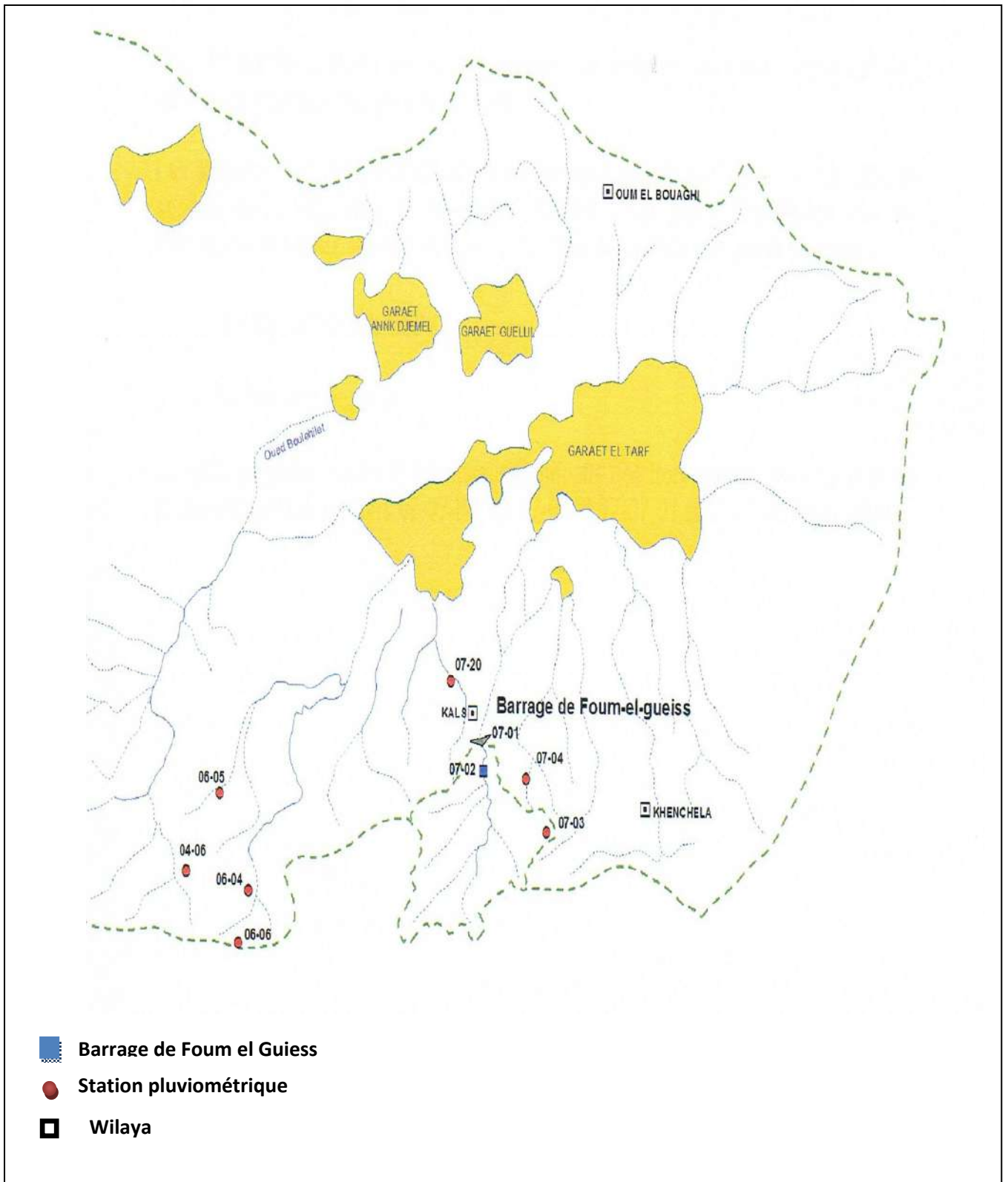


Figure III.1 : Les différentes stations pluviométriques du bassin versant du barrage de Foug el Guieiss

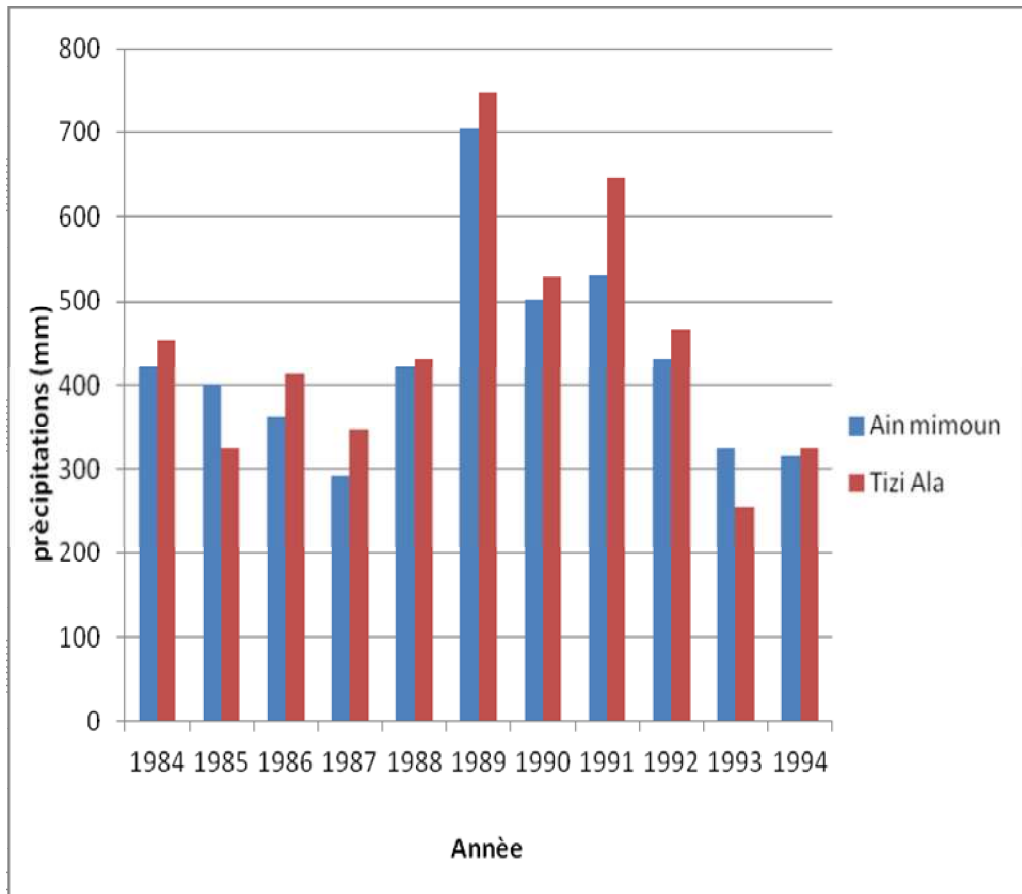


Figure III.2 variation interannuelles des précipitations au niveau du bassin versant de Foug el Guies

III.3/ Les précipitations mensuelles et saisonnières

III.3.1/ Caractéristiques statistiques des précipitations mensuelles

L'étude des précipitations est d'une importance essentielle, les pluviomètres donnent des indications ponctuelles sur la quantité d'eau tombée, et ne peuvent pas forcément représenter les conditions pluviométriques exactes d'une grande surface. C'est pourquoi, la détermination des paramètres qui quantifient la précipitation moyenne sur un bassin versant est une opération relativement recherchée.

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i}{N}$$

Où :

\bar{P} : représente la moyenne arithmétique des précipitations correspondantes.

P_i : la hauteur de pluie mensuelle exprimée en mm

N : nombre de séries mensuelles observées (mois, année)

Ecart type (σ)

$$s = \sqrt{\sum \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n - 1}}$$

Coefficient de variation (C_v)

$$C_v = \frac{s}{\bar{P}}$$

Ces caractéristiques sont consignées dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : caractéristiques statistiques des séries pluviométriques

		Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Tizi Ala	\bar{P}	30,82	34,62	41,20	55,36	56,36	41,23	60,99	35,28	43,09	19,67	16,95	13,26
	S	33,04	29,60	31,47	29,16	69,74	34,95	37,95	19,71	31,34	31,63	17,29	19,42
	C_v	1,07	0,86	0,76	0,53	1,24	0,85	0,62	0,56	0,73	1,61	1,02	1,46
	P	Moyenne annuelle=448.84(mm)											
Ain Mimoune	\bar{P}	33,85	34,37	39,51	40,89	37,92	27,39	46,65	33,34	51,32	30,14	15,75	21,14
	S	23,27	25,27	27,65	33,86	43,75	33,72	42,79	20,87	38,89	30,67	16,18	21,80
	C_v	0,69	0,74	0,70	0,83	1,15	1,23	0,92	0,63	0,76	1,02	1,03	1,03
	P	Moyenne annuelle (1984-1994) =412.27 (mm).											

La figure (III.3) montre que les précipitations mensuelles de la station de Tizi Ala sont supérieures à celles enregistrés à Ain Mimoune. Le maximum est enregistré au mois de Mars de (60.99 mm) et le minimum au mois de Aout (13.26 mm). Par contre à la station de Ain Mimoune, le maximum (51.32mm) est enregistré au mois de Mai et le minimum (15.75mm) au mois de juillet.

L'examen du coefficient de variation montre que les précipitations de Ain Mimoune sont très variables à l'échelle mensuelle. Ainsi, il passe de 63 % au mois d'avril à 115 % au mois de janvier .

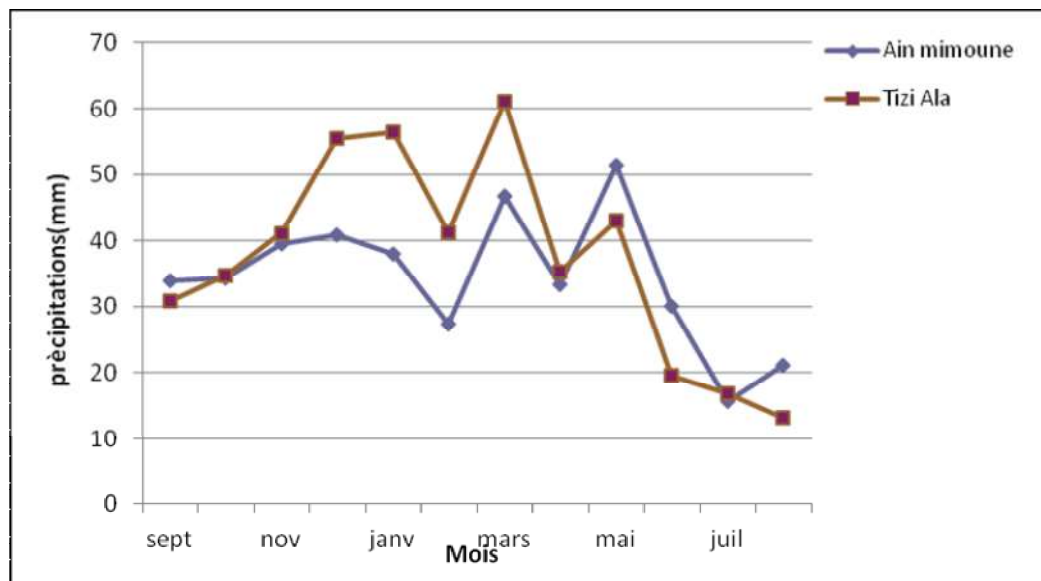


Figure III.3 Variation mensuelles des précipitations au niveau de la station de Ain Mimoune et Tizi Ala.

III.3.2/ Précipitations saisonnières

L'évolution des précipitations saisonnières, montrent que (Tableau III.2. et III.4) :

- A Tizi Ala, les mois de Décembre, Janvier et Février sont les plus pluvieux alors que les mois de Juin, Juillet et Août, sont les plus secs.

La saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de 152.95 mm soit 34.08% de la précipitation totale, et la saison la plus sèche est l'été avec une précipitation de 49.89 mm soit 11.11% de la précipitation totale.

- Par contre pour la station de Ain Mimoune, le maximum est enregistré au printemps avec 131.31 mm soit 31.85% des précipitations totales et le minimum est enregistré en été avec une précipitation de 67.03 mm soit 16.25% des précipitations totales.

