

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة محمد خيضر

Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Génie Civil et d'Hydraulique
Réf :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم : الهندسة المدنية و الري
المرجع :

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de

Doctorat en sciences

**Spécialité : Sciences Hydrauliques
(Option) : Hydraulique**

Thème

**Qualité des eaux de surface et leur impact
sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda**

Présentée par :

Mohamed Zine BELHADJ

Soutenue publiquement le : 29/04/2017

Devant le jury composé de :

DEBABECHE Mahmoud	Professeur	Président	Université de Biskra
BOUDOUKHA Abderrahmane	Professeur	Rapporteur	Université de Batna
YOUCEF Leila	Professeur	Examineur	Université de Biskra
MESSAMEH Abdelhamid	MCA	Examineur	Université de Biskra
BENSAID Rabah	Professeur	Examineur	Université de Skikda
MEZEDJRI Lyamine	Professeur	Examineur	Université de Skikda

Dédicaces

A La mémoire de mon père El Hadj Salah qui rêvait de ce jour

A ma mère

A ma femme et mes enfants

A mes frères et sœurs

A toute ma famille

A Cheikh Djamel Bengora

Au Pr. Mezedjri

Au Pr. Bouzerd

Quand tu bois de l'eau, penses à la source.

Khalil.



Remerciements

Merci à Dieu de m'avoir achevé ce travail

Qui sans lui toutes mes efforts seront vaines.

Ce ne sont pas des mots si personnels soient-ils qui arriveront à exprimer ma gratitude et mes remerciement et ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Je m'adresse en premier lieu à mon directeur de thèse Mr Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane, qui n'a cessé de me prêter son soutien scientifique et moral depuis qu'il a accepté de diriger ce travail. Je le remercie pour sa gentillesse et ses conseils judicieux car depuis ma première inscription et bien avant cela, Il n'a pas cessé de m'apporter son aide tout au long de cette période et je ne pourrai jamais lui exprimer ma reconnaissance.

J'adresse mes sincères remerciements à monsieur le recteur de l'université de Biskra, à monsieur le vice recteur poste-graduation et à monsieur le doyen de la faculté des sciences et technologie.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer se travail et malgré leur occupations, ils ont eu le temps d'évaluer ce travail et nous faire part de leurs critiques qui ne feront qu'améliorer la qualité de ce travail. Je cite en particulier :

<i>Pr DEBABECHE Mahmoud</i>	<i>Université de Biskra</i>
<i>Pr YOUCEF Leila</i>	<i>Université de Biskra</i>
<i>Dr MESSAMEH Abdelhamid</i>	<i>Université de Biskra</i>
<i>Pr. BENSALD Rabah</i>	<i>Université de Skikda</i>
<i>Pr. Mezedjri Lyamine</i>	<i>Université de Skikda</i>

Il m'est également agréable d'exprimer ma profonde gratitude et mes respects à Mr. BENGORA Djamel pour la confiance qu'il ma témoigné, à son assurance, ces amples conseils, son aide précieuse, sa disponibilité en toutes circonstances notamment les plus difficiles.

Bien sûr, je remercie tout particulièrement mon frère Pr. Mezedjri Lyamine de l'université de Skikda pour son précieux coup de main.

Je tiens particulièrement a adressé aussi mes remerciements aux :

Pr. Tahar Ali de l'université d'Annaba pour l'aide qui m'a apporté ;

Pr. Messasat S. et le Pr. Bouzerd H. de l'université de Skikda pour leurs aides et leurs soutiens inappréciable.

Belhadj Med Zine.



Résumé :

Les dernières décennies, l'Algérie a été soumise à une sécheresse intense qui touche le nord d'une manière générale et donc l'utilisation des eaux de surface s'avère une nécessité incontournable. La région de Skikda se trouvant dans le Nord Est algérien, a toujours connu des problèmes liés à la quantité et à la qualité des eaux de surface, les eaux souterraines étant très limitées. Cette situation est le résultat de l'accroissement démographique, de l'extension du tissu industriel et du développement agricole. De ce fait et en dehors de toute politique de protection de l'environnement, la ressource en eau de surface se trouve exposée à des risques potentiels d'altérations chroniques ou épisodiques. Cette situation est en partie due aux rejets urbains et industriels qui sont souvent déversés directement dans les cours d'eau. Cette étude a pour objectif, l'analyse et l'interprétation des données physico-chimiques d'échantillons d'eau pris le long d'Oued El-Hammam, dans la cuvette du barrage de Zit-Emba et à la distribution d'eau potable au niveau de la ville de Skikda. Ces données ont été analysées à l'aide d'outils statistiques et des rapports molaires des éléments chimiques majeurs. La détermination de l'origine de la pollution de ces eaux superficielles a été abordée à l'aide d'une exploration spatio-temporelle des paramètres physiques, des éléments majeurs et les métaux lourds. Cette étude a montré que les eaux de ce barrage sont affectées par une pollution urbaine et industrielle ; la présence d'éléments traces métalliques comme le plomb, le mercure et l'arsenic a fortement contribué à la dégradation de la qualité de ces eaux qui limite leur utilisation notamment pour l'alimentation en eau potable. Cette anomalie est liée à la présence de gîtes métallogéniques signalés dans la région. Un suivi systématique à l'aide de fréquences acceptables de la concentration du mercure dans ces eaux, a été réalisé à l'aide de plusieurs modèles de régression simples et multiples afin de prévenir le comportement de cet élément à long terme. Le meilleur modèle a été sélectionné selon les critères de performance.

Mots-Clés : Eau de surface, rejets, pollution, métaux toxique, statistiques, modélisation.

ملخص

خلال العشريتين الأخيرة تعرضت الجزائر إلى جفاف شديد مس عموما الناحية الشمالية مما جعل اللجوء إلى استعمال المياه السطحية حلا حتميا. حيث عرفت ولاية سكيكدة المتواجدة في الشمال الشرقي للجزائر مشاكل مرتبطة بنوعية وكمية المياه السطحية علما أن كمية المياه الجوفية جد محدودة بها. هذه الوضعية هي نتيجة الارتفاع الديمغرافي وانتشار النسيج الصناعي والتطور الزراعي و عليه وبعيدا عن كل السياسات الخاصة بحماية الوسط البيئي فان الموارد المائية السطحية تتعرض إلى مخاطر التلوث الدورية والمزمنة. هذه الوضعية راجعة إلى الرمي المباشر لفضلات الصرف الصحي والصناعي في مجاري الأودية.

هذه الدراسة تهدف إلى تحليل و مناقشة المعطيات الفيزيوكيميائية لعينات من الماء أخذت على امتداد مجرى واد الحمام وعلى مستوى حوض التخزين لسد زيت العنبة و على شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب لولاية سكيكدة. هذه المعطيات حلت بواسطة برامج تركز على تقنيات إحصاء و النسب المولية للمركبات الكيميائية الرئيسية. تم تعيين المصادر الملوثة لهذه المياه السطحية ثم تمت الدراسة بدلالة المكان و الزمان للعناصر الفيزيائية و المركبات الكيميائية الرئيسية و العناصر السامة. هذه الدراسة أظهرت أن مياه سد زيت العنبة ملوثة بمواد ناجمة عن ملوثات حضرية وصناعية كما وجدت عناصر سامة بتركيزات ضئيلة مثل الزئبق و الرصاص و النحاس تفوق معايير منظمة الصحة العالمية. هذه العناصر ساهمت بشدة في تدهور نوعية المياه وتحد من استعمالها في الشرب. هذا الخلل الهيدروكيميائي متعلق بوجود مناجم الزئبق بالمنطقة. و تمت متابعة آلية بواسطة تردد مقبول لعنصر الزئبق في هذه المياه، حيث أنجزت العديد من نماذج الانحدار الخطي البسيطة و المتعددة العناصر من اجل التنبؤ بتركيز هذا المعدن مستقبلا. وتم اختيار نموذج للتنبؤ المثالي لعنصر الزئبق حسب أحسن أداء.

كلمات مفتاحية : مياه سطحية، صرف صحي، مواد سامة، إحصائيات، نموذج التنبؤ.

Summary

During the last decade, Algeria has been under an intense dryness witch touched the north in general and the use of surface waters is therefore more than necessary. The Skikda area, which is located in the north East of Algeria, has always got problems in relation with quality and quantity of surface water since underground waters are very limited.

This situation is the result of the demographic growth, the industrial extension and the agricultural evolution.

Hence, the resource in surface water is exposed to potential risks of both episodic and chronic deterioration. This situation is due partially to urban and industrial releases which are usually tipped directly in watercourse.

This study aims to analyse and interpret physical chemistry samples data taken from Oued El-Hammam in Zit-Emba dam and drinking water in Skikda city. These data have been analysed by means of statistical tools and molar reports on chemical elements.

The determination of these surface waters pollution origin was approached by means of a spatiotemporal exploration of either physical parameters and heavy metals.

This study shows that these dam waters are affected by an urban and industrial pollution; the presence of metallic elements traces such as lead, mercury and arsenic, played a large part in the deterioration of the quality of these waters. This abnormality is related to the presence of metallic shelters in this area.

The systematic monitoring using acceptable frequency of the mercury concentration in these waters has been realised using many linear and multiple regression models to prevent the behaviour of this element in the long term the best model was selected according to the performance criteria.

Keywords : Surface water, releases, pollution, toxic metals, statistics, modelling.

Table des matières

Dédicaces	
<i>Remerciements</i>	
Table des matières	i
Liste des Figures par chapitre.....	viii
Liste des Tableaux par chapitre.....	xi
Liste des Photos.....	xiii
Introduction générale	1
Première partie : Contextes généraux	4
Chapitre 01 : Contexte général, Problématique et Objectifs de l'Etude	5
1. Contexte général.....	6
1.1. La rareté de l'eau	6
1.2. La qualité de l'eau	6
1.3. L'eau et la Santé	7
1.4. La Pollution de l'eau.....	7
2. Problématique.....	8
3. Objectif de la thèse	10
4. Considérations Générales	10
4.1. Situation Géographique	11
4.2. Situation De La Commune de Bekkouche Lakhdar	11
4.3. Relief.....	11
4.4. Sol.....	11
4.5. Aperçu sur les ressources en eau de la wilaya de Skikda	11
Chapitre 02 : Contexte géologique	14
1. Contexte géologique général	15
2. Stratigraphie	16
2.1. Précambrien	16
2.2. Paléozoïque.....	16
2.3. Jurassique.....	16
2.4. Crétacé	16

2.4.1. Crétacé inférieur :.....	16
2.4.2. Crétacé supérieur :.....	16
2.5. Tertiaire.....	16
2.5.1. Eocène	17
2.5.2. Oligocène.....	17
2.5.3. Miocène	17
2.5.4. Pliocène	17
2.6. Quaternaire	17
3. Géologie de la zone d'étude :	18
4. Stratigraphie	19
4.1. La nappe numidienne.....	19
4.2. La nappe du flysch de type Guerrouch ou flysch maurétanien	19
4.3. Les nappes de la dorsale kabyle.....	20
4.3.1. Les nappes provenant de la dorsale interne	20
4.3.2. Les nappes provenant de la dorsale médiane	20
4.3.3. Les nappes provenant de la dorsale externe	20
4.4. La nappe du flysch de Penthivère	20
4.5. La nappe du flysch à microbrèches sénoniennes ou flysch massylien	21
4.6. La nappe épi-tellienne.....	21
4.7. Les formations de la plateforme néritique constantinoise	22
5. Structure	22
6. Les concentrations minéralogiques et les gisements miniers.....	22
6.1. La minéralisation au niveau du massif de Djebel Debar	23
6.2. La minéralisation au niveau de Djebel Taya	23
6.3. Les minéralisations au niveau de la localité Kalaâ Bou Diar	23
7. Perméabilité des formations du bassin versant de Zit-Emba	23
7.1. Classe des formations à perméabilité élevée	25
7.2. Classe des formations à perméabilité moyenne.....	25
7.3. Classe des formations à perméabilité faible à très faible.....	26
8. Conclusion :.....	26
Chapitre 03 : Cadre Hydroclimatologique	27
1. Introduction	28
2. Stations de caractérisations du climat de la zone d'étude	28

3. Aspect du climat de la zone d'étude.....	29
4. Les précipitations	29
4.1. Les Pluies moyennes mensuelles.....	30
4.2. Les Pluies moyennes annuelles	31
5. La Température	31
5.1. Variation de la température	31
5.2. Diagramme Ombro-thermique.....	33
6. L'humidité	33
7. Le vent.....	34
8. La grêle.....	34
9. La gelée blanche.....	35
10. Le sirocco (vent du Sud)	36
11. Le brouillard.....	36
12. L'évapotranspiration (ET)	37
12.1. Introduction.....	37
12.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	37
13. Bilan hydrologique	38
13.1. Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAIT	38
13.2. Interprétation du bilan évaporométrique	39
13.3. Calcul du bilan hydrologique.....	39
13.3.1. Calcul de l'ETR.....	39
13.4. Calcul du ruissellement.....	40
13.5. Calcul de l'infiltration.....	40
14. Variation du volume de la retenue du barrage	40
15. Milieu physique.....	41
15.1. Délimitation de la zone d'étude	41
15.2. L'hydrographie de la zone d'étude	42
15.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Zit-Emba.....	43
15.4. Couvert végétal et agriculture.....	43
16. Aménagement hydraulique de Zit-Emba	44
16.1. Caractéristiques hydrologiques d'Oued El-Hammam et de l'aménagement de Zit-Emba.....	45
17. Sources potentielles de pollution.....	47

17.1. Sources de pollution liquide	47
17.2. Sources de pollution adjacentes au barrage	47
18. Conclusion.....	48
Deuxième partie : Méthodes et matériels.....	49
Chapitre 04 : Échantillonnages et techniques d’analyses.....	50
1. Introduction	51
2. Méthodes d’analyse statistique.....	51
2.1. Statistiques descriptives.....	51
2.2. Test de l’analyse de la variance (ANOVA).....	52
2.3. Corrélation linéaire	52
2.4. Analyse en composantes principales (ACP).....	52
2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	53
2.6. Etablissement des équations de régression	53
3. Critères de qualité.....	56
4. Conclusion.....	56
Troisième partie : Résultats et discussions.....	57
Chapitre 05 : Sources de Pollutions-Aspect quantitatif.....	58
1. Introduction	59
2. Notions introductives	59
3. Distributions spatiale des principaux facteurs de pollution d’Oued El-Hammam.....	60
4. Pollutions par les effluents thermaux-thérapeutique, urbaines et industriels.....	61
4.1. Pollution dû aux centres thermaux de Hammam Ouled Ali	61
4.2. Pollution urbaine.....	61
4.2.1. Notions et principes préliminaires.....	61
4.2.2. Evaluation des volumes déversés dans l’Oued El Hammam	62
4.3. Pollution d'origine industrielle.....	64
4.3.1. Pollution par l’industrie agro-alimentaire	65
4.3.2. Méthode d’estimation des rejets liquide industrielle.....	65
4.3.3. Les grandes lignes des directives réglementaires	67
4.4. Estimation globale du volume des effluents déversés dans Oued El-Hammam	68
5. Source de pollution sur Oued Mouguer	69
6. Pollution par les déchets solides urbains dans le bassin versant de Zit-Emba.....	70

7. Bilan des eaux usées déversées dans les Oueds alimentant le barrage de Zit-Emba	70
8. Sources de pollution adjacentes au barrage de Zit-Emba	71
8.1. Effets des dépôts atmosphériques secs et humides de la cimenterie de Hadjar El-Soud sur le sol et les eaux douces du B.V. Zit-Emba.....	71
8.1.1. Situation, Production et composition	71
8.1.2. Contexte climatique(le vent)	72
8.1.3. Evaluation des Risques.....	72
8.1.4. Discussion des résultats de la station la plus proche de la cimenterie (S ₃)	73
8.2. Effets des retombées atmosphériques de la zone mercurielle d'Azzaba sur le B.V. Zit-Emba.....	75
8.2.1. Avant-propos	75
8.2.2. Situations, frontières et lithologies	75
8.2.3. Ressources naturelles (gisements mercuriels).....	76
8.2.4. Contexte climatique (le vent)	77
8.2.5. Le cycle planétaire du mercure	77
8.2.6. Les régions polluées dans le secteur d'étude.....	78
8.2.7. Contaminants à l'état de traces	80
8.2.8. Effets désastreux sur l'environnement (Population, air, eau, sol, biotopes)	81
8.2.8.1. Effets sur la population	81
8.2.8.2. Effets sur les ressources en eaux souterraines et superficielle.....	82
8.2.9. Les effets des métaux lourds sous-estimés ou non suffisamment pris en compte.....	85
8.2.10. Le cycle planétaire du mercure aggrave le problème.....	85
9. Conclusion.....	85
Chapitre 06 : Interprétations des paramètres Physico-chimiques.....	87
1. Introduction	88
2. Analyse statistique des données physico-chimiques.....	88
2.1. Statistiques descriptives.....	90
2.2. Analyse statistique univariée (ANOVA).....	91
2.3. Analyse des corrélations selon les critères de Bravais-Pearson	92
2.4. Analyse en composantes principales (ACP).....	93
2.4.1. Variance et valeurs propres	93
2.4.2. Liaison Variables-Facteurs.....	95
2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	96

2.5.1. Classification ascendante hiérarchique des variables.....	96
3. Faciès hydrochimiques.....	98
4. Caractérisation des eaux du barrage de Zit Emba.....	98
4.1. Paramètres physiques.....	99
4.1.1. La température (T).....	99
4.1.2. Potentiel d'hydrogène.....	100
4.1.3. Conductivité électrique (CE).....	100
4.1.4. Le taux de saturation en oxygène (O ₂ %).....	101
4.2. Paramètres chimiques.....	102
4.2.1. Evolutions temporelle des cations.....	102
4.2.2. Evolutions temporelle des Anions.....	103
4.2.3. Variation des nutriments.....	103
4.3. Indicateurs de la pollution urbaine.....	104
4.3.1. Turbidité et matière en suspension.....	104
4.3.2. DBO ₅	105
4.3.3. DCO.....	105
4.3.4. Le rapport DCO/DBO ₅	106
4.3.5. Matière organique.....	107
4.4. Variation des métaux lourds.....	108
4.4.1. Le cuivre.....	109
4.4.2. Le Zinc.....	109
4.4.3. Le Fer.....	109
4.4.4. Manganèse.....	109
5. Variation du chimisme selon le volume d'eau du barrage.....	110
6. Indice de contamination.....	111
6.1. Définition de l'indice de contamination.....	111
6.2. Calcul des Indices de Contamination Moyens (ICM).....	111
6.3. Indices de Contamination des Prélèvements (ICP).....	112
7. Modélisation de la concentration du mercure.....	115
7.1. Objectifs de la modélisation de la concentration du mercure.....	115
7.2. Corrélations.....	115
7.3. Etablissement du modèle de régression.....	116
7.4. Choix du modèle adéquat.....	116

8. Potabilité de l'eau.....	118
8.1. Généralités	118
8.2. Cas des eaux du barrage Zit Emba	118
8.3. Qualité des eaux pour l'irrigation.....	119
8.3.1. Méthode du SAR	120
8.3.2. Classification de Wilcox	122
9. Indice de qualité de l'eau	124
10. Conclusion.....	124
Conclusion générale	127
Recommandations	130
Références bibliographiques	132
Productions scientifique	144
Annexes	148

Liste des Figures par chapitre

Chapitre I

Figure N°I.01 : Situation du barrage de Zit-Emba.	12
---	----

Chapitre II

Figure N°II-01 : Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides.	15
Figure N°II-02 : Schéma Structural De La Région De Zit-Emba	18
Figure N°II-03 : Galène de Cinabre	23
Figure N°II-04 : Extrait de la carte métallogénique de la région de Skikda	24

Chapitre III

Figure N°III-01 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (A) et Climagramme d'Emberger (B).	28
Figure N°III-02 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien	29
Figure N°III-03 : Précipitations moyennes mensuelles de 30 ans.	30
Figure N°III-04 : Précipitations annuelles médianes "normales" (1965/66-1994/95).....	30
Figure N°III-05 : Evolution annuelle des précipitations entre 1980/81et 2009/2010.	31
Figure N°III-06 : Température moyennes mensuelles de 30 ans.	32
Figure N°III-07 : Températures moyennes annuelles de l'Est algérien.	32
Figure N°III-08 : Diagramme Ombro-thermique.	33
Figure N°III-09 : Humidité relative moyennes mensuelles.	33
Figure N°III-10 : Vitesse moyennes mensuelles du vent.	34
Figure N°III-11 : Le nombre moyen de jours mensuels de grêle.	35
Figure N°III-12 : Le nombre moyen de jours mensuels de la gelée blanche.	35
Figure N°III-13 : Le nombre moyen de jours mensuels de sirocco.....	36
Figure N°III-14 : Le nombre moyen de jours mensuels de brouillard.....	36
Figure N°III-15 : Liaison volume barrage-Précipitations.....	40
Figure N°III-16 : Carte réseau hydrographique du bassin versant de Zit-Emba	41
Figure N°III-17 : Distributions spatiale des effluents liquide.....	47
Figure N°III-18 : Distributions spatiale des différentes sources de pollution liquides atmosphérique.....	47

Chapitre V

Figure N°V-01 : Répartitions spatiale des sources de pollution sur Oued El-Hammam.	60
Figure N°V-02 : Source de pollution sur Oued Mouguer.	69
Figure N°V-03 : Position de la cimenterie de Hadjar El-Soud Para port le barrage Zit-Emba.....	71
Figure N°V-04 : Effets des vents et scénarios "A" probables pouvant résulter de l'activité de la cimenterie de Hadjar El-Soud.....	73
Figure N°V-05: Évolution de la conductivité électrique au niveau de la station 3.....	74
Figure N°V-06 : Évolution dans le temps du calcium au niveau de la station 3.....	74
Figure N°V-07 : Évolution dans le temps du magnésium au niveau de la station 3.....	74
Figure N°V-08: Limite de la zone mercurielle.	75
Figure N°V-09 : Position de la zone mercuriel envers le barrage Zit-Emba.	76
Figure N°V-10: Cartographie de la pollution mercurielle dans la région à l'aide de Cupressus sempervirens	84
Figure N°V-11 : Sources de pollutions potentielles du barrage de Zit-Emba	86

Chapitre VI

Figure N°VI-01: Dendrogramme du regroupement des variables physicochimiques.....	97
Figure N°VI-02: Dendrogramme du regroupement des individus physicochimiques.....	98
Figure N° VI-03: Diagramme de Piper.....	99
Figure N°VI-04: Tendence de la température de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.	99
Figure N°VI-05: Variations du pH de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.....	100
Figure N°VI-06 : Variations de la conductivité électrique de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.....	100
Figure N°VI-07: Variations du taux de saturation en oxygène de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.....	102
Figure N°VI-08: Variation des cations entre 2004 et 2014.....	102
Figure N°VI-09: Variation des anions entre 2004 et 2014.....	103
Figure N°VI-10: Variation des nutriments entre 2004 et 2014.....	104
Figure N°VI-11: Evolution de la turbidité et de la matière en suspension de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.....	105
Figure N°VI-12: Variation de la DCO et de la DBO5.....	106
Figure N°VI.13: Variation du rapport DCO/DBO5.....	107

Figure N°VI-14: Variation de la matière organique.....	107
Figure N°VI-15: Variation des métaux lourds (Cu et Zn) durant les dix ans (2004-2014).....	110
Figure N°VI-16: Variation des métaux lourds (Fe et Mn) durant les dix ans (2004-2014).....	110
Figure N°VI-17: Évolutions des indices de contaminations moyens (IMC) sur les stations de prélèvements.....	112
Figure N°VI-18: Évolutions des Indices de Contamination des Prélèvements (ICP) Des métaux lourds (Hg, Pb et As).....	115
Figure N°VI-19: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation d'Oued El-Hammam.....	124
Figure N°VI-20: Diagramme Wilcox.....	125

Liste des Tableaux par chapitre

Chapitre III

Tableau N°III-01 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles de 30 ans.	30
Tableau N°III-02 : Pluies annuelles de 30 ans d'observations entre 1980 et 2010.	31
Tableau N°III-03 : Température moyennes mensuelles de 30 ans d'observations.	32
Tableau N°III-04 : Directions du vent aux différentes heures de la journée.	34
Tableau N°III-05 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de grêle.	35
Tableau N°III-06 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de gelée.	35
Tableau N°III-07 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de sirocco.	36
Tableau N°III-08 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de brouillard.	36
Tableau N°III-09 : Calcul de l'ETP par la formule de TURC.	38
Tableau N°III-10 : Bilan simplifié selon THORNTHWAIT.	38
Tableau N°III-11 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Zit-Emba.	43
Tableau N°III-12 : Caractéristiques hydrologiques de l'aménagement de Zit-Emba.	46

Chapitre IV

Tableau N°IV-1 : Le poids des différents paramètres, les valeurs de WOI et la qualité de l'eau.....	56
--	----

Chapitre V

Tableau N°V-01 : Volume d'eau rejetée chargée de Tensio-active.	61
Tableau N°V-02 : Volume d'eaux usées de l'agglomération de Bouâti-Mahmoud.	63
Tableau N°V-03 : Volume d'eaux usées d'Ouled Ali.	64
Tableau N°V-04 : Projection des besoins en eau industrielle selon le PNE 2010.	66
Tableau N°V-05 : Rejets des eaux industrielles aux différents horizons.	66
Tableau N°V-06 : Cumul des Volumes d'Effluents rejetés.	66
Tableau N°V-07 : Total des volumes d'eaux usées rejetés dans Oued El-Hammam par an.	68
Tableau N°V-08 : Cumul des volumes des effluents rejetés dans l'oued El-Hammam.	68
Tableau N°V-09 : Volume d'eaux usées rejetés par l'agglomération de Roknia.	69
Tableau N°V-10 : Cumul des volumes d'eau usée rejetés dans l'oued Mouguer.	70
Tableau N°V-11 : Volume des déchets solides urbains.	70
Tableau N°V-12 : Total des volumes d'eaux usées rejetés et que reçoit le barrage de Zit-Emba.....	70

Chapitre VI

Tableau N°VI-01 : Caractéristiques statistiques élémentaires des analyses physico-chimiques des eaux du barrage Zit Emba pour la période 2004-2014. Tous les paramètres sont exprimés en mg/l excepté la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), OD(%), pH sans dimension, T ($^{\circ}\text{C}$) et TU (NTU).....	89
Tableau N°VI-02 : Comparaison des moyennes des deux séries d'analyses au niveau de la cuvette du barrage Zit Emba.....	90
Tableau N°VI-03 : Résultats de l'analyse de la variance.....	91
Tableau N°VI-04 : Matrice de corrélation	94
Tableau N°VI-05 : Les facteurs retenus pour l'ACP	95
Tableau N°VI-06 : Liaison Variables-Facteurs.....	95
Tableau N°VI-07 : Classes de turbidités.....	104
Tableau N°VI-08 : Concentrations moyennes (mg/l) de l'arsenic, du plomb et du mercure pendant la période 2004-05. Belhadj, 2007.....	108
Tableau N°VI-09 : Pentas des différentes droites de tendances.....	110
Tableau N°VI-10 : Indices de Contamination Moyen (ICM) de Hg, Pb et As	111
Tableau N°VI-11 : Indices de Contamination des Prélèvements (ICP) des ETM (Hg, Pb et As) dans l'eau calculés par rapport à la norme de référence (OMS).....	113
Tableau N°VI-12 : Equations de régressions exprimant la teneur en Hg en fonction des éléments chimiques (Na, K, Cl, SO_4).....	119
Tableau N°VI-13 : Norme OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques et biologiques appliquées pour les eaux du barrage Zit Emba.....	121
Tableau N°VI-14 : Classification des eaux par niveau d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.....	123
Tableau N°VI-15 : Classification de la salinité globale des eaux.....	123
Tableau N°VI-16 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation.....	123
Tableau N°VI-17 : Les valeurs de WQI de l'eau de surface du barrage Zit Emba.....	126

Liste des Photos

Chapitre III

Photo N°III-01: Photographie satellitaire du barrage de Zit-Emba et ses environs..... 45

Chapitre V

Photo satellite N°V-01: Répartitions spatiale des sources de pollution sur Oued El-Hammam..... 60

Photo N°V-02 : Rejet des eaux usées de l'industrie agro-alimentaire et effets sur Oued El-Hammam. 66

Photo N° V-03 : Rejets des eaux usées de l'industrie agroalimentaire Bouâti Mahmoud..... 67

Photo N° V-04 : Poussières la Cimenterie de Hadjar El-Soud. 72

Introduction

Générale

Introduction générale

Si la Terre est appelée la planète bleue, ce n'est pas un hasard, elle est recouverte à 71% d'eau et d'une belle couleur bleue clairement visible depuis l'espace. L'eau douce, essentielle à nos besoins, ne représente que 1% du total des mers et des océans présents sur terre. Elle est donc un capital limité et fragile car menacée par une consommation croissante et par de multiples pollutions. Elle est aussi une ressource naturelle indispensable, non renouvelable, qu'il faut impérativement préserver.

De l'eau est née la vie sur Terre, constituant de tous êtres vivants, c'est un composant majeur du corps humain puisqu'elle représente $\pm 2/3$ du poids corporel de l'adulte et plus encore chez l'enfant. Elle assure plusieurs rôles dans le corps humains, permet la digestion des aliments, l'absorption des substances nutritives et l'élimination des déchets, assure le maintien de la température corporelle, composante majeure du sang. Elle contribue donc au maintien de la tension artérielle, au transport des substances nutritives, des hormones, d'oxygène, ... L'eau est également un élément essentiel dans la propreté et le bien-être de l'homme. Une bonne hygiène quotidienne contribue non seulement à une bonne santé mais aussi à l'augmentation de l'espérance de vie. Or, l'homme qui ne pourrait vivre sans elle, par un comportement suicidaire, détruit la pureté de ses rivières, lacs, nappes et mers par ses rejets inconsidérés de déchets (rejets usés des agglomérations, déchets solides, activités agricoles, industriels et minières). La consommation humaine de l'eau, ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient ainsi de plus en plus difficile sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne. Ainsi, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface.

En Algérie, l'eau est une ressource rare, fragile et inégalement répartie sur le territoire. La demande en eau est continuellement en augmentation et l'utilisation des eaux de surface s'avère une nécessité incontournable. Des pénuries d'eau conjoncturelles ou structurelles sont constatées. En plus des tensions liées à la ressource en eau, s'ajoutent la dégradation de l'écosystème et de la biodiversité causée par l'intervention anthropique amplifiée par les déficits hydriques.

Dans une optique quantitative, l'Algérie à l'horizon 2030 envisage la mobilisation de 2 milliard de m³ supplémentaires [PNE, 2010][M.R.H, 2012], faisant passer la capacité nationale de mobilisation des ressources hydriques superficielle à plus de 10 milliard de m³. Cependant avec moins d'importance, l'optique qualitative vient à la prérogative des secteurs

hydrauliques, dans certaines régions elle est plus souvent médiocre à cause des concentrations très importantes en sels dissous et en masse polluante [OMS, 2004]. Cet état a été rapporté par plusieurs études du moins dans l'Est algérien comme celle de Djabri, (1998), Debieche et al (2001), Tanjir, (2006), Benhamza, (2008), Belhadj, (2011), Kemoukh, (2007), Tiri, (2010), Bougarne, (2010), Belkiri, (2011), Boudoukha et al.,(2012), Elkabar, (2013)...

L'étude de la qualité des eaux du barrage de Zit-Emba de capacité de stockage de 120 Hm³, s'inscrit dans ce contexte. Ainsi, l'objectif de la présente étude se résume en trois axes essentiels :

- Étudier l'origine de la pollution anthropique et naturelle dans le bassin versant de Zit-Emba;
- L'effet de cette pollution sur la qualité des eaux d'Oued El-Hammam et donc sur les eaux du barrage de Zit-Emba;
- L'établissement d'un modèle statistique de prévision des concentrations de mercure en liaison avec les autres éléments chimiques.

Cette problématique sera abordée à l'aide d'une exploration spatio-temporelle des données des paramètres physiques, des éléments majeurs et des métaux lourds.

Pour atteindre ces objectifs, la thèse sera scindée en trois parties et six chapitres. Ce travail sera abordé à l'aide d'une introduction générale et achevé à l'aide d'une conclusion générale.

- **Première partie : Contexte général**

- **Le premier chapitre** dans lequel il sera question du contexte de la problématique et de l'objectif de l'étude.
- **Le deuxième chapitre** sera consacré à la géologie de la zone d'étude, à la minéralogie et aux caractéristiques du gisement minier pouvant avoir une influence, essentiellement, sur la qualité des eaux de surface.
- **Le troisième chapitre** concernera la présentation générale de la région : le climat ainsi que les caractéristiques du bassin versant de Zit-Emba. On traitera également la majorité des éléments pouvant influencer les comportements des paramètres physico-chimiques des eaux de surface du barrage de Zit-Emba, à savoir le réseau hydrographique, les caractéristiques pédologiques, la morphologie, etc...

- **Deuxième partie : Méthodes et matériels**

- **Le quatrième chapitre** sera destiné à la méthodologie adoptée pour la réalisation de cette étude. les différentes méthodes d'analyse graphique et statistique seront abordées.

- **Troisième partie : Résultats et discussions**

- **Le cinquième chapitre** portera sur l'identification des sources de pollution potentielles d'Oued El-Hammam et Oued Mouguer et l'évaluation de la charge polluante.
- **Le sixième chapitre** sera consacré à l'interprétation des résultats des analyses chimiques effectuées sur les eaux de surface de la région. Cette partie sera réalisée à l'aide de la variation spatio-temporelle des divers polluants, l'analyses statistique des divers éléments et enfin la modélisation.

- **Conclusion générale**

- **Recommandations**

- Références bibliographiques
- Synthèse de la production scientifique dans le cadre de cette thèse.

Première partie :

Contextes généraux

Chapitre 01 :

**Contexte général, Problématique et
Objectifs de l'Etude.**

1. Contexte général

L'existence de l'être humain et de son environnement dépend de la présence de l'eau. La géosphère, l'atmosphère et la biosphère sont en étroite relation avec l'eau. L'eau interagit avec l'énergie solaire pour déterminer le climat et transforme et transporte les substances physiques et chimiques nécessaires à toute vie sur Terre [Bhatia et Falkenmark, 1992]. Selon cette vision, nous allons essayer de donner une indication générale de l'état des ressources mondiales en eau et d'examiner brièvement les principaux problèmes: **rareté, qualité, pollution et santé.**

1.1. La rareté de l'eau

L'eau est l'une des ressources la plus abondante sur la Terre, mais il faut signaler également que seulement moins de 1% de cette ressource sont utilisables de façon fiable pour les besoins humains. L'eau se présente en majeure partie à l'état liquide mais elle est présente aussi à l'état solide et à l'état de vapeur [PNUE, 1991]. Donc l'eau douce disponible est une forme rare de l'eau, car 99 % de la masse totale de l'eau est soit salée (97% de l'eau est contenue dans les océans), soit à l'état solide (2% dans les calottes glaciaires et les glaciers). La majeure partie de l'eau restante (1%) est souterraine, une proportion infime étant présente dans les lacs, l'humidité du sol, les cours d'eau et les systèmes biologiques. Malgré cette rareté de l'eau, l'être humain n'a pas encore compris ni reconnu que les disponibilités en eau sont finies. Tout le monde est pourtant d'accord pour reconnaître que la rareté croissante de l'eau douce et le mauvais usage que l'on en fait menace gravement le développement durable.

La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et les villes pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau, aggravent d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. A mesure que les populations s'accroissent et que les économies se développent, la concurrence pour des ressources finies ne pourra que s'intensifier, et les conflits entre usagers de l'eau ne feront que s'amplifier [Bhatia et Falkenmark, 1992].

1.2. La qualité de l'eau

Malgré la pénurie, le gaspillage de l'eau est généralisé. Au village comme dans les grandes villes, à la ferme comme dans l'industrie et dans les pays en développement comme dans les économies industrialisées, on méduse universellement l'eau. La qualité de l'eau superficielle se dégrade dans les bassins versants sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels.

La demande en eau pour les usages domestiques est modérée par rapport aux usages agricoles et industriels, cependant les exigences de qualité sont élevées pour l'alimentation en eau potable (AEP). Ces usages domestiques de l'eau se rapportent principalement à la consommation pour la boisson, le lavage, la préparation des aliments et les installations d'hygiène [Bhatia et Falkenmark, 1992].

1.3. L'eau et la Santé

Une bonne eau est nécessaire à la santé, indispensable à notre organisme. Elle est une composante majeure du sang, elle contribue au maintien de la tension artérielle, au transport des substances nutritives, intervient dans le bon fonctionnement de notre organisme, des hormones, elle assure le maintien de la température corporelle; elle permet la digestion des aliments, l'absorption des substances nutritives et l'élimination des déchets; également alliée d'une bonne hygiène. Donc l'eau est un collaborateur de santé par excellence [Bouhy et Thierry DENIES, 2007].