Tableau III.2 : Répartition saisonnière des précipitations

Stations	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	Sep- Oct- Nov		Dec - Jan- Fev		Mar-Avr-Mai		Jui- Juil -Aou	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Ain Mimoune	107.73	26.13	106.20	25.76	131.31	31.85	67.03	16.25
Tizi Ala	106.64	23.75	152.95	34.08	139.36	31.04	49.89	11.11

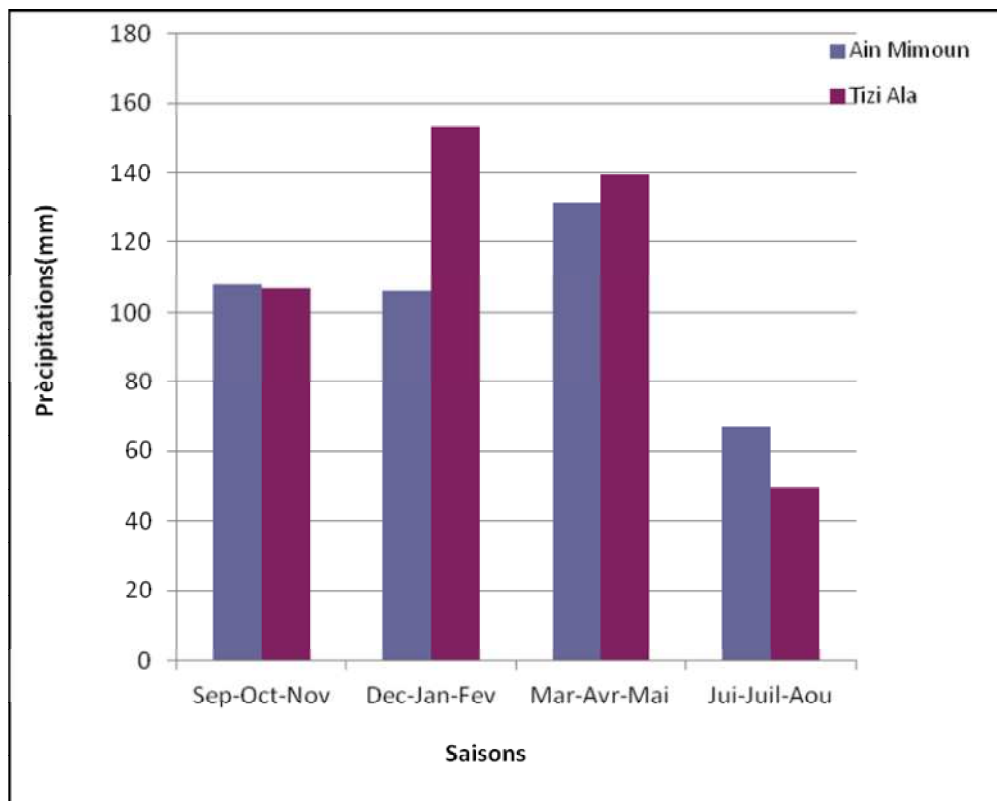


Figure III.4 Répartition saisonnière des précipitations au niveau de la station Ain Mimoune et Tizi Ala.

III.4/ Régime climatique

III.4.1/ Répartition mensuelle des températures

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biologiques.

La variation de ce paramètre est consignée dans le tableau III.3 et la figure III.4. La valeur moyenne maximale est enregistrée aux mois de juillet et Aout alors que la valeur moyenne minimale est enregistrée au mois de janvier.

III.4.2/ Le régime climatique du bassin versant

III.4.2.1/ Indice d'aridité

Le régime climatique peut se déterminer à l'aide d'un indice, appelé indice d'aridité, fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm). Cet indice permet de

déterminer le type de climat qui règne dans la région. Ce paramètre se calcule selon la

manière suivante:
$$I_a = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

I_a : indice d'aridité

P : précipitations annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Tableau III.3 Variation de la température mensuelle à Ain Mimoune

Températures	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	Aout
Minimum (m)	15.5	11.6	6.4	3.3	2.1	2.8	4.8	7.3	12	16.1	18.7	19
Maximum (M)	27.8	22.4	16.6	13	11.5	12.9	16.7	19.3	25.8	32	34.5	34
Moyenne (M+m/2)	21.65	17	11.5	8.15	6.8	7.85	10.75	13.3	18.9	23.55	26.6	26.5

In (Mehemai ,2009)

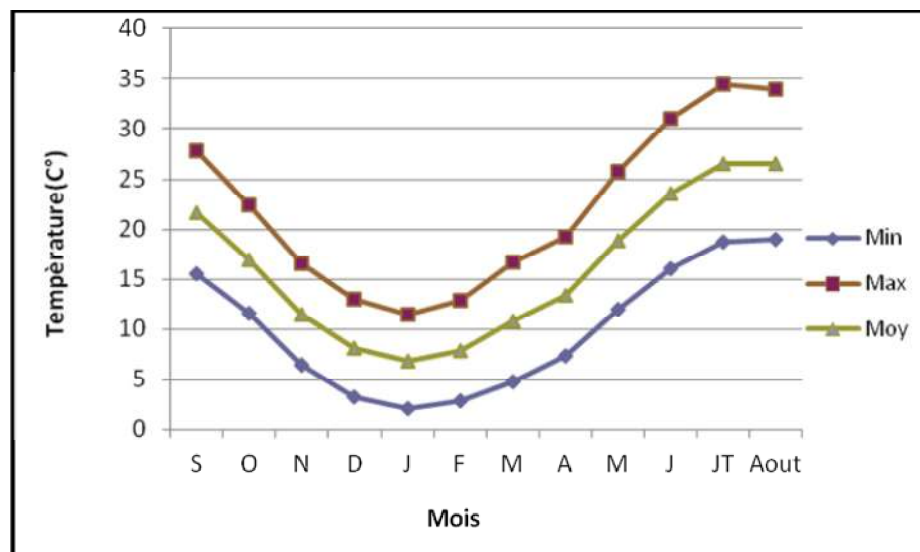


Figure III.4 Répartition mensuelle des températures à la station de Ain Mimoune

Les valeurs de l'indice permettent déterminer le climat selon le classement suivant:

$I_a < 5$	→	le climat est hyperaride
$5 < I_a < 7.5$	→	le climat est désertique
$7.5 < I_a < 10$	→	le climat est steppique
$10 < I_a < 20$	→	le climat est semi-aride
$20 < I_a < 30$	→	le climat est tempéré
$I_a > 30$	→	le climat est humide.

Pour la station de Ain Mimoune, cet indice est égale à : $I_a = 15.83$, permet de dire que le climat est de type semi aride.

III.4.2.2/ Diagramme Ombrothermique de Gausson

L'analyse des deux paramètres climatiques, les précipitations et la température, permet de tracer la courbe ombrométrique (Figure III.5) qui met en évidence deux périodes : une période sèche et une période humide. La période sèche s'étale entre Mai et Septembre et la période humide, le reste de l'année.

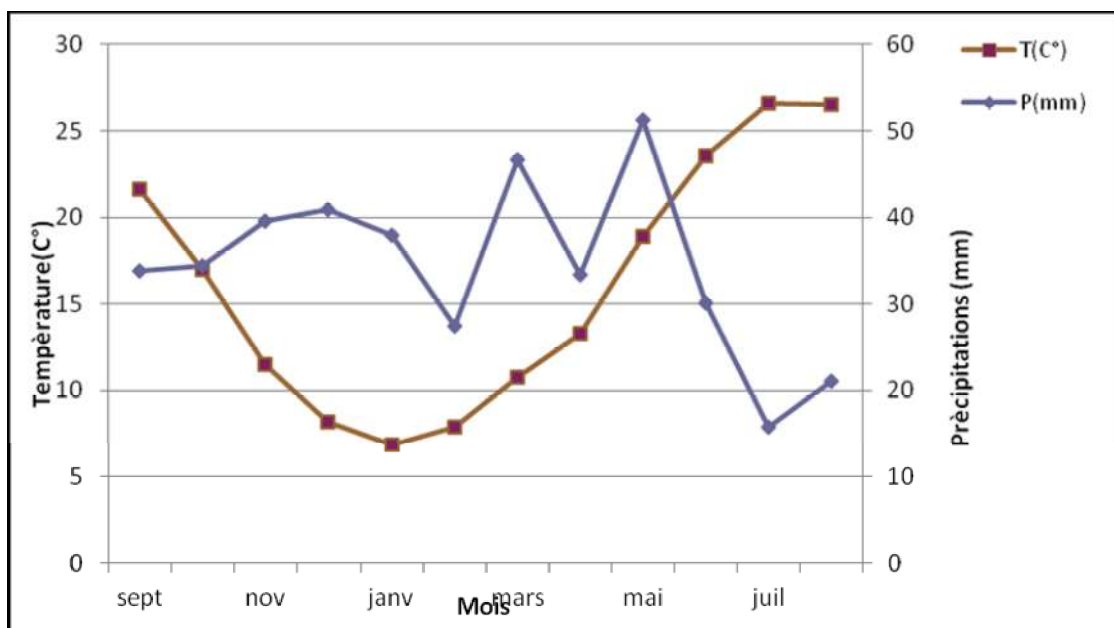


Figure III.5 : Diagramme Ombrothermique

III.4.3/ L'évaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau sous forme de vapeur quelle que soit sa nature, à l'atmosphère. C'est un élément essentiel pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue: d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

III.4.3.1/ Evapotranspiration potentielle (ETP)

Quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré.

Ce paramètre peut être estimé à l'aide de formules empiriques telle que celle de THORNTHWAITE. Cette formule ne requiert que les données les plus disponibles dans les stations météorologiques auxiliaires. Ce paramètre est donné par la relation :

$$E T P = 1.6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

t : température moyenne de la période considérée en °C

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

I : indice thermique annuel obtenu, en sommant les douze valeurs de $\left(\frac{t}{5}\right)^{1.154}$

L'application de cette formule pour les données de Ain Mimoune, a permis d'avoir les données qui ont été consignées dans le tableau III.4. On s'aperçoit que la valeur maximale coïncide avec le mois de Juillet alors que le minimum est enregistré au mois Janvier.

III.4.3.2/ Evapotranspiration réelle (ETR)

C'est la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur d'eau par une surface ou un couvert végétal. Elle peut être estimée à l'aide de plusieurs formules.

Tableau III.4 : Calcul E T P mensuelle selon THORNTHWAITE à la station de Ain Mimoune

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Année
T(C°)	21.6	17	11.5	8.15	6.8	7.85	10.75	13.3	18.9	23.55	26.6	26.5	16.04
I	9.19	6.37	3.53	2.09	1.6	2.05	3.18	4.39	7.48	10.44	12.56	12.48	75.36
ETP	96.2	63.8	32.8	18.3	13.4	17.1	29.3	42.1	76.4	111.1	136.5	135.7	772.5
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	1.03	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.23	1.16
ETPc	99.1	61.9	28.2	15.5	11.7	14.6	30.1	45.8	92.4	134.3	167.9	157.4	265.9

- Méthode de Turc

Cette méthode est en fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Où:

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P: Précipitation moyenne annuelle, en mm.

L = 300 + 25 T + 0,05 T³: pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T: Température moyenne annuelle, (en C°).

Pour la station de Ain Mimoun, l'application de la formule permet d'avoir une valeur de L'ETR = 392.26 mm. Soit 95.14% des précipitations

- Méthode de M. COUTAGNE

Cette méthode fait intervenir les températures et les précipitations. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = P - I P^2$$

Avec:

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

P: Précipitation moyenne annuelle en mm...

T: Température moyenne annuelle, (en °C).

Cette formule ne sera valable qu'après la vérification de la condition suivante:

$$1/8\lambda \leq P \leq 1/2\lambda.$$

$$\Rightarrow \lambda=0.33$$

$$0.8 < P < 1.51$$

Cette formule n'est pas applicable car elle ne remplit pas la condition suivante :

$$1/8\lambda \leq P \leq 1/2\lambda.$$

III.5 / Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite

L'étude du bilan hydrologique, permet de déterminer les différentes composantes provenant de la décomposition de la pluie. Pour cela, il est indispensable de déterminer la réserve facilement utilisable (R F U) par les plantes. Ce paramètre est déterminé par la formule suivante :

$$RFU = \frac{1}{3} d H_e P$$

Où :

R F U: Réserve facilement utilisable exprimée en mm

d: Densité apparente du sol pour la région, pour notre région $d = 0.9$

H_e : Humidité équivalente pondérale de terre sèche, pour notre cas $H_e = 0.20$

P : profondeur de la couche en terre, pour notre région P= 0.5 m

Ce qui nous permet d'avoir une R F U = 30 mm.

L'application de cette technique a permis d'avoir le bilan qui a été consigné dans le tableau III.5.

Tableau III.5 : bilan hydrologique station de Ain Mimoune

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Ann
T(C°)	21.65	17	11.5	8.15	6.8	7.85	10.75	13.3	18.9	23.55	26.6	26.5	16.04
ETP	96.21	63.78	32.82	18.27	13.43	17.14	29.26	42.02	76.37	111.01	136.54	133.67	770.5
P	33.85	34.37	39.51	40.89	37.92	27.39	46.65	33.34	51.32	30.14	15.75	21.14	412.2
P-ETP	-62.36	-29.41	6.69	22.62	24.49	10.25	17.39	-8.68	-5.05	-80.87	-20.79	-12.53	/
RFU	0	0	6.69	29.31	30	30	30	21.32	0	0	0	0	/
ETR	33.85	34.37	32.82	18.27	13.43	17.14	29.26	42.02	72.64	30.14	15.75	21.14	360.8
Da	62.36	29.41	0	0	0	0	0	0	3.73	80.87	120.79	112.53	409.6
Ex	0	0	0	0	23.8	10.25	17.39	0	0	0	0	0	51.44

D'après les résultats obtenus on peut tirer les remarques suivantes :

- l'évapotranspiration potentielle annuelle est plus élevée que les précipitations annuelles.
- l'année hydrologique se divise en deux parties inégales, l'hiver où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle et permettent à la RFU de se reconstituer à partir du mois de novembre. Elle atteint son maximum pendant les mois de janvier, février et mars. Pendant le mois d'avril elle commence à diminuer pour disparaître au mois de mai.
- Le déficit est de 409 mm et il s'étend du mois mai jusqu'au le mois d'octobre ce qui correspond à la période des grands besoins en eau d'irrigation.
- L'excédent apparaît pendant les mois de janvier, février et mars quand la RFU est maximale, il est de l'ordre de 51 mm.

III.6/ Etablissement du bilan hydrologique

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées, sur de grandes périodes. La formule du bilan est la suivante :

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

P: La hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Le ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: L'évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: L'infiltration annuelle (mm).

ΔW : La variation de réserves en (mm), souvent négligeable

II.6.1/ Détermination du ruissellement :

Le ruissellement est l'écoulement superficiel des eaux dans le bassin versant, il est calculé selon plusieurs formules, dont celle de Tixeront –Berkaloff donnée par la relation suivante:

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

Avec :

R: Le ruissellement moyen annuel en (mm).

P: La hauteur des précipitations annuelles en (mm).

ETP: L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

$$R = 39 \text{ mm}$$

III.6.2/ Estimation de la lame d'eau infiltrée

L'infiltration désigne la partie de l'eau qui percole en profondeur sous l'action de la gravité et de la pression. La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule suivante:

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

$$I = 51 - 39 = 12 \text{ mm.}$$

Les différentes composantes du bilan sont représentées dans le tableau III.6. On s'aperçoit que l'ETR reprend plus de 87 % des précipitations ce qui laisse moins de 10 % au ruissellement et moins de 3 % à l'infiltration.

Tableau III.6 : Récapitulatif du bilan hydrologique à la station de Ain Mimoune

P	mm	%
P	412	100
ETR	361	87.62
R	39	9.46
I	12	2.91

III.7/ Hydrologie

La superficie, le réseau hydrographique, la topographie sont des paramètres essentiels de chaque bassin qui constituent la base de l'étude hydrologique. L'apport moyen au niveau du bassin versant, peut être soit estimé à l'aide de formules empiriques ou mesuré sur terrain.

III.7.1/ Evaluation de l'écoulement à l'aide de formules empiriques

- Formule de SAMIE

$$Le = P_0^2 (293 - 2,2\sqrt{S}) \quad (\text{Hm}^3) ;$$

Le : Lamme d'eau écoulée (m).

P_0 : précipitation moyenne annuelle en (m) ;

S : superficie en Km².

$$\text{Donc } Le = 0,4122^2 (293 - 2,2\sqrt{156}) = 45,11 \text{ (mm)}.$$

$$\S \quad Le = 289 (P_0 - 0,076)^2 \text{ (mm)}$$

Le : Lamme d'eau écoulée (mm).

P_0 : précipitation moyenne annuelle en (m) ;

$$\text{Donc } Le = 289 (0,4122 - 0,076)^2 = 32,66 \text{ (mm)}$$

$$\S \quad Le = 0,784 (P_0 - 0,232)^2$$

Le : Lamme d'eau écoulée (m)

P_0 : Précipitation moyenne annuelle (m)

Donc $Le = 0,784 (0,4122 - 0,232)^2 = 0,02545 \text{ m} = 25,45 \text{ mm}$

L'apport liquide sera donc :

$$A = Le.S.10^{-3} \text{ (Hm}^3\text{)} ;$$

Le : Lamé d'eau écoulée (m) ;

S : Superficie du bassin versant (Km²) ;

$$\S \quad A = 0,04511 . 156.10^{-3} = 7,037 \text{ Hm}^3$$

$$\S \quad A = 0,03266. 156.10^{-3} = 5,510 \text{ Hm}^3$$

$$\S \quad A = 0,02545.156.10^{-3} = 3,960 \text{ Hm}^3$$

- Formule dite ALGERIENNE

$$Le = P_0 (1 - 10^{-k P_0^2})$$

Le : Lamé d'eau écoulée (m)

P_0 : Précipitation moyenne annuelle (m)

k : coefficient dépendant de la surface du bassin versant

$$k = 0,18 - 0,01. \text{Lg}10(S)$$

S : Superficie du bassin versant (Km²)

L'apport moyen annuel est donc :

$$A = Le.S.10^{-3}$$

$$k = 0,18 - 0,01. \text{Lg}10 (156) = 0,158$$

$$Le = 0,4122 (1 - 10^{-0,158.0,4122^2}) = 0,02470 \text{ m}$$

$$A = 0,02470. 156.10^{-3} = 3.853 \text{ Hm}^3$$

- Formule de MALLET- GAUTTHIER

$$Le = 0.6P_0(1 - 10^{-0,36P_0^2})$$

P_0 : Précipitation moyenne annuelle (m) ;

Le : Lamé d'eau écoulée (m) ;

$$Le = 0,6. 0,4122(1 - 10^{-0,36. 0,4122^2}) = 0,032 \text{ (m)} ;$$

L'apport moyen annuel sera donc :

$$\overline{A} = \text{Le.S.} \cdot 10^{-3} ;$$

$$\overline{A} = 0,032.156.10^{-3} = 4,992 \text{ Hm}^3.$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (III.17):

Tableau III.7 Tableau récapitulatif

Auteurs	Lame d'eau écoulee (mm)	Apport annuel (Hm3)
SAMIE	45,11	7,037
	32,66	5,510
	25,45	3,960
ALGERIENNE	24,70	3.853
MALLET-GAUTTHIER	32,00	4,992

III.7.2/ Apport annuel mesuré

La mesure de l'apport moyen au niveau du barrage (tableau III.8) a permis que ce dernier varie entre un minimum de 0.16 hm³ en 1995 et un maximum de 13.29 hm³ en 1998. Fig. III.6.



Figure III.6. Variation de l'apport annuel entre 1984 et 1996.

La comparaison de cet apport mesuré avec la lame d'eau annuelle, montre qu'ils sont fortement liés. Figure III.7.

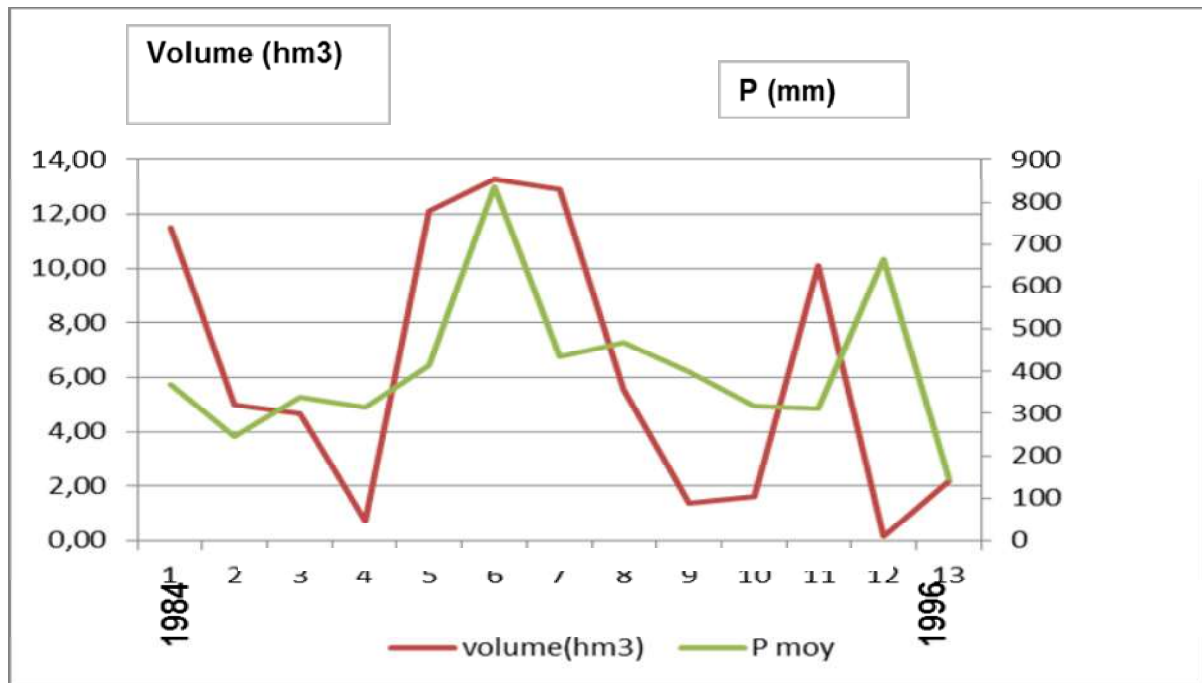


Figure III.7. Liaison apport annuel-précipitations.

Conclusion

L'analyse climatique de la région a montré que le climat est de type semi-aride, caractérisé par une période sèche et une période humide à une température moyenne mensuelle qui varie entre 6.8 et 26.6 °C alors que la température moyenne annuelle est de 16.04 °C. Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 412 mm.

Ces caractéristiques climatiques ont abouti à une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 770 mm, un déficit agricole de 409 mm, un excédent de 51 mm.

L'analyse de l'apport annuel a permis de voir que ce dernier est très lié aux précipitations.

Chapitre IV

Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

IV.1/ Evolution de la qualité des eaux de surface

La chimie des eaux de surfaces est influencée par plusieurs facteurs. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux du barrage Foum El Guiness et son évolution dans le temps à l'aide des résultats des analyses effectuées entre 1984 et 2004. Ces données nous ont été confiées par la direction du Barrage. Ces analyses comportent des paramètres physiques (potentiel hydrogène (pH), conductivité électrique de l'eau (CE), la température de l'eau de la retenue du barrage (T_{eau}) et l'oxygène dissous (OD) et des paramètres chimiques : calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), sodium (Na^+), potassium (K^+), chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^-), bicarbonates (HCO_3^-), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-). Ces données constituent une série chronologique de 177 analyses et de 13 variables.

Afin de bien illustrer et comprendre ces variations, deux formes de représentations des données seront réalisées dans ce qui suit :

- Des statistiques présentant les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types ;
- Des graphiques présentant la variation temporelle de ces concentrations.

IV.2./ Statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques

Les paramètres statistiques utilisées sont, le minimum (Min), le maximum (Max), la moyenne arithmétique (Moy), la médiane (Med), l'écart type (δ) et le coefficient de variation (Cv) calculé à l'aide du rapport suivant : δ / Moy . Tableau IV.1. On s'aperçoit que la moyenne est très proche de la médiane ce qui implique une distribution symétrique des échantillons. Le coefficient de variation indique trois types de variations :

- Faible (3%) pour le pH ;
- Moyenne (15 à 30 %) pour l'OD, CE et HCO_3^- ;

- Fort (>30%) pour le reste des éléments à l'exception de NO_2^- dont les teneurs présentent une variation de 129%.

Tableau IV.1 : Statistiques descriptives des analyses chimiques des eaux du Barrage Foum el Gueiss (1984-2004).

Elément	Min	Moy	Med	Max	δ	Cv
pH	7.24	8.25	8.3	9.2	0.25	0.03
CE	200	567	500	1100	171	0.30
OD	47	83.6	84	312	12	0.15
T _{eau}	4	15.7	15	30	6.7	0.43
Ca	6	69	68	140	22	0.31
Mg	4	20.7	20	54	10	0.49
Na	3	19.5	18	52	10.4	0.53
K	1	2.9	2	9	2	0.68
Cl	2	28.1	25	78	17.8	0.63
SO ₄	52	130.3	124	290	44	0.34
HCO ₃	61	168.8	171	305	44.9	0.26
NO ₃	1	6.2	5	25	4.6	0.75
NO ₂	0.006	0.05	0.02	0.38	0.07	1.29

IV.3/ Faciès chimiques

La présentation des analyses chimiques des différentes campagnes sur le diagramme de Piper (Figures IV.1 à IV.3) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux du barrage de Foum El Guieiss. Ces diagrammes montrent que ces eaux sont chlorurées sulfatées calciques. Ce faciès est en liaison surtout avec la géologie, étant donné que le bassin versant est presque inhabité. Le climat, semi-aride peut également influencer la composition chimique par effet de concentration lors de l'évaporation.