Parallèlement l'eau constitue un facteur principal contribuant au développement des maladies à transmission hydrique provoquant des fléaux sanitaires dans le monde en développement. Les services de santé identifient cinq catégories de maladies d'origine hydrique : *i*) maladies transmises par l'eau (typhoïde, choléra, dysenterie, gastroentérite et hépatite infectieuse); *ii*) infections de la peau et des yeux (trachome, gale, pian, lèpre, conjonctivite et ulcères); *iii*) parasitoses (bilharziose et dracunculose); *iv*) maladies dues à des insectes vecteurs comme les moustiques et les mouches ; enfin *v*) infections dues au manque d'hygiène (tarnaises) [ONU, 1992 ; Rogers, 1992]. On estime que 25 000 personnes meurent chaque jour du fait de ces maladies [PNUE, 1991].

Près d'un milliard de personnes dans le monde ne disposent pas d'eau potable de qualité. Or, améliorer l'accès à l'eau potable, c'est amélioré sensiblement la situation sanitaire. L'hygiène personnelle progresse lorsque les disponibilités en eau dépassent les 50 litres par jour. On estime aussi que 1,7 milliard de personnes doivent s'accommoder d'installations sanitaires et l'absence de réseaux d'égout et de traitement des eaux usées est une source majeure de pollution des eaux superficielles et souterraines [Postel, 1992].

1.4. La Pollution de l'eau

Avec le développement industriel, les problèmes de pollution de l'eau ont pris un tour d'abord régional puis continental et désormais, maintenant, il est mondial. Une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques. L'industrie utilise de

grandes quantités d'eau mais le principal problème tient à ce que la majeure partie de cette eau retourne à la nature, polluée car chargée de déchets, de produits chimiques et de métaux lourds. Plus de 85% de l'eau consommée par l'industrie sont retournés à la nature sous forme d'eau usée [Gupta. 1992]. Des évaluations récentes ont permis de rapporter que les principaux polluants de l'eau sont les effluents d'égout, les nutriments, les métaux toxiques rejetés par les industries en activité et surtout les installations minières abandonnées ainsi que les produits chimiques utilisés dans l'industrie et en agriculture [PNUE. 1991]. Les évaluations effectuées dans ce cadre portent notamment sur :

- La nature et le niveau de la pollution de l'eau douce qui sont étroitement liés au développement socio-économique;
- Les polluants les plus fréquents qui sont l'ensemble des matières organiques contenues dans les eaux usées domestiques, les déchets urbains et les effluents agro-industriels.

La lutte contre cette pollution est d'autant plus difficile car elle est diluée dans l'eau et souvent invisible et que certains toxiques infiltrés dans le sol ne produisent souvent leur effet qu'à long terme et que de nombreux polluants agissent en synergies complexes.

2. Problématique

Une partie non négligeable du cycle de l'eau à la surface de la terre, entre la pluie et les cours d'eau, ruissèle. Au cours de ce trajet de l'eau, diverses réactions se produisent entre la phase aqueuse, la phase gazeuse et solide, minérale et organique. Les interactions qui en résultent et l'action anthropique influencent ainsi la composition chimique de la phase aqueuse. Cette dernière est également influencée par des phénomènes de concentration en certains éléments chimiques suite à l'évaporation intense au niveau des plans d'eau libre et en particulier les cuvettes des barrages. En Algérie comme dans la plupart des pays en voie de développement ou industrialisés, la dégradation de la qualité de l'eau aussi bien de surface que souterraine est de plus en plus préoccupante. A l'échelle d'un bassin versant, les processus de transfert et les interactions entre l'eau et les différents systèmes (géologique, pédologique, climatique, anthropique, ...) sont très divers et très complexes.

Ces phénomènes hydrochimiques aboutissent à un faciès qui reflète l'environnement géochimique de la région. Cette dynamique géochimique est devenue l'un des principaux axes de recherches de la plupart des équipes de recherche des divers laboratoires. Le barrage de Zit-Emba est soumis à une pollution anthropique qu'il est indispensable de la mettre en évidence étant donné qu'il alimente en eau une grande partie de la wilaya de Skikda.

Plusieurs études ont été menées dans la wilaya de Skikda [Benhamza, 1996, 2005, 2008 ; Benhamza et al., 2006 ; Alligui, 2010, 2011 ; Belhadj, 2007, 2011, 2013 ; Kemoukh, 2008 ; Boudoukha et al., 2012] sur les ressources en eau souterraine et superficielle notamment sur la qualité des eaux, sur la pollution et l'impact de cette dernière sur l'environnement. Ainsi, depuis que le barrage de Zit-Emba a été mis en exploitation, l'environnement aquatique est soumis à une pression croissante suite à l'activité industrielle et anthropique dont les effets ne se sont pas fait sentir rapidement. Les prospections géologiques et minières effectuées dans la région [Vila, 1967-71 ; Bikmeev, 1970 ; Bouarroudj, 1986 ; Mezgache 1989] ont permis de mettre en évidence la présence de gisements miniers de compositions diverses, localisés essentiellement dans la partie méridionale du bassin versant. La nature et la concentration minéralogique de ces gisements sont variables d'une zone à une autre. Le ruissellement aussi bien de surface que souterrain, amène en surface des masses solides riches en divers éléments qui s'oxydent au contact des eaux de pluie, riches en oxygène, pour former des solutions parfois très toxiques. Ces ruissellements alimentent les cours d'eau comme le cas d'Oued El-Hammam. Ceci a fortement influencé le faciès des eaux de surface stockées dans le barrage de Zit-Emba et a contribué à la détérioration de la qualité des eaux par la présence de métaux toxiques comme l'ont rapporté les études menées par Benhamza, (2005), Benhamza et al., (2008), Alioua, (2008), Alligui, (2010), Belhadj et al., (2011) et Boudoukha et al., (2012).

D'autre part, en dehors de toutes mesures de protection de l'environnement, cette ressource en eau de surface se trouve exposée à des risques potentiels d'altérations chroniques ou épisodiques [Belhadj, 2007]. Celle-ci est en partie due aux rejets urbains des agglomérations comme celle de Bouâti-Mahmoud, Ouled Ali et les zones rurales éparses, l'industrie galopante agroalimentaire, les huileries ainsi que les centres thermo-thérapeutiques d'Ouled Ali. Ces derniers déversent continuellement leurs eaux usées dans Oued El-Hammam sans aucune épuration préalable. Cette situation s'est amplifiée par l'accroissement démographique et l'utilisation abusive des fertilisants et des pesticides de l'activité agricole de la région.

Le degré actuel de pollution de ces eaux de surface justifie la prise de mesures pour prévenir tout accroissement de la contamination et d'avilissement de cette ressource. En effet, la gestion efficace des ressources en eau superficielle suppose une démarche globalisante allant du développement social et économique à la protection des écosystèmes et devant

prendre en compte les questions liées à la Terre et à l'eau à l'échelle des bassins hydrologiques et les facteurs qui influencent la qualité de celle-ci.

C'est dans ce contexte que vient s'inscrire cette étude dont l'objectif d'établir un diagnostic sur la pollution des eaux superficielles du barrage de Zit-Emba.

3. Objectif de la thèse

Le but de cette étude est de mettre au point une approche permettant d'appréhender l'état de l'environnement aquatique du barrage de Zit-Emba afin de caractériser la qualité de l'eau de l'amont à l'aval de ce dernier. A cet effet, il est impératif de :

- Faire un inventaire précis des sources de pollution anthropique de l'Oued El-Hammam ;
- Evaluer le degré de pollution des eaux usées rejetées par les centres urbains situés en amont du barrage de Zit-Emba et les rejets des stations thermales de Hammam Ouled-Ali chargées surtout de tensioactifs ainsi que les rejets industriels ;
- Quantifier la contamination mercurielle signalée dans la région ;
- Apprécier la qualité des eaux stockées au niveau du barrage et son degré de potabilité en amont et en aval de la station de traitement des eaux destinées à l'AEP ;
- Estimer les divers impacts de cette pollution sur l'environnement ;
- Implémenter une modélisation du comportement chimique du mercure en milieu aquatique.

4. Considérations Générales

La Wilaya de Skikda est issue du découpage administratif de 1974. Elle comprend treize (13) daïra regroupant trente-huit (38) communes et s'étend sur une superficie de 4137,68 km² avec 142 km de côte. La population en 2013 s'élevait à 982515 habitants dont la majorité étant concentrée dans les localités actives avec une densité de 238 habitants/Km² [DPAT, 2013].

La wilaya de Skikda, de tradition portuaire millénaire, est un pôle industriel de premier plan, notamment dans les secteurs de la chimie et de la pétrochimie et dispose d'une importante infrastructure de base moderne, tout en conservant sa vocation agricole.

4.1. Situation Géographique

La zone d'étude est située au Nord Est algérien dans la commune de Bekkouche Lakhdar wilaya de Skikda (Fig. I-01). Cette dernière se situe sur la frange tellienne de l'Est algérien à 510 Km de la capitale. Elle est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranéenne.
- Au Sud par la wilaya de Constantine et partiellement la wilaya de Mila.
- A l'Est par les wilayas d'Annaba et Guelma.
- A l'Ouest par la wilaya de Jijel.

4.2. Situation De La Commune de Bekkouche Lakhdar

La commune de Bekkouche Lakhdar est située au Sud Est de la wilaya de Skikda, elle est délimitée :

- Au Nord par la commune de Ben-Azzouz (wilaya de Skikda).
- Au Sud par la commune de Roknia et Bouâti-Mahmoud (wilaya de Guelma)
- A l'Est par la commune de Berrahal et Eulma (wilaya d'Annaba)
- A l'Ouest par la commune d'Ain Charchar et Es-Sebt (wilaya de Skikda).

4.3. Relief

La région fait partie de l'Atlas tellien, elle est constituée de plaines et de vallées fertiles irriguées par des cours d'eaux, de collines à pentes régulières, de montagnes (Djebel Elgrar 1078 m, Djebel Bouaslouge 879 m etc..) et d'Oueds. Les principaux Oueds sont Oued El-Hammam et Oued Emchekel affluents de l'Oued Kebir.

4.4. Sol

La commune de Bekkouche Lakhdar a en général un sol de texture argilo limoneuse.

4.5. Aperçu sur les ressources en eau de la wilaya de Skikda

La région de Skikda fait partie du bassin versant côtier Constantinois qui lui-même fait partie du grand bassin de la Seybouse-Mellegue. Cette zone a le privilège de disposer d'abondantes ressources en eau superficielle par rapport au reste du pays notamment le littoral avec 2789 Hm³/an comme apport périodique globale moyen du bassin versant côtier Constantinois [PNE, 2010 ; Rimini, 2005 ; Mebarki, 2009 ; M.R.H, 2012].

Mer Méditerrané

Zone d'étude

ABHs NORD et BV6 ABH Sahara

**BARRAGES - BASSINS VERSANTS
BASSIN VERSANTS DE BARRAGES**

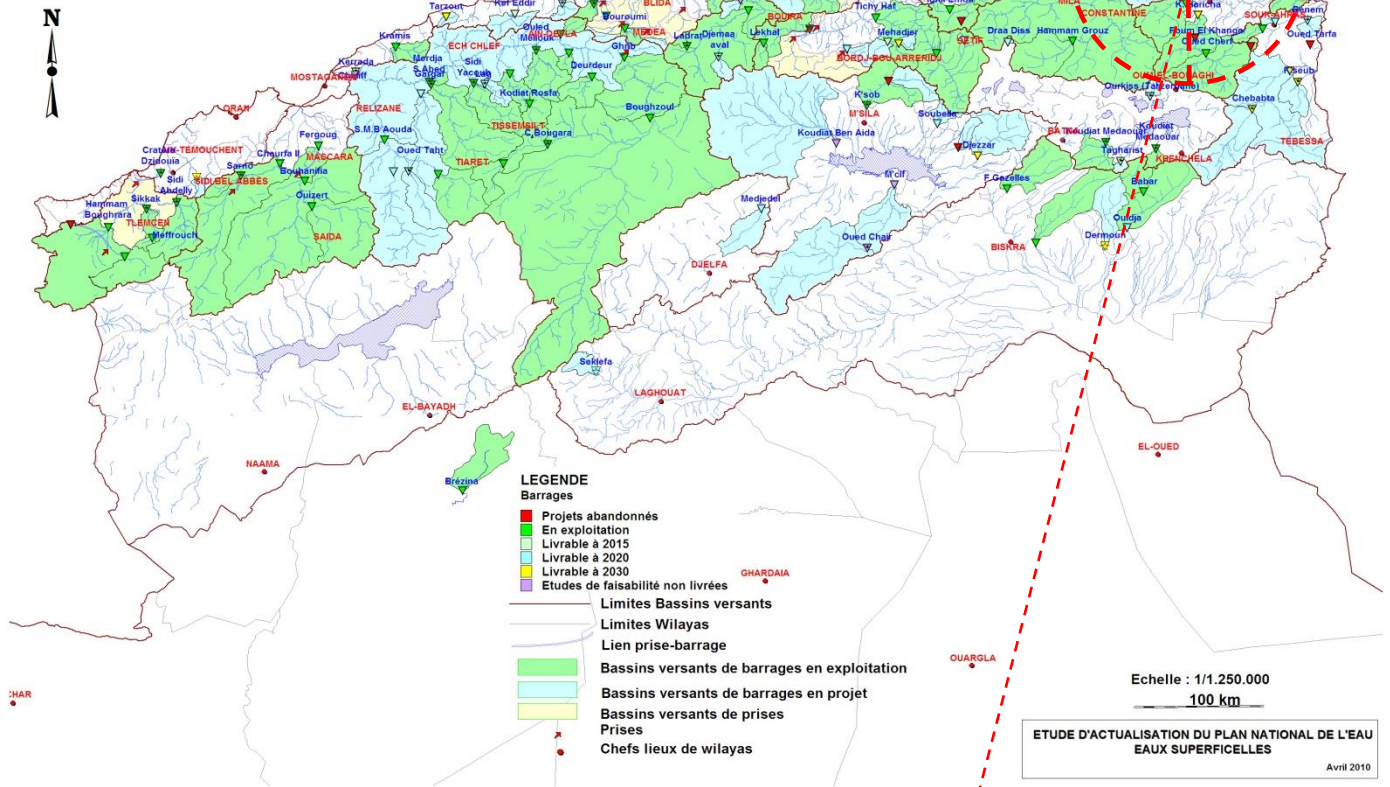


Figure N°I.01 : Situation du barrage de Zit-Emba.

Le volume mobilisé dans le bassin hydrographique côtier Constantinois (barrage en exploitation et en construction) n'est que 595 Hm³ soit un taux de mobilisation de 21.61%. En 2030, le volume mobilisable envisageable serait de 758 Hm³ soit un taux de mobilisation de 27.2% [PNE, 2010]. Actuellement on recense dans la wilaya de Skikda en matière d'infrastructure de mobilisation quatre (04) barrages (Zardezas, Guenitra, Beni Zid et Zit-Emba) interconnectés et destinés à l'AEP, à l'irrigation et à l'industrie avec une potentialité en eau superficielle totales de 293 Hm³ [DPAT, 2011], soit un taux de mobilisation de 49.19% par rapport au volume mobilisé au niveau du côtier Constantinois.

Le sous bassin versant du barrage de Zit-Emba, draine 53 Hm³ comme apport moyen interannuel, l'irrigation bénéficie d'un volume régularisable de 55 Hm³ [PNE, 2010].

Chapitre 02 :

Contexte géologique

1. Contexte géologique général

La Chaîne des Maghrébides est constituée par les segments orogéniques rifains, telliens, Nord siciliens et calabrais [Durand Delga et Auboin, 1971]. Elle est allongée sur plus de 2000 Km entre le détroit de Gibraltar et les Apennins, elle se caractérise par des structures en nappes à vergence Sud dominante. Cette chaîne comprend en Algérie, du Nord vers le Sud: des **Zones Internes** (Socle Kabyle et **Dorsale Kabyle**), une **Zone Médiane** dans laquelle se sont déposés des flyschs (**Flysch Maurétanien et Massylien**) et des **Zones Externes** qui correspondent aux **Zones Telliennes**. Fig. II-01.

Cette étude se situe dans une zone caractérisée par un **empilement de nappes de charriages** appartenant au domaine interne, médiane et externe. Ces différentes zones ont subi un déplacement du Nord vers le Sud et se trouvent aujourd'hui en **position allochtone** sur les formations de la **plateforme néritique constantinoise**.

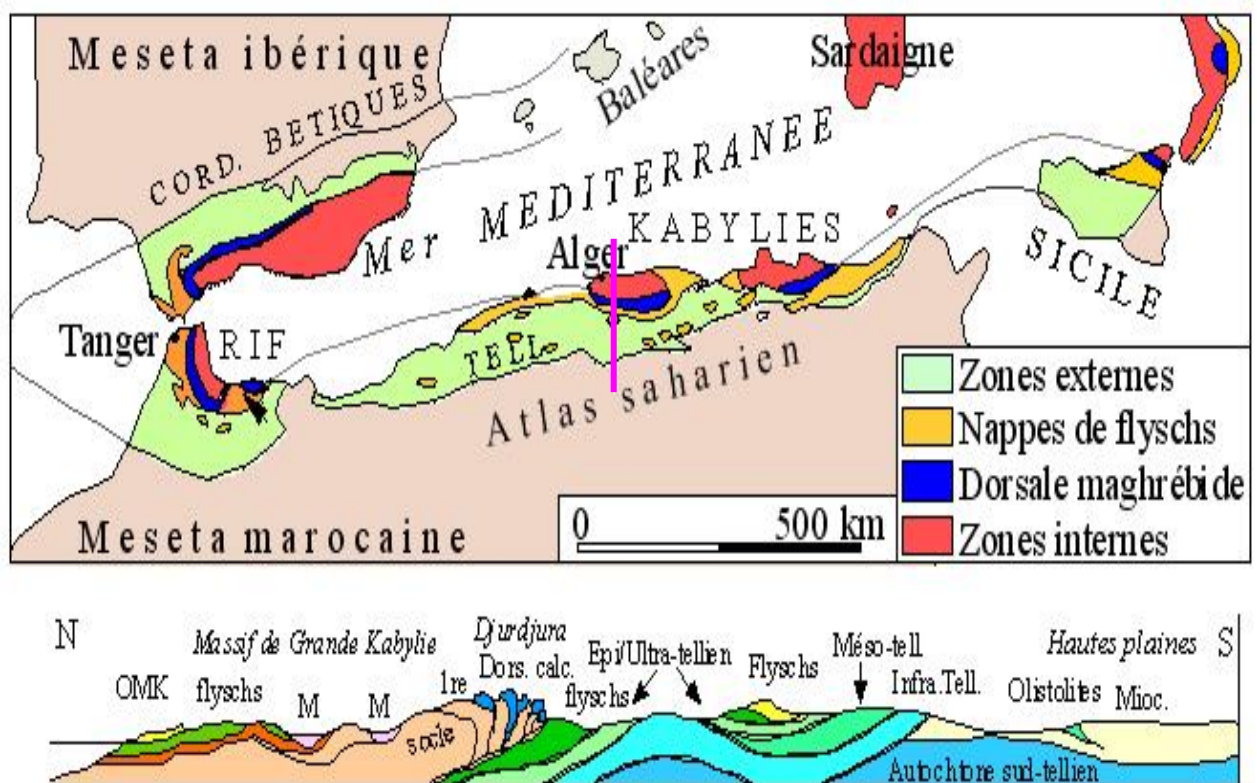


Fig. N°II-01 : Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides.

D'après Durand Delga et Fontboté (1980).

2. Stratigraphie

Les dépôts connus dans le territoire de la wilaya de Skikda s'étalent depuis le précambrien (socle ancien) jusqu'au Quaternaire [ORGM, 1999].

2.1. Précambrien

Les dépôts du Précambrien sont les plus anciens et affleurent dans les limites des pointements du socle. Ils comportent des gneiss, des schistes et des calcaires marmorisés [ORGM, 1999].

2.2. Paléozoïque

Les dépôts du Paléozoïque inférieur sont composés de deux parties [ORGM, 1999] :

- ◆ Une assise inférieure formée de schistes argileux avec des lentilles de quartzites et calcaires ; sa puissance totale est de 250 à 300 m. A cette assise peuvent être rapportés les dépôts marno-schisteux (épais de 100 m) dans la région de Collo.
- ◆ Une assise supérieure puissante de 800 m au maximum, composée exclusivement de schistes.

2.3. Jurassique

Les **massifs** jurassiques affleurent dans les limites du massif montagneux de Filfila, ils débutent par des dolomies et des brèches dolomitiques épaisses de 80 m, puis viennent les calcaires épais de 160 m, surmontés par des dépôts marno-calcaires d'une puissance de 300 m. Localement s'observe un passage progressif du Jurassique au Crétacé [ORGM, 1999].

2.4. Crétacé

2.4.1. Crétacé inférieur :

Il débute par des calcaires, marnes, schiste argileux d'une épaisseur de 200m, surmontés par une assise gréseuse alternant avec des schistes argileux avec des interlits de phtanites et des roches siliceuses. La puissance de l'assise est de 180 à 200 m.

2.4.2. Crétacé supérieur :

Il forme une assise carbonatée terrigène où s'observe d'Ouest à l'Est une substitution du faciès de roches carbonatées par un faciès de roches terrigènes. Sa puissance est de 550 m dans la région de Collo.

2.5. Tertiaire

Les dépôts du Tertiaire ont une assez grande extension sur ce territoire, ils forment des zones de dépression étroites en Kabylie et encadrent les massifs de l'Edough et de Filfila [ORGM, 1999].

2.5.1. Eocène

Dans leur partie inférieure, les dépôts de l'Eocène, sont composés de calcaires, conglomérats, brèches, épais de 150 m. Dans la partie supérieure, ils sont formés de grés, conglomérats, brèches avec des lentilles de schistes argileux épais de 120 m.

2.5.2. Oligocène

Les dépôts sont représentés par des grés quartzeux, schistes argileux avec des interlits de phtanites, leur puissance varie de 400 à 800 m. L'assise «Numidienne» est composée à sa base de schistes argileux avec des intercalations de grés quartzeux d'une puissance de 280 à 600 m, surmontés par des grés quartzeux uniquement de 300 à 500 m d'épaisseur.

2.5.3. Miocène

Les dépôts du Miocène reposent en discordance sur des roches des plus anciennes. Le Burdigalien se compose de trois termes distincts, où l'on relève (de bas en haut) :

- Une alternance de grés avec des conglomérats,
- Des roches effusives semi-acides,
- Des roches effusives acides.

2.5.4. Pliocène

Les formations se présentent en petites cuvettes superposées. Elles sont représentées par des marnes alternant avec des schistes argileux et des grés. Leur épaisseur ne dépasse pas 40 à 60m.

2.6. Quaternaire

On y distingue des formations sablo-argileuses de terrasses littorales du Quaternaire ancien et récent ainsi que des sables éoliens et des sédiments argilo-boueux de dépressions lacustres, des sables contemporains de plage, de mer, des alluvions composés de blocs, galets, sables et limons, éboulis de pente et dépôts torrentiels des épandages en éventail de piémont. La puissance des dépôts quaternaires ne dépasse pas 30 à 50 m. [ORG M, 1999].

3. Géologie de la zone d'étude :

La région concernée par cette étude s'étend sur de grandes surfaces. L'édifice structural des formations géologiques du bassin versant de Zit-Emba et ses environs présente un empilement de nappes de charriages appartenant aux trois domaines paléogéographiques cités précédemment. Du Nord au Sud et de haut en bas [VILA, 1969] on distingue (Fig. II-02) :

- La nappe numidienne ;
- La nappe du flysch de type Guerrouch = flysch maurétanien ;
- Les nappes de la dorsale kabyle ;
- La nappe du flysch de Penthièvre = flysch maurétanien ;
- La nappe du flysch à microbrèches Sénoniennes = flysch massylien ;
- La nappe épi-tellienne ;
- Les formations de la plateforme néritique constantinoise.

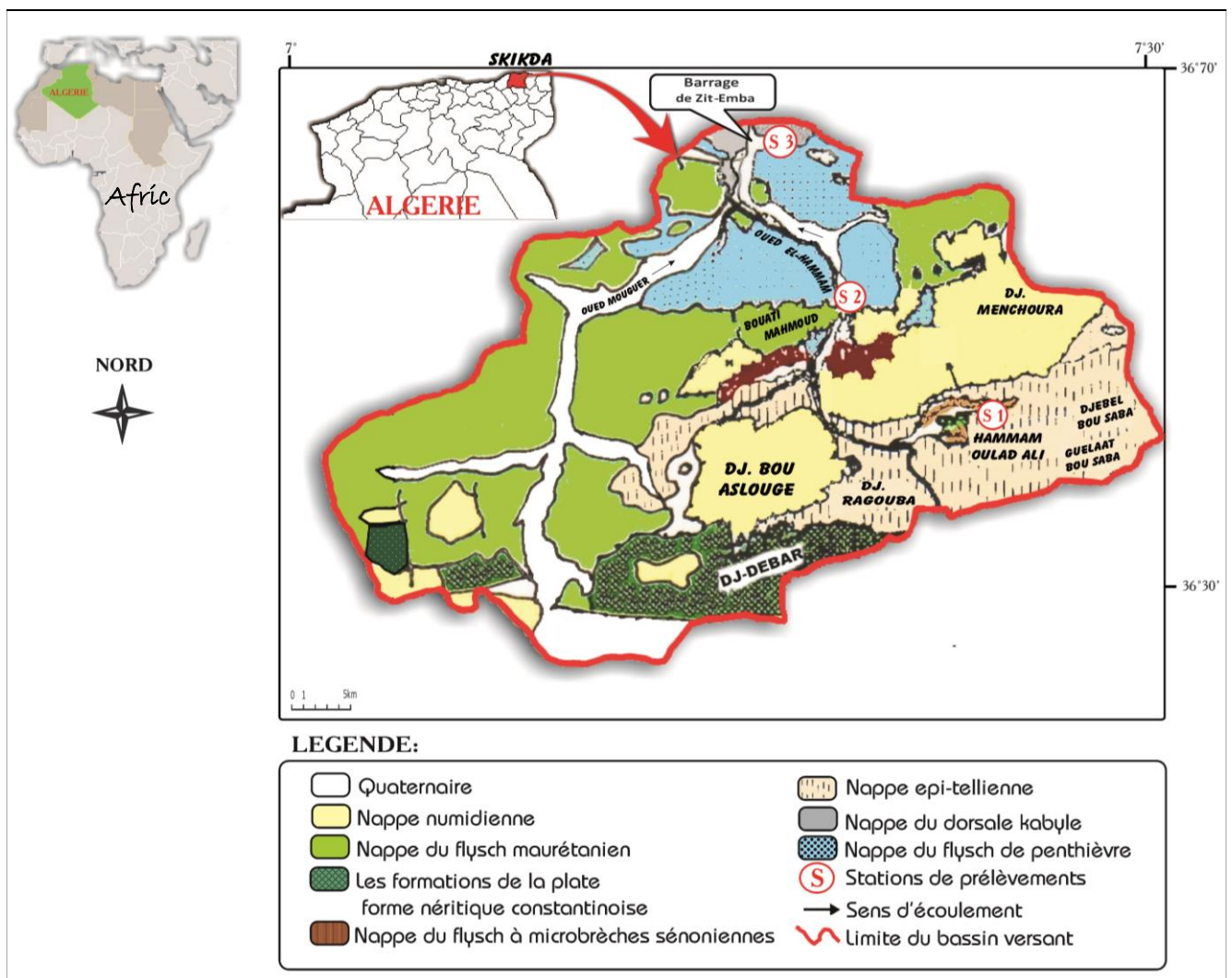


Figure N°II-02: Schéma Structural De La Région De Zit-Emba (In Boudoukha et Belhadj, 2012).

4. Stratigraphie

4.1. La nappe numidienne

La nappe numidienne affleure dans la partie Est du bassin versant. Elle forme les sommets de Djebel Menchoura et les crêtes situées entre ce dernier et Nechmeya. Elle se développe également dans la partie Sud de l'aire d'étude et constitue les affleurements de Djebel Bou Aslouge. Cette nappe est représentée par ses deux faciès classiques : Les argiles de base et les grès numidiens. Les argiles de base affleurent généralement dans de mauvaises conditions car elles sont souvent masquées par les éboulis provenant des barres gréseuses sus-jacentes. Ce sont des argiles vertes parfois brunes ou rougeâtres et d'épaisseur généralement réduite. Elles contiennent des bancs de quartzites fins, vert foncé, parfois micacés. Les grès numidiens sus-jacents sont hétérométriques bruns fauves, affleurent en bancs massifs décimétriques. Ces grès alternent parfois avec des passées pélitiques de faibles épaisseurs.

4.2. La nappe du flysch de type Guerrouch ou flysch maurétanien

Les formations de cette nappe affleurent à quelques kilomètres au Nord de Bouâti Mahmoud et s'étendent largement au Nord Est du bassin versant où elles forment les hauteurs des Djebel Meharem et Hadjar Munchar. Ces formations se développent également au Nord et à l'Est de Zit-Emba et constituent les affleurements de Koudiet Mazouz et Mekassa. La nappe du flysch de type Guerrouch comporte des termes plus récents que le Néocomien. Au dessus de ces niveaux, il existe par endroit des intercalations polychromes vertes et rouges et des niveaux quartzitiques verts. Sur le versant Nord de Djebel Menchoura, à la limite Sud de la feuille de Penthièvre, la nappe du flysch de type Guerrouch présente au-dessus du Crétacé inférieur gréseux, un faciès de même nature d'âge Crétacé moyen où apparaissent de minces intercalations argilo schisteuses à petits bancs de calcaires fins et à minces plaquettes microbrèchiques, parfois silicifiés. Cette série comporte également des termes du Cénomaniens et du Turonien. Latéralement, vers l'Ouest, à la limite des feuilles au 1/50000 de Jemmapes (Azzaba) et de Hammam Meskhoutine, de vastes affleurements gréseux de type flysch Guerrouch, sont en continuité avec la série de Djebel Menchoura. Ces affleurements montrent un Crétacé moyen où les niveaux siliceux sont bien développés sous la forme des classiques bancs micro-conglomératiques à bandes siliceuses blanches. Ces formations et celles de Djebel Menchoura se poursuivent par un Crétacé supérieur gréseux toujours très homogène quant à sa granulométrie mais toutefois plus grossier qu'au Crétacé inférieur.

4.3. Les nappes de la dorsale kabyle

Les formations qui constituent les nappes de la dorsale kabyle sont observables dans les environs immédiats de l'agglomération de Zit-Emba. Ces nappes proviennent de trois zones paléogéographiques différentes de la dorsale kabyle dites interne, médiane et externe.

4.3.1. Les nappes provenant de la dorsale interne

Ces nappes affleurent à 3 km à l'Est de l'agglomération et forment les écailles supérieures de la Guelaâ Zit-Emba. Ces séries varient relativement peu au-dessus d'un substratum surtout phylladique supportant de rares témoins du Paléozoïque et localement recouvert par un Permo-Trias gréseux rouge. Au Secondaire, on y rencontre au total : un Trias moyen supérieur calcaire-dolomitique surmontant les niveaux gréseux rouges et exceptionnellement gypseux, un Lias inférieur dolomitique et calcaire massif, un Lias moyen supérieur formé de calcaires à silex, un Jurassique moyen-supérieur et un Crétacé calcaire de faible épaisseur, parfois noduleux, réduit ou absent. Le Tertiaire est transgressif, soit dès le Paléocène, soit à l'Yprésien représenté par des calcaires massifs à faciès épi-néritiques. Le Lutétien supérieur Priabonien est bréchiq ue et discordant de même que l'Oligocène gréseux.

4.3.2. Les nappes provenant de la dorsale médiane

Kalaâ Zit-Emba montre, immédiatement au-dessus des séries écaillées précédentes, une série sensiblement continue du Crétacé inférieur à l'Eocène, constitué de calcaire marneux fin et de marne à microfaune pélagique.

4.3.3. Les nappes provenant de la dorsale externe

Ces nappes affleurent au Sud de l'agglomération de Zit-Emba, et sont représentées par une lame à la cote 393 m à Djebel Chbibek. Celles-ci se prolongent vers l'unité externe du Djebel Labiod situé à l'Ouest de Zit-Emba.

4.4. La nappe du flysch de Penthivière

Cette nappe présente de vastes affleurements entre Zit-Emba et Bouâti Mahmoud et se développe largement au NNE du bassin versant où elle forme les hauteurs de Douar Eulma Kricha. Le témoin le plus méridional de la nappe de Penthivière se trouve dans la partie méridionale du bassin versant à l'extrémité orientale de Djebel Debar. La nappe du flysch de Penthivière présente des termes allant du Cénomani en à l'Oligocène. Le Cénomani en et le Turonien sont représentés par des niveaux bréchiq ues ou microbréchiq ues clairs à lentilles silicifiées, blanches, ayant l'aspect de petits bancs de silex. Ces couches alternent avec des lits de

marnes schisteuses claires riches en microfaunes. Le Sénonien présente une série conglomératique plus ou moins épaisse. Le matériel remanié, gréseux et calcaire est le même, mais sans traces de silicifications. L'Eocène inférieur vient en continuité au-dessus des assises précédentes. Il est marqué par l'apparition de bancs de calcaires microbréchiques gréseux gris. Les premiers bancs de microbrèches, en plus de débris gréseux, phylliteux, calcaires et dolomitiques, remanient les silex, rouges et gris du Sénonien terminal.

Le Paléocène inférieur et moyen est représenté par des microbrèches calcaires fossilifères. Le Paléocène terminal est dépourvu de silex remanié mais riche en éléments organodétritiques. L'Eocène basal est caractérisé par des intercalations argileuses dépourvues d'éléments grossiers. Au sommet de la série bréchique de l'Eocène inférieur, les microbrèches deviennent bleues et s'enrichissent en éléments organodétritiques de natures diverses. La limite Yprésien-Lutétien est marquée par l'apparition des intercalations d'argiles schisteuses (rouges de lie de vin) de 10 à 20m d'épaisseur. Le Lutétien supérieur est bien représenté par une intercalation de niveaux microbréchiques et des niveaux argilo-schisteux riches en microfaune. Le Priabonien qui fait suite en continuité au Lutétien supérieur est caractérisé par l'apparition des brèches plus grossières [Vila, 1967]. Ces niveaux sont surmontés par une série épaisse de 100 à 150m de microbrèches brunes qui alternent avec des argiles schisteuses bruns clairs. L'Oligocène est représenté par une puissante formation de grès micacé à patine jaune de 450 à 500 m d'épaisseur, très riche en débris phylliteux et feldspathiques.

4.5. La nappe du flysch à microbrèches sénoniennes ou flysch massylien

Cette nappe affleure dans les environs de Bouâti Mahmoud et dans la partie Sud du secteur d'étude (Nord et Nord-Ouest d'El-Fedjouj) où elle forme une bande de terrain allongé d'Est en Ouest. Cette nappe est représentée par une série relativement épaisse formée de marnes et de niveaux microbréchiques comportant un Crétacé moyen à phtanites blancs et noirs, et surmontée par un Crétacé supérieur argilo-marneux, souvent très riche en intercalations de microbrèches brunes bioclastiques et pratiquement dépourvue d'apport gréseux.

4.6. La nappe épi-tellienne

La nappe épi-tellienne occupe sur des surfaces relativement importantes de l'aire d'étude et se développe, essentiellement, à l'Est et au Sud-ouest du bassin versant. Les formations de cette nappe sont caractérisées par l'existence de faciès vaseux sombres, souvent à « boules jaunes ». De tels faciès apparaissent dans l'Eocène lié à la série du Djebel Bou Sba. Ces faciès sombres caractérisent également l'unité du Hammam Ouled Ali. Celle-ci est coincée entre l'unité du

Djebel Bou Sba et les formations autochtones néritiques du Djebel Debar. Au total, l'unité épi-tellienne possède, au Sud et au SW de Djebel Bou Sba : un Barrémo-Aptien marno-calcaire sombre à Ammonites, un Albien schisteux noirâtre, une barre de marno-calcaire plus clair du Vraconien-Cénomaniens inférieur. Le Sénonien noir est visible dans la fenêtre du Hammam Ouled Ali et au Sud du Djebel Bou Sba.

4.7. Les formations de la plateforme néritique constantinoise

Dans le secteur concerné par cette étude, les affleurements qui appartiennent à la plateforme néritique constantinoise sont : Djebel Debar, Djebel Grar, Djebel Taya, Hammam Ouled Ali et Mechta ou Douar bou Zitoun. La série néritique puissante de près de 1000 m, ne comporte pas de terme plus récent que le Sénonien. Au dessus d'un Trias calcaire et schisto-gréseux, après un jurassique dolomitique, le Crétacé débute par des couches calcaires et des dolomies et se poursuit jusqu'à l'Albien par des faciès épi-néritiques graveleux ou oolithiques à foraminifères benthiques. Le Cénomaniens n'est connu qu'au Djebel Debar sous le faciès de calcaires construits à caprines. Le Turonien et le Sénonien inférieur manquent. Le Sénonien supérieur, sans discordance angulaire visible, est localement d'aspect conglomératique à sa base et remanie parfois les orbitolinidés de l'Albien sous-jacent dans des niveaux bioclastiques.

5. Structure

L'édifice structural de la région étudiée est caractérisé par un empilement de nappes de charriage appartenant à la dorsale kabyle, au domaine des flysch et au domaine épi-tellien [Lahondere, 1987]. L'ensemble de ces nappes se trouve aujourd'hui en position allochtone sur les formations carbonatées de la plateforme néritique constantinoise (Djebel Debar, Djebel Grar, Djebel Taya...). Comme au Hammam Ouled Ali et au Douar bou Zitoun, l'allochtonie des formations épi-telliennes marneuses ainsi que celle du flysch Sénonien à microbrèches et du flysch de type Guerrouch apparaît clairement. En fait, on n'a jamais toutes ces nappes sur la même verticale. Des réductions très rapides et des failles parfois importantes et probablement d'âge varié, morcellent les affleurements et compliquent le déchiffrement des structures géologiques de la région d'étude. Le cas le plus extrême est visible aux environs des mines de kaolin, à l'extrémité Ouest de la région étudiée, où le Numidien repose directement sur le Crétacé néritique, parfois par l'intermédiaire de brèches de friction.

6. Les concentrations minéralogiques et les gisements miniers

Les prospections géologiques et minières effectuées dans la région ont permis de mettre en évidence la présence de certains gisements miniers. Ces minéralisations sont localisées

essentiellement dans la partie méridionale du bassin versant (Fig.II-04). La nature et la concentration minéralogiques de ces gisements sont variables d'une localité à une autre. [Vila et al., 1968 ; Vila et Magne, 1969 ; et Vila, 1967 , 1971 ; Bouarroudj, 1989 ;Mezghache, 1989].

6.1. La minéralisation au niveau du massif de Djebel Debar

Djebel Debar est un massif carbonaté important situé dans la partie Sud du bassin versant. Il est faillé et fracturé et correspond à un anticlinal d'axe Est-Ouest. Les failles qui affectent la partie Nord-Ouest et la partie centrale de ce massif sont minéralisées. Ces concentrations minéralogiques qui existent correspondent à l'halloysite (silicate d'alumine Hydraté=Kaolinite). Cette concentration est accompagnée d'un gisement d'oxyde de fer associée à des carbonates de zinc ($ZnCO_3$) et de plomb arsenicaux et à de l'arséniate de Zinc [Vila et Magne, 1969].

6.2. La minéralisation au niveau de Djebel Taya

Ce massif est situé à l'extrême Sud-Ouest du bassin versant. Il appartient à l'ensemble des formations autochtones du môle néritique constantinois. C'est un massif carbonaté faillé et fracturé. Les fractures qui affectent Djebel Taya sont minéralisées. On y trouve du Sulfure d'antimoine (**stibine $Sb_2 S_3$**) avec des traces de **cinabre (HgS)** Fig. II.03 .

Cette minéralisation se présente en amas lenticulaires dans les calcaires compacts ou au contact des calcaires et des marno-calcaires sénoniens décollés des assises rigides sur la périphérie du dôme.

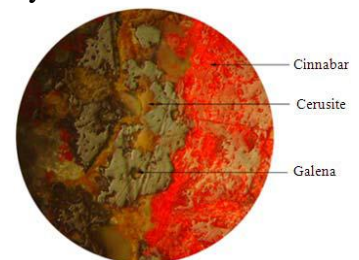


Fig. N°II.03:Galène de Cinabre
(In Alligui, 2010).

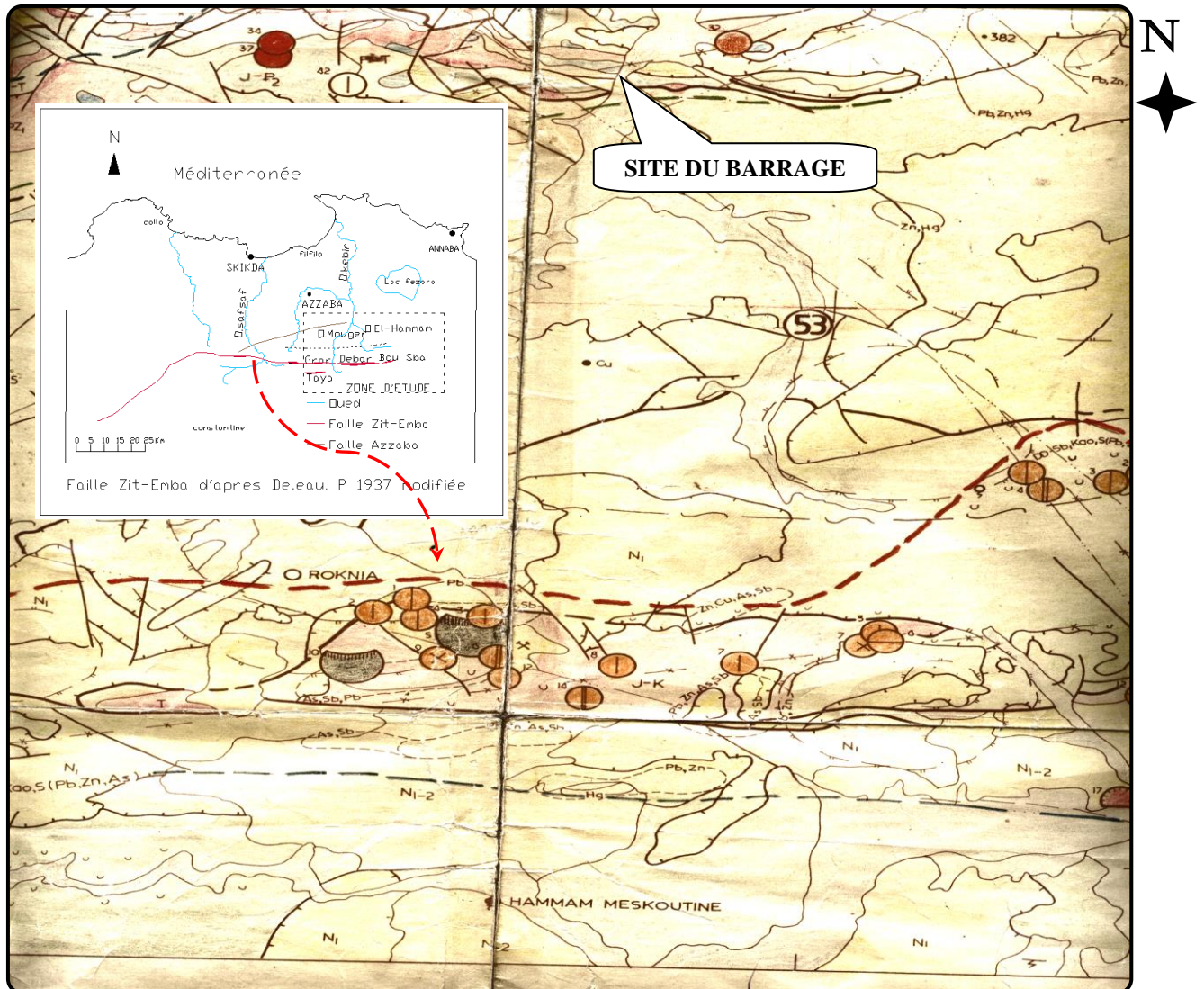
6.3. Les minéralisations au niveau de la localité Kalaâ Bou Diar

Les calcaires compacts à durs renferment une concentration de calamine ($Zn_4Si_2 O_7$) OH_2 et de barytine ($Ba SO_4$).

7. Perméabilité des formations du bassin versant de Zit-Emba

L'étude géologique du bassin versant de Zit-Emba a montré que le dispositif structural qui caractérise les formations correspond à un empilement de nappes de charriage. Celles-ci sont constituées de faciès d'âge et de nature variés. Les manifestations de la tectonique tangentielle (nappes de charriage) et cassante (failles et décrochements) sont bien visibles et démontrées en plusieurs endroits. La diversité lithologique de ces formations et leur aspect tectonique, ont conditionné les phénomènes de ruissellement et les capacités de rétention et ont donné lieu à un éventail de perméabilité varié. Il en résulte donc une dynamique variable de lessivage des roches et une diversité de la nature des éléments chimiques contenus dans les eaux de ruissellement du

bassin versant de Zit-Emba. Ainsi, l'exploitation de l'ensemble des données géologiques de la région a permis de distinguer trois classes de formations ayant des perméabilités différentes :



Légende :

N°	N° Indice	Nom de l'indice	Elément anomal	N°	N° Indice	Nom de l'indice	Elément anomal
01	53/5	ROKNIA-2	Sb (Pb-Zn-As)	11	53/12	Dj.Debar	Sb (Pb-Zn-As)
02	53/4	ROKNIA-2	Sb (Pb-Zn-As)	12	53/13	Dj.Debar	Sb (Pb-Zn-As)
03	53/2	ROKNIA-1	Sb (Pb-Zn-As)	13	53/14	Dj.Debar	Sb (Pb-Zn-As)
04	53/5	Dj.Debar	Kaolin argile B	14	53/15	Dj.Debar	Sb (Pb-Zn-As)
05	53/6	Ain el Ouahch	Sb (Pb-Zn-As)	15	53/16	Dj.Taya	Sb (Pb-Zn-As)
06	53/7	Chabet Ain Bousaid	Sb (Pb-Zn-As)	16	53/17	Kef ain-brahim	Sb (Pb-Zn-As)
07	53/8	Mzara Deboussa	Sb (Pb-Zn-As)	17	54/5	kalaâ bou diar	Sb (Pb-Zn-As)
08	53/9	Chabet Ain Ouahch	Sb (Pb-Zn-As)	18	54/6	kalaâ bou diar	Sb (Pb-Zn-As)
09	53/10	Dj.El Grar	Kaolin	19	54/7	kalaâ bou diar	Sb (Pb-Zn-As)
10	53/11	Dj.Debar	Sb (Pb-Zn-As)				

Fig. N°II.04 : Extrait De La Carte Métallogénique De La Région De Skikda A L'échelle 1/100 000

Etablie par EREM centre de recherche et développement Département géologie et métallogénie

7.1. Classe des formations à perméabilité élevée

Cette classe représente **42%** de la superficie totale du bassin versant. On distingue les formations suivantes :

- **Les formations alluviales du cours d'eau principal et ses différentes chaâbas**

Ces formations correspondent à des dépôts quaternaires anciens et récents qui se développent de parts et d'autres du cours d'eau principal et ses différentes chaâbas. Ce sont des dépôts alluvionnaires détritiques de granulométrie et de dimensions variables. Ils sont très faiblement ou non consolidés et leur perméabilité est élevée. Ces caractéristiques permettent la création des nappes phréatiques. Cette formation représente **13%** de la superficie totale du bassin versant.

- **Les formations carbonatées de la plate-forme néritique constantinoise**

Ces formations se développent au niveau de Djebel Debar, Djebel Garar, Djebel Taya, Hammam Ouled Ali et Douar Bou Zitoun. Elles sont constituées d'une série carbonatée néritique épaisse, faillée et fracturée. Ces formations présentent souvent en affleurement et sur tout en profondeur des formes d'érosion et de dissolution de la roche donnant lieu à des formes karstiques. Il en résulte donc une perméabilité de fissure et développement d'un réseau souterrain. De telle perméabilité favorise la présence possible d'aquifère karstique potentiel. Cette formation représente **10%** de la superficie totale du bassin versant.

- **Les affleurements gréseux de la nappe numidienne**

Les formations de grès numidiens occupent des surfaces relativement importantes de l'aire d'étude (**19%**) et se développent au niveau de Djebel Bouaslouge, Djebel Menchoura. Elles sont constituées de bancs épais faillés et fracturés, elles sont donc perméables. Ces formations laissent s'infiltrer facilement les eaux de pluie, et du fait qu'elles reposent sur les argiles de base lorsque la série est normale, elles constituent des réservoirs d'eau non négligeable. Les grès numidiens sont des formations dont les sources contribuent à l'alimentation des différentes chaâbas et le cours d'eau principal du bassin versant de Zit-Emba.

7.2. Classe des formations à perméabilité moyenne

Dans cette classe on regroupe les formations qui constituent les nappes de la dorsale kabyle (dorsale interne, médiane et externe) et celles qui constituent les flyschs de type Guerrouch, flysch de Penthivère et flysch Massylien. La lithologie est très variée : Grès, conglomérats, calcaire, calcaire marneux, calcaire argileux, marnes et argiles schisteuses et nouveaux microbréchiques. Ces formations qui présentent une diversité lithologique avec des épaisseurs

variables favorisent souvent un ruissellement diffus fort à moyen, accentué surtout par les pentes fortes dans certaines zones à relief contrasté. Les zones faillées et les zones d'altération superficielles sont localement plus perméables. Du fait de l'hétérogénéité lithologique de ces formations, de leur comportement structural et le style de la tectonique qui les affecte, les perméabilités sont fortement différenciées et changent d'un endroit à un autre et d'une formation à une autre. Cette formation représente **41%** de la superficie totale du bassin versant.

7.3. Classe des formations à perméabilité faible à très faible

On regroupe dans cette classe les formations marneuses et argileuses de la nappe épi-tellienne de Djebel Bou Sba et de Hammam Ouled Ali ainsi que les argiles de la nappe numidienne. Ces formations présentent des épaisseurs considérables et occupent des surfaces moyennement importantes de l'aire d'étude **17%**. Ce sont des formations de faible perméabilité jouant ainsi le rôle de substratum imperméable permettant le ruissellement des eaux de surface. Il en résulte des capacités d'accumulation limitée et un écoulement direct et facile en surface. Les eaux s'écoulent donc en surface dans le fond des vallons car l'imperméabilisation des sols, aussi bien sur les glacis que dans les vallons, limite l'infiltration.

8. Conclusion :

La géologie du bassin versant de la région d'étude présente des anomalies métallogéniques pouvant être un réservoir l'ETM. Ces gisements sont situés dans la partie méridionale du bassin versant.

Géographiquement, l'influence des dépôts poussiéreux des gisements de mercure de Ras El Ma, Ismaïl, Guenicha, Mra-Sma I, Mra-Sma II et koudiat Sma, situés au Nord-ouest du bassin versant, ne sont distant du barrage de Zit-Emba que de quelques km (8 à 13 km) à vol d'oiseau sur une longueur de frontière de 26 km.

Géologiquement les travaux de recherche et de prospections effectués par les soviétiques entre 1966 et 1970 sur une vaste superficie plus de 90 Km² de la pente Nord de la chaîne Numidique ont permis de délimiter la zone mercurielle, qui forme une bande longue de 24 Km et large de 1 à 2.5 Km, qui traverse les terrains du secteur d'étude, qui a permis de découvrir les gisements de mercure nommé ci-dessus et de mettre en évidence 27 indices mercuriels, polymétalliques.

La majeure partie du bassin versant est occupée par des terrains à perméabilité élevée (42%) et moyenne perméabilité (41%) de la superficie totale ce qui influence les conditions d'écoulement.

Ces conditions naturelles peuvent influencer la qualité chimique des eaux d'Oued El-Hammam, et imposer un faciès chimique qu'il faut mettre en évidence à l'aide d'une étude chimique.

Chapitre 03 :

Cadre Hydroclimatologique

1. Introduction

L'Algérie se subdivise du Nord au Sud, en cinq zones bioclimatiques en relation avec le relief et les précipitations fig. N°III-01(A) [COTE, 1998a]. La wilaya de Skikda appartient au domaine bioclimatique humide à subhumide fig. N°III-1(B). L'étage humide couvre toute la zone occidentale montagneuse, ainsi que les sommets à l'Est et au Sud avec une variante douce ou tempérée au littoral et froide à l'intérieur. L'étage subhumide couvre le reste de la wilaya, notamment les plaines. La variante chaude ou douce se localise sur le littoral et la variante tempérée ou froide à l'intérieur [DPAT, 2013].

La wilaya de Skikda est sous l'influence du climat marin, les précipitations accusent un retard des maxima au cours de l'année. Cette influence se marque moins en hiver qu'en été, puisque le minima des précipitations n'accuse pas de retard au mois de janvier, ce qui explique facilement l'opposition thermique entre le versant Nord et le versant sud [DPAT, 2013].

Les températures à Skikda ville sont douces en hiver et chaudes en été, cela est valable pour le littoral où les amplitudes thermiques sont faibles. Dans les montagnes, elles sont fraîches.

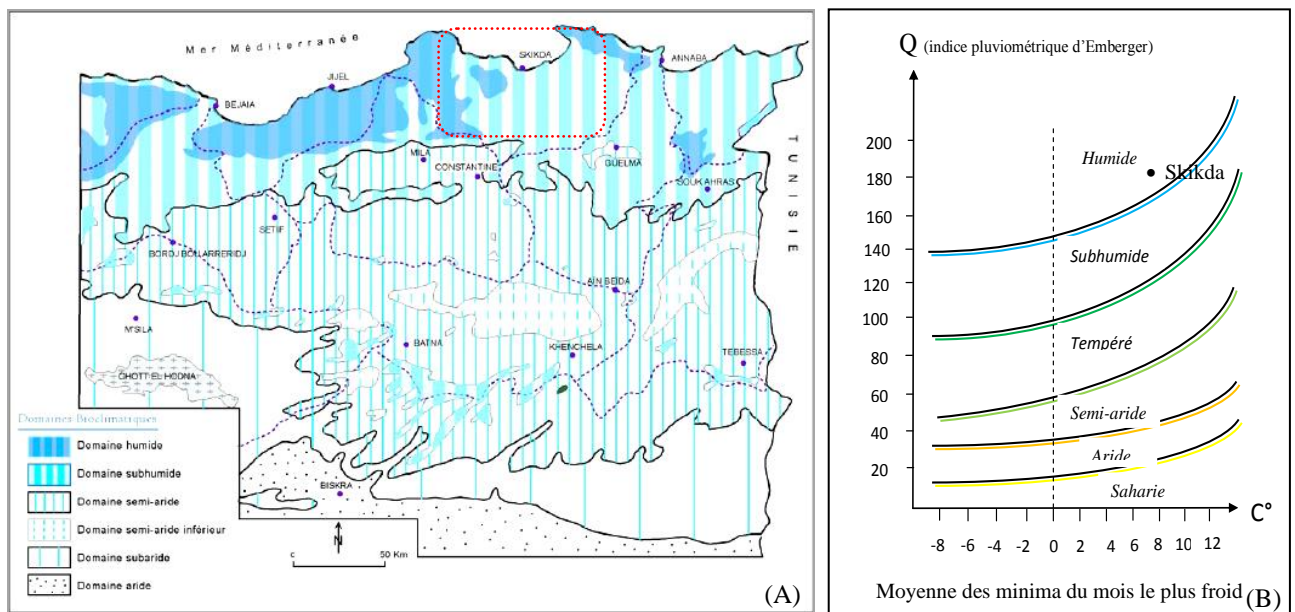


Figure N°III-01 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien(A) (Côte, 1998a) In Mebarki, 2005 et Climagramme d'Emberger (B).

2. Stations de caractérisations du climat de la zone d'étude

Il existe plusieurs stations météorologiques dans l'environnement du bassin versant de la zone d'étude qui vont nous permettre de caractériser la climatologie, entre autre la station de Bekkouche Lakhdar, celles de Ain Charchar, Berrahal, Zit-Emba, Bouâti-Mahmoud ainsi que celle de Azzaba. Mais vu la discontinuité des données enregistrées au niveau de ces stations, seules celles de la station hydroclimatologique de Bouâti-M vont être utilisées pour la caractérisation du climat de cette zone d'étude car elle se trouve au centre du bassin versant et

présente moins de lacune de données, cette station est gérée par l'agence nationale des ressources hydriques (l'ANRH).

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures sur une période de 30 ans d'observations s'étalant depuis l'an 1980 à l'an 2010. Cette série est la plus récente et ne présente pas de lacunes.

3. Aspect du climat de la zone d'étude

Le climat de la zone d'étude est conditionné par sa situation géographique, l'influence de la mer Méditerranée d'une part, et du relief d'autre part. Le bassin versant de Oued El Hammam qui alimente le barrage à un climat subtropical caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers relativement doux et pluvieux [Vnoukov et Kovalev, 2000 ; Harrat, 2013].

4. Les précipitations

La pluie est un facteur climatique très important pour la caractérisation du climat, elle conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. La région d'étude est considérée parmi les régions les plus arrosées avec une moyenne interannuelle de l'ordre de 700 mm (Fig. N°III-02). Elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à une autre [Belhadj, 2007; Harrat, 2013].

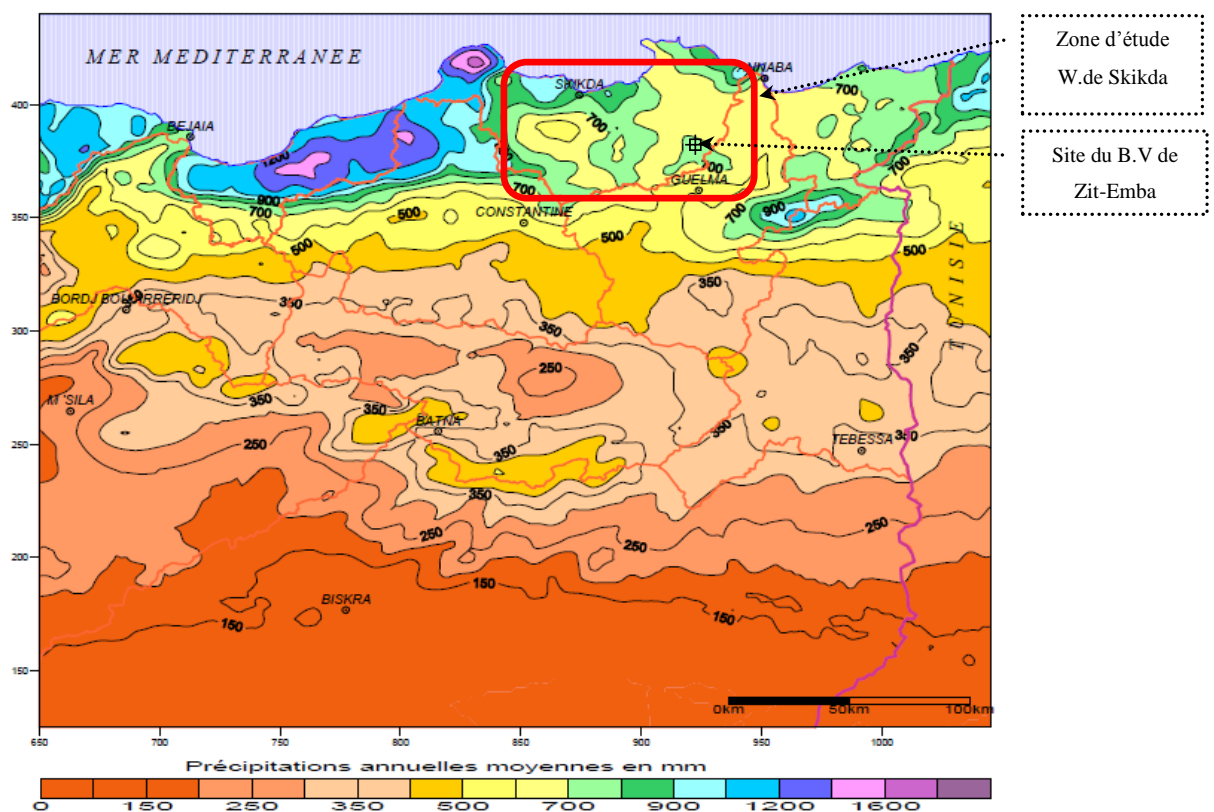


Figure N°III-02: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (Établie d'après A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1^{er} septembre 1968 au 31 août 1989).

4.1. Les Pluies moyennes mensuelles

La répartition mensuelle des précipitations est inégale, la majeure partie (70%) tombe pendant la période la plus froide de Novembre à Mars. Le mois le plus pluvieux est le mois de décembre, sa pluviométrie peut atteindre parfois les 169 mm (Tableau N°III-01 et Figure N°III-03).

La pluviométrie moyenne annuelle obtenue du bassin d'Oued El Hammam selon la dernière étude établie par l'ANRH est de l'ordre de 688 mm [ANRH, 2015].

Tableau N°III-01 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles de 30 ans.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Total
Pluie moyenne mensuelle (mm)	37	56.7	84.8	116.2	109.5	87.8	76.6	58.9	38.2	12.9	2.3	7.1	688
%	5.37	8.24	12.32	16.89	15.92	12.76	11.13	8.56	5.55	1.88	0.35	1.03	100%

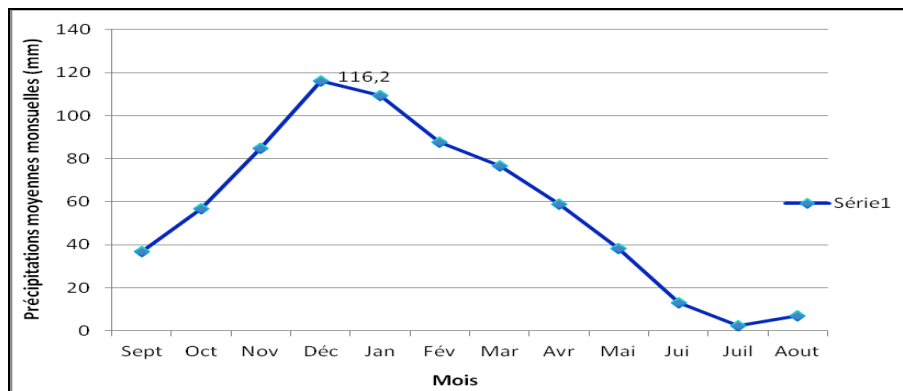


Figure N°III-03: Précipitations moyennes mensuelles de 30 ans.

Selon l'étude de la répartition spatiale des précipitations moyennes mensuelles de l'Algérie du Nord établie par un modèle hydrologique (sous la direction de Laborde J-P) traduite notamment par la construction de grilles de pluies mensuelles sur une série de pluie « normale » (de septembre 1965 à août 1995) qui donne pratiquement la même moyenne figure N°III-04.

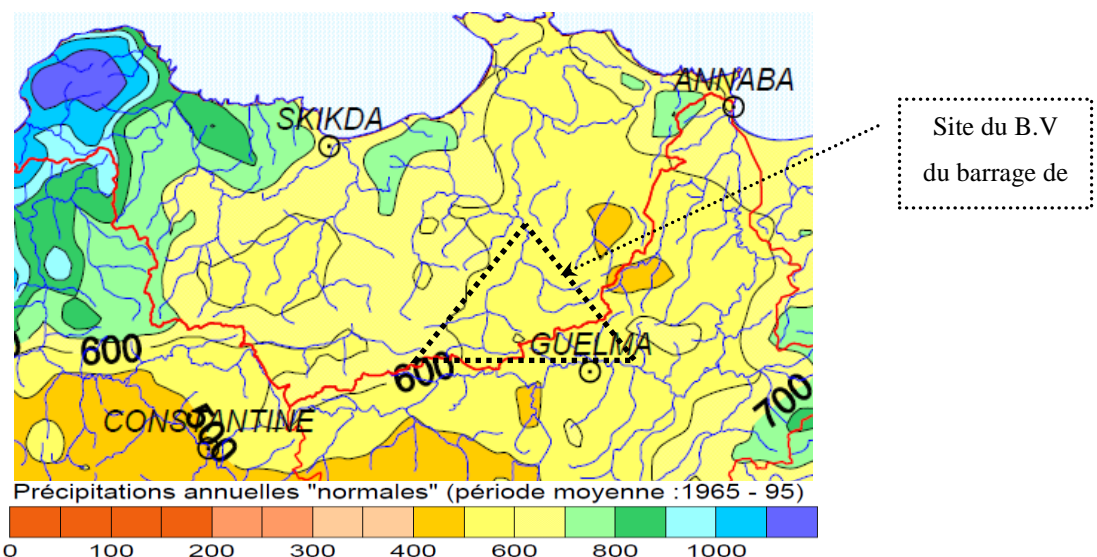


Figure N°III-04 : Précipitations annuelles médianes "normales" (1965/66 - 1994/95) in Mebarki, 2005.

4.2. Les Pluies moyennes annuelles

Elles sont assez importantes, elles varient entre 444 mm et 971 mm (Figure N°III-02). La moyenne annuelle de 30 ans d'observation égale 708.46 mm (Figure N°III-05 et Tableau III-02).

Tableau N°III-02 : Pluies annuelles de 30 ans d'observations entre 1980 et 2010.

Années 1980 à 1990	1980/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	1989/90
Pluies moyenne annuelle (mm)	670	705	661	951	986	486	971	444	613	545
Entre les Années 1990 et 2000	1990/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	1999/00
Pluies moyenne annuelle (mm)	969	863	834	572	633	799	380	890	813	599
Entre les Années 2000 et 2010	2000/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	2009/10
Pluies moyenne annuelle (mm)	401,3	889,7	815,8	862,5	620,6	621,9	552	688,8	639,8	777,5

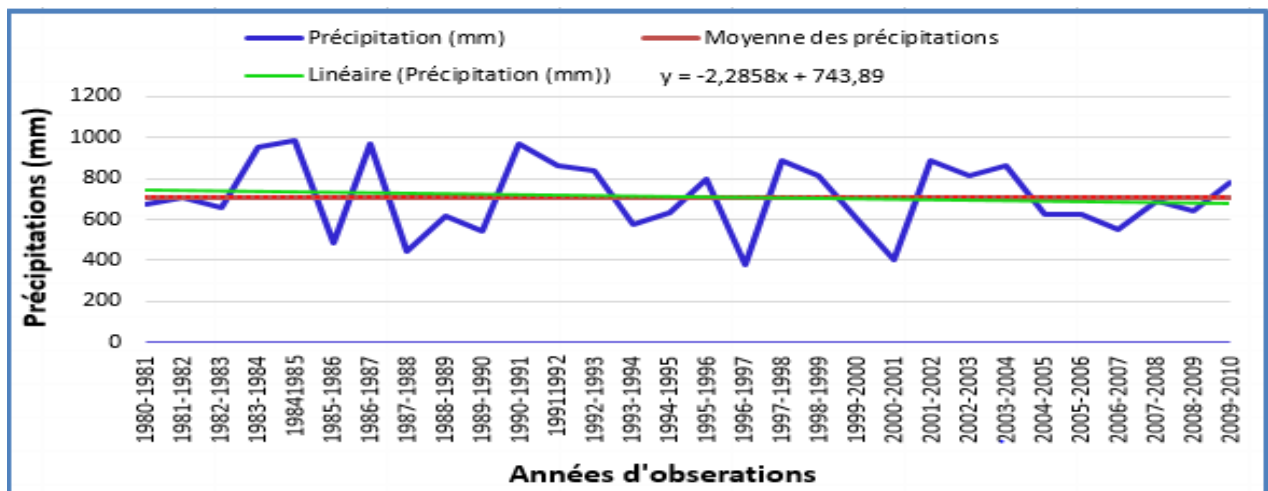


Figure N°III-05: Evolution annuelle des précipitations entre 1980/81 et 2009/2010.

5. La Température

La température est l'un des éléments climatiques autre que la pluviométrie, qui a un rôle très important, influençant le climat. L'étude de l'évolution de la température dans le temps a une grande importance à l'hydrologie et l'hydrochimie du fait qu'elle constitue le paramètre principal qui conditionne le phénomène d'évaporation. Par conséquent, la concentration (ou la dilution) a une grande influence sur le bilan hydrique et la chimie de l'eau.

5.1. Variation de la température

L'analyse des données montre que la température moyenne saisonnière varie entre 10°C en hiver et 25.7°C en été (Figure N°III-06). Par contre la moyenne annuelle varie entre 17°C à 18°C (Fig. N°III-07). Le mois le plus froid est janvier dont la température moyenne est 9,1°C à 10,6°C, parfois la température tombe jusqu'à (-3°C). Le mois d'été le plus chaud est le mois d'août, avec

une température moyenne de 23,9°C à 25,7°C, (Tableau N°III-03). La température extrême atteint dans certaines années 46.3°C à 47.6°C.

Tableau N°III-03 : Température moyennes mensuelles de 30 ans d'observations.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Température °C	23.27	20.22	15.70	12.60	11.64	12.07	13.57	15.52	18.80	22.17	25.13	25.7

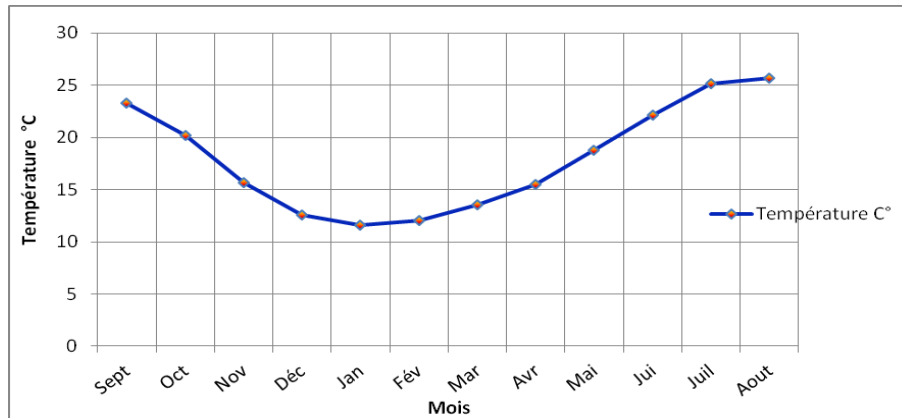


Figure N°III-06 : Température moyennes mensuelles de 30 ans.

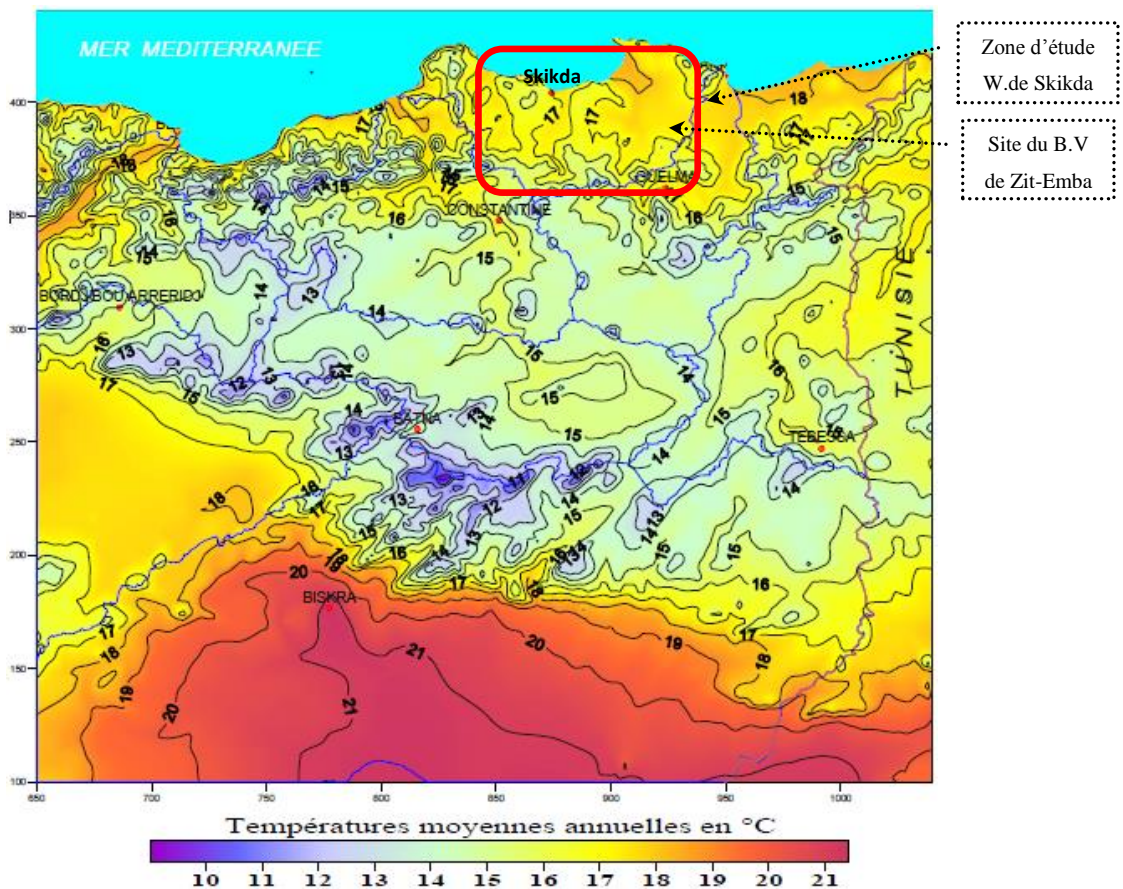


Figure N°III-07 : Températures moyennes annuelles de l'Est algérien. In Mebarki, 2005.