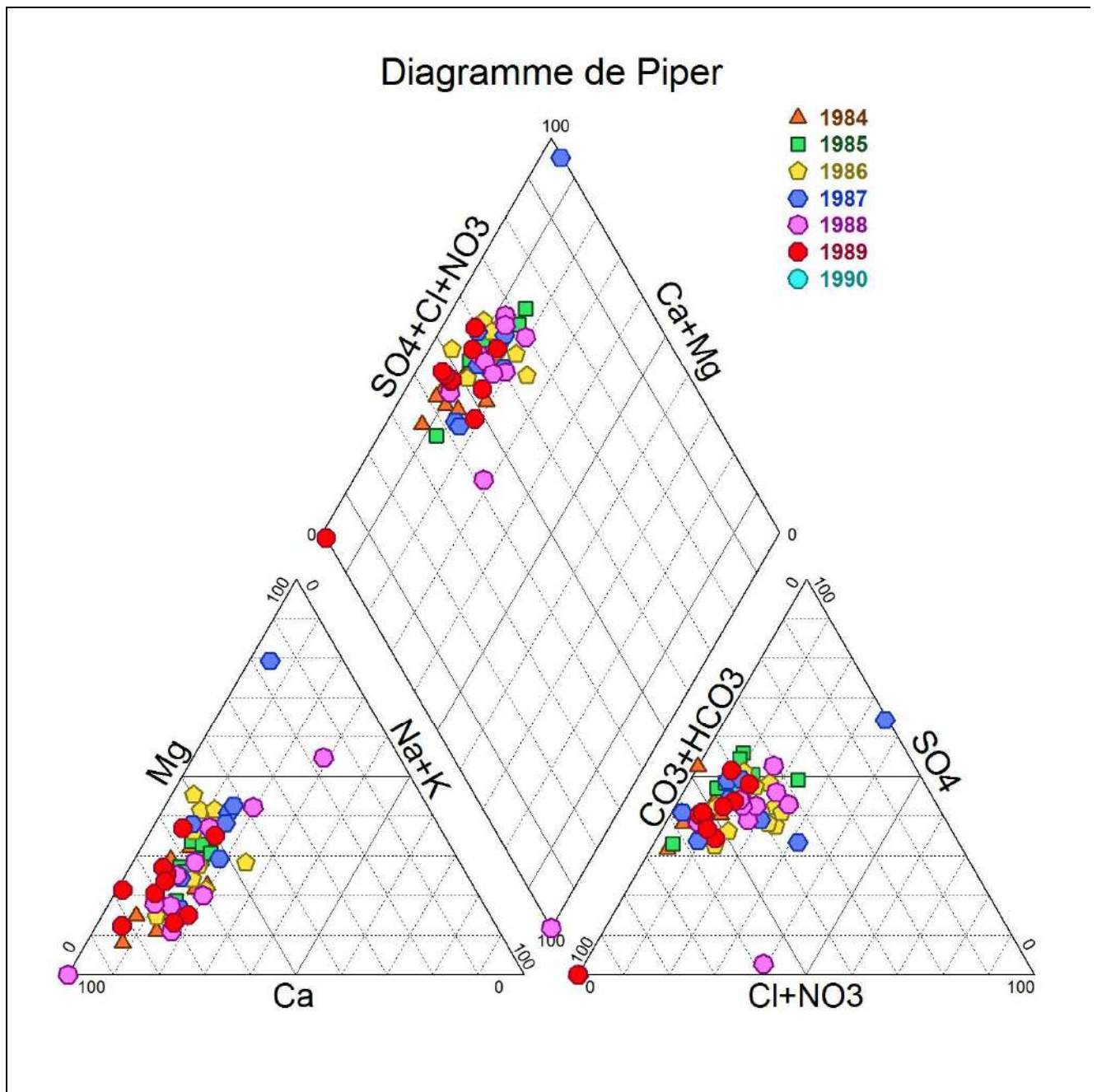


Figure IV.1. Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foum el Guies.

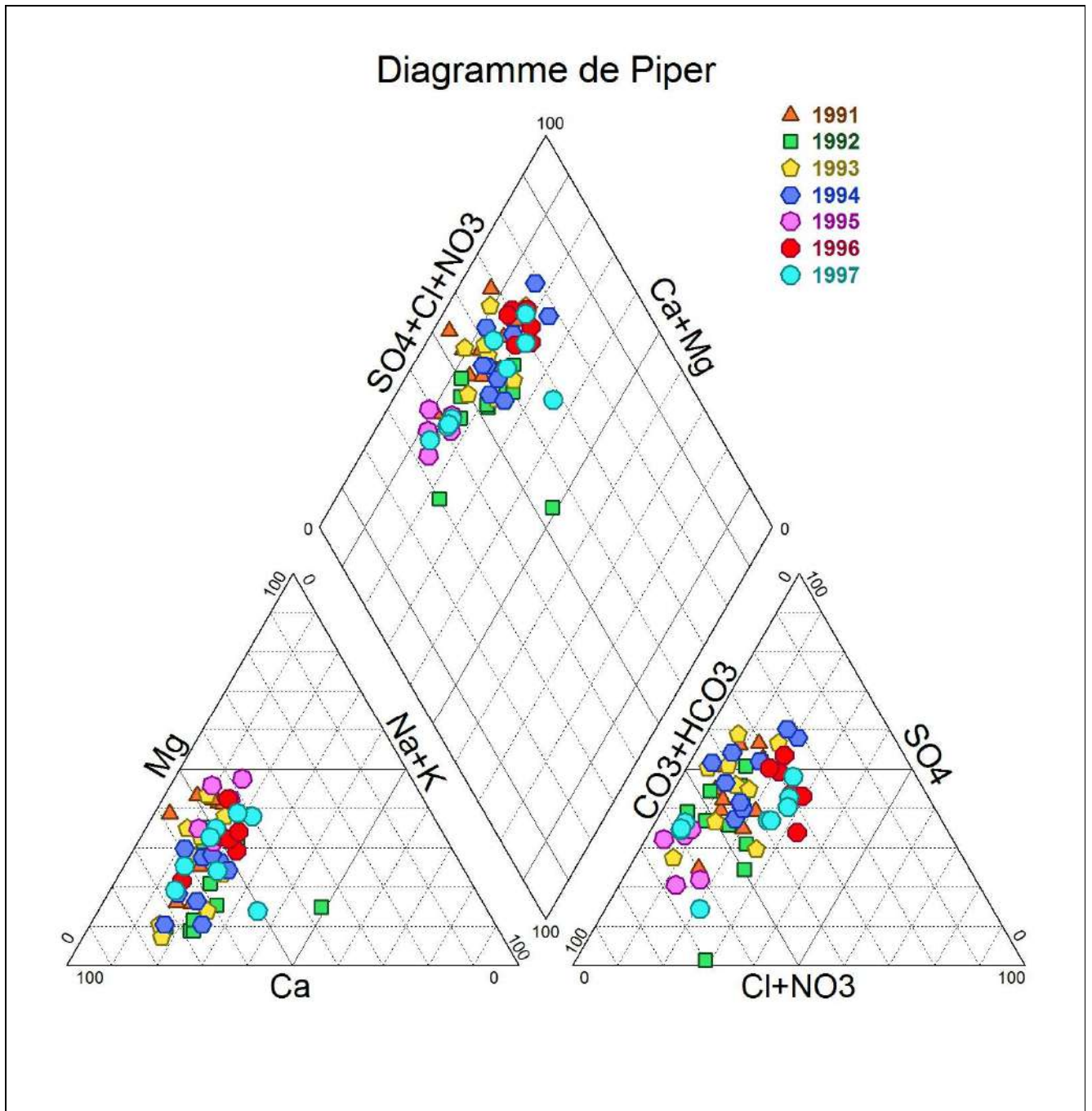


Figure IV.2. Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foum el Guies.

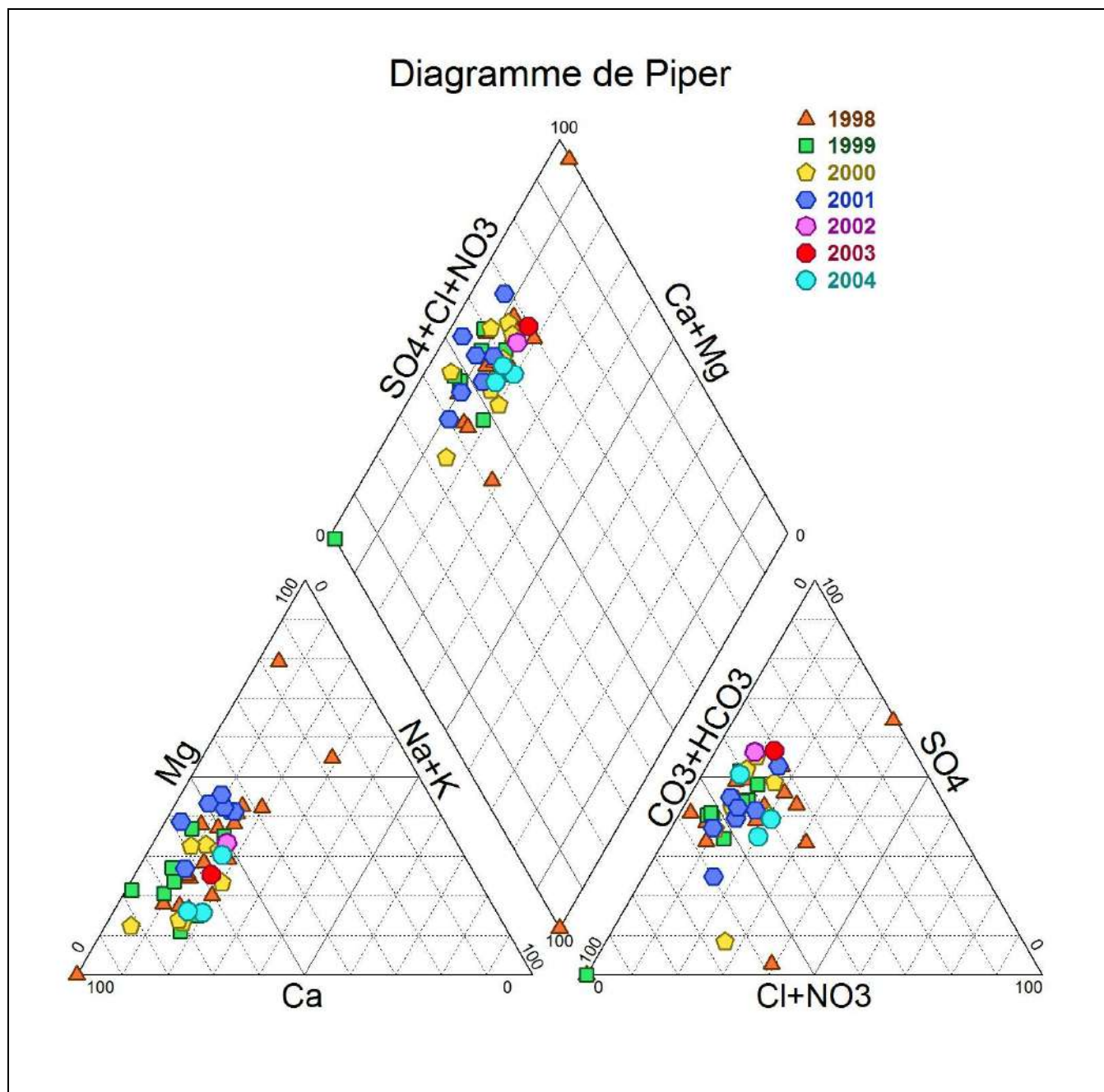


Figure IV.3. Diagramme de PIPER des analyses du barrage Foum el Guies.

IV.4 / Analyse en composantes principales

Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée au traitement des données chimiques du barrage Foug El Guies. Bien que l'ACP est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnélie, 2006) le but de ce traitement est de déterminer les principaux facteurs qui contrôlent le chimisme de ces eaux. Cette méthode statistique a été largement appliquées pour enquêter sur des phénomènes de l'environnement et les processus hydrogéochimiques à travers le Monde, (Anazawa et al., 2003 et Güler et Thyne, 2004) et en Algérie (Belkhiri et al., 2011, Tiri et al., 2011, Boudoukha et Athamna, 2011, Boudoukha et Boulaarak, 2013 et Mekaouci, 2013). Ce travail porte donc sur la force de cette technique pour caractériser les variations hydrochimiques des eaux du barrage Foug El Guies. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA 1998, version Free.

IV.4.1/ Principe

Dans un tableau comportant (P) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un espace à P dimensions. Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à deux dimensions (plans). Les issues d'une A.C.P, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires de ces variables initiales. Parmi tous les indices possibles, l'A.C.P recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal. Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'A.C.P « variable à expliquer » ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes).