5.2. Diagramme Ombro-thermique

Dans le but de bien préciser et de confirmer la durée des deux saisons humide et sèche, nous avons utilisé le diagramme ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls (1953). Il permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il utilise les deux principaux paramètres climatiques la température et les précipitations, représentées en abscisse par les mois de l'année, en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C. Avec une échelle de $P=2T$.

L'utilisation des données pluviométriques et thermiques de la zone d'étude permet de tracer la courbe ombro-thermique (Figure N°III-08) qui met en évidence la durée et l'intensité de deux périodes :

- L'une de sécheresse : s'étalant entre le mois de Mai et le mois de Septembre.
- L'autre humide : s'étalant du mois d'Octobre au mois de Mai.

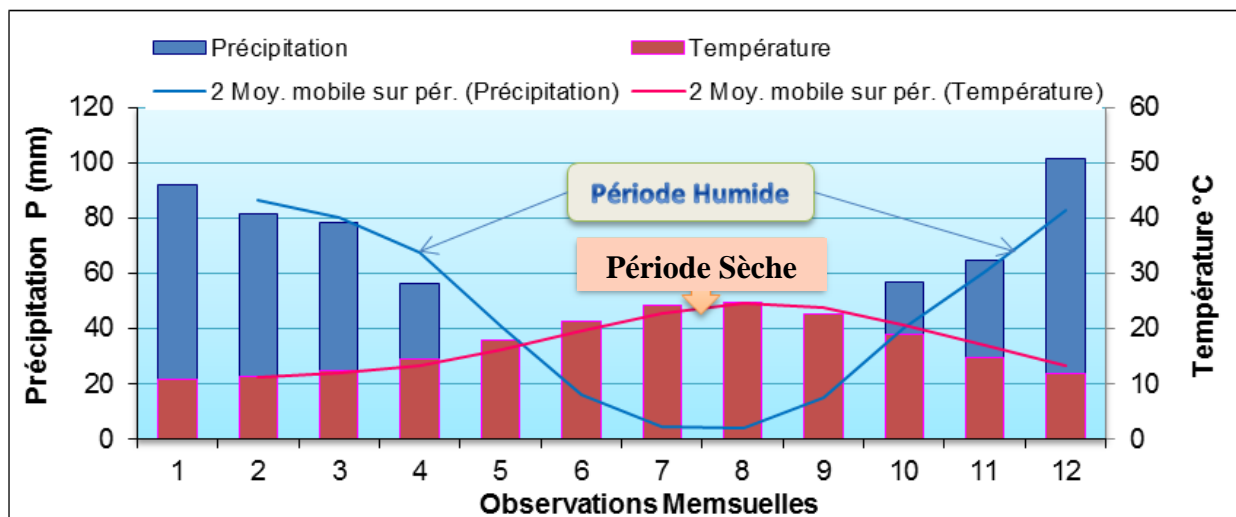


Figure N°III-08 : Diagramme Ombro-thermique.

6. L'humidité

L'humidité relative de l'air est plus élevée en hiver qu'en été atteignant un maximum de 74.70% en mois de janvier, le taux d'humidité moyen au cours de l'année est environ 70% (Fig. III-09).

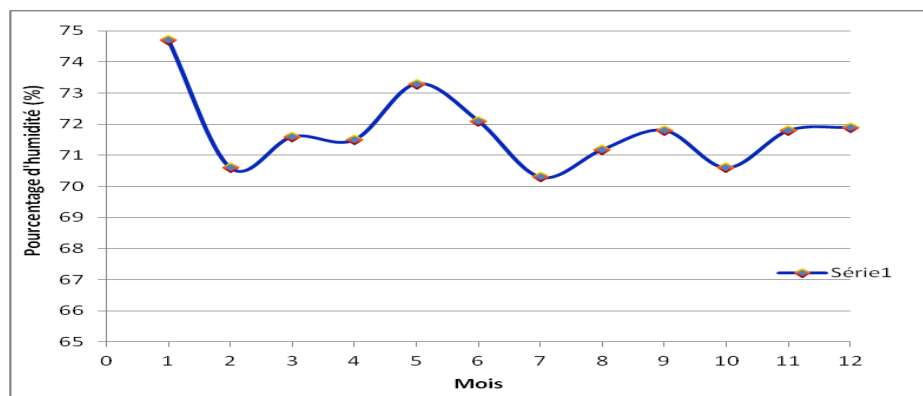


Figure N°III-09 : Humidité relative moyennes mensuelles.

7. Le vent

Le vent est un facteur important du climat, il influe principalement sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année.

La dispersion des polluants atmosphériques dégagés par les usines des environs de la zone d'étude sont colportés sous l'action des vents. Ce dernier peut avoir une grande influence sur l'accumulation de ces polluants dans l'air, l'eau, le sol et les plantes. Cette variation par rapport à la source de pollution et en fonction de l'influence des vents dominants et de la présence ou l'absence d'écrans naturels susceptibles de jouer le rôle de brise pollution. En générale, la connaissance de la vitesse et de la direction des vents est primordiale dans une telle étude.

D'après les données de la période d'observation, les vents dominants dans la région sont ceux du Nord et d'Ouest-Est avec une vitesse assez constante au cours de l'année, entre 1.9 et 2.5 m/s (Figure. N°III-10), avec un maximum en hiver de 27 m/s à 40 m/s et un minimum en été [Vnoukov et Kovalev, 2000].

La réitération moyenne (sur plusieurs années) des directions du vent aux différentes heures de la journée est reflétée au tableau N°III-04.

Tableau N°III-04 : Directions du vent aux différentes heures de la journée.

Désignation	Directions du vent							
	Nord	Nord/Est	Est	Sud/Est	Sud	Sud/Ouest	Ouest	Nord/Ouest
7 heures	8	8	1	8	28	30	7	15
13 heures	28	27	2	4	9	6	5	22
18 heures	14	13	2	28	15	5	3	22

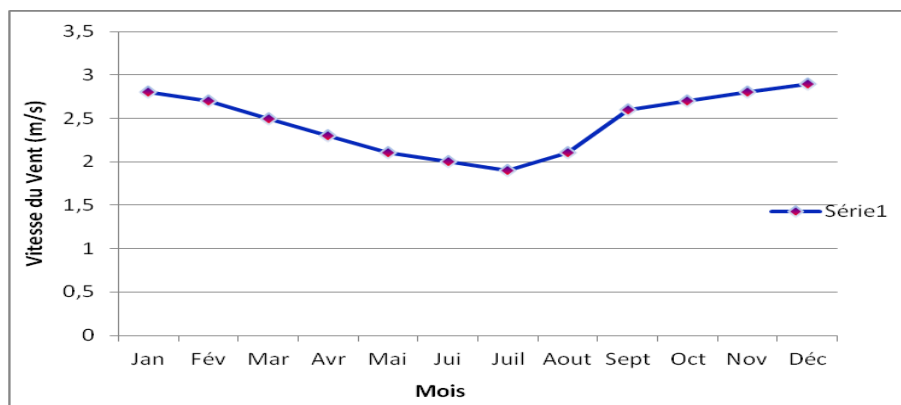


Figure N°III-10 : Vitesse moyennes mensuelles du vent.

8. La grêle

La grêle est un type de précipitation qui se forme dans des cumulonimbus particulièrement forts lorsque l'air est très humide et que les courants ascendants sont puissants. Elle prend la forme de billes de glace (grêlons) dont le diamètre peut varier de quelques millimètres à plusieurs dizaines

de centimètres mais dont le diamètre habituel est entre 5 et 50 millimètres [OMM, 2011 ; NWS, 2010]. Dans la zone d'étude le plus grand nombre de jours de grêle est observé de Décembre à Mars, pendant l'hiver et le printemps. Le maximum étant observé en Janvier et pratiquement nul du mois de Mai au mois d'Août (Figure N°III-11), ces valeurs sont la moyenne de 30 ans d'observation.

Le nombre moyen de jours de grêle est représenté au Tableau N°III-05.

Tableau N°III-05 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de grêle.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Année
Nombre de jours	0.1	0	0.2	0.6	1.0	0.8	0.7	0.6	0.2	0.1	0	0	4.3

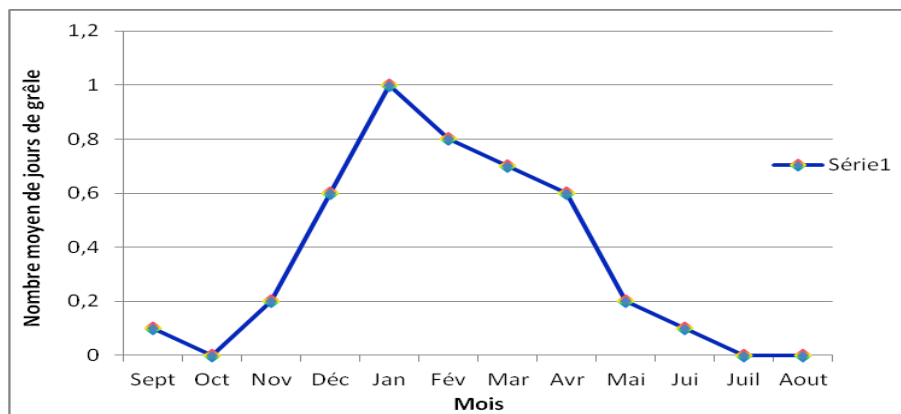


Figure N°III-11 : Le nombre moyen de jours mensuels de grêle.

9. La gelée blanche

Vu que la zone d'étude se trouve sur le littoral donc soumise à l'influence maritime, et par conséquent la gelée blanche est pratiquement inexistante à l'exception d'une fréquence de retour moyenne de 1 à 2 jour/an dans les mois de Décembre, Janvier ou Février où elle est très faible et ne dure quelques heures (Tableau N°III-06 et Figure N°III-12).

Tableau N°III-06 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de gelée.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Année
Nombre de jours	0.0	0.0	0.3	1.5	2.7	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6

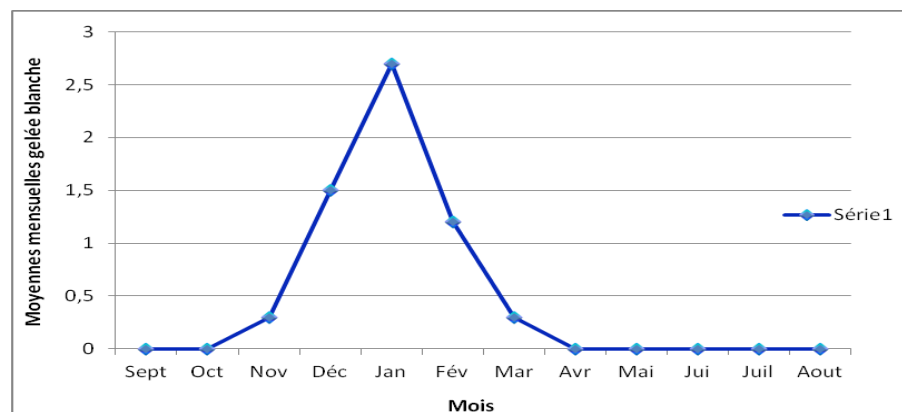


Figure N°III-12 : Le nombre moyen de jours mensuels de la gelée blanche.

10. Le sirocco (vent du Sud)

Le sirocco est un vent chaud et sec qui intervient surtout en été de direction sud-nord [Seltzer, 1946]. Il est moins fréquent qu'à l'intérieur du pays. Cependant, il peut se manifester sur toute la région d'étude surtout en été. Il constitue un des facteurs qui influent sur la diminution des récoltes. Ces vents sont généralement chauds et ils font baisser le degré hygrométrique (humidité relative) qui peut descendre jusqu'à quelque %.

On trouve sur le tableau N°III-07 le nombre moyen de jours de sirocco, ces résultats sont la moyenne de 30 ans d'observation.

Tableau N°III-07 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de sirocco.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Année
Nombre de jours	3.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.5	1.9	3.8	5.1	17.1

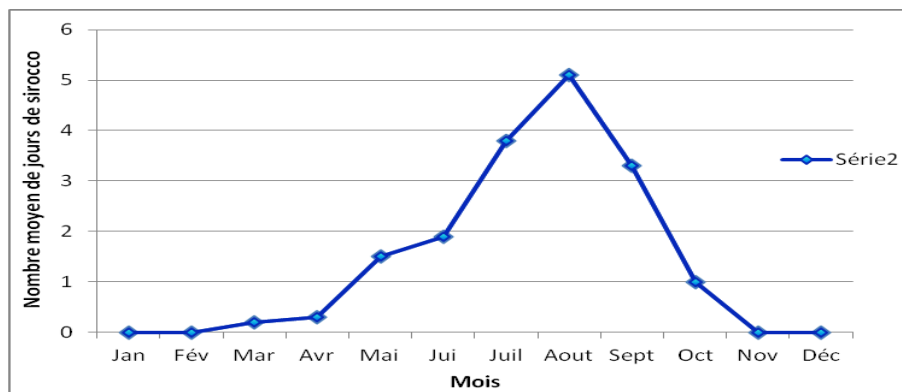


Figure N°III-13 : Le nombre moyen de jours mensuels de sirocco.

11. Le brouillard

Le brouillard est surtout fréquent sur le littoral où il est observé durant toute l'année, il est dû à la présence de gouttelettes d'eaux dans l'atmosphère qui diminuent la visibilité horizontale à moins de 1 km (Tableau N°III-08 et figure N°III-14).

Tableau N°III-08 : Moyennes mensuelles de 30 ans d'observation de brouillard.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	Année
Nombre de jours	0.8	0.7	0.6	0.2	1.1	0.8	0.7	1.2	1.5	1.2	1.6	1.2	11.8

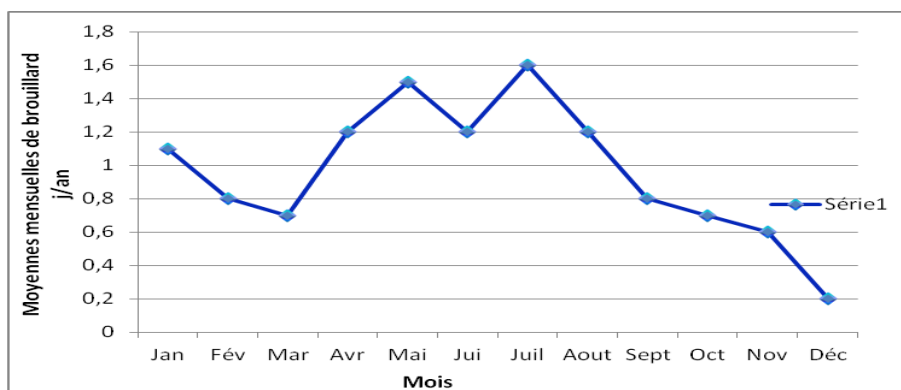


Figure N°III-14 : Le nombre moyen de jours mensuels de brouillard.

12. L'évapotranspiration (ET)

12.1. Introduction

Le retour de l'eau à l'atmosphère peut se faire de différentes manières, soit directement par évaporation à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, cours d'eau, etc.), soit le plus souvent à partir d'un sol ou par l'intermédiaire des végétaux. On parle dans ce deuxième cas d'évapotranspiration. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, etc. L'évapotranspiration, elle, dépend en plus du couvert végétal et de son stade de développement ; Sa mesure en est rendue d'autant plus difficile.

12.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est l'ET qui correspond à la double hypothèse du maintien du taux d'humidité du sol à une valeur très voisine de la capacité de rétention et d'un développement de la culture en pleine croissance.

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise différentes méthodes basées sur des variables climatiques, cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et le type de climat de la région d'études. Les quelques formules empiriques qu'on utilise sont celles de :

- 1- Formule de BLANEY et CRIDDLE (U.S.A 1945) modifiée par la FAO en zones arides et Sub-arides ;
- 2-La Méthode de THORNTHWAIT (1944–1948) pour les zones semi arides et semi pluvieuses ;
- 3- La formule de TURC (1953) en France pour les zones humides et sub-humides.

Les trois méthodes donnent des valeurs inégales du fait que chaque formule a été élaborée dans une région différente. La formule de TURC, qui dérive en la simplifiant de la formule de PENMANN, est la plus convenable pour l'estimation de l'ETP dans la région de Skikda qui appartient à l'étage bioclimatique humide.

$$ETP = 0.4 \left[\frac{t}{t + 15} \right] (I_g + 50) K \text{ mm/mois.}$$

Cette formule a été établie suite à des expériences faites sur des lysimètres installés à Versailles en France et de l'analyse du bilan hydraulique pour de multiples régions dans le monde.

Avec : ETP: l'évapotranspiration mensuelle exprimée en mm / mois.

T: température moyenne mensuelle de l'air sous abris en C°.

K : un coefficient égal à 1 si l'humidité relative hr est supérieure à 50 % (généralement

le cas sous nos climats) ; sinon $K = 1 + \frac{50 - hr}{70}$.

I_g : valeur moyenne mensuelle de la radiation solaire globale exprimée en $\text{cal cm}^2 / \text{jour}$.

$$I_g = I_gA (0.18 + 0.62 h/H).$$

Avec : h : Durée d'insolation journalière.

H : Durée astronomique moyenne du jour en heure.

I_gA : Radiation maximale théorique donnée par les tableaux de ANGOT en cal /cm^2 jour avec transparence atmosphérique = 1

Les résultats de l'ETP obtenus des calculs sont reportés sur le Tableau N° III-09.

Tableau N°III-09 : Calcul de l'ETP par la formule de TURC.

Mois Facteurs climatique	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
t °C	23.27	20.22	15.70	12.60	11.64	12.07	13.57	15.52	18.80	22.17	25.13	25.7
t / (t+15)	0.608	0.574	0.511	0.456	0.436	0.445	0.475	0.508	0.573	0.596	0.626	0.631
IgA	742	586	446	381	422	547	710	853	947	981	957	872
H	373	350	308	302	311	307	371	393	437	437	444	419
h	8.36	7.85	6.92	6.79	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40
h/H	0.0224	0.0224	0.0224	0.0224	0.0224	0.0223	0.0225	0.0225	0.0224	0.0224	0.0225	0.0224
Ig	143.86	113.61	86.47	73.87	81.82	106.02	137.70	165.43	183.61	190.20	185.61	169.07
ETP mm/Mois	47.14	37.56	27.89	22.59	22.98	27.77	35.66	43.77	53.54	57.26	58.996	55.29

13. Bilan hydrologique

13.1. Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAIT

Le bilan hydrologique selon la méthode Thornthwait fait appel à une définition de réserve facilement utilisable par les plantes (RFU).

La RFU est le volume d'eau emmagasiné dans le sol entre le point de flétrissement (RFU vide) et le point de rétention (RFU max) utilisé par les plantes, elle est calculée par la formule suivante :

$$RFU = 3000 .h .Hr .da . (m^3/ha)$$

Avec : Hr : capacité de rétention dans la région, soit 23% pour notre région.

da : Densité apparente du sol – da = 1,3 g/cm^3

h : Profondeur d'enracinement des cultures. Dans notre cas on a pris h = 1 m, à cause de l'arboriculture prédominante dans la région.

D'où $RFU = 3000 \times 1 \times 0,23 \times 1,3 = 897 \text{ m}^3/\text{ha}$ soit $89.7\text{mm} \approx 90 \text{ mm}$.

L'application d'un tel calcul a permis d'établir le bilan résumé dans le Tableau N°III-10.

Tableau N°III-10 : Bilan simplifié selon THORNTHWAITE.

Mois Facteurs climatique	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Moy et Totaux
T °C	23.27	20.22	15.70	12.60	11.64	12.07	13.57	15.52	18.80	22.17	25.13	25.7	18.03
P (mm)	37	56.7	84.8	116.2	109.5	87.8	76.6	58.9	38.2	12.9	2.3	7.1	688
ETP (mm)	47	38	28	23	23	28	36	44	54	57	59	55	492
P-ETP (mm)	-10	18.7	56.8	93.2	86.5	59.8	40.6	14.9	-15.8	-44.1	-56.7	-47.9	196
RFU (mm)	0	18.7	75.5	90	90	90	90	90	74.2	30.1	0	0	-
ETR (mm)	37	38	28	23	23	28	36	44	54	57	32.4	7.1	407.5
Déficit Pluvio (mm)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.6	47.9	84.5
EXCEDENT (mm)	0	0	0	78.7	86.5	59.8	40.6	14.9	0	0	0	0	280.5

Remarque : Selon certains auteurs comme JP.LABORDE, le bilan évaporométrique de Thornthwaite peut être également utilisé avec l'estimation de l'ETP par la formule de Turc qui donne des résultats satisfaisants sous nos climats [J.P. LABORDE, Edition 2000].

13.2. Interprétation du bilan évaporométrique

On remarque que le déficit agricole correspondant à la période de juillet à septembre avec un maximum de 47mm pendant le mois d'Août. Par contre et à partir du mois de décembre jusqu'au mois de Avril, on a une période excédentaire qui correspond à la période de la reconstitution des réserves. L'écoulement débute au mois de décembre et prend fin au mois de juin.

13.3. Calcul du bilan hydrologique

Le bilan hydrologique est estimé par une formule très simple qui permet d'évaluer le ruissellement et l'infiltration : $P = ETR + R + I \pm SW$

Avec : P = Précipitation moyenne annuelle en mm ;

ETR = Evapotranspiration réelle en mm ;

R = Ruissellement moyen en mm ;

I = Infiltration en mm ;

SW = Variation des réserves en mm (cette grandeur est supposée négligeable).

13.3.1. Calcul de l'ETR

13.3.1.1. Formule de Turc

La formule de TURC est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et de température moyenne annuelle.

$$ETR = P [(0,9 + P^2/L^2)]^{1/2}$$

Avec : $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$

T = Température moyenne annuelle °C

Ceci implique : $L = 300 + 25 (18,03) + 0,05 (18,03)^3 = 1043,81$

$ETR = 708 [(0,9 + (708/1043,81)^2)]^{1/2} = 962,88 \text{ mm}$

13.3.1.2. Formule de Coutagne

La formule de Coutagne n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition suivante : $1/8 \lambda < P < 1/2 \lambda$ avec un $ETR = P - \lambda P^2$ et P (en m)

$\lambda = 1/(0,84 + 0,14 T)$ avec T : température moyenne annuelle °C ;

$\lambda = 1/(0,84 + 0,14 \times 18,03) = 0,297$.

La vérification de la condition d'application de cette formule de calcul de l'ETR ($0,037 < P < 0,148$) est non satisfaite. En conséquence le calcul de l'ETR ne peut être effectué.

13.3.1.3. Formule de Thornthwait

L'application du bilan simplifié selon de Thornthwait a abouti à un ETR égale a 407.5 mm.

Nous jugeons que l'ETR calculé par le bilan de Thornthwait est le plus proche de la réalité car l'ETR calculé par la formule de Turc est supérieure aux précipitations.

13.4. Calcul du ruissellement

La lame d'eau ruisselée sera calculée par la formule empirique de TIXERONT–BERKALOFF, ce qui permet le calcul de la lame d'eau infiltrée. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$R = P^3/3 \quad \text{si } P > 600 \text{ mm}$$

$$R = P^3/3 \text{ ETP} \quad \text{si } P < 600 \text{ mm}$$

Avec : R, P et ETP (en m). Soit $R = (0,708)^2 / 3 = 0,167 \text{ m} = 167 \text{ mm}$

Le ruissellement obtenu est de l'ordre 167 mm soit 23,58 % des précipitations moyennes annuelles.

13.5. Calcul de l'infiltration

$$E_x = P - \text{ETR} = 708 - 407.5 = 300,6 \text{ mm}$$

$$E_x = R + I \quad \text{d'où l'infiltration } I = E_x - R$$

$$I = 300,5 - 167 = 133,5 \text{ mm} \quad \text{Soit } 18,85 \% \text{ des précipitations moyennes annuelles.}$$

14. Variation du volume de la retenue du barrage

L'examen des données relatives au volume de la retenue du barrage Zit Emba, montre que ce dernier a enregistré son bas niveau (92.126 hm^3) durant le mois d'octobre 2012 et son niveau le plus élevé (120.079 hm^3) durant le mois de janvier 2005 avec une moyenne de 108.913 hm^3 . L'évolution à long terme exprimé par la droite de tendance, montre une diminution du volume d'eau au niveau du barrage. Ceci est en liaison avec la diminution des précipitations exprimées par une pente négative de la droite de tendance et par la sollicitation de l'eau du barrage, de plus en plus importante pour les différents usages : agricole, AEP et industrie (Figure N°III-15).

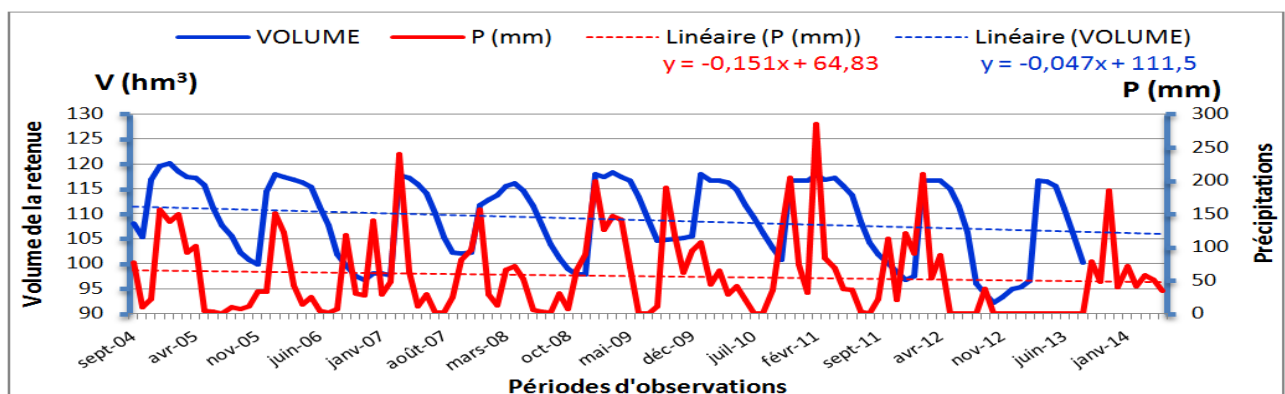


Figure N°III-15 : Liaison volume barrage-Précipitations.

15. Milieu physique

15.1. Délimitation de la zone d'étude

La superficie du bassin versant du barrage Zit-Emba est de 485 km². Le bassin a une forme compacte triangulaire et comprend la branche Est de l'Oued Hammam (2/5) de la superficie générale, et la branche Ouest de l'Oued Mouguel (3/5) de la superficie générale (Fig. N°III-16).

La digue est implantée sur les terrains de la wilaya de Skikda et la majeure partie des eaux sont stockées sur les terrains de la wilaya de Guelma.

Les côtes de prise d'eau varient de 1200 m en tête jusqu'à 50 m dans le site de l'aménagement. Quoique la majeure partie du bassin (68%) soit située entre les côtes 600 et 200 m, la hauteur moyenne du bassin est de 376 m, son réseau hydrographique est bien développé. La vallée du fleuve est trapézoïdale, les versants de la vallée sont abrupts, envahis de buissons, en grande partie en herbes.



Figure N°III-16: Carte réseau hydrographique du bassin versant de Zit-Emba à l'échelle 1/200000 (In ANRH 2015).

15.2. L'hydrographie de la zone d'étude

Le secteur étudié est jalonné par un réseau hydrographique très développé (Fig. N°III-16).

L'hydrographie de la région Bekkouche Lakhdar est caractérisée, principalement, par Oued El-Hammam qui prend sa source à partir des sources thermales d'Ouled Ali sur le versant nord du tell. Au début, il se dirige vers l'ouest, en suivant le pli anticlinal en altitude, ensuite il tourne au nord, en rejoignant l'oued Emchekel près de la bourgade d'Ain Charchar et forme ainsi l'Oued Kebir (Ouest). Les deux oueds sont de direction sud nord, le site du barrage est situé à 5 km plus haut que le confluent de ces deux fleuves.

Pour étudier le régime hydrique de l'Oued El-Hammam, une station de jaugeage Zit-Emba a été installée à 02 km en amont du site le 21/02/1969.

Cette station avait pour tâche l'étude du régime chimique et thermique de l'oued El-Hammam ainsi que son régime d'écoulement. Mais nous n'avons trouvé aucun document sur le chimisme de cet Oued ni sur la turbidité sauf les différents jaugeages effectués au cours des années. Nous pensons que l'étude chimique n'a pas été réalisée car le barrage était destiné à l'irrigation et le problème de pollution inexistant pendant ce temps.

Remarque :

En dépit de l'importance de la surface drainée par l'Oued Mouguer qui occupe les 3/5 de la superficie totale, nous avons préféré suivre l'évolution de la qualité d'Oued El-Hammam qui occupe uniquement les 2/5 de la superficie du bassin versant, pour les raisons suivantes :

- Ecoulement non annuel d'Oued Mouguer ;
- Inexistence de sources naturelles disposant d'un débit important ;
- Assèchement de l'oued durant la période estivale ;
- Absence de sources de pollution sur la partie Ouest du bassin versant (ni rejets industriels, ni usés ni thermales).

15.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Zit-Emba

L'utilisation des caractéristiques morphométriques du bassin versant a pour but de caractériser le comportement hydrologique du bassin de Zit-Emba.

Tous les paramètres morphométriques du bassin versant sont récapitulés dans le Tableau III-11. La surface, le périmètre et la longueur du talweg principal sont calculés à partir de la carte topographique éch : 1/200000 de Philippe ville.

Tableau N°III-11 : Caractéristiques morphométriques du bassin versant de Zit-Emba.

Désignations	Paramètres	Symbole	Valeurs	Unités
01	Superficies	S	485	km ²
02	Périmètre	P	104.21	km
03	Altitude maximale	H max.	1220	km
04	Altitude minimale	H min	50	m
05	Altitude moyenne	H moy	376	m
06	Temps de concentration	Tc	18.58	Heurs
07	Densité de drainage	Dd	3.01	km /km ²
08	Longueur du talweg principal	Lw	36	km
09	Pente moyenne	Pm	12.3%	m/km
10	coefficient de compacité	Kc	1.32	-
11	Longueur du rectangle équivalent	Le	39.70	km
12	Largeur du rectangle équivalent	le	4.15	km
13	Pente de l'Oued	P. Oued	0.0064	m/km
14	Indice de pente de Roche	Ip	0.17	%

Selon les paramètres morphométriques du bassin de l'Oued El-Hammam, on constate qu'il draine une superficie de 485 Km² de forme assez ramassée caractérisée par un réseau hydrographique très dense $Dd = 3.01 \text{ Km/Km}^2$.

15.4. Couvert végétal et agriculture

Le secteur d'étude est caractérisé par un couvert végétal, très dense, dominé par des forêts boisées, des vastes plaines occupées par l'arboriculture et les cultures maraîchères (cultures des légumes, etc...) et des prairies.

Par ailleurs, la végétation joue également un rôle modérateur important en période de crue. En effet, lorsque la végétation est développée, le ruissellement est retardé et la pointe de crue atténuée. Par ailleurs, l'écoulement étant plus long, la part d'eau reprise par l'évapotranspiration et l'infiltration, augmente et le volume de la crue diminue.

16. Aménagement hydraulique de Zit-Emba

Le barrage Zit-Emba a été étudié et réalisé par l'entreprise " SELKHOZPROMEXPORT " entre 1989 et 2000 selon le contrat N° 91 / ANB – SM / 89 (720445140) signé avec l'agence nationale des barrages de l'Algérie (ANB). Ce barrage est situé à l'extrémité Sud Est de la wilaya de Skikda aux coordonnées Lambert suivantes :

$$X = 883,50 \text{ Km} ; \quad Y = 207,50 \text{ Km} ; \quad Z = 80,50 \text{ m.}$$

La digue est implantée sur les terrains de la wilaya de Skikda, les parties moyennes et supérieures de la retenue sont situées sur le territoire de la wilaya de Guelma c'est-à-dire que la majeure partie des eaux est stockée sur les terrains de la wilaya de Guelma.

Cette zone est caractérisée par un développement intensif de l'industrie, du thermalisme et de l'agriculture ce qui entraîne une augmentation considérable de la consommation en eau. La première étude du choix du site du barrage sur Oued El-Hammam a été réalisée par la société "grands travaux" en 1955. L'étude préliminaire du barrage a été faite en 1972, dont le travail de GOROVITCHE "étude du barrage de Zit-Emba sur Oued El-Hammam", expose l'estimation hydrologique de la retenue. En 1973, une autre étude a été réalisée, intitulée "rendement utile du barrage Zit-Emba" et a compris les calculs simplifiés du volume de la retenue et de son rendement utile ainsi que la côte du niveau normal de la retenue. L'étude réalisée en 1986 par l'institut "SOJOUZHIPROVODKHOZ" et qui avait pour thème "schéma d'utilisation de ressources hydriques dans la région de ANNABA" a permis de déterminer les paramètres principaux de la retenue. Les prospections ont été effectuées en 1985 par l'administration algérienne selon le programme établi par les spécialistes de " SELKHOZPROMEXPORT " et sous leur contrôle. Quant à l'étude géotechnique du site du barrage et de la cuvette de la retenue, elle a été réalisée par la société tchécoslovaque "STROIEXPORT". Les études géodésiques et topographiques du barrage ont été réalisées par les sociétés algériennes "ENAGEO" et "SETHYCO".

Les études géotechniques complémentaires et de vérification des sols de l'assise du barrage et du terrain ont été faites par "SELKHOZPROMEXPORT" au laboratoire de Hammam Meskhoutine (Guelma). Les conclusions hydrométéorologiques sont basées sur les données obtenues sur place par les spécialistes Russes. En 1987 la société russe "UKRHYPPOVODKHOZ", a réalisé l'avant projet Barrage Zit-Emba et en Novembre 1989 le contrat, ayant pour objet la construction du barrage Zit-Emba a été signé avec "SELKHOZPROMEXPORT". Les plans d'exécution sont réalisés par l'institut russe "SEVKAHIPROVODKHOZ", la construction est confiée à "ROSLAVZARUBEJVODSTROI" comme sous-traitant et par la suite à

"SELKHOZPROMEXPORT". La construction du barrage a duré 11 ans depuis Novembre 1989 jusqu'à Novembre 2000, et depuis, l'aménagement hydraulique Zit-Emba a été admis à l'exploitation [Vnoukov et Kovalev, 2000].



Photo N°III-01: Photographie satellitaire du barrage de ZIT-EMBA et ses environs.

16.1. Caractéristiques hydrologiques d'Oued El-Hammam et l'aménagement de Zit-Emba

L'aménagement hydraulique Zit-Emba est situé sur Oued El-Hammam au Nord Est de l'Algérie à 2 km de la commune Bekkouche Lakhdar (wilaya de Skikda).

La station de jaugeage de Zit-Emba implantée en amont du site à 02 km en 1969 a permis de déterminer les caractéristiques hydrologiques principales de Oued El-Hammam, grâce à l'étude du régime d'écoulement et de son niveau.

Les observations hydrométriques en aval du site du barrage ont été effectuées depuis 1952 par la station de jaugeage d'Ain Charchar (apport sommaire d'Oued El-Hammam et Oued Emchekel).

La période limitée des observations des stations de jaugeage sur Oued El-Hammam a conditionné la nécessité (pour réaliser les calculs) d'utiliser les données des stations analogues situées sur les oueds du versant nord du tell dont les conditions physiques et géographiques sont semblables et sur une période d'observation plus longue.

Les ouvrages principaux de cet aménagement sont le barrage en terre et enrochement, l'ouvrage de prise comprenant le canal d'amenée, la tour, le tunnel de l'ouvrage de raccordement et le canal de fuite ainsi que l'évacuateur des crues. Les principales caractéristiques de l'aménagement sont présentées dans le Tableau N°III-12.

Tableau N°III-12 : Caractéristiques hydrologiques de l'aménagement de Zit-Emba.

Désignations	Caractéristiques	Valeurs et unités
(A) Caractéristiques hydrologiques et paramètres de la retenue		
01	Surface du bassin versant	485 km ²
02	Apport moyen annuel	50 Millions m ³ / an
03	Ecoulement 80 %	24 Millions m ³ / an
04	Débit de transport solide (moyen)	270 000 t / an
05	Côte niveau normal de la retenue	86 m
06	Côte niveau surcharge de la retenue	91 m
07	Côte niveau d'eau morte de la retenue	62 m
08	Capacité totale de la retenue (Volume niveau normal).	120 Millions m³
09	Eau morte de la retenue	8.4 Millions m ³
10	Surface de la retenue au niveau normal	810 ha
11	Rendement utile de la retenue	43.4 Millions m ³ / an
12	Débit de la crue 0.01 %	3060 m ³ / sec
13	Débit de la crue 0.1 %	1920 m ³ / sec
14	Débit de la crue 1.0 %	1275 m ³ / sec
15	Débit de la crue 10 %	635 m ³ / sec
16	Profondeur maximale	41 m
17	Profondeur moyenne	20.5 m
(B) Du barrage		
01	Type de barrage en terre non homogène et enrochement (Le corps du barrage en argile, galets graviers et en masse rocheuse).	
02	Côte de la crête	92.0 m
03	Hauteur maximale au dessus de la surface naturelle du sol	47.5 m
04	Hauteur maximale à partir du fond de la fouille	52.0 m
05	Longueur en crête	640 m
06	Largeur en crête	10 m
07	Volume total du remblai	2.384.940 m ³
08	Hauteur maximale du noyau	51.3 m
(C) La retenue		
01	Niveau normal est de 86 m, le plan d'eau dans la retenue se disperse jusqu'à 8 km en amont des oueds.	
(D) Débit solide		
01	D'après les données de la station de jaugeage de Zit-Emba et Ain Charchar durant la période 1952, 1958, 1959, 1961, 1972, 1978, le Débit liquide Q= 4.4 m ³ /s	Débit solide d'Oued Kebir Ouest 148×10 ³ t/an
02	Débit solide charrié d'Oued El-Hammam est supposé représenter 40% du débit des matériaux en suspension	Débit total des dépôts est de l'ordre 270×10 ³ t/an.
(D) Apport annuel d'oued El Hammam		
01	L'écoulement moyen (sur plusieurs années de 1939 jusqu'à 1984)	65 Millions m ³ / an
02	Volume régularisable pour l'irrigation	55 Millions m ³ / an

17. Sources potentielles de pollution

17.1. Sources de pollution liquide

L'exploration méthodique et approfondie des territoires du bassin versant de Zit-Emba et notamment d'Oued El-Hammam, nous a permis de déterminer les points noirs et l'importance de leur effluents rejetés dans le milieu naturel et aquatique. Fig. N°III-17.

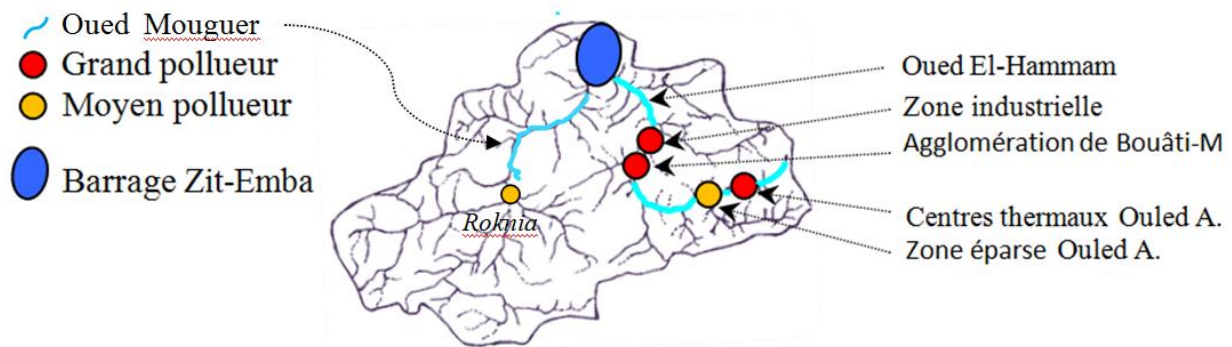


Fig. N°III-17 : Distributions spatiale des effluents liquides.

17.2. Sources de pollution adjacentes au barrage

Les sources de pollution liquides pourraient avoir des effets néfastes sur l'environnement aquatique notamment sur la qualité des eaux du barrage. En effet, les effluents rejetés de diverses activités domestiques et autres en amont dans le bassin versant de Zit-Emba et ayant pour sources les agglomérations de Bouâti et Roknia ainsi que la zone éparsé d'Ouled Ali et l'activité thermique (Fig.III-18), peuvent être à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux du barrage.



Fig. N°III-18 : Distributions spatiale des différentes sources de pollution liquides et atmosphérique.

D'autres sources de pollution industrielles qui sont extrêmement proches du barrage de Zit-Emba, la cimenterie de Hadjar El-Soude et les anciens gisements d'extractions de minerai de mercure d'Ismail à Azzaba, peuvent exercer des effets préjudiciables.

18. Conclusion

L'approche du contexte climatique de la zone d'étude nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques et hydrologiques du bassin versant de Zit-Emba.

Le climat est de type méditerranéen avec un hiver relativement doux et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à une autre, ce qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau. Ce qui peut influencer le chimisme des eaux d'Oued El-Hammam par dilution pendant les périodes pluvieuses et par concentration due à l'évaporation durant les périodes sèches.

En appréciant d'autres caractéristiques climatiques notamment le vent, de direction Nord et Ouest-Est, qui pourrait avoir des effets de colportage et de dispersion des polluants atmosphériques dégagés par les usines environnantes de la zone d'étude qui peuvent avoir des incidences non seulement sur la santé humaine mais aussi une grande influence sur l'accumulation des polluants dans l'air, l'eau, le sol et les écosystèmes forestiers et agricoles de cette zone.

En appréciant les caractéristiques géographiques du barrage, il s'avère que son implantation chevauche sur les territoires des Wilayat de Skikda et de Guelma. Cette situation engendre inévitablement des problèmes de coordination et de gestion pour le contrôle et le suivi de l'application des règlements relatifs aux déversements des effluents liquides par les établissements réfractaires, en amont du barrage, qui évacuent directement leurs effluents sur Oued El-Hammam et Oued Mouguer, sans aucun traitement d'épuration préalable.

Deuxième partie :

Méthodes et matériels

Chapitre 04 :
**Échantillonnages
et techniques d'analyses**

1. Introduction

Pour aboutir à une vision aussi claire que possible sur la qualité des eaux du barrage Zit Emba, il est important d'étudier le comportement de certains éléments chimiques qui soient à l'origine d'une contamination ou d'une pollution industrielle, urbaine ou agricole. Pour cela nous avons eu recours à la base de données des analyses chimiques de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine entre 2004 et 2014. Il s'agit de CE, pH, température de l'eau (T), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , turbidité (TU), matière en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5), matière organique (MO) et oxygène dissout (OD). Ces données ont fait l'objet d'analyses statistiques et de représentations graphiques.

2. Méthodes d'analyse statistique

2.1. Statistiques descriptives

La statistique a pour but de mesurer et de présenter les données observées d'une manière telle qu'on puisse en prendre connaissance aisément, par exemple sous forme de tableaux ou de graphiques.

L'inférence statistique permet d'étudier ou de généraliser dans certaines conditions les conclusions obtenues à l'aide de tests statistiques en prenant certains risques d'erreur qui sont mesurées en utilisant la théorie des probabilités.

Concernant le présent travail, le tableau des données est formé par 2 colonnes (éléments physicochimique ou variables) et de 111 lignes (analyses chimiques mensuelles ou individus) qu'il faut synthétiser et tirer le maximum d'information. A cet effet, il est important de tester l'homogénéité des données à l'aide :

- La valeur maximale qui est la valeur la plus élevée de la série et qui correspond à la borne supérieure de la série;
- La valeur moyenne qui est égale à la somme des valeurs divisée par leur nombre ;
- La médiane qui est la valeur de la variable qui correspond à la fréquence cumulée 50% ou à l'effectif cumulé $n/2$;
- La valeur minimale qui est la valeur la plus faible de la série et qui constitue la borne inférieure de la série ;
- L'écart type qui représente la caractéristique de dispersion la plus usuelle;
- Le coefficient d'aplatissement (kurtosis) correspond à la mesure de l'étalement de la distribution. La forme de la courbe de distribution est comparée à celle de la loi normale.

Un coefficient négatif est révélateur d'une courbe aplatie alors qu'un coefficient positif signifie une concentration des observations ;

- Le coefficient de symétrie ou de dissymétrie (skewness) correspond à une mesure de l'asymétrie de la distribution d'une variable aléatoire réelle ;

Tous les calculs ont été réalisés par le biais du logiciel XLstat 2008/2011.2.06.

Le diagramme de Piper a été réalisé à l'aide du logiciel d'hydrochimie multi-langage en distribution libre DIAGRAMMES, version 5.9 - 2013, du Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (LHA).

2.2. Test de l'analyse de la variance (ANOVA)

Le test d'analyse de la variance (ANOVA) à un critère ou à un facteur de classification à modèle fixe a été utilisé afin de comparer les moyennes de plusieurs éléments à partir de données d'échantillons aléatoires, simples et indépendants [Dagnélie, 1970 et 2006].

La réalisation du test se fait, soit en comparant la valeur de F_{obs} avec la valeur théorique $F_{1-\alpha}$ correspondante, extraite à partir de la table F de Fisher pour un niveau de signification $\alpha = 0,05$ ou 0,01 ou 0,001 et pour k_1 et k_2 degrés de liberté, soit en comparant la valeur de la probabilité p avec toujours les différentes valeurs $\alpha = 5\%$ ou 1% ou 0,1% [Dagnélie, 1970 et 2006 ; Mezedjri, 2008]. Les calculs sont réalisés à l'aide de la procédure GLM (générale linéaire modèle) du logiciel Minitab (X, 2011) appliquée pour chacune des 17 variables mesurées entre les 11 années d'observations (2004 - 2014).

2.3. Corrélation linéaire

La corrélation linéaire permet d'illustrer la relation entre deux phénomènes variables et observer l'influence de l'une sur l'autre. Le calcul et le tracé de la droite de régression est très utile pour prévoir la valeur de Y en fonction de X. En hydrochimie, il permet de définir des pôles géochimiques d'appartenance d'une eau et les phénomènes de pollution.

La valeur du coefficient de corrélation critique « r » dépend du nombre d'individus « n », dans notre cas $n = 111$; ce nombre d'individus permet d'avoir un coefficient de corrélation critique de 0.25 (la table de Pearson) au seuil de 1%.

2.4. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est une méthode exploratoire et descriptive [Dagnélie, 1970, 1986 et 2006 ; Palm, 1998]. Elle est utilisée pour interpréter une matrice de données sans structure particulière ne comportant, à priori, aucune distinction, ni entre les variables, ni entre les individus. Elle a pour

but de remplacer les p variables initiales fortement corrélées entre elles en p variables appelées composantes principales ou axes principaux synthétiques non corrélés entre elles, et de variance progressivement décroissante. Les premières composantes pouvant éventuellement faire l'objet d'une interprétation particulière et les dernières pouvant généralement être négligées [Dagnélie, 1970, 1986 et 2006]. Dagnélie (1986) propose deux tests statistiques pour déterminer le nombre de composantes significatives à prendre en considération. Cependant, dans la pratique, l'expérience montre que ces tests conduisent souvent à considérer comme distinctes un nombre relativement élevé de composantes, dont certaines ne possèdent en effet aucun intérêt. Comme, d'autre part, ces tests ne sont applicables que dans des conditions relativement strictes de normalité notamment. Certains auteurs préfèrent utiliser d'autres règles, les unes plus sommaires que les autres. Parmi celles-ci, citons l'idée de négliger à priori, pour toute la matrice de corrélation, les valeurs propres inférieures à l'unité, c'est-à-dire inférieures à la contribution moyenne des différentes variables [Dagnélie, 1986 : Mezedjri, 2008]. Dans cette étude seules les composantes principales ayant une valeur propre égale ou supérieure à l'unité sont prises en considération.

2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La recherche de groupes ou de classes d'années homogènes peut également se faire par ce qu'on appelle la classification ascendante hiérarchique. Plusieurs méthodes sont proposées par Dagnélie (1986) pour atteindre ce but. Cependant, nous n'utiliserons que celle qui est proposée par Bouroche et Saporta (1980) et qui est reprise par Palm (2000) et Dagnélie (1970 et 2006) et dont l'algorithme est programmé dans le logiciel Minitab (X, 2011).

Cette méthode permet de déterminer le niveau de similitude ou de divergence entre les individus (années) et donne une répartition de ces individus en groupes ou classes homogènes. C'est une méthode hiérarchique agglomérative qui utilise la procédure du lien simple et la distance carré de Pearson (X, 2011). Pour classer les 11 années en classes aussi homogènes que possibles ; elle a été appliquée sur la matrice de données de dimension $n \times p$, avec : $n = 11$ vecteurs lignes (années) et $p = 16$ vecteurs moyennes colonnes représentant les 16 variables physicochimiques mesurées dans la cuvette du barrage durant toute la période de prélèvement s'étale de 2004 à 2014.

2.6. Etablissement des équations de régression

Afin d'exprimer la teneur en mercure (Hg) en fonction de certaines caractéristiques étudiées et mesurées dans l'eau, nous avons calculé certains modèles. Nous n'avons pris en considération que les caractéristiques avec lesquelles la teneur en mercure est corrélée significativement.

Pour cela il existe plusieurs méthodes de calcul d'équations de régression, développées particulièrement pour le cas où il y aurait abondance de données [Dagnélie, 2006].

Signalons, entre autres, la régression linéaire multiple, la régression orthogonalisée ou régression sur les composantes principales, et la régression pseudo-orthogonalisée. Ces méthodes ont un bon comportement dans la plupart des cas. Beaucoup de travaux ont porté sur leurs comparaisons. Dans notre cas nous avons utilisé la régression linéaire multiple [Dagnélie, 2006].

Cependant lorsque le nombre de variables explicatives est très élevé, on utilise généralement l'une des trois techniques suivantes : la sélection progressive, la sélection régressive et la régression pas-à-pas.

La technique de sélection progressive des variables explicatives consiste à choisir les variables de proche en proche, en assurant chaque fois le minimum de la variance résiduelle jusqu'au moment où l'introduction d'une nouvelle variable ne provoque plus de réduction significative de la variance résiduelle.

La technique de sélection régressive des variables explicatives a pour principe de partir de l'équation de régression la plus complexe, dans laquelle figurent toutes les variables explicatives, et de procéder à des éliminations successives jusqu'au moment où tous les coefficients de régression partielle sont significatifs pour un niveau de signification préalablement fixé.

Enfin la technique de sélection mixte ou régression pas-à-pas (ou stepwise), qui est considérée comme une combinaison des deux précédentes techniques, procède par introductions successives des variables explicatives, mais de telle sorte, qu'avant introduction d'une variable supplémentaire, la signification des variables explicatives déjà présentes dans l'équation soit testée. Le cas échéant, les variables qui n'apporteraient pas une contribution significative à la régression sont éliminées.

Cependant, aucune des trois techniques énoncées ne fournit la solution optimale qui consiste à avoir un modèle qui présente la variance résiduelle la plus faible et dont les variables explicatives sont toutes significatives. La régression progressive, qui nécessite le moins de calculs, ne permet pas d'avoir dans tous les cas la meilleure équation de régression. La technique de sélection régressive demande beaucoup plus de calculs, et reste difficilement utilisable particulièrement lorsqu'il y a beaucoup de variables explicatives. La technique stepwise, enfin, demande également un travail considérable, mais ne fournit pas non plus la solution optimale.

Nous avons utilisé cette dernière technique dans le calcul des modèles, (avec un risque $\alpha=0.05$ tant à l'entrée qu'à la sortie), du fait que c'est un bon compromis entre les deux premières techniques.

Tous les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel Minitab (X, 2011) sur la matrice des données de la station N° 04 et sur la matrice globale des moyennes des quatre (04) stations. Le logiciel donne le modèle et les valeurs de certains paramètres permettant de sélectionner les meilleures modèles. Ces paramètres sont les suivant :

- L'équation de régression exprimant la teneur en Hg en fonction des éléments chimiques sélectionnés.
- La valeur du coefficient de détermination R^2 qui exprime la part de la variation de la variable dépendante (teneur en mercure) « exprimer » ou « justifier » par la régression. Si la valeur de R^2 est proche de 1 ou 100% l'ajustement est d'excellente qualité. Par contre, si la valeur de R^2 est faible et tend, plus particulièrement vers 0 ou 0%, l'ajustement est alors mauvais [Dagnélie ,2009].
- La valeur de la probabilité (P) permettant de tester la signification des coefficients de régression du modèle et ceci toujours par comparaison avec le niveau $\alpha= 0.05$.

Nous avons considéré les quatre cas suivants :

- Si la valeur de $P > \alpha = 0,05$ alors la valeur de (r) n'est pas significative par rapport à zéro (0) et on a conclut à l'inexistence de corrélation.
- Si la valeur de $P \leq \alpha = 0,05$: il y a une corrélation juste significative (*).
- Si la valeur de $P \leq \alpha = 0,01$: il y a une corrélation hautement significative (**).
- Si la valeur de $P \leq \alpha = 0,001$: alors on conclut à une corrélation très hautement significative (***)
- L'écart-type résiduel ($S_{y,x}$) ou racine carrée du carré moyen de l'erreur qui mesure la qualité prédictive du modèle. Si l'écart-type résiduel est très faible et tend vers 0, il s'agit d'une bonne équation de régression qui prédit des valeurs qui se rapprochent des vraies valeurs (réelles). Si, par contre, la valeur de l'écart-type résiduel est grande, nous avons alors une très mauvaise équation de régression qui prédit des valeurs fortes différentes des vraies valeurs observées [Dagnélie ,2009].

Les calculs des modèles ont été effectués en utilisant, soit la régression linéaire simple quand il s'agit d'une seule variable explicative, soit la régression linéaire multiple quand il s'agit de

plusieurs variables explicatives. Dans les deux cas de figures on a utilisé la méthode des moindres carrés pour le calcul des coefficients de régression des modèles.

3. Critères de qualité

Le critère de qualité qui a été utilisé est celui de l'Indice de la qualité de l'eau établi par National Sanitation Foundation (NSF-IQE). Ce critère est déterminé sur la base de 9 paramètres tels que: DBO₅, DO, nitrate, phosphate total, changement de température (de 1 mile en amont), la turbidité, Résidu sec, le pH et les coliformes fécaux (Tableau IV.1). Cette technique a été développée par [Brown et al, \(1970\)](#) en sélectionnant les paramètres rigoureux, l'élaboration d'une échelle commune et l'attribution de poids aux paramètres. Ce travail a été mentionné dans de nombreux travaux, tel que celui de [Landwehr et Deininger, \(1976\)](#).

Tableau N°IV-01: Le poids des différents paramètres, les valeurs de WOI et la qualité de l'eau.

Paramètres	Poids du paramètre	WQI	Qualité de l'eau
Oxygène dissout	0.17	90-100	Excellente
Coliformes fécaux	0.16	70-90	Bonne
pH	0.11	50-70	Moyenne
DBO ₅	0.11	25-50	Mauvaise
Variation T	0.10	00-25	Très mauvaise
Phosphate total	0.10		
Nitrates	0.10		
Turbidité	0.08		
Résidu sec	0.07		

Pour la qualité de l'eau du barrage Zit Emba, sept paramètres annuels ont été appliqués sans les coliformes fécaux et le changement de température, entre 2004 et 2014, période durant laquelle ces paramètres ont été mesurés. Les valeurs de WQI ont été obtenues par le Calculateur NSF-IQE en ligne ([Http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm](http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm)). Divers diagrammes ont été également utilisés comme celui de Wilcox ou du SAR pour évaluer l'aptitude à l'irrigation.

4. Conclusion

Ce chapitre est une synthèse des principales techniques modernes de traitement statistique des données, mise en œuvre pour la connaissance, l'évaluation et la caractérisation spatio-temporelle de la qualité des eaux du bassin versant de Oued Hammam contrôlé par le Barrage Zit-Emba.

Troisième partie :
Résultats
et discussions

Chapitre 05 :

Sources de Pollutions

Aspect quantitatif

1. Introduction

Le bassin versant de Oued El Hammam est contrôlé par le barrage Zit-Emba dont l'eau est destinée aussi bien à l'AEP qu'à l'irrigation. Cette ressource est soumise à une forte action anthropique qu'il est nécessaire de quantifier. En effet, plusieurs sources de pollution sont signalées dans cet environnement aquatique émanant du milieu urbain et du milieu industriel.

2. Notions introductives

- **Les eaux usées**

Les eaux usées désignent les eaux altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique, artisanal, industriel, agricole ou autre. Ces eaux sont considérées comme polluées et doivent être traitées [GOE, 2003; GTA, 2013 ; CRE ,2015].

- **L'assainissement**

L'assainissement désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement de l'eau avant son rejet dans le milieu naturel (rivière, mer et sol).

L'assainissement a pour objectif de protéger la santé et la salubrité publique ainsi que l'environnement [GTA, 2013].

- **La pollution**

Elle désigne l'introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'eau, susceptibles de contribuer ou de causer un danger pour la santé de l'homme, des détériorations aux ressources biologiques ou à l'écosystème ou aux biens matériels, elle est donc considérée comme une entrave à un usage de l'eau [GOE, 2003].

La situation sur les terrains de la zone d'étude est très loin de ces définitions.

3. Distributions spatiale des principaux facteurs de pollution d'Oued El-Hammam

L'exploration approfondi du bassin versant de Zit-Emba et notamment d'Oued El-Hammam nous a permis de déterminer les points noirs de rejets et l'importance quantitative de ces effluents rejetés dans le milieu naturel et aquatique (figure N°IV-01 et photo satellite N°V-01).

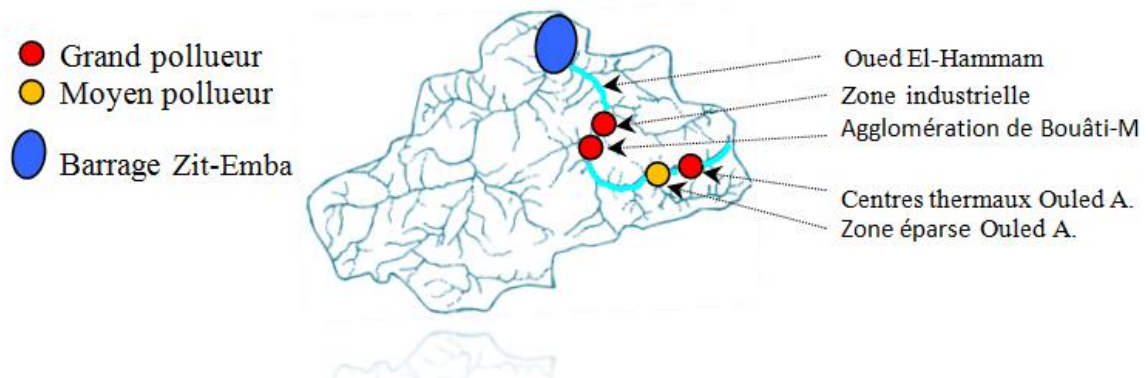


Fig. N°V-01 : Répartition spatiale des sources de pollution sur Oued El-Hammam.



Photo satellite N°V-01 : Répartition spatiale des sources de pollution sur Oued El-Hammam, (In Google Earth modifié).

4. Pollutions par les effluents thermaux-thérapeutique, urbaines et industriels

Plusieurs types de pollutions ont été répertoriés dans la région.

4.1. Pollution dû aux centres thermaux de Hammam Ouled Ali

Les stations thermaux-thérapeutiques de Elbaraka, Bouchahrine et celle de l'APC, d'une capacité d'accueil de curistes de 318 chambres d'eau et 82 chambres d'hôtels dotée chacune d'une baignoire. Dans l'évaluation des rejets, ces derniers ne seront pas pris en compte (l'hébergement est coûteux entre 4000 et 9000 DA HT, alors les clients préfèrent les chambres d'eau pour deux raisons : le coût moins cher "100 à 200 DA" et l'espace pour se baigner par rapport à la baignoire). Pour évaluer leurs rejets, on considère que toutes les chambres d'eau peuvent être utilisées en moyenne dix (10) fois/jour, et qu'à chaque fois, le bassin doit être rempli et vidé après utilisation. Ce bassin a une capacité de 1600 litres sans compter les eaux utilisées directement du robinet, nous arrivons à des quantités d'eaux annuelles notables chargées de détergents (Tableau N° V-01).

Tableau N°V-01 : Volume d'eau rejetée chargée de Tensio-active.

Désignation	Quantité d'eau rejetée par jour (m ³ /J)	Quantité d'eau rejetée par mois (m ³ /mois)	Quantité d'eau rejetée par an (m ³ /an)
Volume d'eau rejetée par les Centres Thermaux 1,6 m ³ × 10 fois/j × 318 chambres	5 088	152 640	1 831 680

Nous tenons à signaler que ces centres thermaux-thérapeutiques travaillent plus de 15 heures par jour (2 x 8 heures), et que la durée autorisée du bain est de 3/4 heures (45 minutes), ce qui permet une utilisation jusqu'à (20) vingt fois par jour et que par conséquent le volume rejeté chargé de Tensioactif actuellement dépasse les 3.700.000 m³/an, soit plus de 25.643.520 m³ sur les quatorze ans d'exploitation sans aucun traitement d'épuration préalable.

4.2. Pollution urbaine

La pollution urbaine et dû aux déversements des eaux usées de l'agglomération de Bouâti-Mahmoud, le centre Ouled Ali et la commune de Roknia.

4.2.1. Notions et principes préliminaires

Parmi les principaux polluants de l'eau, les eaux usées ; elles contiennent de nombreuses substances, essentiellement organiques sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes et autres consommateurs d'oxygène qui entraînent un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau.

À l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique, plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit [OCDE, 2009].

Dans la zone d'étude cette dernière est encore menacée par les déversements instantanés des eaux usées dans Oued El-Hammam et Oued Mouguer, des différentes activités et agglomérations en amont du barrage de Zit-Emba, sans aucune épuration préalable.

A. Les normes de dotation en eau potable

Le débit moyen journalier des eaux usées est évalué selon la dotation en eau potable par jour et par habitant. La dotation nette en eau pour chaque type d'agglomération est déterminée selon une étude de la demande en eau potable en Algérie réalisée par le ministère des ressources en eau intitulée : Etude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Cette dotation varie selon les horizons de projection et est majorée d'un coefficient géo-climatique et un autre relatif aux autres usages. L'application de ces différents facteurs de majoration aux dotations unitaires domestiques permet en étape intermédiaire de visualiser, selon un scénario tendanciel ou volontariste, l'évolution des besoins AEP par équivalent habitant (hors besoins touristiques et incidence des besoins de la grande industrie) en fonction de la région et de la strate de population de l'agglomération. En hypothèse tendancielle, la moyenne pondérée par région des dotations unitaires domestiques et autres usages assimilés évolue de l'horizon 2010 à 2030 pour la région Nord de 121 à 155 l/jour/hab. Par contre en hypothèse volontariste les dotations unitaires domestiques et autres usages assimilés évolue de l'horizon 2010 à 2030 pour la région Nord de 121 à 108 l/jour/hab [PNE, 2010].

B. Les Rejets

La norme de rejet unitaire est estimée à 80% de la dotation en eau potable [HU, 2011]. Les eaux rejetées dans l'Oued El Hammam, sans aucune épuration préalable, sont de qualité très dégradées. Elles sont d'origine domestique, des équipements publics, des petites industries et des artisans. Cette situation et un système hérité de la période coloniale française, basé sur des égouts qui débouchaient sur les oueds (rivières), pour finir en mer.

4.2.2. Evaluation des volumes déversés dans l'Oued El Hammam

4.2.2.1. Évaluation des eaux résiduelles de la zone semi urbain de Bouâti-M

Sur la base des volumes rejetés des dotations d'AEP et suivant le cinquième recensement général de la population et de l'habitat de l'Algérie (RGPH), réalisé en 2008, la population de la commune de Bouâti-Mahmoud a été estimée à 9658 habitants [RGPH, 2008]. Les taux de croissance projetés par le (PNE) pour l'an 2014 et de 1,5% et 1,6% pour l'an 2034 [PNE, 2010], et suivant la formule des

intérêts composés cette population s'élève en l'an 2014 à 10457 habitants, pour l'horizon de calcul l'an 2034 cette population s'élèvera à 14852 habitants (calcul en annexe), les estimations des rejets de cette agglomération sont représenté au tableau N° V-02.

Cette agglomération est raccordée à un réseau d'assainissement collectif qui rejette ses eaux usées directement sur Oued El-Hammam, sans aucune épuration préalable. Ce dernier reçoit et véhicule à ciel ouvert ces rejets vers le barrage qui n'est distant que de quelques centaines de mètres, cette distance ne permis aucune autoépuration.

Tableau N°V-02 : Volume d'eaux usées de l'agglomération de Bouâti-Mahmoud.

Commune Bouâti-M		
Désignation	Horizons	
	L'an 2014	L'an 2034
Taux d'accroissement% (PNE)	1,5	1,6
Population (habitants)	10457	14852
Strate de population	Semi urbain	Semi urbain
Dotations (l/j/hab) (PNE)	80	100
Autre usages (%)	35	35
Besoins en eau (m ³ /j)	1129	2005
Débit moyen rejeté (m ³ /j)	903	1604
Coefficients de pointe (Kp)	2,27	2,08
Débit de pointe rejeté (m ³ /j)	2054	3337
Débit moyen rejeté (m³/An)	329 762	585 456

Avec

$$Kp = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{moy}/j}} < 4 \quad (13)$$

et $Q_{moy,j}$ en ℓ/s .

4.2.2.2. Évaluation des eaux usées de la zone rurale agglomérée d'Ouled Ali

Suivant le responsable de l'antenne d'A.P.C d'Ouled Ali qui dépend de la commune d'Héliopolis le recensement la population d'Ouled Ali est estimée selon le dernier dénombrement en octobre 2013 à 1229 habitants. Les taux de croissance de cette commune projeté par le (PNE) pour l'an 2014 et de 1,5% et 2% pour l'an 2034 [PNE, 2010], en utilisant la formule des intérêts composés, en l'an 2014 cette population s'élève à 1248 habitants et pour l'horizon de calcul l'an 2034 cette population s'élèvera à 1956 habitants (calcul en annexe). Cette agglomération rejette aussi ces eaux usées dans Oued El-Hammam sans aucun traitement d'épuration préalable et qui seront véhiculées toujours vers le même barrage (Tableau N°V-03).

Tableau N°V-03 : Volume d'eaux usées d'Ouled Ali.

Commune Ouled Ali		
Désignation	Horizons	
	L'an 2014	L'an 2034
Taux d'accroissement % (PNE)	1,5	2
Population (habitants)	1247	1956
Strate de population	Rural agglomération	Rural agglomération
Dotations (l/j/hab) (PNE)	75	90
Autres usages (%)	15	15
Besoins en eau (m ³ /j)	108	202
Débit moyen rejeté (m ³ /j)	86	162
Coefficients de pointe (Kp)	4	3,33
Débit de pointe rejeté (m ³ /j)	345	539
Débit de moyen rejeté (m³/an)	31 417	59 116

4.3. Pollution d'origine industrielle

Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. L'eau est présente dans la plupart des processus de fabrication. Elle est cependant également utilisée pour les besoins des personnels, le nettoyage des ateliers, des machines et des produits finis [PNE, 2010].

Par définition, tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels [MRE, 2007] [Benaïssa, 2007]. L'industrie est la grande consommatrice d'eau ; Par conséquent, ces eaux utilisées seront rejetées sales, chargées en produits chimiques, en produits phytosanitaires, en métaux lourds, en hydrocarbures, en solvants et surtout en matières organiques et inorganiques, etc., si elles ne sont pas traitées dans une station d'épuration, elles entraînent une pollution physique et chimique du milieu aquatique et naturel.

Dans ce monde industriel, il demeure toujours difficile de bien gérer ces effluents dangereux et de traiter le milieu contaminé des rivières, nappes et barrages (milieu récepteur). Comme les eaux d'Oued El-Hammam y compris celles des différents rejets seront stockées aux niveaux du barrage Zit-Emba qui est presque entièrement enfermé, avec un très faible rythme de renouvellement de ses eaux, ceux-ci les rendent extrêmement sensibles à la pollution.

Il est toujours recommander que la distance qui sépare les points de restitution et de réutilisation doive être au moins égale à 8 km (distance franchie en un jour d'écoulement à l'étiage par une rivière de plaine), c'est-à-dire un minimum d'autoépuration [Jean Rodier, 1998].

4.3.1. Pollution par l'industrie agro-alimentaire

Les caractéristiques des eaux usées de l'industrie agro-alimentaire de Bouâti-M (conserveries, huileries et autres), peuvent varier selon leurs origines. L'impact des rejets industriels sur la qualité de l'eau est fonction de leur affinité avec l'oxygène, de la quantité des solides en suspension et de leurs teneurs en substances organiques et inorganiques. La matière organique peut favoriser la croissance de populations microbiennes, réduire les niveaux d'oxygène, et par conséquent, **favoriser la biométhylation** [Thomassin et Touze, 2003 ; Pichard et al, 2006]. Le taux de ce processus augmente avec des températures plus chaudes (l'eau thermale) qui favorise une productivité biologique et diminue pendant l'hiver.

4.3.2. Méthode d'estimation des rejets liquide industrielle

Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation des effluents industriels telles que la superficie qu'occupe l'industrie, le nombre du personnel, la production où directement la mesure du volume des eaux résiduaires rejetées.

En raison du manque d'informations nécessaires pour l'application de ces méthodes nous sommes amenées à travailler avec le **Plan National de l'Eau (PNE)** volet 5 : demande en eau industrielle, Mission 2 : Ressources et demandes, Tome 2, annexes-tableaux.

4.3.2.1. Besoins en eau industrielle

En Algérie, l'industrie agroalimentaire vient à la 3 place dans les besoins en eau qui représente 15,1% des besoins totaux après les Hydrocarbures 45,7 % et la Sidérurgie 18,7 % [PNE, 2010].

Plus des 4/5 de la demande en eau sont captés par les 3 bassins hydrographiques : Constantinois-Seybouse-Mellegue "CSM" (41,6 %) dont notre sous bassin en fait partie, BH. Oranie-Chott Chergui "OCC" (21,7 %) et BH. Sahara "Sah" (20,2%) [PNE, 2010].

La demande en eau industrielle de l'entreprise "CAB" Benamor a été estimée dans le cadre du Plan National de l'Eau suivant les données relatives à la production ou l'emploi et à hauteur moyenne de la consommation de la filière.

A. Origine de l'eau industrielle

L'approvisionnement en eau de l'industrie agroalimentaire "CAB" Benamor se fait par un forage effectué dans le site de l'entreprise.

B. Projection des besoins en eau industrielle

La projection des besoins en eau industrielle conserverie Amar Benamor "CAB" est établie à partir des besoins actuels. L'entreprise recensée est appelée à connaître des évolutions différenciées compte tenu des potentiels de croissance de celle-ci.

Les calculs ont été effectués avec un taux de croissance prévisionnel pour l'industrie agroalimentaire voisin de (+3% par an)[PNE, 2010, Volume 5, Mission 2, Tome 2] (Tableau V-04).

Tableau N° V-04 : Projection des besoins en eau industrielle selon le PNE 2010.

Désignation	Besoins en eau m ³ /an suivant PNE 2010	Besoins Actuels 2014 m ³ /an (+12%)	Besoins 2015 m ³ /an (+15%)	Besoins 2020 m ³ /an (+30%)	Besoins 2025 m ³ /an (+45%)	Besoins 2030 m ³ /an (+60%)	Besoins 2034 m ³ /an (+72%)
Quantités	30 000	33 600	34 500	39 675	45 626	52 470	58 767

C. Rejets des eaux industrielles

Les rejets de l'entreprise agroalimentaire "CAB" sont déterminées à partir de l'usage de l'eau, selon que celle-ci constitue un agent essentiel de fabrication ou un moyen de lavage.

L'usage de l'eau détermine un taux de rejet estimés à 70% [PNE, 2010, Volume 5, Mission 2, Tome 2].

Tableau N° V-05 : Rejets des eaux industrielles aux différents horizons.

Désignation	Rejet des eaux m ³ /an suivant PNE 2010	Rejet des eaux 2014 m ³ /an	Rejet des eaux 2015 m ³ /an	Rejet des eaux 2020 m ³ /an	Rejet des eaux 2025 m ³ /an	Rejet des eaux 2030 m ³ /an	Rejet des eaux 2034 m ³ /an
Quantités	21 000	23 520	24 150	27 773	31 938	36 729	41 137

Tableau N° V-06 : Cumul des Volumes des effluents rejetés.

Volumes des effluents rejetés par l'industrie agro-alimentaires dans l'Oued Hammam et transitant par le barrage Zit-Emba en (m ³)		Cumul des volumes des effluents rejetés par l'industrie agro-alimentaires dans l'Oued Hammam et transitant par le barrage Zit-Emba en (m ³)
Nov.2000 à Nov.2014	Nov.2014 à Nov.2034	Nov.2000 à Nov.2034
300 492	654 153	954 645

Malheureusement, pour toutes les unités de production, les eaux usées retournent dans les cours d'eau sans traitement d'épuration préalable, ou insuffisamment assainies (photo N° V-02).