IV.4.2/ Résultats et interprétations

Le critère de Kaiser (Kaiser, 1960) a été appliqué afin de déterminer le nombre total de facteurs significatifs. Selon ce critère, seuls les facteurs ayant une valeur propre supérieure ou égale à 1 seront acceptés comme sources possibles de variance dans les données. Cinq composantes principales (CP) ont été retenues et les résultats montrent que trois CP représentent 45% de la variance totale, ce qui est faible et peut être utilisée pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie. Tableau IV.2. A 1% d'erreur le coefficient de corrélation critique de Pearson est de 0.2. Annexe. Sur cette base, CP1 qui représente 25 % de la variance, est déterminé positivement par (CE, RS, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ et HCO₃⁻). C'est le facteur de la contamination par les éléments carbonatés et salifères. Le CP2, qui représente près de 11 % de la variance totale est déterminé par une opposition entre NO₂⁻ et T_{eau} d'un côté et NO₃⁻ et OD d'un autre côté. Ce dernier facteur est donc celui de la pollution agricole. La zone est fortement boisée ce qui permet la décomposition de la matière organique et l'apparition des nitrates. Les CP3 et 4 expliquent 15 % de la variance totale et ils sont déterminés par le reste des variables (pH, K⁺). Les quatre facteurs montrent que les eaux du barrage, suivent deux processus dans la dissolution des minéraux (évaporites et carbonates) suivi par une pollution par l'activité agricole. Donc CP1, CP2, CP3 et CP4 sont supposés être représentatifs du processus d'acquisition du chimisme de l'eau lié à l'interaction eau-roche et à la pollution par l'activité agricole. Figure IV.4.

Tableau IV.2. Caractéristiques de l'ACP appliquée aux données chimiques des eaux du barrage Foug El Guiss.

CP	Valeurs propres	% de la Variance du CP	Variance Cumulée
1	3,528496	25,20355	25,2035
2	1,503462	10,73901	35,9426
3	1,403809	10,02721	45,9698
4	1,173974	8,38553	54,3553
5	1,004796	7,17711	61,5324

Tableau IV.3. Liaisons variables-CP.

	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
T	0,064833	-0,498471	-0,357774	-0,358160
pH	-0,338194	0,028128	0,564830	0,054022
CE	-0,524062	-0,107044	-0,081661	-0,084215
OD	0,074413	0,439258	-0,017772	-0,458060
Ca ²⁺	-0,541832	0,337298	-0,178311	-0,014069
Mg ²⁺	-0,585150	-0,279695	0,156914	-0,323822
Na ⁺	-0,731633	-0,204175	-0,318702	0,022795
K ⁺	-0,194444	-0,156004	0,387036	0,665156
Cl ⁻	-0,722110	-0,376310	-0,065018	0,161446
SO ₄ ²⁻	-0,834183	-0,015225	-0,049082	-0,110634
HCO ₃ ⁻	-0,499004	0,499654	-0,263996	0,084241
NO ₃ ⁻	-0,174615	0,496936	0,307292	-0,164389
NO ₂ ⁻	0,090739	-0,339820	0,604073	-0,444186

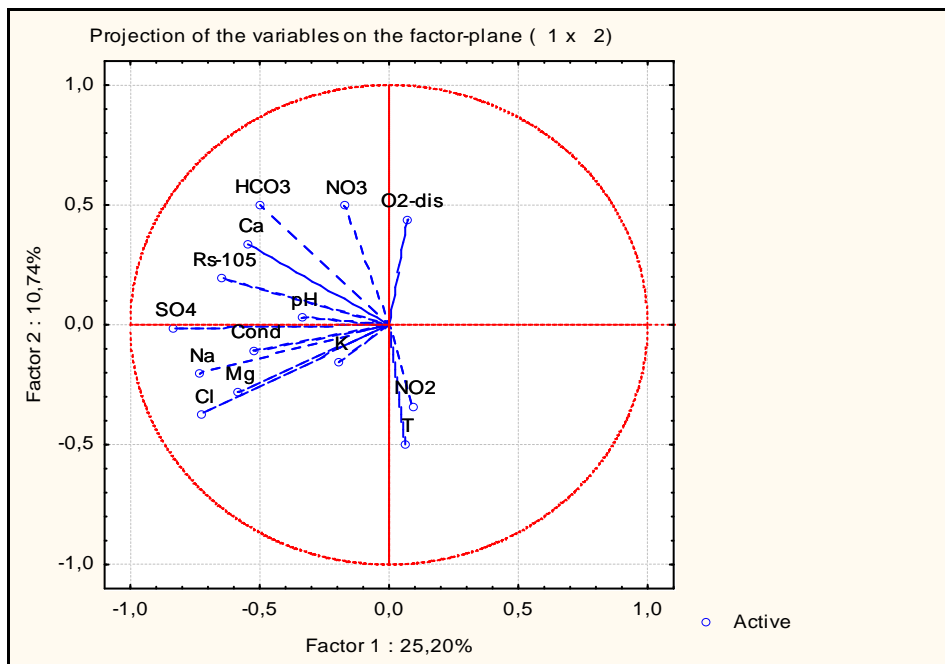


Figure IV.4. Cercle de corrélation et répartition des variables de qualité des eaux de surface

L'examen de la matrice de corrélation (Tableau IV.4), nous a permis de dégager les associations suivantes :

- CE → Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻.
- Ca²⁺ → Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻.
- Mg²⁺ → Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻.
- Na⁺ → Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻.
- K⁺ → Cl⁻.
- Cl⁻ → SO₄²⁻.
- SO₄²⁻ → HCO₃⁻.
- HCO₃⁻ → NO₂⁻.

On s'aperçoit qu'on a deux origines de la minéralisation qui est aussi bien liée aux carbonates qu'aux formations évaporitiques mais elle est beaucoup plus due aux carbonates. Figure IV.5.

Tableau IV.4. Matrice de corrélation

	T	pH	CE	OD	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	NO2
T	1,00	-0,02	0,05	-0,08	-0,09	0,09	0,05	-0,15	-0,04	0,06	-0,17	-0,15	-0,04
pH		1,00	0,12	-0,07	0,13	0,15	0,04	0,19	0,15	0,23	0,10	0,15	0,12
CE			1,00	-0,03	0,19	0,26	0,30	0,07	0,30	0,37	0,20	0,03	-0,04
OD				1,00	0,06	-0,03	-0,05	-0,10	-0,14	0,00	0,01	0,16	0,01
Ca					1,00	0,15	0,32	0,01	0,23	0,42	0,35	0,08	-0,13
Mg						1,00	0,28	0,07	0,47	0,47	0,16	0,11	0,15
Na							1,00	0,03	0,72	0,56	0,26	-0,01	-0,11
K								1,00	0,24	0,13	-0,06	0,01	-0,05
Cl									1,00	0,49	0,15	0,00	-0,02
SO4										1,00	0,34	0,12	-0,10
HCO3											1,00	0,10	-0,28
NO3												1,00	-0,08
NO2													1,00



Figure IV.5. Liaison salinité-Eléments chimiques.

IV.5/ Evolution des paramètres physiques

IV.5.1/ Paramètres physiques

IV.5.1.1/ Température de l'eau

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques, c'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique puisque sa teneur est fonction de la température. Une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs (Beaudry et Henry, 1984). La température maximale de l'eau est égale à 30°C alors que la température minimale est de 4°C. Des températures similaires ont été enregistrées dans la région de Guelma. On remarque que l'évolution de la température suit la température de l'air. Figure IV.6.

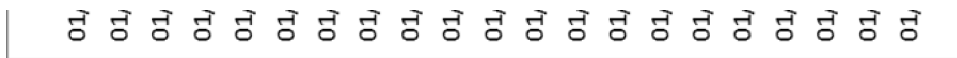


Figure IV.6. Variation de la température de l'eau.

IV.5.1.2/ Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un facteur important dans le traitement de l'eau car certains procédés pour être efficaces, nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique. Le pH donne également une indication de l'acidité d'une substance. Figure IV.7. Le pH est compris entre deux valeurs 7.24 et 9.2, cette augmentation du pH serait due à la dissolution des terrains calcaires.

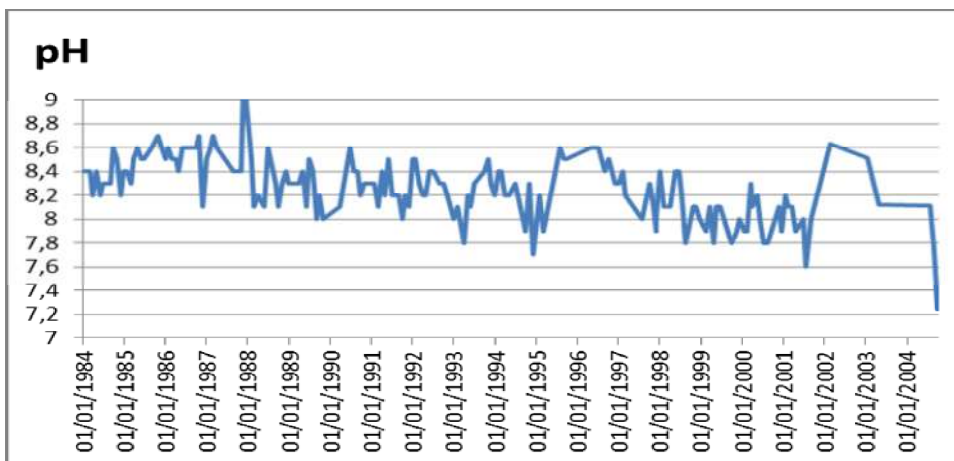


Figure IV.7 : Evolution du potentiel d'hydrogène

IV.5.1.3/La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique exprime la salinité de l'eau, son élévation traduit une salinité élevée et inversement. Les eaux du barrage ont une CE qui varie entre 200 et 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ elle est donc moyenne et ceci est dû à la faible influence des évaporites. Figure IV.8.

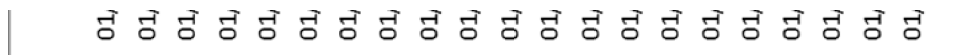


Figure IV.8 : Evolution de la conductivité électrique

IV.5.1.4/ L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous dans l'eau est un élément fondamental qui intervient dans la majorité des processus biologiques ; végétaux et animaux l'utilisent pour la respiration. L'oxygène participe également aux dégradations biochimiques et chimiques. Les teneurs en ce paramètre varient entre 47 et 312 mg/l ce qui nous semble très fort. La grande surface du lac, le vent et l'agitation de l'eau pourraient expliquer une partie de ces fortes teneurs. Figure. IV. 9.

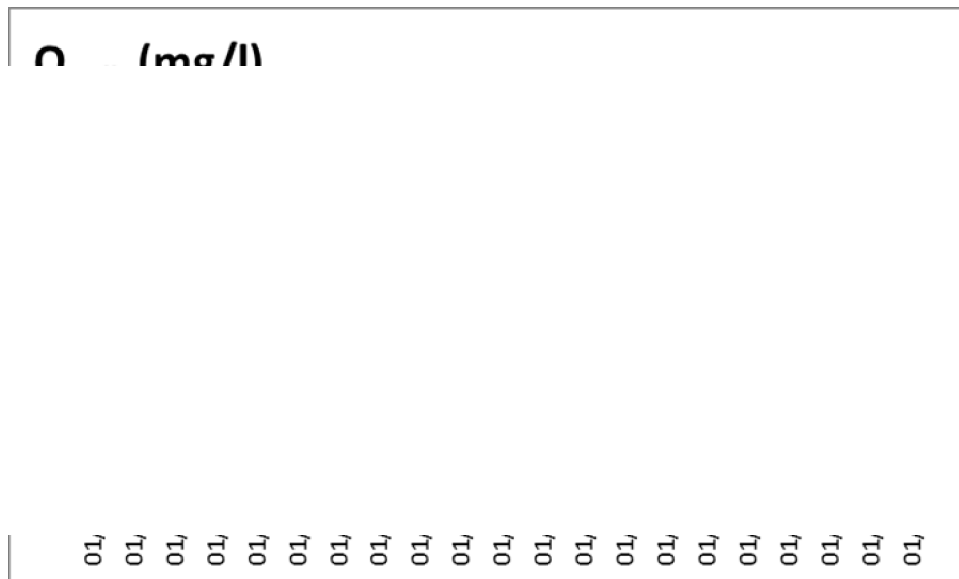


Figure IV.9. Evolution de l'oxygène dissous.

IV.5.2/ Eléments majeurs

IV.5.2.1/ Le Calcium

Le calcium est un élément alcalino-terreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères (CaSO₄, 2H₂O). La teneur du calcium varie entre 6 mg/l et 140 mg/l. Figure IV.10.