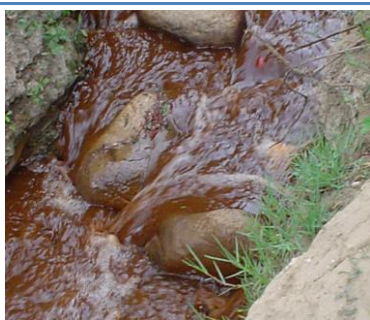


Photo N° V-02 : Rejet des eaux usées de l'industrie agro-alimentaire et effets sur Oued El-Hammam.

Thème : QUALITE DES EAUX DE SURFACE ET LEUR IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LA WILAYA DE SKIKDA.

Les conditions techniques portant sur les normes de rejet que l'industriel doit s'engager à respecter, s'expriment en terme quantitatif (débit instantané maximal admissible et volume en 24 heures) aussi bien que qualitatif (flux polluants admissibles sur différents paramètres considérés suivant l'activité de l'entreprise, concentration maximale en métaux...).

Les industries, les entreprises ou les organismes ayant des activités pouvant être dangereuses avec des rejets non contrôlés, doivent se soumettre à la réglementation en vigueur notamment celles fixées par des lois et directives nationales, voire parfois internationales.

4.3.3. Les grandes lignes des directives réglementaires

Ces directives sont définies par la réglementation algérienne et publiées dans le Journal officiel [JORA, 1983, 1993^{1&2}, 1994] :

- Le décret exécutif N° 83-03 du 05/02/1983.chapitre II protection de l'eau ART 36-37-39-40-41-43-44-45-46-47.
- Décret exécutif N° 93-160 du 10/07/1993 règlementant les rejets d'effluents liquides industriels.
- Décret exécutif N° 93-161 du 10/07/1993 règlementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel.
- Décret exécutif N°93-163 du 10/07/1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles. ART 6-7.
- Décret exécutif N°94-41 du 29/01/1994 portant définition des eaux thermales et réglementant leur protection, leur utilisation et leur exploitation. ART 1-10-11-12-14-16-18-19-25-(26-27-36-38-)40.

C'est sur cette base que les pouvoirs publics et leurs experts doivent entreprendre des actions de prévention renforcées au sein des établissement jugés dangereux pour l'environnement (Photo N° V-03), et mettre en œuvre des mesures particulières de protection comme la détermination de périmètres de sécurité d'installation d'activité qui peuvent présenter un danger sur tout bassin versant ayant un barrage ou autres infrastructures importantes et/ou mettre en place des dispositifs d'alerte.



*Influence du rejet
Agro-industriel sur
Oued EL-Hammam*

Photo N° V-03 : Rejets des eaux usées de l'industrie agroalimentaire Bouâti Mahmoud.

Enfin, même si les industriels ne sont pas les seuls responsables de la pollution par leurs rejets, leur impact sur le milieu, compte tenu du type de pollution concernée, est souvent plus fort lorsque ces pollutions ont une origine industrielle.

4.4. Estimation globale du volume des effluents déversés dans Oued El-Hammam

Actuellement le cumul des quantités d'eaux usées déversés dans Oued El-Hammam par les différents centres et agglomération dépasse les 2 000 000 m³/an (Tableau N° V-07). Nous pouvons dire que quelle que soit la quantité d'eau résiduelle (2 ou 3 millions de m³/an) déversée actuellement dans l'Oued El-Hammam et transitant par le barrage de Zit-Emba aura un impact beaucoup plus grand et plus important sur le volume d'eau stockée.

Tableau N°V-07: Total des volumes d'eau usée rejetés dans Oued El-Hammam par an.

Désignation	Q : Quantités d'eau résiduelle rejetée par chaque point de rejets				TOTAL m ³ /an
	Les 3 stations thermaux- thérapeutiques de Hammam Ouled Ali (m ³ /an)	Zone Rural agglomérée d'Ouled Ali (m ³ /an)	Agglomération de Bouâti-Mahmoud (m ³ /an)	Industrie agro- alimentaire (m ³ /an)	
Rejet moyen (2014)	1 831 680	31 417	329 762	23 520	2 216 379
Rejet moyen (2034)	2 198 016	59 116	585 456	41 137	2 883 527

Tableau N°V-08 : Cumul des volumes des effluents rejetés dans l'Oued El-Hammam.

Volumes d'Effluents rejetés dans l'Oued El-Hammam et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)		Cumul des volumes des effluents rejetés dans l'Oued El-Hammam et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)
Nov.2000 à Nov.2014	Nov.2014 à Nov.2034	Nov.2000 à Nov.2034
31,03	44,33	75,36

NB : Ces volumes sont calculés sur la base d'un volume moyen rejeté équivalent à celui de l'horizon 2014.

5. Source de pollution sur Oued Mouguer

Les sources de pollution sur Oued Mouguer sont limitées aux rejets des eaux usées domestique de l'agglomération de Roknia (Fig. N°V-02).

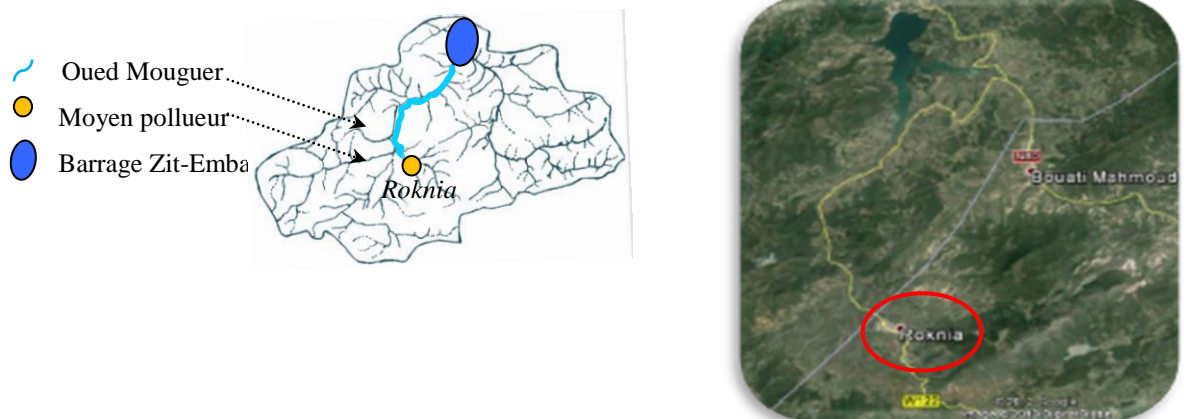


Fig. N°V-02 : Source de pollution sur Oued Mouguer.

Roknia compte 9758 habitants suivant le dernier recensement [RGPH 2008]. Les taux de croissance de cette commune projeté par le (PNE) pour l'an 2014 est de 1,5% et pour l'horizon 2034 est de 1,6% [PNE, 2010], cette population s'élève actuellement (l'an 2014) à 10565 habitants et 15006 habitants pour l'horizon l'an 2034.

Cette agglomération est raccordée à un réseau d'assainissement collectif qui rejette aussi ces eaux usées directement sur Oued Mouguer sans aucun traitement d'épuration primitif. Ce dernier reçoit et véhicule à ciel ouvert ces rejets vers le barrage de Zit-Emba (Tableau N°V-09 et 10), les hautes eaux de ce dernier sont distantes de 13 km par rapport à cette source de pollution. Cette distance permet la décomposition partielle de cette charge polluante grâce aux capacités auto-épuratrices naturelles du milieu aquatique qui permet à l'écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances, essentiellement organiques.

Tableau N°V-09 : Volume des eaux usées rejetés par l'agglomération de Roknia.

Commune Roknia		
Désignation	Horizons	
	L'an 2014	L'an 2034
Taux croissance % (PNE)	1,5	1,6
Population (habitants)	10565	15006
Strate population	Semi urbain	Semi urbain
Dotations (l/j/hab) (PNE)	80	100
Autre usages (%)	35	35
Besoins en eau (m ³ /j)	1141	2026
Débit moyen rejeté (m ³ /j)	913	1621
Coefficients de pointe (Kp)	2,27	2,08
Débit de pointe rejeté (m ³ /j)	2071	3366
Débit de moyen rejeté (m³/an)	333 176	591 518

Tableau N°V-10 : Cumul des volumes d'eau usée rejetés dans l'Oued Mouguer.

Volumes eau usée rejetés dans Oued Mouguer et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)		Cumul des volumes d'eau usée rejetés dans Oued Mouguer et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)
Nov.2000 à Nov.2014	Nov.2014 à Nov.2034	Nov.2000 à Nov.2034
4,66	6,66	11,33

Ces volumes sont calculés sur la base d'un volume moyen rejeté équivalent à celui de l'horizon 2014.

6. Pollution par les déchets solides urbains dans le bassin versant de Zit-Emba

Les déchets solides constituent une autre forme de pollution due aux ordures ménagères. Ces matières solides ou semi solides résultants des activités humaines et qui sont inutiles, indésirables ou dangereuses telles que les différentes matières d'emballages (métal, bois, verre, plastique, carton, tissu, etc...), peuvent engendrer des problèmes de pollution s'ils sont rejetés, anarchiquement, dans l'environnement (Tableau N° V-11).

Tableau N° V-11 : Volume des déchets solides urbains.

Désignation	Centre Ouled Ali	Commune Bouâti-M	Commune Roknia	Norme kg/j/hab.	Quantité kg/an	Quantité tonnes/an	Volume déchets solides urbains produit par la population habitant le B.V du barrage Zit-Emba pendant les 14 ans d'exploitation en tonnes.
Population actuelle 2014	1247	10457	10565	0,40	3 251 274	3 251,27	45517,78
Population horizon 2034	1956	14852	15006	0,40	4 644 844	4 644,84	6 5027,76

7. Bilan des eaux usées déversées dans les Oueds alimentant le barrage de Zit-Emba

L'environnement aquatique du barrage de Zit-Emba subit actuellement d'intenses pressions dues aux déversements des effluents de différentes activités humaines et agglomérations en amont du barrage sans aucun traitement épuratif préalable. Ces rejets modifient fondamentalement la qualité des eaux de surface dans le bassin versant de Zit-Emba (Tableau N°: V-12).

Tableau N°IV-12 : Total des volumes des eaux usées rejetés et reçu par le barrage de Zit-Emba.

Désignation	Volume annuel (Hm ³)	Volumes des effluents rejetés dans les oueds et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)		Cumul des volumes des effluents rejetés dans les oueds et transitant par le barrage Zit-Emba en (Hm ³)
Périodes	2014	Nov.2000 à Nov.2014	Nov.2014 à Nov.2034	Nov.2000 à Nov.2034
Oued El Hammam	2,216379	31,029306	44,327580	75,356886
Oued Mouguer	0,333176	4,664471	6,663530	11,328000
Total	2,549555	35,693777	50,991110	86,684886

Malheureusement les acteurs du secteur de l'eau et l'environnement ainsi que les collectivités locales n'accordent pas assez d'importance à cette cruelle charge polluante qui peut avoir des effets

ou des conséquences catastrophiques sur la quantité et la qualité des eaux stocker au niveau de ce barrage ainsi que les populations qui utilisent cette eau.

8. Sources de pollution adjacentes au barrage de Zit-Emba

Un barrage n'est pas à l'abri des risques de pollution ce qui le rend particulièrement vulnérable. L'industrialisation constitue un nombre important de problèmes d'ordre environnemental, écologique et sociologique. Les risques d'accidents dans l'industrie sont rares mais spectaculaires. Ils pourraient avoir des conséquences extrêmement graves, dans la plupart des cas sans aucun signe précurseur ni aucune alerte préventive qui attire l'attention.

Il existe deux types de sources de pollution industrielles qui sont extrêmement proches du barrage de Zit-Emba et qui peuvent exercer des effets préjudiciables, l'une due à la cimenterie de Hadjar El-Soude et l'autre aux gisements d'extractions de minerai de mercure de Ras El Ma, Ismaïl, Guenicha, Mra-Sma I, Mra-Sma II et koudiat Sma, de l'ancienne usine de recyclage de mercure d'Azzaba.



Figure. N° V-03 : Position de la cimenterie de Hadja El-Soud Para port le barrage Zit-Emba.

8.1. Effets des dépôts atmosphériques secs et humides de la cimenterie de Hadjar El-Soud sur le sol et les eaux douces du B.V. Zit-Emba

8.1.1. Situation, Production et composition

Située au Nord-est du barrage de Zit-Emba, espacée de 7 Km à vole d'oiseau (fig. N° IV-03), sur l'axe de la route N°44 reliant Annaba-Constantine et Skikda. Faisant partie de la commune de Bekkouche Lakhdar Daïra de Ben Azzouz Wilaya de Skikda, la cimenterie de Hadjar El-Soud est la première cimenterie de l'Algérie indépendante, un des plus importants complexe de production de ciment au niveau national, il s'étale sur plus de 29 ha. Mise en exploitation l'an 1973 avec une capacité de production annuelle de plus de **1.1 million** de tonnes/an pour l'an 2010 contre 936.000 tonnes de ciment produites en 2009 [Rafraf, 2010], elle offre une large gamme de ciments artificiels (portland). La composition chimique du portland normal est la suivante : Oxyde de calcium 60 à 70 %, Silice totale 19 à 24 %, Oxyde ferrique 2 à 6 %, Oxyde de magnésium < 5 % Oxyde d'aluminium 4 à 7 % [Zohoun et al, 1993].

8.1.2. Contexte climatique(le vent)

Le vent est le facteur le plus déterminant de la direction du panache de la poussière dégagée par la cimenterie. La fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année, les vents dominants dans la région sont ceux du Nord-Ouest, cependant durant le 3^{ème} trimestre (de juillet à septembre) ce sont les vents du secteur Nord-est et Nord-sud qui dominant. La majorité de ces vents sont de faibles à moyennes, leur vitesse moyenne enregistrée est de 2 à 3 m/s. [LEM, 1996][Mezedjri, 2008][Boulkaïbet, 2011].

Ces vents peuvent traîner les poussières et les gaz émanant des conduites d'évacuation des cheminées de l'usine (Photo N°V-04) pour se précipiter parfois sur le plan d'eau du barrage qui fait 850 ha ou même dans le bassin versant de la zone d'étude vu la courte distance qui sépare les deux infrastructures. Pendant les 10 ans d'exploitation du barrage ou la cimenterie n'était pas dotée d'électro-filtre, le barrage recevait quelquefois ces retombées atmosphériques de poussières chargées de silicate de calcium et de magnésium.



Photo N°V-04 : Poussières de la Cimenterie de Hadjar El-Soud.

8.1.3. Evaluation des Risques

Les retombées atmosphériques des vents presque souvent invisibles peuvent être sous la forme de dépôts secs (particules sèches ou gaz) ou de dépôts humides (pluie, pluviolessivats, neige, grêle, brouillards ou nuages). Les processus qui contrôlent ces dépôts sont très différents les uns des autres. Actuellement la cimenterie de Hadjar El-Soud, a considérablement réduit ses émissions de poussières depuis 2009. En concordance d'avis et d'après Boulkaïbet (2011), parmi les scénarios probables qu'il propose et pouvant résulter de l'activité de la cimenterie de Hadjar El-Soud le **Scénario A** : Émanations massives d'un panache de poussières et de particules fines suite à une rupture au niveau des électro-filtres de l'usine, ce dysfonctionnement qui va provoquer l'arrêt de l'électro-filtre et qui va entraîner un grand dégagement de poussières de particules de ciment. Où les effets seront fortement ressentis par la population du village de Bekkouche Lakhdar et même le dépassant [Boulkaïbet, 2011], là où le barrage est implanté (tangent à ce dernier) à quelques centaines de mètre (fig. N°V-04).

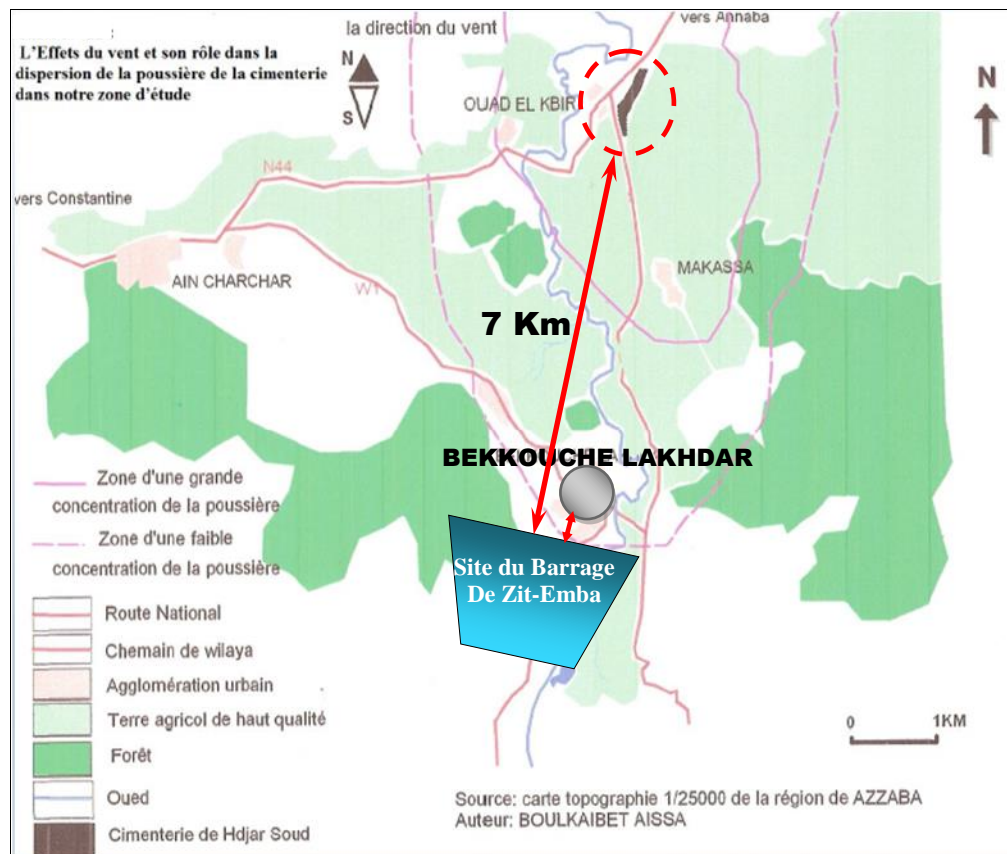


Figure N°V-04 : Effets des vents et scénarios "A" probables pouvant résulter de l'activité De la cimenterie de Hadjar El-Soud.

8.1.4. Discussion des résultats de la station la plus proche de la cimenterie (S₃)

Les résultats d'analyses au niveau de la cuvette du barrage (station 3) au point le plus éloigné de la digue, berge Sud-est, à plus de 2,5 Km de celle-ci ; le calcium et le magnésium qui font partie de la composition du ciment portland et la conductivité électrique ont enregistré un accroissement dans le temps de la majorité des teneurs de ces éléments analysés (Figure. N° V-05, 06, 07) pendant la période estivale là où les vents soufflent Nord-sud.

Cette hypothèse de retombées atmosphériques du panache de poussières de la cimenterie de Hadjar El-Soud due aux vents estival sur le plan d'eau qui a provoqué l'augmentation temporelle des substances calcique et magnésique ainsi que la conductivité électrique est confirmée et consolidée par la dilution spatiale de ces éléments vis-à-vis des concentrations enregistrées sur les stations en amont S₁ et S₂ dû à la distance qui sépare les stations (S₁, S₂ et S₃).

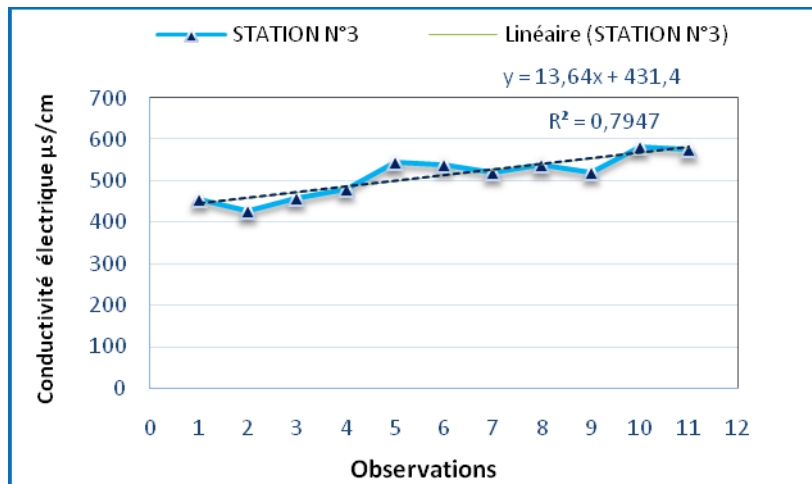


Figure N°V-05 : Évolution de la conductivité électrique au niveau de la station 3.

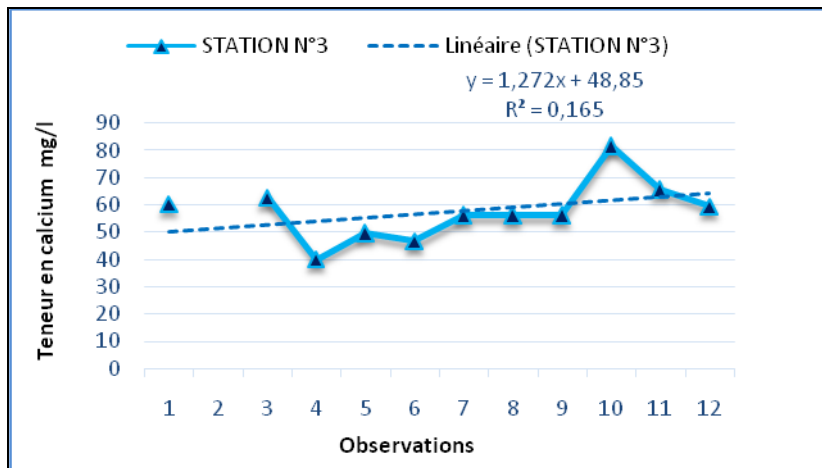


Figure N°V-06 : Évolution dans le temps du calcium au niveau de la station 3.

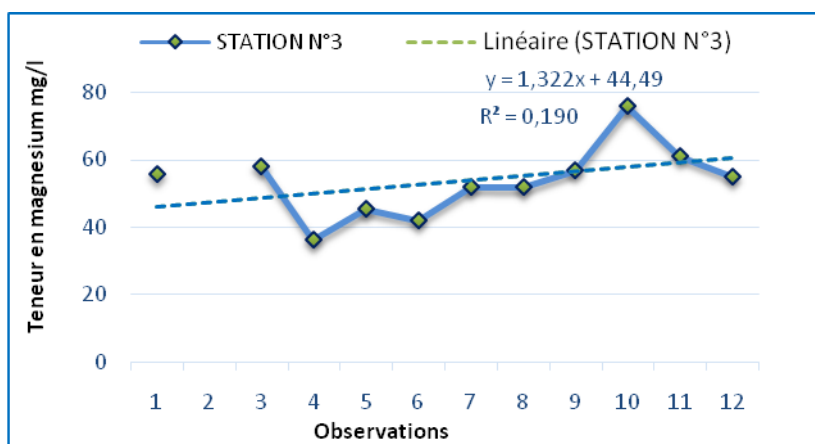


Figure N°V-07 : Évolution dans le temps du magnésium au niveau de la station 3.

8.2. Effets des retombées atmosphériques de la zone mercurielle d'Azzaba sur le B.V. Zit-Emba

8.2.1. Avant-propos

Le **cinabre** a de tout temps suscité les inquiétudes et alimenté toutes les supputations. Sa simple évocation suffisait d'ailleurs pour irriter les pouvoirs publics, cloisonnés, il est vrai, entre les dangers que la production du métal faisait peser sur la santé publique et les pressions de la stratégie économique nationale. Aujourd'hui, le mercure n'est qu'un vieux mais douloureux souvenir [Ouahab, 2006].

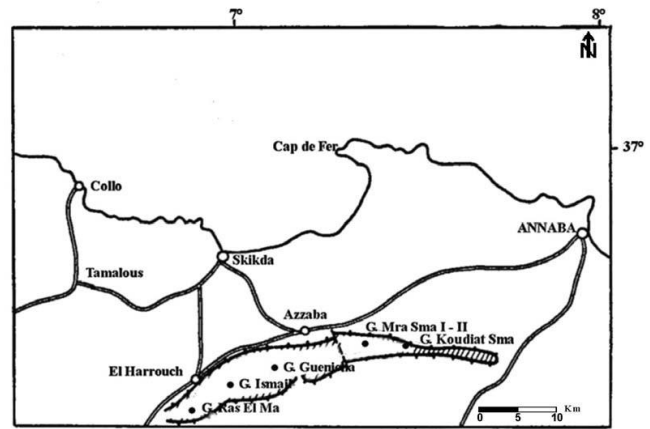


Fig. N°V-08 : Limite de la zone mercurielle

Bien que la quantité et le type de renseignements relatifs aux opérations minières (d'extraction et de traitement) dans la région d'Azzaba et particulièrement les statistiques de leurs effets indésirables (maladies et altérations) résultant de ces travaux reste insuffisante et clairsemée. Ces dernières sont susceptibles d'avoir des effets néfastes sur l'environnement notamment aquatique au fil des années. Une appréciation de l'impact de ces activités sur la qualité des ressources en eau est nécessaire. Nous avons essayé d'éclaircir la situation et de mettre notre hypothèse, en se basant essentiellement sur le peu des travaux publiés, principalement, (Nezzal et al, 2004), (Ouahab, 2006-2011), (Benhamza et al, 2004), (Belhadj, 2007-2011), (Alioua, 2008), (Alligui, 2010).

8.2.2. Situations, frontières et lithologies

- La région d'Azzaba se situe dans le Nord-est de l'Algérie, elle appartient à la partie orientale de la chaîne Numidique. Au Sud-est et à 32 Km du chef-lieu de la wilaya de Skikda (Fig. N°V-08), elle se trouve à 80 Km au Nord-est de Constantine et à 70 Km d'Annaba. La dépression d'Azzaba communique à l'Ouest avec celle de Ramdane Djamel au méridien de Ras El Ma et débouche à l'Est sur la dépression de Fetzara [Beloucif, 2007].

- Situés au Nord-ouest du barrage de Zit-Emba, la zone mercurielle d'Azzaba se compose de nombreux dépôts de Hg (Koudiat Sma, Mra-Sma I, Mra-Sma II, Guenicha, Ismail et Ras Elma), qui sont distants du barrage de Zit-Emba de 8,4 à 13 km à vol d'oiseau sur une longueur de frontière de 26 km (Fig. N°V-09). Ces dépôts sont hébergés dans une variété de

lithologies y compris les grès, calcaire, des brèches et des conglomérats. Les minerais se produisent sous forme de dépôts dans des formations cinabre yprésien-Lutétien.

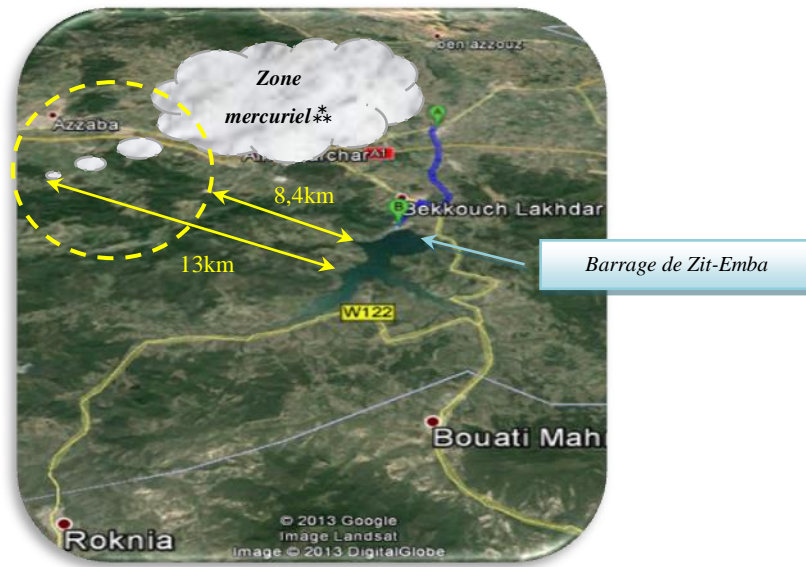


Fig. N°V-09 : Position de la zone mercurielle envers le barrage Zit-Emba.

8.2.3. Ressources naturelles (gisements mercuriels)

Pendant la période 1966-1970 les travaux de recherche et de prospections géologique effectués par les soviétiques sur une vaste superficie de plus de 90 Km² de la pente Nord de la chaîne Numidique ont permis de délimiter la zone mercurielle du Nord Numidie, cette zone mercurielle forme une bande longue de 24 Km et large de 1 à 2.5 Km (et parfois plus), ensuite de découvrir les gisements de mercure nommés ci-dessus et enfin de mettre en évidence 27 indices mercuriels, polymétalliques et de cuivre.

Azzaba, connue par son champ minier essentiellement mercuriel pendant plusieurs décennies était une région d'exploitation minière très active, notamment le gisement de mercure d'Ismail (exploité par l'Entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles " ENOF"), aussi bien au niveau de l'exploitation qu'au niveau du traitement du minerai de mercure. Actuellement le principal complexe de traitement du minerai connu à l'échelle mondiale (complexe mercuriel d'Ismail) est en arrêt depuis plusieurs années à cause de l'épuisement des principaux gisements de mercure qui approvisionnaient ce complexe [Beloucif, 2007].

La région dispose d'un autre gisement tout aussi important, celui de Fendek, non encore exploité et dont les réserves sont estimées à 1,2 million de tonnes, soit 22 000 t de métal. Ce qui représente des quantités plus importantes que les trois gisements réunis. Son exploitation

ne serait pas à envisager, et ce, pour deux raisons : d'abord, le mercure est en phase d'être définitivement banni à l'échelle mondiale en plus des considérations du fait que ce gisement soit souterrain, chose qui nécessiterait des moyens d'extraction très coûteux. Vue sous cet angle, la fermeture de l'usine de mercure de Skikda semble en partie obéir à des considérations plutôt économiques qu'écologiques [Ouahab, 2006].

8.2.4. Contexte climatique (le vent)

Les vents dominants dans la région d'étude sont ceux du Nord-Ouest avec une vitesse assez constante au cours de l'année, en moyenne entre 1.9 et 2.5 m/s, avec un maximum en hiver et un minimum en été. [Belhadj, 2007]. La répartition trimestrielle du régime des vents dans le golfe de Skikda montre que : Pendant les 1^{er}, 2^{ème} et 4^{ème} trimestres de l'année, les vents du secteur Ouest et Nord-ouest sont les vents dominants, et qu'une grande partie souffle à une vitesse supérieure à 8 m/s [SSMO in LEM, 1996 ; Mezedjri, 2008 ; Alioua, 2008].

8.2.5. Le cycle planétaire du mercure

Le mercure est un polluant mondial. Au moment où le mercure est rejeté dans l'environnement, il s'évapore, se déplace sur les courants d'air, et puis retombe sur la terre, soit près du site de rejet initial ou soit plus loin de ce dernier [IPEN, 2010].

- Selon l'Organisation mondiale de la Santé en 2005, certaines études auraient révélé qu'il n'existerait pas de seuil en dessous duquel il ne se produirait pas d'effets indésirables du mercure [OMS, 2005].
- Selon le programme des nations unies pour l'environnement (PNUE) (substances chimiques "évaluation mondiale du mercure" 2002) les rejets de pollution par le mercure les plus importants sont les émissions atmosphériques, mais le mercure est également directement libéré par différentes sources dans l'eau et dans les terres. Une fois rejeté, le mercure persiste dans l'environnement où il circule, sous diverses formes, entre l'air, l'eau, les sédiments, le sol et les biotopes. Les émissions actuelles s'ajoutent au réservoir mondial de mercure, continuellement mobilisé, déposé sur terre et dans l'eau et mobilisé à nouveau [PNUE 2002/05].
- Selon toujours la même source la forme sous laquelle le mercure est libéré varie selon le type de source et d'autres facteurs. La majorité des émissions atmosphériques sont sous la forme de mercure élémentaire gazeux, qui est transporté à l'échelle planétaire dans des régions éloignées de la source. Les émissions restantes sont des formes gazeuses, inorganiques ou ioniques du mercure (telles que le chlorure mercurique) ou sont liées à des

particules émises. Ces formes ont une plus courte durée de vie dans l'atmosphère et se déposent sur les terres ou les étendues d'eau dans un rayon allant de **100 à 1000 km à partir de leur source**. Le mercure élémentaire présent dans l'atmosphère peut se transformer en mercure ionique, ce qui constitue une voie importante de dépôt du mercure élémentaire émis [PNUE 2002/05].

- Selon IPEN (International POPs Elimination Network) (Réseau International pour l'Élimination des POPs) la vapeur de mercure pure, aussi appelée le mercure élémentaire gazeux (MEG), a une très faible solubilité dans l'eau et est très stable dans l'atmosphère, avec un temps de rétention prévue entre six mois et deux ans. Cette stabilité permet au mercure élémentaire de subir le transport à grande distance et fait en sorte que les concentrations du MEG soient régulièrement uniformes dans l'atmosphère. L'Hémisphère Nord, la plus développée industriellement, a néanmoins des concentrations atmosphériques du MEG plus élevées que L'Hémisphère Sud [Jack Weinberg et Senior Policy Advisor, 2010].

8.2.6. Les régions polluées dans le secteur d'étude

Selon la Société algérienne de médecine du travail dans son bulletin officiel n°7 basées sur des études scientifiques officielles établies récemment et réalisées par six praticiens de renommée de la médecine du travail du centre hospitalo-universitaire Ibn Rochd et le centre hospitalier spécialisé de psychiatrie Erazzi de Annaba (Les professeurs [Az. Nezzal](#), [S. Labidi](#), [S. Gueroui](#), [D. Tourab](#), [M. Boudef](#) et [Am. Nezzal](#)) qui rompent pour la première fois le silence. Cette étude porte sur l'imprégnation mercurielle chronique dans la région d'Azzaba. Les conclusions de cette dernière sont beaucoup plus un réquisitoire face aux lacunes considérables de la surveillance sanitaire et environnementale dans notre pays. Cette étude doit être interprétée comme une alerte à la pollution au mercure dont les effets sont déjà catastrophiques sur la santé publique des populations de toute la région de l'est du pays.

Ces conclusions répondent à la question sur le macabre taux de sujets, notamment les enfants, à de différents cancers qui placent **Constantine, Azzaba, Skikda, Guelma, Annaba et Berrahal** en tête de liste des régions les plus cancérigènes d'Algérie. Particulièrement Azzaba où, depuis des années, ce taux n'a pas cessé sa courbe ascendante. « La principale voie d'entrée du mercure dans l'organisme humain est la voie pulmonaire. Elle se fait principalement dans les membranes alvéolaires qui, en raison de leur liposolubilité notable, en retiennent 80%. C'est compte tenu de ce constat que nous avons développé une démarche

visant à vérifier la contamination de la population, notamment les enfants scolarisés, résidant autour du complexe de Bou Ismaïl [Nezzal et al, 2004].

8.2.6.1. Types et sources de pollution de la zone mercurielle d'Azzaba

- Pendant plus de trois décennies et à partir de la cheminée de l'usine de mercure d'Ismaïl à Bayard, une pollution atmosphérique générale dans la région s'est produite par des dépôts de mercure sur les sols, les eaux et la végétation [Nezzal et al., 2004][Alligui, 2010].
- Les scories, déchets recueillis dans les fours, sont stockées par camions dans des zones à l'air libre ; elles constituent une seconde source de pollution [Nezzal et al, 2004].
- Les bassins de décantation qui drainaient les eaux de nettoyage des sols et des eaux de pluie constituent la troisième source de pollution de l'environnement jusqu'à ce jours [Nezzal et al, 2004].
- Le site de l'ex usine d'Ismaïl lui-même, laissé à l'abandon, sans aucun traitement de dépollution jusqu'à ce jours, il reste ouvert aux intempéries qui emporte les résidus.
- Les six sites des carrières d'exploitations (Koudiat Sma, Mra-Sma I, Mra-Sma II, Guenicha, Ismaïl et Ras Elma) laissés à l'abandon, sans aucun traitement de dépollution de ces sites.
- Enfin, Certains affleurements en renferment des quantités plus importantes de minerai de mercure de Fendek [BRGM, 2005].

8.2.6.2. Etats des lieux

- Le 4 juin 2005, le complexe mercuriel d'Ismaïl le plus grand d'Afrique, deuxième au niveau mondial ferme définitivement ses portes. Des années après, le lourd héritage, légué par plus de 33 années d'exploitation est encore là avec ses risques, ses inquiétudes et beaucoup de non-dits. Plus d'un million de tonnes de déchets contaminés (scories) s'entassent encore à l'air libre, au gré des intempéries et à la portée des enfants. Deux lacs de décantation non gardés, dont la teneur en mercure dépasse de plus de 40 fois la norme, regorgent, à ce jour, d'eau et servent souvent d'aire de jeux et de source d'irrigation. Et ce n'est pas tout [Ouahab, 2011].
- C'est une décharge à ciel ouvert à moins de 400 m seulement à l'ouest de l'usine. Plus de 700 000 m³; de scories de production (un million de tonnes), dont la teneur en mercure (Hg) avoisine les 0,050 g/kg sont entassés ici sans aucune surveillance, tout comme des dizaines de tonnes de tout-venant dont la teneur en Hg dépasse les 8 g/kg, selon un

document du ministère de l'Environnement. C'est aussi un endroit hautement pollué enregistrant des concentrations mercurielles allant de 0,3µg/g à 54,4µg/g au sol et de 0,33 à 1.32µg/g dans les sédiments, selon des travaux des universitaires algériens. Vus de loin, les monticules formés par les déchets se confondent presque dans le paysage. Ce n'est qu'en s'engouffrant à travers une piste qu'on découvre que la terre dans ces lieux change de couleur à chaque pas. Noire à l'amorce de la piste, elle vire aussitôt au rouge pour devenir étrangement blanche [Ouahab, 2006].

- Selon un rapport officiel du ministère de l'Environnement « plus de 60% de la composante de ces déchets se trouvent sous forme de particules fines », ce qui accentue leur propagation. Le rapport va encore plus loin en révélant que « le site ne possède pas d'étanchéité à sa base et le matériau stocké non recouvert est soumis aux intempéries ». Le rapport en question est tiré du « Plan d'action national pour la réduction de la pollution marine en Algérie due à des activités industrielles menées à terre ». Il date de 2005 [Ouahab, 2011].
- Selon plusieurs anciens employés de l'usine, le danger de ces deux lacs est beaucoup plus important que les scories. « Le complexe mercuriel n'a jamais disposé d'un programme de dépollution. En plus du mercure métallique, les lacs accueillent également du sulfure mercurique (HgS) très peu soluble dans l'eau. Comme ces lacs faisaient partie du circuit fermé des eaux techniques, d'importantes quantités de mercure sont encore déposées sur la vase des lacs ».
- Selon un rapport officiel de Chérif Rahmani, ministre de l'Environnement, en personne, le 8 mai 2006 et lors d'une visite au complexe, avait insisté pour déclarer devant un parterre de journalistes que « la teneur en mercure des eaux des bassins de décantation était 40 fois supérieure à la norme ». Et dire qu'aujourd'hui, ces eaux sont toujours utilisées pour irriguer quelques lopins de terre.
- Des habitations qui ont été construites avec ces déchets (les scories).

8.2.7. Contaminants à l'état de traces

Les niveaux de mercure peuvent être élevés naturellement, soit par l'altération des roches minéralisées ou par dispersion à partir de sources anthropiques. Lorsque le mercure a été libéré de ses sources et libéré dans l'environnement, il peut être très mobile, passant de surface, de l'eau et de l'atmosphère de la Terre [Alligui, 2010]. Le mercure peut pénétrer dans l'atmosphère sous forme de gazoulié à d'autres particules en suspension. Le transport

atmosphérique est probablement le principal mécanisme par le quel Hg est distribué dans l'environnement. En plus des voies atmosphériques, le mercure peut être transporté à travers les réseaux hydrographiques dans leurs charges de sédiments, ou en solution aqueuse. Dans de nombreuses régions, la pollution des sols peut être d'origine géologique plutôt que le résultat de l'activité humaine. Le mercure peut également introduire dans les eaux souterraines à la suite de la dissolution et l'oxydation du gisement de minerai ou de l'altération des résidus contenant des niveaux élevés de mercure. Par conséquent la compréhension des processus biologiques responsables de la mobilisation et le devenir du mercure physiques et chimiques, est tenue de prévoir son impact sur la santé humaine ainsi que les écosystèmes [Alligui, 2010].

8.2.8. Effets désastreux sur l'environnement (Population, air, eau, sol, biotopes)

La pollution par le mercure a des effets importants aux niveaux local, régional et même mondial sur les êtres humains, les biotopes et les ressources en eaux superficielles et souterraines. Le mercure libéré de sa source de production, grâce à la dispersion provoque une grande pollution de l'environnement. De nombreuses études ont conclu que le mercure est un oligo-élément toxique le plus fortement bio-accumulés dans la chaîne alimentaire humaine, c'est pourquoi il a été au centre des activités de recherche au cours des cinquante dernières années [Alligui, 2010]. Le principal effet de l'exploitation minière est la dégradation des dizaines de kilomètres de cours d'eau perturbés, des hectares de terres perturbées y compris des écosystèmes précieux [Alligui, 2010].

8.2.8.1. Effets sur la population

Bien que les praticiens de la médecine du travail n'aient avancé aucune statistique sur le nombre de personnes annuellement atteintes par une pathologie, généralement le cancer, générée par l'absorption ou l'inhalation de mercure, ces conclusions confirment les appréhensions publiquement exprimées par les populations de ces régions au début de l'année 2004. En filigrane, elles mettent en relief le grave dépassement des normes recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en matière de protection de l'environnement [Nezzal et al, 2004].

Les résultats des analyses des praticiens de la médecine du travail font ressortir que cette population a une concentration moyenne de mercure dans les urines (1,32 µg/g de créatinine) significativement plus élevée que celle de la région d'Annaba (0,81 µg/g) témoignant d'une imprégnation mercurielle chronique », précisent les mêmes praticiens [Nezzal et al, 2004].

8.2.8.2. Effets sur les ressources en eaux souterraines et superficielle

A. Effets sur les ressources en eaux souterraines

Bien que les conditions locales puissent influencer sur l'exposition au mercure de certaines populations riveraines, la plupart des gens sont exposés principalement au méthylmercure par l'intermédiaire de leur alimentation (en particulier via l'eau).

La zone d'étude est caractérisée par deux nappes aquifères. La nappe phréatique oligocène et la nappe profonde paléocène-éocène. Les deux nappes sont séparées par les roches imperméables du Paléozoïque et du Lutétien-Priabonien représentant la minéralisation mercurielle de cinabre (HgS) au sein des microbrèches calcaires, des argiles et des calcaires.

Les analyses ont concernés dix-neuf sources et forages dans cette zone d'étude. Les faciès chimiques dominants sont le bicarbonaté calcique, le sulfaté calcique et le chloruré sodique. Les eaux de la nappe oligocène présentent des teneurs élevées en Hg qui peuvent atteindre 80 µg/l, par contre les teneurs maximales dans la nappe profonde sont de 7 µg/l, malgré que les faciès lithostratigraphiques dont les Clarke élevés en Hg dans les microbrèches calcaires est de (1,5 ppm) du Lutétien-Priabonien, alors que pour les roches oligocène la valeur est de 0,8 ppm [Benhamza et al, 2008 ; ANGCM, 2008]. Selon (Bikmeev 1970), in (Benhamza 2007) le coefficient de migration de l'Hg calculé dans la région est moyen (0,15).

B. Effets sur les ressources en eaux superficielle

Les travaux de recherche publiés antérieurement (EJRS, Vol 56 N°2, 2011- la Houille Blanche N°4, 2012 et LJEE N°24&25) révèlent que les eaux de surface du bassin versant de Zit-Emba de l'émergence de la source thermale de Hammam Oued Ali jusqu'au barrage présente des teneurs très élevé en Hg²⁺ avec des moyennes qui varient successivement sur les stations de prélèvements S1, S2, S3 et S4 comme suit : 0,053 - 0,029 - 0,012 et 0,088 mg/l. Ces valeurs dépassent de loin les valeurs admissibles de l'OMS.

Les teneurs en Hg²⁺ retrouvées dans ces eaux témoignant d'une contamination des eaux du barrage destinées à l'agriculture et à l'approvisionnement en eau potable. Parmi les origines qui peuvent avoir ces ETM :

- Le premier est en liaison avec les fluides hydrothermaux a l'émergence de la source thermale, où les éléments traces peuvent être véhiculés en grandes concentrations sous des conditions de température et de pression très élevées. Ce passage provoque la dissolution de la roche encaissant.

- La seconde origine est en liaison avec la présence de gites miniers dans la région [Bouarroudj, 1989] qui entraînent l'augmentation de la teneur de cet élément dans l'eau, suite au passage de ce dernier sur ces zones qui présente une vaste superficie d'affleurements de formation mercurielle (cinabre).
- En plus, les travaux effectués dans la région [Nezzal et al, 2004 ; Benhamza et al, 2007 ; Alioua, 2008 ; Alligui, 2010 ; Belhadj, 2007-2011 ; Boudoukha et al, 2012] ont montrées que le traitement du mercure présente une double pollution atmosphérique et hydrique.

De ce fait, une bonne partie du mercure émis dans l'atmosphère par l'usine sous forme de mercure élémentaire gazeux, résultent du recyclage du cinabre, retombe sur le sol de la zone d'étude et puis ruisselle vers la retenue de Zit-Emba à travers Oued El-Hammam.

Donc, il est fortement probable que les poussières et les vapeurs émanant des carrières et de l'usine se déposaient sur le sol du bassin versant de Zit-Emba depuis 33 ans d'exploitations, à cause des vents dominants Nord/Ouest-est et la courte distance qui sépare les deux zones.

8.2.8.3. Effets sur l'environnement des biotopes (Flore)

Les résultats décrits dans le travail d'Alioua publié en 2008, montrent que le mercure s'accumule dans toutes les espèces végétales. Mais le taux d'accumulation de cet élément dépend de la nature de l'espèce (*Casuarina equisetifolia* n'accumule pas de la même façon que *Cupressus sempervirens*), de leur cycle végétatif (voir espèce herbacée et espèce arborescente), de la distance et de l'exposition par rapport à la source de pollution ainsi que des conditions climatiques et topographiques (au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de pollution), le taux de Hg accumulé diminue cependant, cette variation par rapport à la source, et en fonction de l'influence des vents dominants et de la présence ou absence d'écrans naturels susceptibles de jouer le rôle de brise pollution.

Cette étude a permis de cartographier la pollution par le mercure à l'aide de son accumulation par les deux principaux bio accumulateurs (transplants de *Xanthoria parietina* et *Cupressus sempervirens*) afin de délimiter les zones névralgiques méritant une attention particulière [Alioua, 2008].

L'accumulation spatio-temporelle du Mercure par *Xanthoria Parietina* transplanté montre que la variation du mercure est significative dans le temps. C'est-à-dire que plus le temps d'exposition des transplants lichéniques est long plus l'accumulation en mercure est importante. La valeur maximale enregistrée est de 0.41 µg/g à l'entrée et à 2 Km au NE de l'usine après trois mois d'exposition [Alioua, 2008].

La cartographie par l'accumulation spatio-temporelle du mercure à l'aide de *Xanthoria Parietina* a permis de définir deux zones : une zone polluée ($0,3 \mu\text{g/g} > [\text{Hg}] > 0,1 \mu\text{g/g}$) s'étendant jusqu'à 1 Km au Sud de la source et jusqu'à 3,5 Km au Nord-Est de la source, au-delà de ces limites, les zones sont considérées non polluées ($[\text{Hg}] < 0,1 \mu\text{g/g}$) par rapport à cette espèce [Alioua, 2008].

L'accumulation spatio-temporelle du mercure par *Cupressus sempervirens* montre que le coefficient de corrélation entre la distance par rapport à la source de pollution et l'accumulation du mercure pour toutes les directions concernant le dernier prélèvement est de $-0,799^*$ donc la corrélation est significative. Cette espèce semble plus indicatrice quant à la corrélation de l'accumulation du mercure et l'éloignement tout en tenant compte des conditions météorologiques et topographiques de la région qui influent énormément sur la concentration des polluants.

La cartographie par l'accumulation spatio-temporelle du mercure à l'aide de *Cupressus sempervirens* nous a permis de déterminer trois zones: une zone de forte pollution dont la concentration en Hg dans les échantillons dépassent $0,3 \mu\text{g/g}$ qui s'étend jusqu'à 2,6 Km au sud de la source de pollution, **une zone modérément polluée s'étendant jusqu'à 10 Km à l'Est de la source ($0,1$ à $0,3 \mu\text{g/g}$)** et enfin une zone normale au-delà de 10 Km ($[\text{Hg}] < 0,1 \mu\text{g/g}$) [Alioua, 2008].

L'accumulation du mercure par les transplants de lichens traduit parfaitement l'importance de la pollution de la région mercurielle d'Azzaba avec une accumulation maximale de $0,41 \mu\text{g/g}$ (Fig. N°V-10). Cette étude estime que plus le temps d'exposition de ces transplants est long, plus la bio-indication est significative [Alioua, 2008].

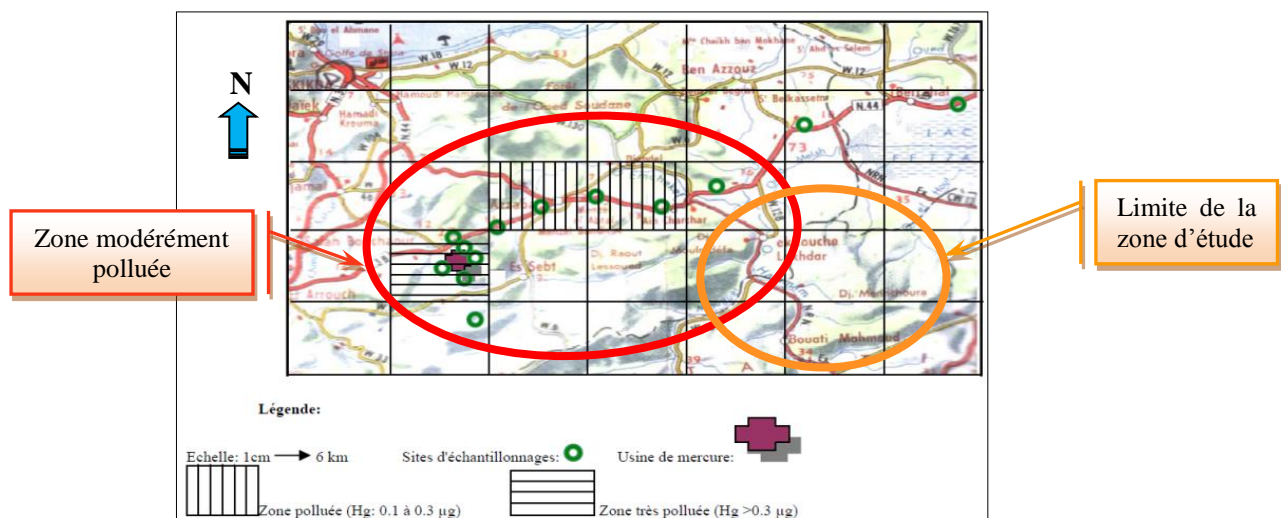


Fig. N°V-10 : cartographie de la pollution mercurielle dans la région à l'aide de *Cupressus sempervirens*.
(In Alioua 2008, modifié)

8.2.9. Les effets des métaux lourds sous-estimés ou non suffisamment pris en compte ?

Les métaux lourds, comme d'autres substances toxiques, apparaissent rarement dans des doses suffisamment fortes pour déclencher des maladies immédiates. Ils sont consommés à faible dose, mais de manière continue, et s'accumulent dans différents organes du corps humain où ils deviennent des "bombes à retardement". Par ailleurs, selon certains experts, le corps humain sain peut gérer des faibles doses de métaux lourds et les éliminer sans développer des réactions particulières. Il est certain que les personnes ne réagissent pas de la même manière à une exposition aux métaux lourds, en fonction de leurs prédispositions génétiques et leur état de santé. Ainsi, le lien entre cause et effets est souvent difficile à établir [Jean HUSS 2011].

8.2.10. Le cycle planétaire du mercure aggrave le problème

Les origines du dépôt de mercure à partir de l'atmosphère sont aussi bien hémisphériques et planétaires que locales ou régionales. Outre les sources locales de rejets de mercure (telles que les installations d'incinération des déchets et de combustion du charbon), les concentrations de fond générales planétaires (réservoir mondial) comptent pour beaucoup dans la quantité totale de mercure présente dans la plupart des endroits. De même, à peu près toutes les sources locales peuvent contribuer au réservoir mondial. Les cours d'eau et les courants océaniques sont également des voies de transport à longue distance du mercure [PNUE 2002, 2005].

9. Conclusion

Le barrage de Zit-Emba est épinglé entre quatre sources de pollutions potentielles qui peuvent influencer la santé des populations utilisant cette eau à court ou à moyen terme et entraîner certaines répercussions plus ou moins dangereuses sur l'homme et l'environnement (Fig.IV-11).

Deux sources de pollutions en amont du barrage influent directement sur la qualité des eaux de ce dernier par leurs rejets usées rejetés sans aucune épuration préalable à savoir :

1. La pollution par les effluents rejetés de divers activités humaines et agglomérations sur Oued El-Hammam qui déversent un volume annuellement de $2,21 \text{ Hm}^3$.
2. La pollution par l'effluent domestique rejeté par la commune de Roknia sur Oued Mouguer avec un volume annuel de $0,33 \text{ Hm}^3$.

L'importance de cette partie a mis en évidence l'évaluation d'un volume d'effluents résiduel très important $2,54 \text{ Hm}^3/\text{an}$, soit sur les quatorze ans d'exploitation du barrage Zit-Emba, un volume de $35,69 \text{ Hm}^3$ rejeté pendant toute cette période d'exploitation. Si cette situation persiste jusqu'à l'horizon 2034 le volume des effluents transitant par le barrage sera 86 Hm^3 .

Ces quantités peuvent modifier la composition de cette eau et représentent un danger permanent sur la qualité de l'eau du barrage de Zit-Emba. Ceci peut constituer un facteur principal de la vulnérabilité et la pollution de ces eaux et qui peut avoir des conséquences néfastes sur la santé des citoyens et l'environnement aquatique de cette retenue.

Par ailleurs, deux sources de pollutions en aval peuvent influencer aussi la qualité de ces eaux de surface par leurs positions et dépôts, comme :

1. La zone mercurielle d'Azzaba ;
2. l'Effet des dépôts atmosphériques de la cimenterie de Hadjar El-Soud sur le sol et les eaux douces du B.V. Zit-Emba.

Pour conclure sur ce chapitre, les pouvoirs publics (national et locale) doivent accorder une attention particulière à cette menace cruelle de charge polluante que reçoit continuellement cette retenue, notamment par la mise en place de bons dispositifs d'assainissement et d'épuration qui auraient d'importantes retombées bénéfiques sur la santé des populations qui utilisent cette eau, par la fourniture d'une eau potable salubre de qualité conforme aux normes définies par l'OMS ou les textes réglementaires en vigueur en Algérie par le ministère des ressources en eau. Ce qui est loin d'être le cas actuellement.

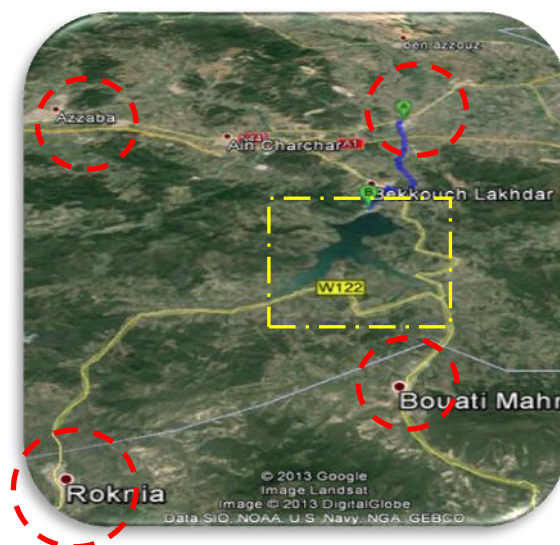


Fig. N°V-11 : Sources de pollutions potentielles du barrage de Zit-Emba.

Chapitre 06

Interprétations des paramètres Physico-chimiques

1. Introduction

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux. Une eau possède un patrimoine géochimique d'origine naturelle qui évolue en fonction de la nature géologique des terrains traversés. Le degré de pollution est apprécié par la mesure de l'écart ou de la différence entre le chimisme naturel de l'eau qu'il soit à l'échelle locale ou régionale et un chimisme nouvellement acquis suite à l'intervention négative de l'homme sur l'environnement hydrologique [Belkhiri 2011].

Il est parfois difficile d'apprécier le degré de pollution à l'échelle d'une région qui fait l'objet de plusieurs exploitations agricoles et de développement industriel. Quant à la qualité de l'eau elle est comparée aux normes de qualité fixées par les exigences de l'OMS, (2008) et les normes nationales [JORA, 1 2011].

Dans ce chapitre, on procède à une interprétation des résultats des paramètres physicochimiques obtenu auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine sur les eaux de la cuvette du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

2. Analyse statistique des données physico-chimiques.

Les données de l'ANRH, ont été obtenues à partir d'échantillons prélevés lors d'un pas de temps mensuel entre septembre 2004 et mai 2014. Il s'agit d'une série de 110 valeurs ce qui permet de remarquer l'absence de quelques mois au cours de la période d'échantillonnage pour des raisons inconnues. Les paramètres analysés sont : CE, pH, température de l'eau (T), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , turbidité (TU), matière en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5), matière organique (MO) et oxygène dissout (OD) (Tableau N°VI-01).

Tableau N°VI-01 : Caractéristiques statistiques élémentaires des analyses physico-chimiques des eaux du barrage Zit Emba pour la période 2004-2014. Tous les paramètres sont exprimés en mg/l excepté la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), OD(%), pH sans dimension, T ($^{\circ}\text{C}$) et TU (NTU).

Paramètres	CE	pH	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TU	MES	DCO	DBO ₅	MO	OD	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _T	Mn ²⁺
Min	500	7	9	10	3	2	0	55	70	79	0	0	0,4	0,5	10	1	2,7	59	0	0	0	0
Moyenne	669,6	7,8	20,1	65,5	18,5	46,6	3,4	84,7	102,9	146,4	2,0	0,2	4,7	50,6	31,8	3,9	8,1	94,6	0,01	0,01	0,21	0,09
Médiane	680	7,8	20	65,9	18	46	3	85	102	146,4	1	0,1	2,8	26	30	3,6	7,4	96,1	0,01	0,01	0,14	0,04
Max	800	8,6	33	104	52	60	60	130	166	220	24	10	25	340	85	20	14	126,9	0,096	0,095	1,70	1,22
Écart type	45,5	0,2	6,5	12,1	5,2	7,1	5,9	11,4	16,5	22,2	2,9	0,9	5,3	58,9	13,7	2,6	5,6	12,7	0,02	0,02	0,26	0,16
Kurt	1,8	1,7	-1,3	1,9	1,5	1,4	0,8	2,3	1,6	1,6	26,9	103,9	3,4	7,6	2,1	13,3	82,1	0,09	5,61	9,09	13,55	36,00
Skew	-0,6	-0,1	0,1	-0,6	2,4	-2,3	1,6	0,6	0,7	-0,3	4,2	10,1	2,9	2,5	2,8	2,6	8,5	0,05	2,39	2,74	3,17	5,43

2.1. Statistiques descriptives

La comparaison de la moyenne avec la médiane, montre que les valeurs de ces deux caractéristiques statistiques sont très proches, à l'exception de TU et MES. Ceci montre que les valeurs de ces deux derniers paramètres ne sont pas homogènes. Les valeurs de Kurt et Skew de TU et MES sont supérieures à 2. Ces deux paramètres sont l'indice d'une action anthropique sur les eaux de surface de la région. L'examen des valeurs de Kurt et de Skew de l'ensemble des données, montre que les valeurs de ces caractéristiques statistiques, sont comprises entre -2 et +2 pour CE, pH et T, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et supérieures à 2 pour les éléments de pollution (NO_3^- , PO_4^{3-} , TU, MES, DCO, DBO_5 , et MO) et les ETM (Cu, Zn, Fe et Mn). Ceci montre que les séries des valeurs de ces paramètres se répartissent selon des courbes aplaties et présentant une dissymétrie vers la droite.

Au cours des années 2004 et 2005, nous avons réalisés un certain nombre de mesures des paramètres physico-chimiques et la comparaison des moyennes des paramètres communs aux deux séries 2004-2005 et 2004-2014 des données de l'ANRH permet de voir que, les valeurs du pH et les concentrations en Ca^{2+} et HCO_3^- présentent une faible différence, elles sont pratiquement égales, l'erreur étant $\leq 12\%$. Le reste des paramètres présentent un écart important qui varie entre 28% et 164% (Tableau N°VI-02). Nous pensons que ceci est dû beaucoup plus aux techniques d'analyses et le facteur temps. En effet, la mesure du pH nécessite pratiquement le même appareil de mesure qui abouti au même résultat à 5% d'erreur, de même que le dosage de Ca^{2+} et HCO_3^- qui se fait par volumétrie, menant ainsi à une faible différence entre les résultats. Par contre, le reste des éléments nécessite un matériel lourd, un calibrage important et parfois une manipulation des courbes d'étalonnage et de mesure minutieuses, ce qui a abouti à des résultats très différents. L'erreur au niveau des mesures de la CE, est importante (30%).

Tableau N°VI-02 : Comparaison des moyennes des deux séries d'analyses au niveau de la cuvette du barrage Zit Emba.

Désignations	CE	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-
2004-2005 (S3)	513,3	7,41	57,6	43,6	21,0	9,0	60,9	54,4	160,2	0,4
2004-2014	669,6	7,8	65,5	18,5	46,6	3,4	84,7	102,9	146,4	2
Erreur (%)	30	5	12	135	55	164	28	47	9	81

2.2. Analyse de la variance univariée (ANOVA)

Les résultats du test d'analyse de la variance univariée appliquée à chacune des 17 variables mesurées sont consignés dans le tableau N°VI-03. Il s'agit de comparer l'égalité des moyennes de chaque caractéristique mesurée, pour toute la campagne de prélèvement.

Tableau N°VI-03 : Résultats de l'analyse de la variance.

Variables	Sources de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
CE	Années	10	69370	6937	4,36	0,000***
pH	Années	10	0,085485	0,08549	1,66	0,100 ns
T	Années	10	115,90	11,59	0,26	0,989 ns
Ca ²⁺	Années	10	6481,96	648,20	6,84	0,000***
Mg ²⁺	Années	10	599,78	59,98	2,51	0,010**
Na ⁺	Années	10	744,02	74,40	1,58	0,122 ns
K ⁺	Années	10	267,67	26,77	0,75	0,674 ns
Cl ⁻	Années	10	2173,3	217,3	1,81	0,069 ns
SO ₄ ²⁻	Années	10	5119,9	512,0	2,05	0,036*
HCO ₃ ⁻	Années	10	7276,9	727,7	1,56	0,130 ns
NO ₃ ⁻	Années	10	178,693	17,868	2,26	0,020*
PO ₄ ³⁻	Années	10	7,3769	0,7377	0,80	0,629 ns
Turb	Années	10	854,14	85,41	3,75	0,000***
MES	Années	10	164829	16483	7,61	0,000***
DCO	Années	10	3903,7	390,4	2,34	0,016*
DBO ₅	Années	10	102,410	10,241	1,64	0,105 ns
MO	Années	10	328,60	32,86	1,07	0,389 ns

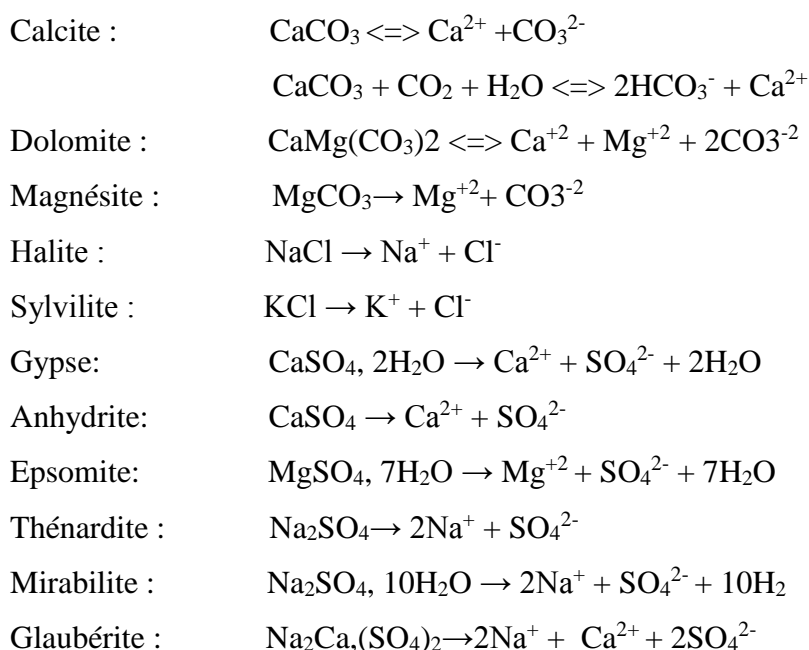
Légende :	Test de probabilité (P)
ddl : degrés de libertés	$P > \alpha = 0,05$: (ns) différences non significative
SCE: somme des carrés des écarts	$P \leq \alpha = 0,05$: (*) différences juste significatives
CM : carré moyen	$P \leq \alpha = 0,01$: (**) différences hautement significatives
F _{obs} : valeur F de Fisher.	$P \leq \alpha = 0,001$: (***) différences très hautement significatives

L'examen des résultats du tableau N°VI-03, montre l'existence de différences très hautement significatives entre les 11 années pour chacune des variables suivantes : CE, Ca²⁺, turb et MES, des différences hautement significatives pour la variable Mg²⁺, des différences juste significatives pour les variables : SO₄²⁻, les nitrates et la DCO et l'inexistence (l'absence) de différences significatives entre les 11 années d'étude pour chacune des variables : pH, T, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, PO₄, DBO₅ et MO. Pour les variables présentant des différences significatives, le test de Tukey permet de regrouper les années étudiées en groupes homogènes en fonction des valeurs moyennes présentant des similitudes.

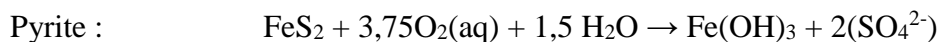
2.3. Analyse des corrélations selon les critères de Bravais-Pearson

Les corrélations linéaires obtenues pour les 17 variables prises deux à deux et pour 111 individus ont été reportées dans le tableau N°VI-04.

L'examen de la matrice de corrélation du tableau N°VI-04, montre l'existence des corrélations positives (0.256 à 0.590) et des corrélations négatives (-0.339 à -0.283). La CE est liée positivement avec l'ensemble des éléments majeurs ainsi que T. La température est un catalyseur des réactions chimiques qui permettent d'accélérer la dissolution des minéraux qui constituent l'environnement géologique. Ces dissolutions se font selon les réactions suivantes [Stumm and Morgan, 1996]:

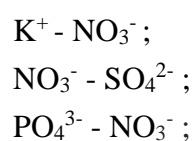


Les sulfates peuvent provenir également de l'oxydation de la pyrite (FeS_2) selon la formule établie par Lawson, (1982) :



La liaison inverse pH- Ca^{2+} , pH- Mg^{2+} et pH- HCO_3^- , en milieu acide, le carbonate de calcium se transforme en bicarbonate de calcium, très soluble dans l'eau. Donc le pH est un catalyseur dans les réactions de dissolution des équilibres calco-carboniques [Olive, 1976].

La bonne liaison entre :



Sont en liaison avec l'activité agricole [Kim et al, 2005].

Les éléments de pollution sont fortement liés TU-MES (0,381), DCO-DBO₅(0,291), DCO-MO (0,391) et DBO₅-MO (0,320). Ceci est en liaison avec les rejets urbains et l'érosion du sol dans le bassin versant. Ce dernier est fortement peuplé (45,91 habitants/Km²) et sa superficie est formée par des terres agricoles qui représentent près de 80% [Belhadj, 2007].

2.4. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP utilisée est centrée réduite et elle a été appliquée aux données hydrochimiques des eaux de surface du bassin Zit Emba sur un tableau de 17 variables (CE, pH, T, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, TU, MES, DCO, DBO₅, et MO) et 111 individus (échantillons prélevés au niveau du barrage). Le but de ce traitement est de déterminer les principaux facteurs qui contrôlent le chimisme de ces eaux et les différentes sources de contamination et de pollution.

Cette méthode statistique a été largement appliquée pour enquêter sur des phénomènes de l'environnement et les processus hydrogéochimiques à travers le Monde, [Anazawa et al., 2003 ; Güler et Thyne, 2004] et en Algérie (Belkhiri et al., 2011 ; Tiri et al., 2011). Ce travail porte donc sur la force de cette technique pour caractériser les variations hydrochimiques dans le barrage Zit Emba.

2.4.1. Variance et valeurs propres

Selon le critère de Kaiser [Kaiser, 1960] qui a été appliqué afin de déterminer le nombre total de facteurs (F) significatifs, seuls les facteurs ayant une valeur propre supérieure ou égale à 1 seront acceptés comme sources possibles de variance dans les données. L'analyse a été poussée jusqu'à quatre facteurs mais deux ont été retenus (F1 et F2). Ces facteurs représentent 75,62% de la variance totale, ce qui est assez bon et peut être utilisée pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie (Tableau VI-05). F1 exprime 62,75 % de la variance et F2 exprime 12,88 % de la variance.

Tableau N°VI-04 : Matrice de corrélation

	CE	pH	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TU	MES	DCO	DBO ₅	MO
CE	1,00																
pH	-0,216	1,000															
T	0,331	0,137	1,000														
Ca ²⁺	0,588	-0,320	0,290	1,000													
Mg ²⁺	0,336	-0,283	0,309	0,590	1,000												
Na ⁺	0,270	-0,117	0,185	0,117	0,356	1,000											
K ⁺	0,263	0,051	0,009	0,402	0,564	0,580	1,000										
Cl ⁻	0,336	0,092	0,083	0,027	0,136	0,256	0,011	1,000									
SO ₄ ²⁻	0,359	-0,061	0,233	0,254	0,071	0,201	0,282	-0,193	1,000								
HCO ₃ ⁻	0,433	-0,339	0,415	0,510	-0,069	0,039	-0,061	-0,147	-0,058	1,000							
NO ₃ ⁻	0,162	-0,152	-0,211	0,270	-0,067	0,002	0,308	0,011	0,262	0,243	1,000						
PO ₄ ³⁻	-0,001	-0,046	0,054	-0,028	-0,086	0,153	0,008	0,099	-0,019	-0,059	0,355	1,000					
TU	-0,187	0,197	-0,163	-0,091	0,084	-0,086	-0,037	-0,138	-0,021	-0,145	0,046	-0,009	1,000				
MES	-0,201	0,159	0,046	-0,205	0,097	-0,062	-0,006	-0,095	0,008	-0,223	-0,089	-0,043	0,381	1,000			
DCO	0,130	-0,088	0,035	0,245	-0,226	0,030	0,025	-0,035	0,012	0,062	0,139	-0,038	-0,081	-0,156	1,000		
DBO ₅	-0,036	0,156	0,119	-0,108	0,233	-0,203	0,142	0,156	-0,001	-0,095	-0,023	-0,056	0,031	0,136	0,291	1,000	
MO	-0,036	0,156	0,119	-0,108	0,233	-0,203	0,142	0,156	-0,010	-0,095	-0,023	-0,056	0,031	0,136	0,391	0,320	1,000

Valeur critique du r de Bravais-Pearson = 0.255 pour n=111 et p<0.01. Les corrélations significatives ont été reportées en gras.

Tableau N°VI-05 : Les facteurs retenus pour l'ACP.

Facteurs	F 1	F 2	F 3	F 4
Valeur propre	3,866	2,189	0,841	0,356
Variance (%)	62,74	12,88	0,08	0,05
Variance cumulée (%)	62.75	75,62	75.70	75.75

2.4.2. Liaison Variables-Facteurs

F1 est déterminé positivement par l'ensemble des paramètres physico-chimiques (CE, T, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄ et HCO₃) et négativement par le pH. C'est le facteur de la contamination par les éléments carbonatés et salifères (Tableau N°VI-06). Certains éléments comme, Na, Cl et SO₄, sont l'indice d'une pollution urbaine. K peut provenir également de l'activité agricole. La dissolution des éléments carbonatés nécessite un pH acide. F2, qui représente 12.88 % de la variance totale est déterminé négativement par les nutriments (NO₃ et PO₄) et positivement par les paramètres de pollution organiques (TU, MES, DCO, DBO₅ et MO) ce qui explique bien la pollution anthropique. Les deux facteurs montrent que les eaux de surface de la région, suivent deux processus de salinisation, le premier lié à la dissolution des minéraux (évaporites et carbonates) le second est la conséquence d'une pollution par les eaux usées. Donc F1 et F2 sont supposées être représentatifs du processus d'acquisition du chimisme de l'eau lié à l'interaction eau-roche et à la pollution par les eaux usées.