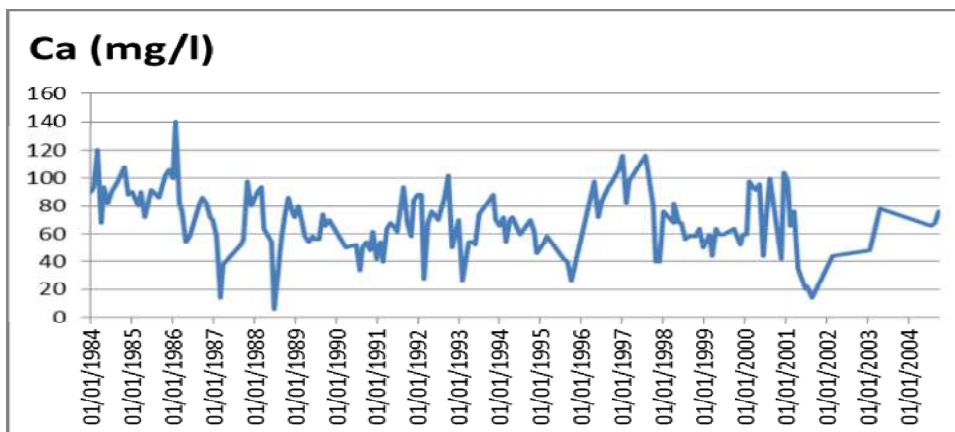


Figure IV.10. Evolution du Calcium

IV.5.2.2/ Le Magnésium

Le magnésium est un métal alcalino-terreux, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens. La teneur maximale est de l'ordre de 54 mg/l alors la valeur minimale est de 4 mg/l. Figure IV.11.

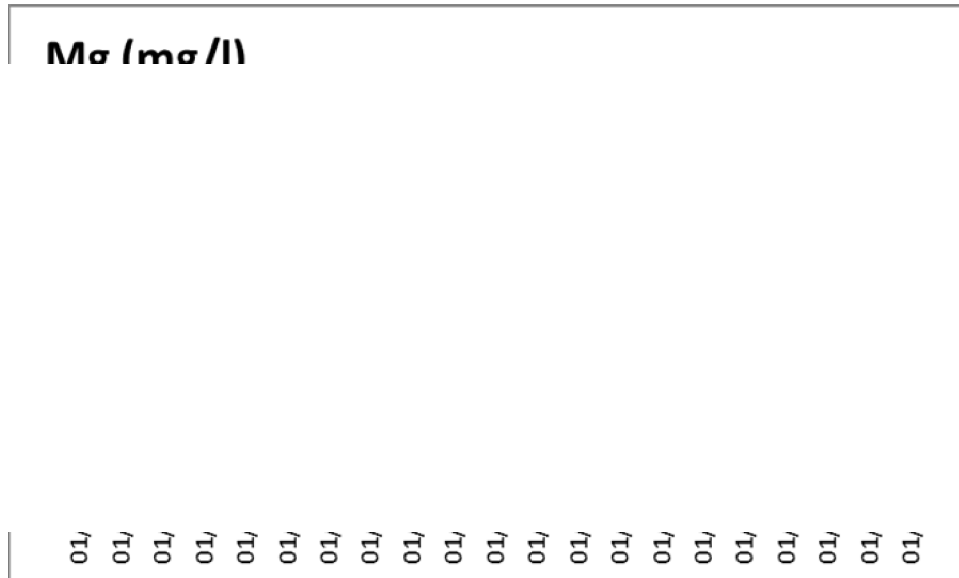


Figure IV.11. Evolution du Magnésium

IV.5.2.3/ Le Sodium

Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, il représente 2.83% sous toutes ses formes. La teneur maximale est de 52 mg/l et le minimum est de 3 mg/l. Le sodium provient surtout de la géologie. Figure IV.12.

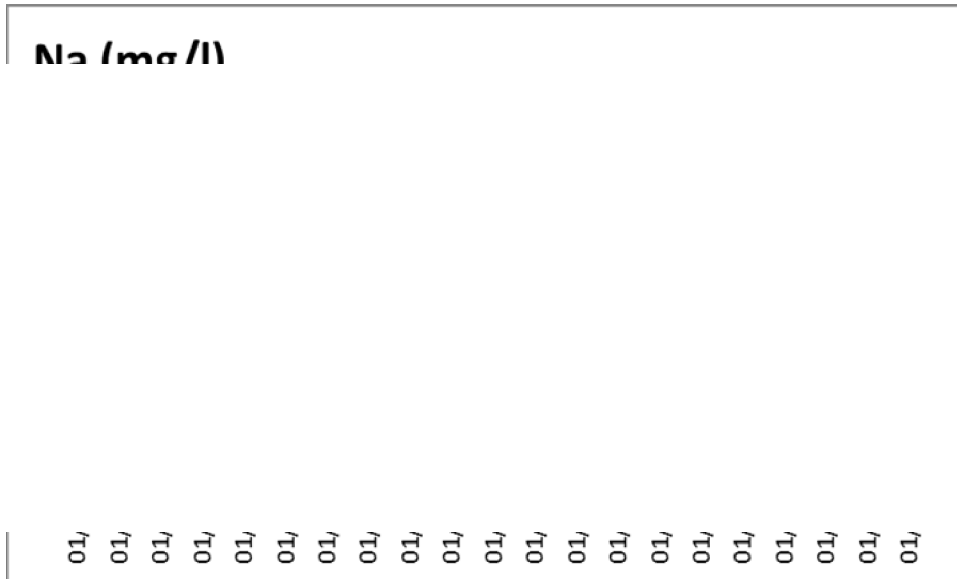


Figure IV.12. Evolution du Sodium

IV.5.2.4/ Le Potassium (K)

Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium. On le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais, sa teneur naturelle ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l. Dans les eaux du barrage de Foug El Guess, elle varie entre 1 et 9 mg/l. Figure IV.13.

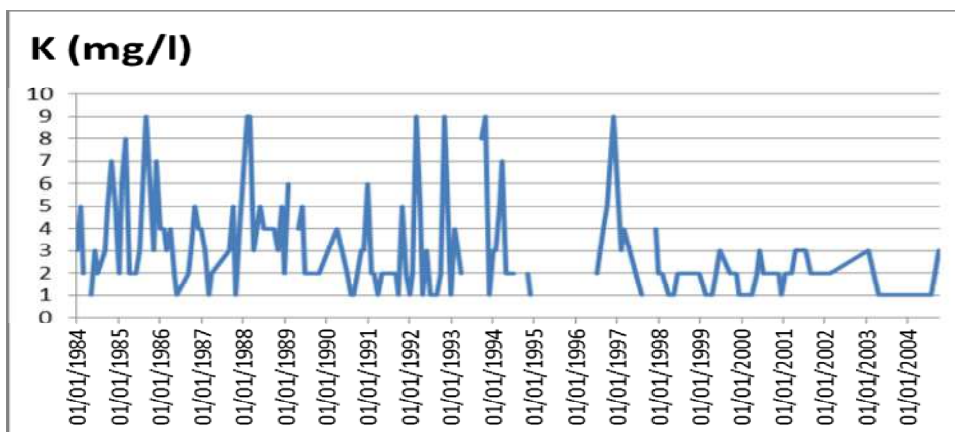


Figure IV.13. Evolution du Potassium

IV.5.2.5/ Les Chlorures

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines, elles sont liées principalement à la dissolution des terrains salifères. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l. La teneur maximale est de 78 mg/l et la teneur minimale est de 2 mg/l. Figure IV.14.

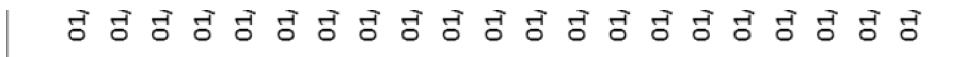


Figure IV.14. Evolution des Chlorures

IV.5.2.6/ Les sulfates

Leurs présences résultent de la dissolution des formations gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les couches géologiques. La teneur maximale est de 290 mg/l alors que la teneur minimale est de 52 mg/l. Figure IV.15.

IV.5.2.7 Les bicarbonates

La présence du bicarbonate dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. La teneur maximale est de 305 mg/l est la teneur minimale est de 61 mg/l. Figure IV.16.

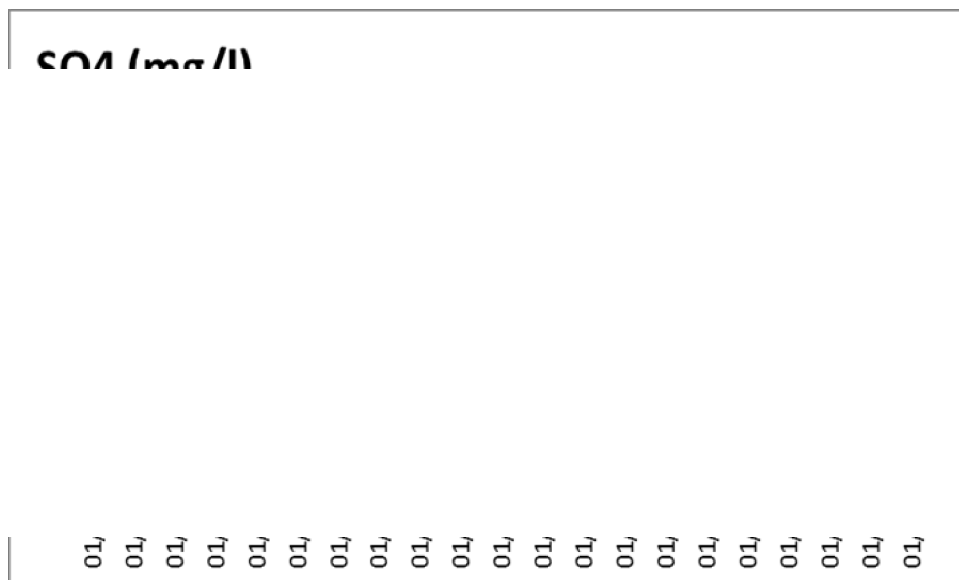


Figure IV.15. Evolution des Sulfates.

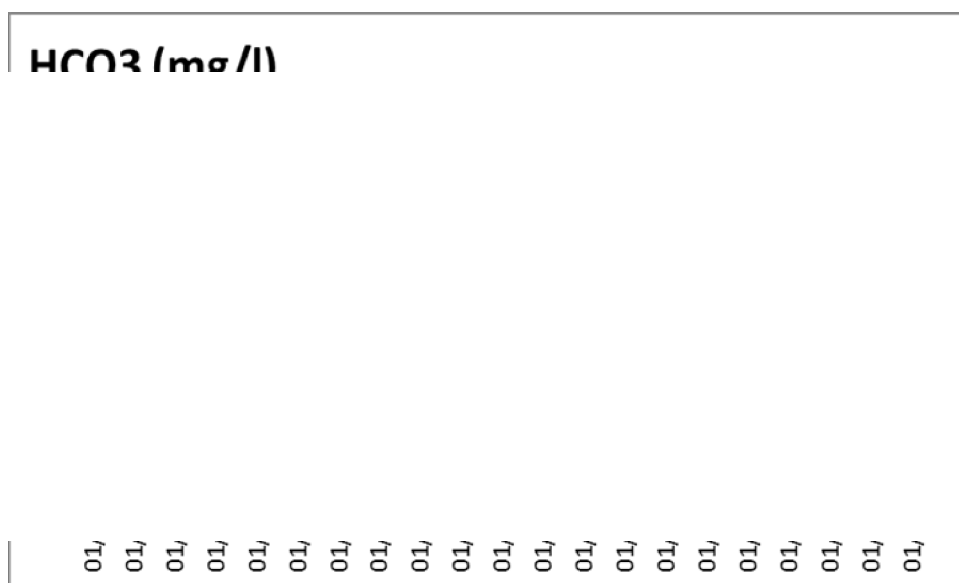


Figure IV.16. Evolution des bicarbonates.

IV.5.3/ L'azoteIV.5.3.1/ Les nitrates

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux de surface est liée au contact direct avec les eaux des rejets urbains. Les eaux destinées à la consommation humaine doivent contenir une teneur limite de 50 mg/l à travers le Monde. La teneur maximale est de 25 mg/l et la teneur minimale est de 1 mg/l. Dans la région, il ne peut provenir que de l'activité agricole. Figure IV.17.

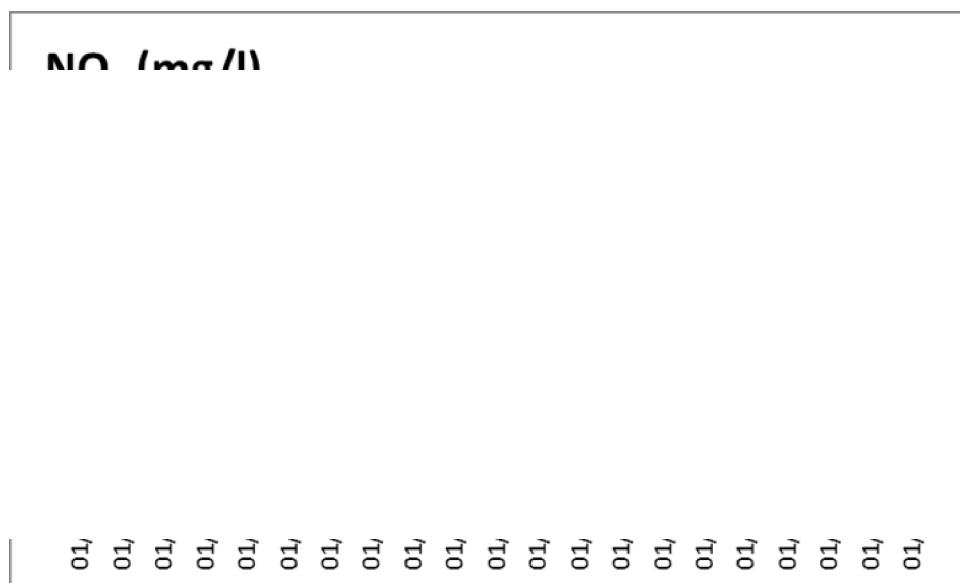


Figure IV.17. Evolution des nitrates.

IV.5.3.2/ Les nitrites

Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. La teneur en nitrites dans l'eau potable est réglementée (notamment pour la préparation des biberons) et, indirectement celle des nitrates en raison de leur capacité à se transformer en nitrites. La teneur maximale dans les eaux du barrage est de 0.38 mg/l alors que la teneur minimale est de 0.006 mg/l. Figure IV.18.

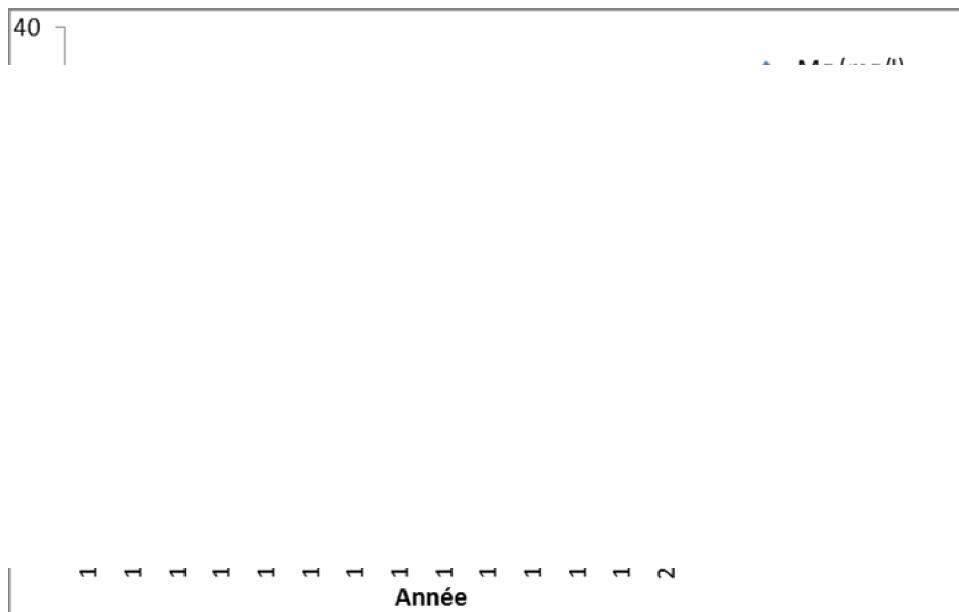


Figure IV.22. Evolution Magnésium en fonction du volume d'eau

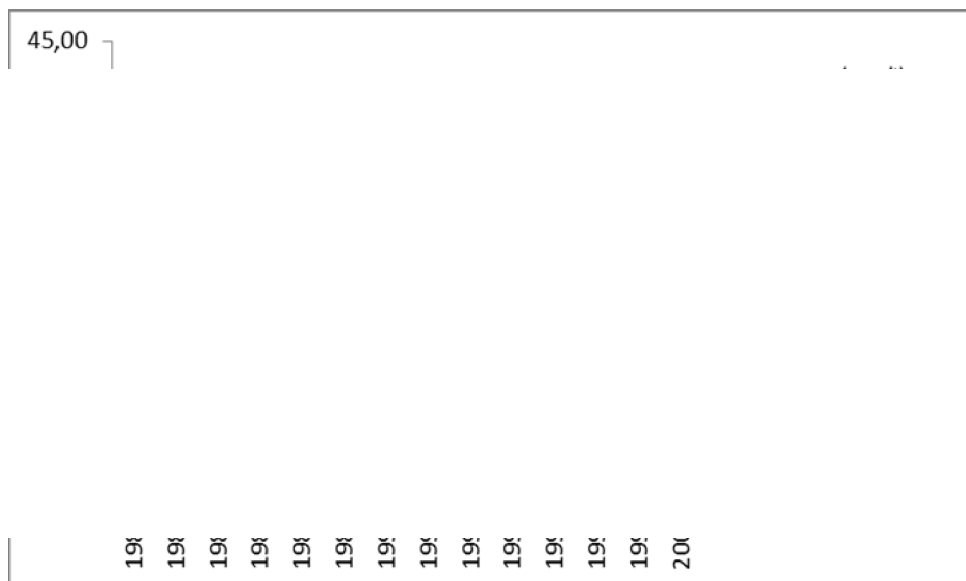


Figure IV.23. Evolution du sodium en fonction du volume d'eau

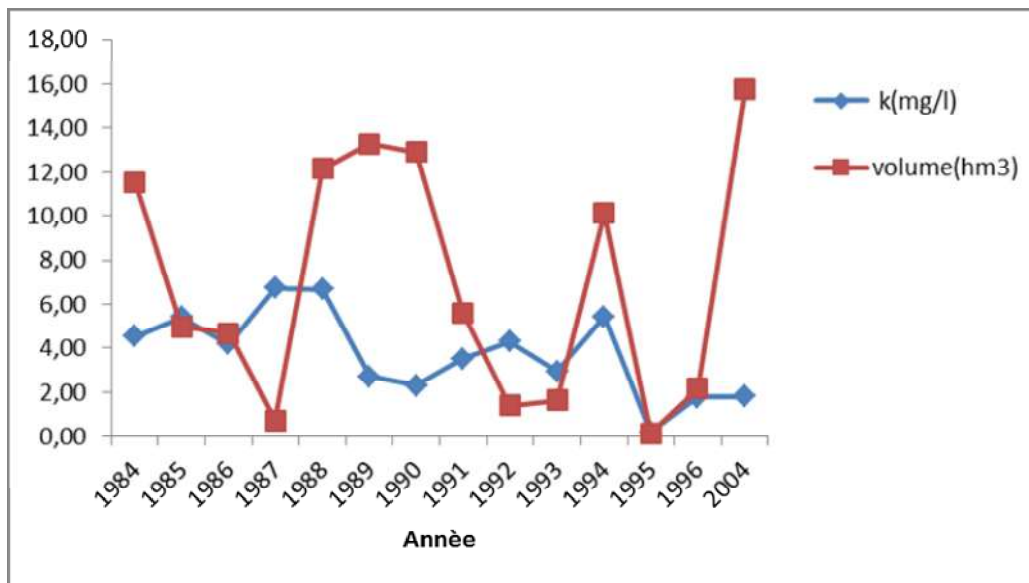


Figure IV. 24 Evolutions du Potassium en fonction du volume d'eau

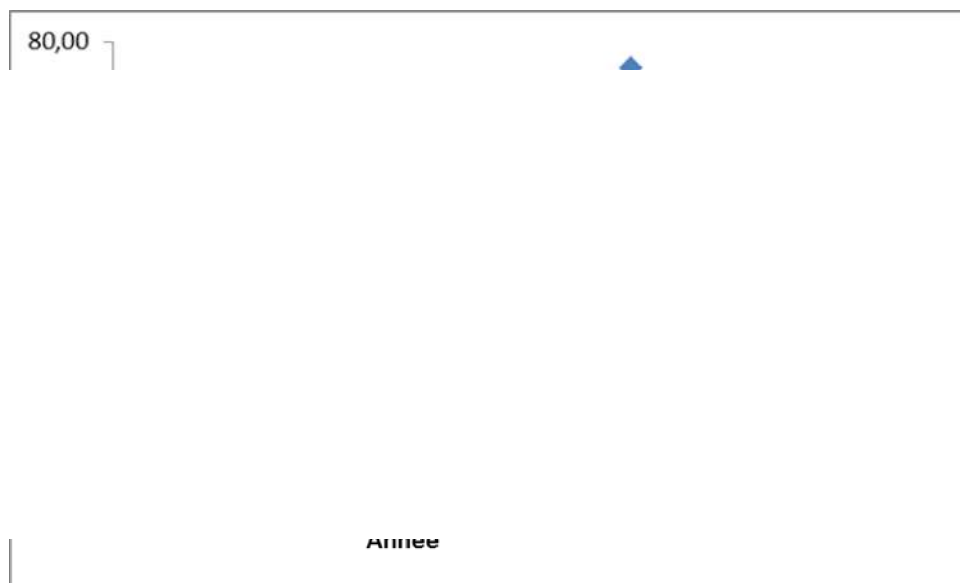


Figure IV.25. Evolution du chlorure en fonction du volume d'eau

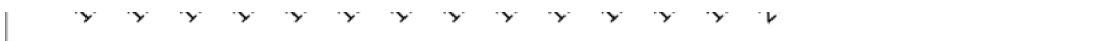


Figure IV.26. Evolution du sulfate en fonction du volume d'eau

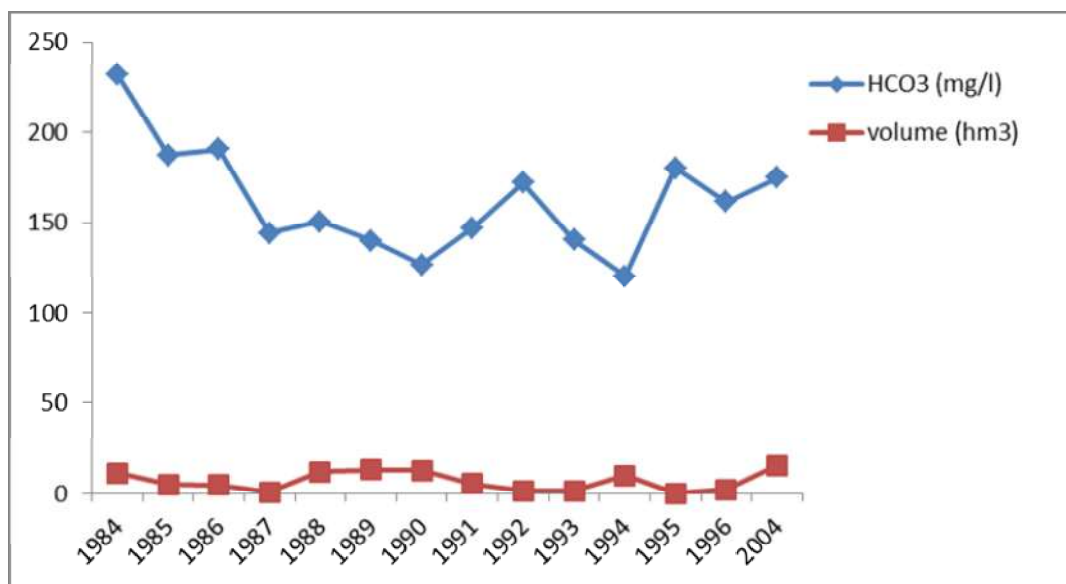


Figure IV.27. Evolution des bicarbonates en fonction du volume d'eau



Figure IV.28. Evolution des nitrates en fonction du volume d'eau

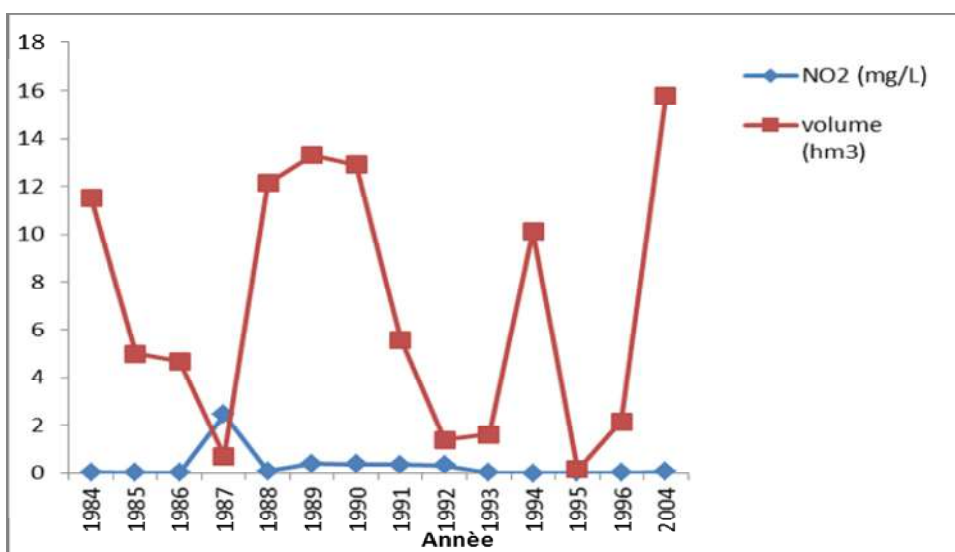


Figure IV.29. Evolution des nitrites en fonction du volume d'eau

IV.6./ Qualité des eaux**IV.6.1/ Pour l'AEP**

Selon les normes aussi bien celle de l'OMS que les normes algériennes, on s'aperçoit que la température, le pH, L'OD et les nitrites dépassent les normes alors que le reste des paramètres ont des teneurs inférieures à des normes. Tableau IV.5.

IV.6.2/ Pour l'irrigation

La qualité chimique de l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'AEP, malheureusement, l'insuffisance des précipitations et la forte d'évaporation conduit à utiliser l'eau de surface pour l'irrigation. Ceci nous amène à évaluer leur aptitude à l'irrigation selon le diagramme de Richard.

L'évolution de la qualité de l'eau d'irrigation est donnée par les travaux de l'USSL (1954) puis complétée par DURANT (1958). D'après les concentrations du sodium par rapport au calcium et au magnésium la relation suivante est utilisée:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

L'utilisation de cette formule en combinaison avec la CE, a permis de voir que les eaux du barrage Foug El Guess ont un degré de salinité faible à moyen (C1 à C3) alors que le degré d'alcalinisation est faible (S1). Figure IV.30.

Tableau IV.5. Qualité des eaux du barrage Foug El Guieff.

Paramètres	Normes OMS	Normes algériennes	Eaux B. F. Guieff
Température (°c)	Max 25	/	30
potentiel d'Hydrogène (pH)	6.5 à 8.5	6.5 à 8.5	9.2
Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1500	2800 à 20°C	1100
Calcium (Ca^{++}) en mg/l	200	75 à 200	140
Magnésium (Mg^{++}) en mg/l	150	150	54
Sodium (Na^+) en mg/l	200	200	52
Potassium (K^+) en mg/l	12	20	9
Chlorures (Cl^-) en mg/l	Max 250	200 à 500	78
Sulfate (SO_4^{--}) en mg/l	Max 250	200 à 400	290
Bicarbonate (HCO_3^-) en mg/l	/	/	305
Nitrates (NO_3^-) en mg/l	Max 50	Max 50	25
Nitrites (NO_2^-) mg/l	Max 0.1	Max 0.1	0.38
Ammonium (NH_4^+) en mg/l	Max 0.5	Max 0.5	/
Phosphate (PO_4^-) en mg/l	Max 0.5	/	/
Oxygène dissous (OD) en mg d' O_2/l	$5 \leq \text{O}_2 \leq 8$	/	312
Résidu sec à 180°C mg/l	1500	1500-2000	/
MES (mg/l)	/	/	/
DBO5 en (mg/l d' O_2)	5	/	/
DCO en (mg/l d' O_2)	30	/	/

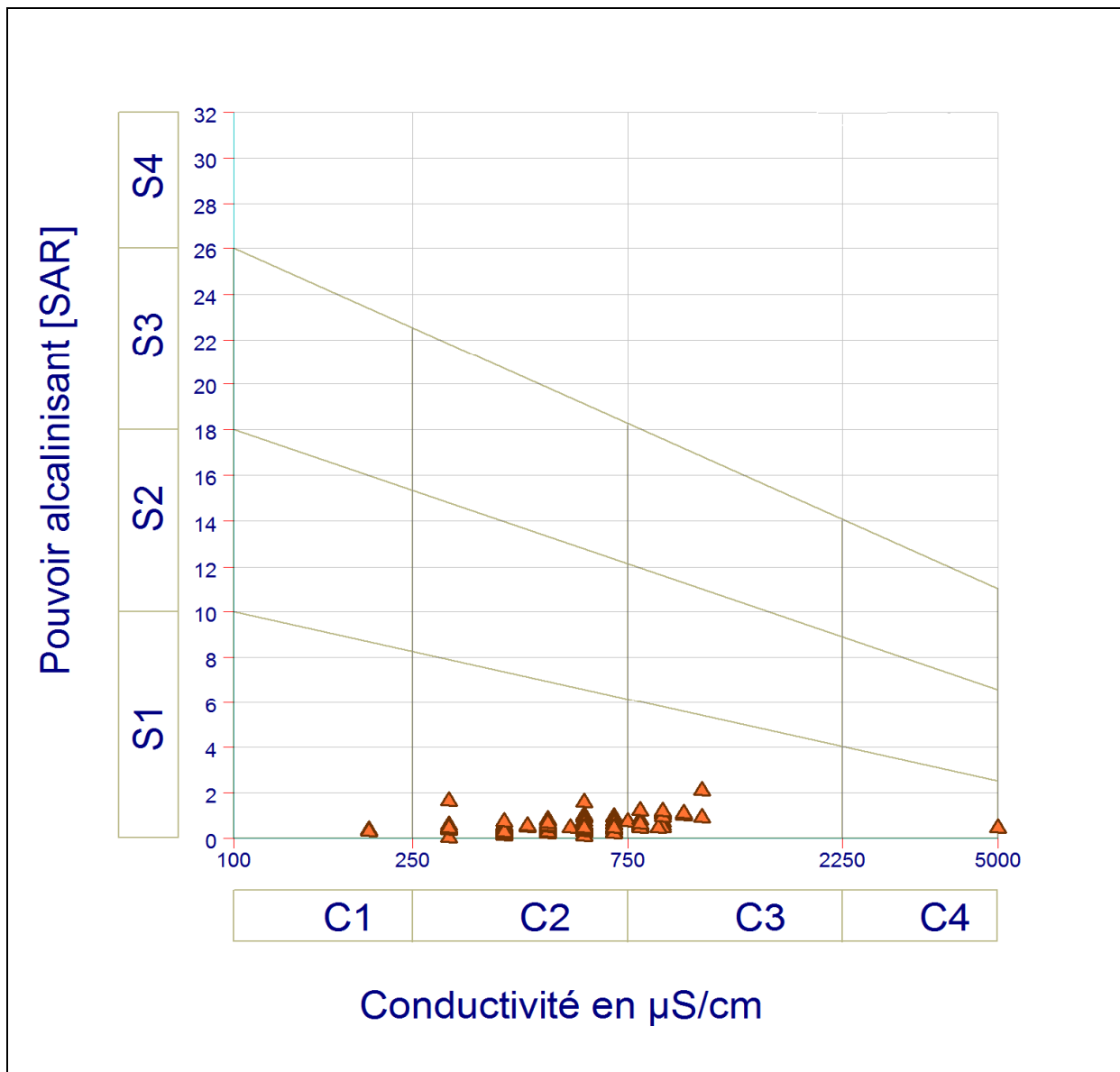


Figure IV.30. Classification des eaux d’irrigation selon la méthode de SAR

Conclusion

Les conditions naturelles et les précipitations du bassin versant ont une influence sur les concentrations des éléments chimiques. L’interprétation des diagrammes de PIPER, a montré que les eaux de la région ont un faciès sulfaté-chloruré-calcique. Le calcium provient de la dissolution des carbonates, les chlorures proviennent de la dissolution

des roches terrigènes salifères. Les concentrations de ces éléments subissent des phénomènes de dilution et de concentration en liaison avec la variation du volume d'eau de la retenue du barrage.

Les eaux de ce barrage sont de mauvaise qualité pour l'AEP à cause des paramètres physiques et de bonne qualité pour l'irrigation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

L'étude de la variation du chimisme du barrage Foum El Guies, a pour objectif la définition de l'acquisition du chimisme des eaux de surface afin de déterminer l'origine de leur pollution. Le bassin versant de ce barrage est caractérisé par un relief très prononcé et une pente assez forte qui constituent une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Ainsi, le secteur montagneux favorise la genèse et la propagation des crues alors que la plaine favorise l'accumulation des dépôts détritiques et le ruissellement plus ou moins laminaire.

Le climat est de type semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 412mm, pour une température moyenne annuelle de 16,04°C L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre 361 mm soit 87 % des précipitations moyennes annuelles par contre le ruissellement représente moins de 10 % des précipitations.

Les eaux ont un faciès sulfaté, chloruré calcique et que la variation des éléments chimiques selon le volume d'eau de la retenue, montre que ces éléments évoluent d'une manière inverse selon qu'on a une dilution ou une concentration. Ces eaux ne sont pas potables pour l'AEP mais elles peuvent être utilisées sans danger pour l'irrigation.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- ◆ Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH). 1994. Annuaire hydrologique de L'Algérie. Ministère des ressources en eau. Algérie.
- ◆ ANAZAWA K., OHMORI H., TOMIYASU T., SAKAMOTO H. 2003. - Hydrochemistry at a volcanic summit area, Norikura, central Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 67 (18S): 17.
- ◆ BEAUDRY, T., HENRY T., M., 1984. Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1^{ère}, édition, INC Canada.
- ◆ BELHADJ M.Z. 2006. Etude de la pollution du barrage de Zit Emba. Mémoire de magistère. Dept hydrau. Université de Batna . Algérie
- ◆ BELKHIRI L., BOUDOUKHA A., MOUNI L., BAOUZ T., 2010. Multivariate statistical characterization of groundwater Quality in Ain Azel plain, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(8), 526-534.
- ◆ BOUDOUKHA A. & ATHAMENA M., 2012. Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble sud sétifien. Est algérien. *Revue des Sciences de l'Eau* 25(2) 103-119.
- ◆ BOUDOUKHA A. et BOULAARAK. M. 2013. Pollution des eaux du barrage de Hammam Grouz par les nutriments (Est algérien). *Bull. Serv. Géol. Nat.* 24 (2). 139-149.
- ◆ BOUGUARNE A. 2001. Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique de surface des bassins versants de oued Boussalem et Oued Rhumel. Mémoire de magistère. Dept hydrau. Université de Batna . Algérie
- ◆ DAGNELIE P. 2006. -Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER.
- ◆ GAAGAI I. 2009. Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur Oued el Arab Est de l'Algérie. Mémoire de magistère. Dept hydrau. Université de Batna . Algérie
- ◆ GLEICK, P. H., 1996. Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, 2, 817-823.

- ◆ GÜLER C., & THYNE G. D. 2004. -Hydrologic and geologic factors controlling surface and Groundwater chemistry in Indian wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. *J. Hydrol.*, 285: 177-198.
- ◆ HYDROPLUS 1952. Rehausse du barrage de foug el Gueiss étude hydrologique des crues. Ministère des ressources en eau. Algérie.
- ◆ KADI A. 1997. La gestion de l'eau, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 42(2).
- ◆ KAISER H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol.Meas.*, 20: 141-151.
- ◆ KEMOUKH S.2007.dégradation de la qualité des eaux du barrage de Zerdezas suite a une pollution naturelle.
- ◆ LESSARD L. 1952 éléments de technologie des barrages algériens et de quelques ouvrages annexe-le barrage de foug el Gueiss. Ministère des ressources en eau. Algérie.
- ◆ MAUREL Alain. 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Edit. TEC & DOC. Lavoisier. Paris.
- ◆ MEHEMAI. F (2009) .Essai de modélisation de l'écoulement et risques d'inondation dans le Piémonts Nord-Est des Aurès approche Géosystématique. thèse de magister, faculté des sciences, département des sciences de la terre, université El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
- ◆ MEKAOUCI H. 2003. Etude hydrochimique du bassin versant du barrage de Fontaine des Gazelles. Mémoire de magistère. Dept hydrau. Université de Batna . Algérie
- ◆ MEKAOUSSI N. 2013. Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh. Est algérien. Mémoire de magister, Dép. Hydrau. Univ. Batna.
- ◆ REMENIERAS G. (1960) .L'hydrologie de l'ingénieur. Éditions, Eyolles, Paris.
- ◆ RENARD. S. 2002. La biorémediation: techniques de réhabilitation des sites pollués par l'action des microorganismes. Mém. Maîtrise B.G., Fac. Sci. Amiens.
- ◆ SAVORNIN J. (1941) la géologie et les grands barrages en Algérie *Bull.erv.carle géol. Algérie* ,3^{ème} série, géologie appliquée, fasc.8

BIBLIOGRAPHIE

- ◆ SAVORNIN J. 1952. Barrage de Foum el Guies. Rapport géologique inédit au S.C.G.A.
- ◆ TIRI A. & BOUDOUKHA A. 2010. Hydrochemical Analysis and Assessment of Surface Water Quality in Koudiat Medouar Reservoir, Algeria.» . European Journal of Scientific Research. 41 (2), 273-285.
- ◆ TIRI A. 2005. Etude hydrochimique du bassin versant du barrage de koudiat medaour. Mémoire de magistère. Dept hydrau. Université de Batna . Algérie
- ◆ VETTORAZZI G., 1980. Xenobiotic substances: Harmonization of toxicological conclusions. International Toxicology Information Centre, San Sebastian, Spain. Volume 6, (1), 125 - 132.
- ◆ WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Geneva. 564 p.