Tableau N°VI-06 : Liaison Variables-Facteurs.

Variables	F 1	F 2
CE	0,648	0,421
pH	-0,424	-0,311
T	0,466	-0,179
Ca ²⁺	0,799	0,321
Mg ²⁺	0,736	0,301
Na ⁺	0,548	-0,145
K ⁺	0,676	0,409
Cl ⁻	0,557	0,246
SO ₄ ²⁻	0,648	0,152
HCO ₃ ⁻	0,631	0,166
NO ₃ ⁻	0,221	-0,366
PO ₄ ³⁻	0,055	-0,501
TU	-0,185	0,535
MES	-0,331	0,410
DCO	0,148	0,275
DBO ₅	-0,157	0,764
MO	0,157	0,764

2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Cette méthode d'analyse de groupement a été employée pour déterminer si les échantillons des eaux peuvent être groupés dans des groupes hydrochimiques statistiquement distincts qui peuvent être significatifs dans des différents contextes géochimiques (qualité, pollution..). Dans cette analyse de Cluster, la technique R-mode est utilisée avec des variables chimiques. Dans le monde, un certain nombre d'études ont employé la CAH sur des échantillons des effluents des eaux souterraines, de surface, sédiment et tannerie, pour identifier les variations temporelles et spatiales de la chimie de l'eau et pour classer des échantillons d'eau [Alther, 1979; Williams, 1982; Farnham *et al.*, 2000; Alberto *et al.*, 2001; Meng et Maynard, 2001 ; Tariq *et al.*, 2006]. En Algérie, plusieurs auteurs [Mezedjri, 2008 ; Belkhiri *et al.* ; 2010 ; Brinis, 2011] ont utilisé cette technique pour classer les échantillons d'eau en groupes hydrochimiques distincts.

2.5.1. Classification ascendante hiérarchique des variables

Le graphique de la classification et de regroupement des variables au moyen d'un lien simple et de la distance basée sur le coefficient de corrélation, est appelé dendrogramme. Ce dernier montre la participation de 16 paramètres (V, CE, pH, T, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , MES, DCO, DBO_5 , et MO) en quatre groupes (Fig. N°VI-17).

La ligne de Phénon (Sneath et Sokal, 1973) a été choisie à une distance de liaison de 900 qui a permis la distinction des différents groupes selon leurs variables hydrochimiques. Comme le montre la Figure N°VI-01. Les 16 variables ont été classées selon l'examen visuel, en 4 groupes d'eau où CE et V (volume d'eau du barrage) semblent être un facteur distinctif majeur entre les variables. Le groupe 1 (G1) comprend CE qui contrôle d'une manière significative la concentration des différents éléments chimiques solubles. Le groupe 2 (G2) est constitué par Na, Cl et SO_4 qui proviennent principalement des eaux usées et accessoirement à partir de la dissolution des minéraux salifères. Le groupe 3 (G3) comprend le pH, Ca, Mg, HCO_3 , K et NO_3 . Ce groupe est influencé par les formations carbonatées et l'activité agricole. Le groupe 4 (G4) comprend T, MO, DCO, DBO_5 et MES. Ces éléments sont les révélateurs de l'activité industrielle, les rejets des eaux usées et les processus naturels d'érosion.

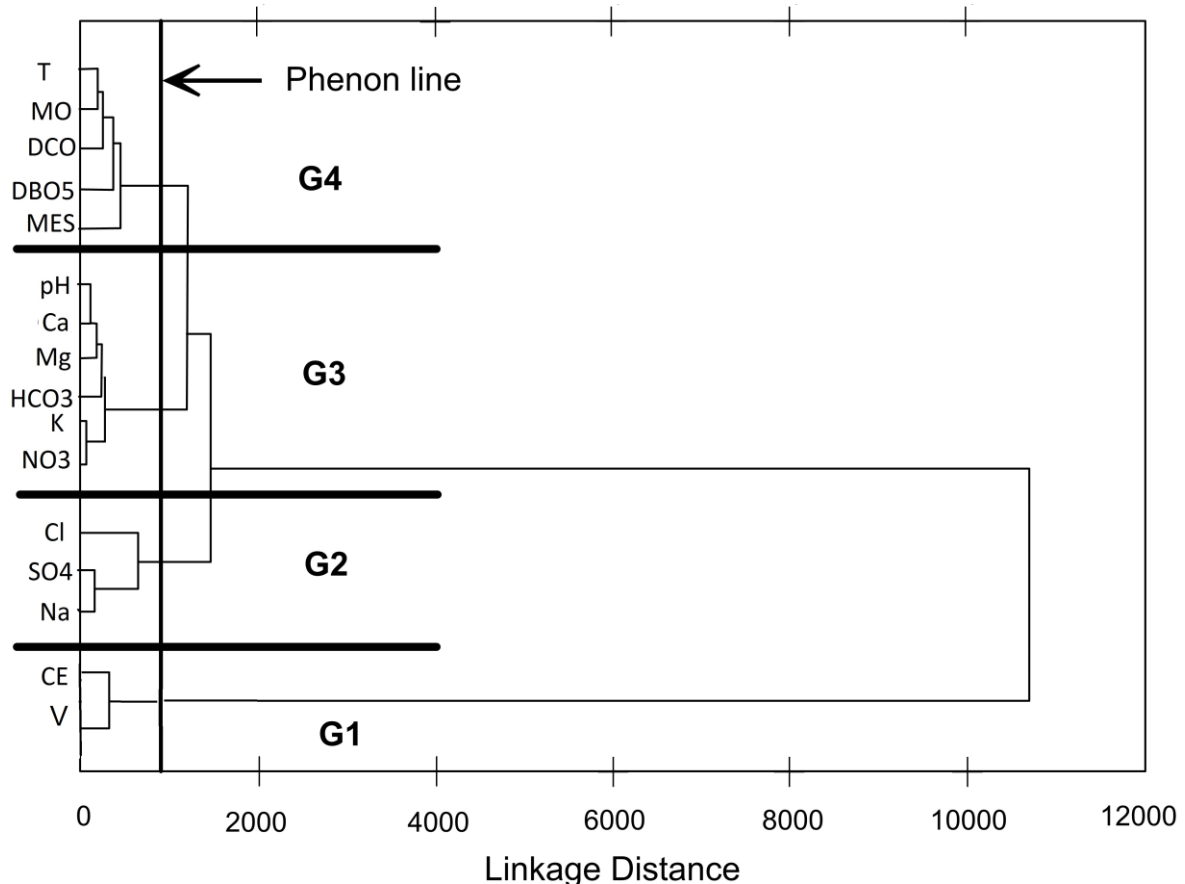


Figure N°VI-01 : Dendrogramme du regroupement des variables physicochimiques.

D'autre part, la technique Q-mode met en évidence les interactions entre les échantillons étudiés (Fig. N°VI-02). Les 111 échantillons recueillis pendant 11 ans ont été rassemblés en quatre groupes. Le résultat a été synthétisé selon les années dans les deux groupes (groupe 1 et groupe 2) en fonction de CE et V. Cluster 1 (C1) avec des valeurs élevées de V moyen et de faibles valeurs de CE moyenne par contre le groupe 2 (C2) est caractérisé par une faible valeur de V moyen et des valeurs élevées de CE moyenne. C1 couvre les échantillons d'années : 2011, 2012, 2013, 2014. Cette période est caractérisée par un volume du barrage compris entre 96.01 et 117 Hm³ qui a été accompagné par une augmentation des valeurs de la salinité et de la concentration des différents éléments chimiques. C2 couvre les échantillons des années 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010. Cette période est caractérisée par un volume d'eau de la cuvette compris entre 94.13 et 120 Hm³, ce qui a entraîné une diminution de la salinité par dilution.

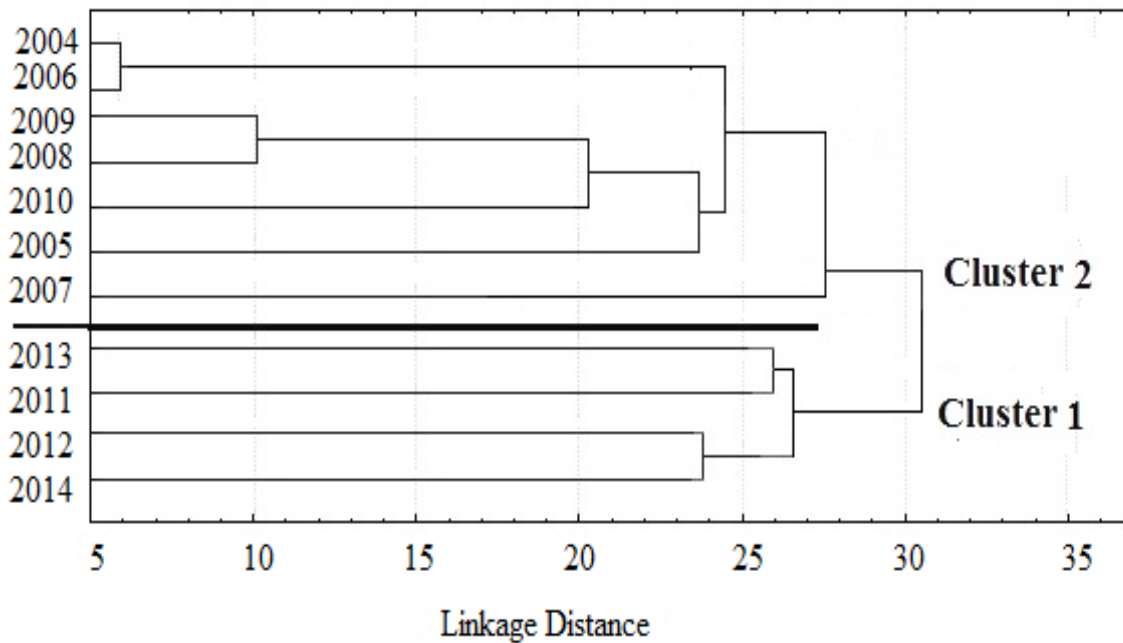


Figure N°VI-02 : Dendrogramme du regroupement des individus physicochimiques.

3. Faciès hydrochimiques

La représentation graphique des résultats sur le diagramme de Piper, permet de comparer le chimisme des eaux et de faire une classification des échantillons d'eau analysés. Ceci est possible à l'aide de l'utilisation du diagramme de Piper établi à l'aide du logiciel DIAGRAMMES, version 5.9 - 2013, du Roland Simler Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

L'examen du diagramme de Piper montre que toutes les eaux ont un faciès chloruré, sulfaté, calcique et magnésien (Figure VI.3). Le ruissellement des eaux de précipitation sur les calcaires et les dolomies, induit un enrichissement de l'eau en Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les rejets urbains et industriels sont riches en sulfates et en sodium ce qui aboutit à un enrichissement en ces éléments.

4. Caractérisation des eaux du barrage de Zit Emba

L'évolution des différents paramètres physico-chimiques sera réalisée uniquement à l'aide des données recueillies auprès de l'ANRH et concerne la période 2004-2014 (Figure N°VI-03). La série précédente (2004-2005) a été traitée dans le cadre du magister soutenu en 2007 [Belhadj, 2007], et sur la base de laquelle un modèle prévisionnel a été élaboré et validé dans le cadre du présent travail.

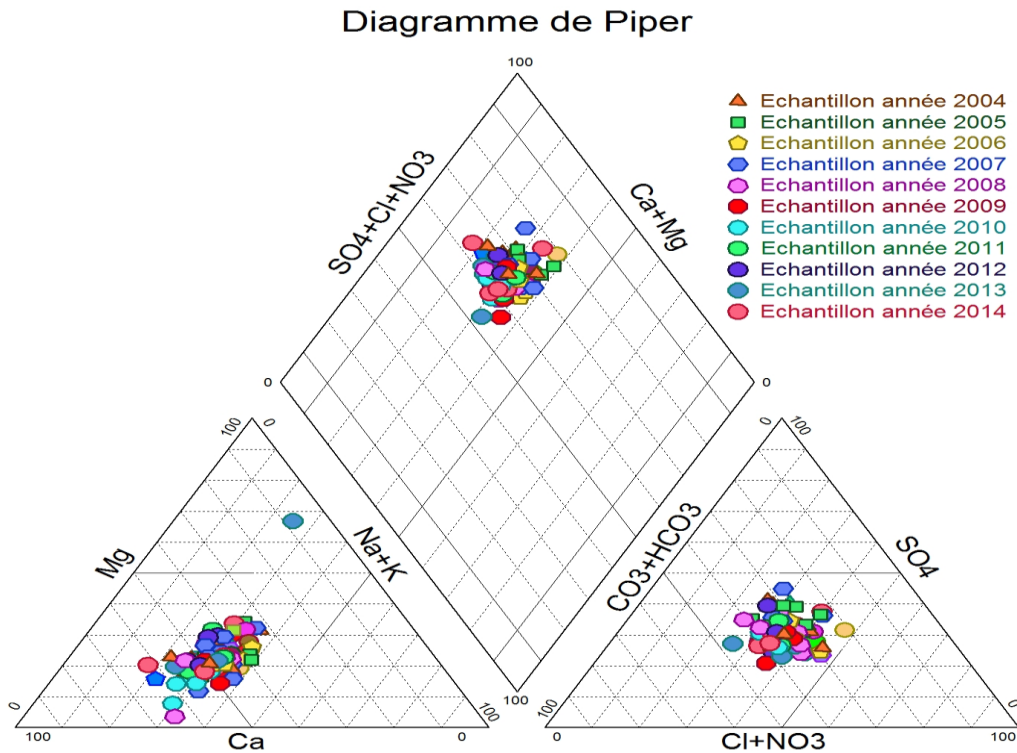


Figure N° VI-03 : Diagramme de Piper.

4.1. Paramètres physiques

4.1.1. La température (T)

La température des eaux oscille entre 9 et 33°C, ces valeurs sont en parfaite concordance avec le climat, les pics coïncident avec la saison estivale et les valeurs minimales coïncident avec la période hivernale. Ces observations montrent un effet saisonnier très marqué du climat sur l'état thermique de l'eau. L'analyse de la tendance générale de ce paramètre montre que la température est quasiment stable pendant toute la période d'observation (Figure N°VI-04).

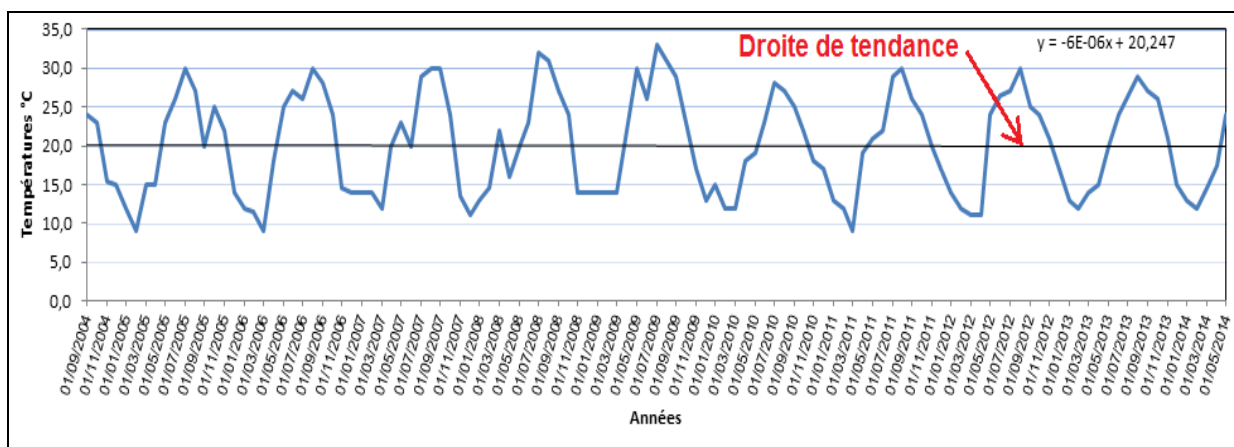


Figure N°VI-04 : Tendence de la température de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

4.1.2. Potentiel d'hydrogène

Les valeurs du pH durant toute la période 2004-2014 sont conformes aux normes de l'OMS. Elles sont comprises entre 7 et 8,6 durant cette période, ce sont donc des eaux légèrement alcalines. On assiste à une décroissance de l'alcalinité en relation avec l'oxydation de la matière organique selon la formule (14) ou à l'augmentation de la pression du CO₂ qui conduit à une diminution du pH selon la formule (15) [Kempe, 1982] (Figure N°VI-05).

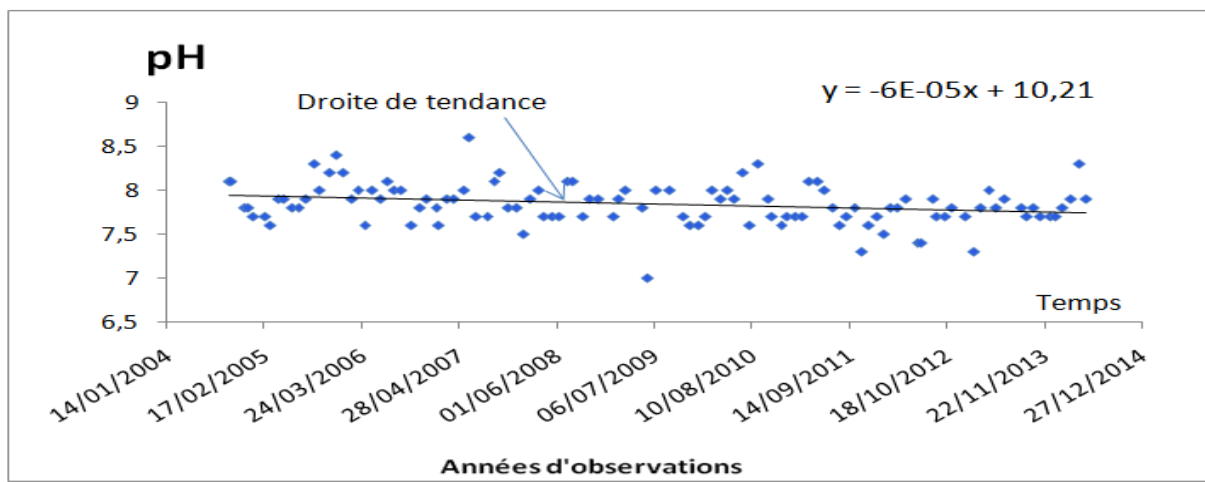
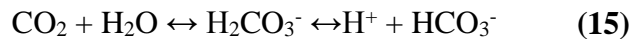
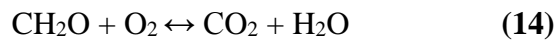


Figure N°VI-05 : Variations du pH de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

4.1.3. Conductivité électrique (CE)

Durant la période 2004-2014, les valeurs de la CE sont inférieures à la norme de l'OMS, elles sont comprises entre 500 et 800 indiquant une minéralisation moyenne (Fig. N°VI-06). La courbe de tendance indique une augmentation générale de ce paramètre. Ceci est dû à une concentration suite au phénomène d'évaporation de l'eau du barrage.

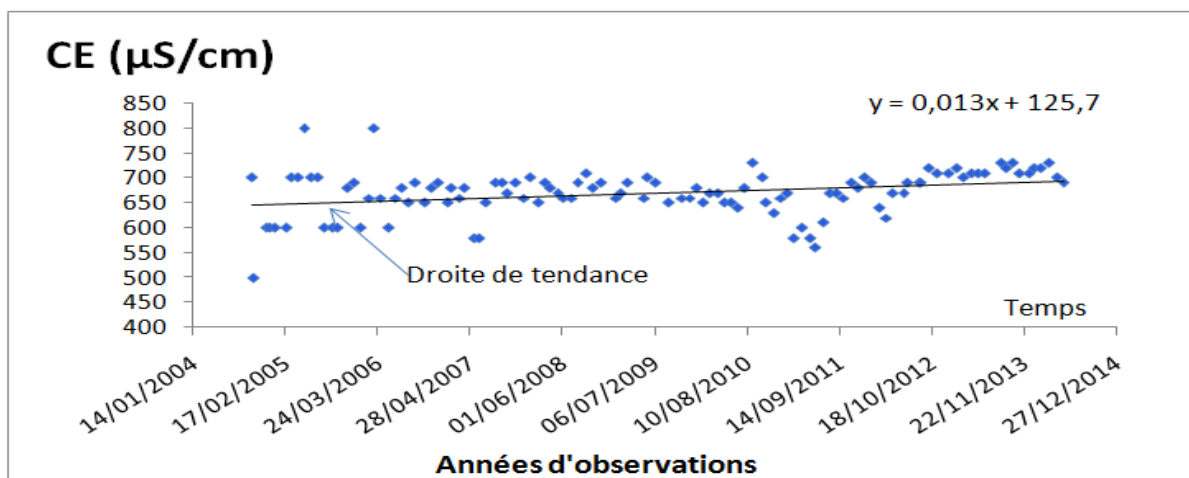


Figure N°VI-06 : Variations de la conductivité électrique de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

4.1.4. Le taux de saturation en oxygène (O₂%)

La teneur en oxygène dissous dans l'eau et sa solubilité est dépendante de la température, de la pression et de la salinité. La concentration en oxygène dans l'eau est le bilan d'activités de production (photosynthèse) et de consommation (respiration). L'oxygène constitue un indicateur de l'activité biologique, plus particulièrement de la photosynthèse et permet d'évaluer les capacités auto-épuration de la rivière (oxydation). Il varie avec les pluies, les chutes d'eau (barrages) et l'activité biologique ou biochimique. Une pollution organique est consommatrice d'oxygène. Les faibles températures favorisent la dissolution des gaz et à l'inverse les températures élevées la limitent. La teneur théorique maximale d'oxygène dissous dans l'eau est de : 11,25 mg/l à 10°C; 8,25 mg/l à 25°C. Il existe donc naturellement des variations annuelles et journalières importantes de ce paramètre. Pour avoir une référence, afin de comparer "différentes mesures", on utilise le % de saturation qui tient compte du facteur "température de l'eau".

La teneur en oxygène commande fortement la vie aquatique. On considère que celle-ci est, d'un point de vue de la fonction biologique, perturbée dès que la concentration passe en dessous de 5 mg/l et des mortalités piscicoles sont à redouter en dessous de 3 mg/l. De plus, le processus de dégradation des matières organiques et de l'ammoniaque par autoépuration naturelle nécessite une teneur suffisante en oxygène dissous. Les chutes rapides en oxygène nécessitent une adaptation immédiate et provoquent un stress violent. Des variations importantes d'oxygène dans l'eau, peuvent provoquer des mortalités de poissons.

Le pourcentage de saturation en O₂ dissous calculé à partir de l'oxygène dissous et de la température de l'eau permet de classer l'eau en :

- Très bonne: quand le pourcentage de saturation en O₂ dissous est supérieur à 90% ;
- Bonne: quand le pourcentage de saturation en O₂ dissous varie entre 70 et 90% ;
- Moyenne: quand le pourcentage de saturation en O₂ dissous varie entre 50 et 70% ;
- Médiocre: quand le pourcentage de saturation en O₂ dissous varie entre 30 et 50% ;
- Mauvaise: quand le pourcentage de saturation en O₂ dissous est inférieur à 30%.

Le taux de saturation en oxygène durant toute la période 2004-2014, est compris entre 58,8 et 126,91% indiquant une saturation en oxygène moyenne à très bonne (Figure N°VI-07). Ceci est en relation avec la grande surface du lac du barrage qui permet une meilleure oxygénation du milieu. La tendance positive indique une oxygénation continue en liaison avec la grande dimension du lac et la forte précipitation de la région, cette dernière est fortement arrosée.

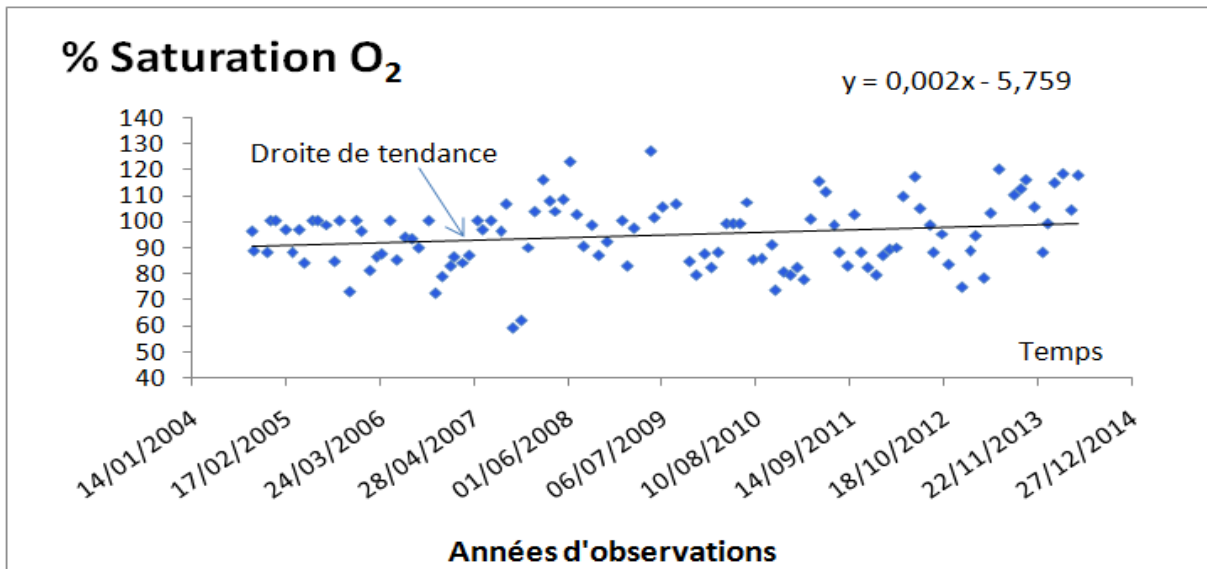


Figure N°VI-07: Variations du taux de saturation en oxygène de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

4.2. Paramètres chimiques

4.2.1. Evolutions temporelle des cations

Les cations mis en jeux, sont Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ . Les différentes concentrations de ces éléments ont une tendance positive ce qui traduit une augmentation de la teneur de ces éléments en accord avec la conductivité électrique (Fig. N°VI-08). L'apport continu en ces éléments est en liaison avec l'environnement géologique et l'action anthropique. La concentration de ces éléments est inférieure à la norme préconisée par l'OMS.

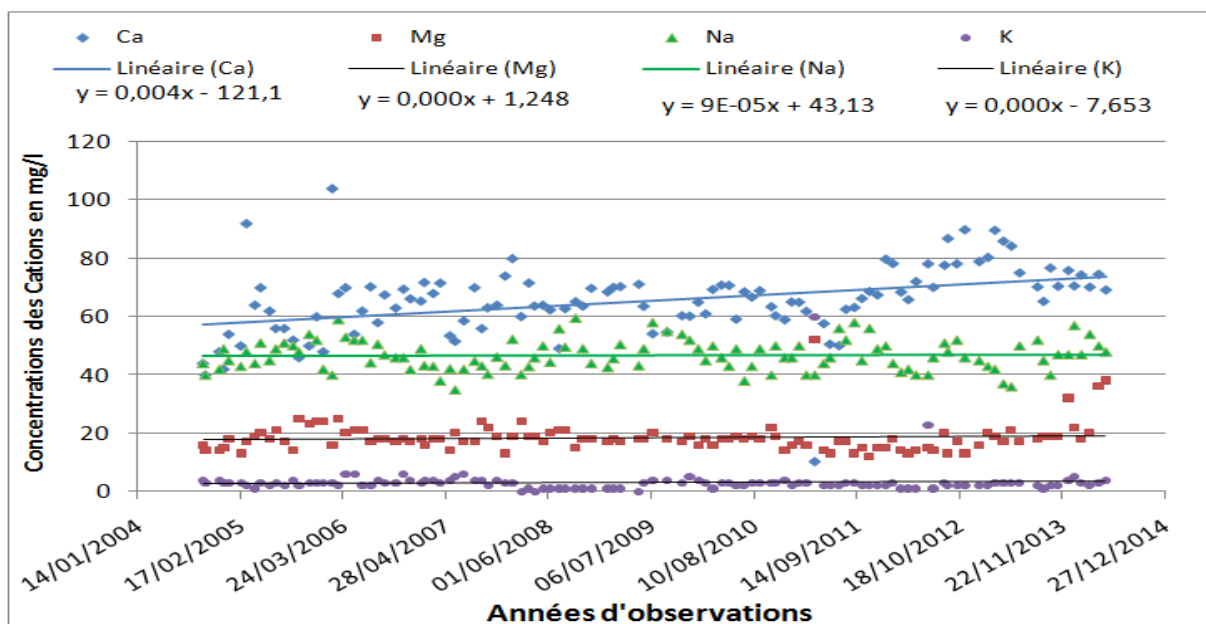


Figure N°VI-08: Variation des cations entre 2004 et 2014.

4.2.2. Evolutions temporelle des Anions

La concentration des anions suit la même tendance que celle des cations et de la salinité suite à une concentration des éléments par évaporation au niveau de la cuvette. Ceci est également en liaison avec l'action anthropique qui permet un apport supplémentaire de Cl^- et SO_4^{2-} (Figure N°VI-09).

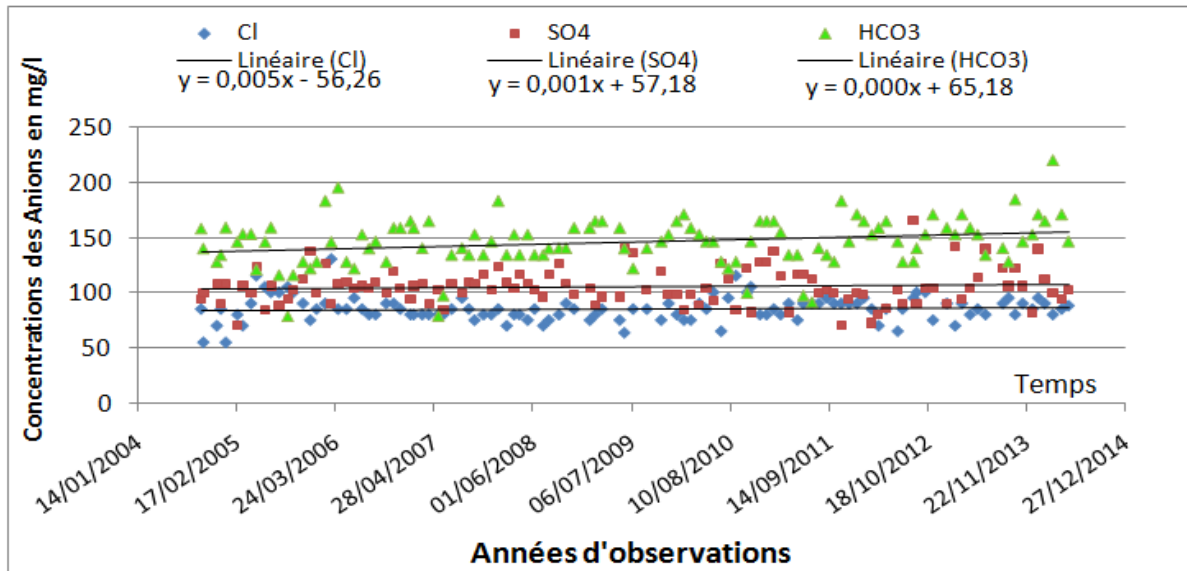
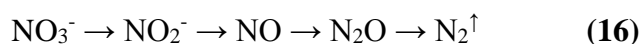


Figure N°VI-09 : Variation des anions entre 2004 et 2014.

4.2.3. Variation des nutriments

La pollution par les nutriments (NO_3^- , et PO_4^{3-}) dépend de l'approvisionnement des terres agricoles en fertilisants (épandage, rejets d'élevages et engrais) et du déversement des eaux vannes. Les engrais les plus couramment employés sont le nitrate d'ammonium, l'urée de phosphore et de potassium, superphosphates, le chlorure de potassium et dans une moindre mesure, le sulfate d'ammonium, le sodium, le nitrate de calcium et le sulfate de potassium [Boudoukha et Boulaarak, 2013]. Cette catégorie d'azote est la plus importante en masse et la plus difficile à évaluer. L'absence de structures compétentes et de recensements fiables, ne permet pas une analyse exhaustive de ce phénomène. Néanmoins, cette pollution sera mise en évidence par les tendances générales et par la détermination des relations possibles entre ces éléments et l'oxygène dissous [Fischer et al., 2000]. La tendance négative est à mettre en relation avec la dénitrification biologique qui repose sur l'utilisation de bactéries, essentiellement de la famille des Pseudomonas, qui utilisent les nitrates à la place de l'oxygène de l'air et qui les transforment en azote gazeux. La chaîne de décomposition des nitrates peut être simplifiée selon la formule (16) [Kempe, 1982].



La diminution de NO_3^- est accompagnée par une diminution de la concentration en PO_4^{3-} malgré l'utilisation des engrais phosphatés. Cette situation peut être expliquée de deux manières : (i) le phosphore n'est pas très mobile et il est facilement absorbé par les colloïdes du sol [Sharpley, 1980]. Ainsi, cet élément est principalement éliminé par les processus d'érosion mécanique. (ii) les concentrations en phosphore sont réglementées dans l'eau de rivière par plusieurs processus biogéochimiques, comme l'adsorption par les sédiments du lit, la précipitation sous forme d'apatite [Golterman & Meyer, 1985] et la consommation par les plantes aquatiques [Kattan et al, 1987].

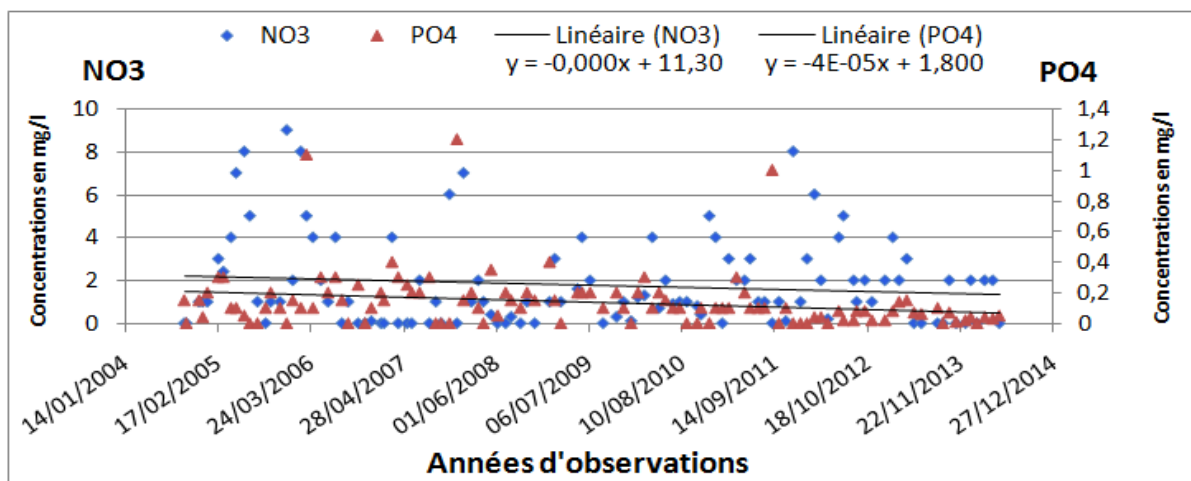


Figure N°VI-10: Variation des nutriments entre 2004 et 2014.

4.3. Indicateurs de la pollution urbaine

4.3.1. Turbidité et matière en suspension

Selon la valeur de la concentration de la turbidité, l'eau est classée dans la classe des eaux incolore à eau de surface type "africaine" [QAE, 2011] (Tableau N°VI-07). Durant la période 2004-2008 les eaux de la cuvette du barrage de Zit-Emba avait une turbidité de classe 2 "Eau légèrement colorée" en liaison avec le couvert végétal qui était moins dense au début de l'exploitation du barrage, par contre durant les années 2009 à 2014 la turbidité était passée à la classe 1 "Eau incolore" suite à la densification du couvert végétal. Cette évolution en deux phases est également observée pour la MES (Figure N°VI-11). Ceci met en évidence la diminution du phénomène d'érosion au niveau du bassin versant.

Tableau N°VI-07 : Classes de turbidités.

Désignation Des Classes	Nephelometric Turbidity Unit (NTU)	Couleur de l'eau
Classe de turbidité 1	NTU < 5	Eau incolore
Classe de turbidité 2	5 < NTU < 30	Eau légèrement colorée
Classe de turbidité 3	NTU > 50	Eau colorée
Classe de turbidité 4	NTU > 200	Eau de surface "Africaine"

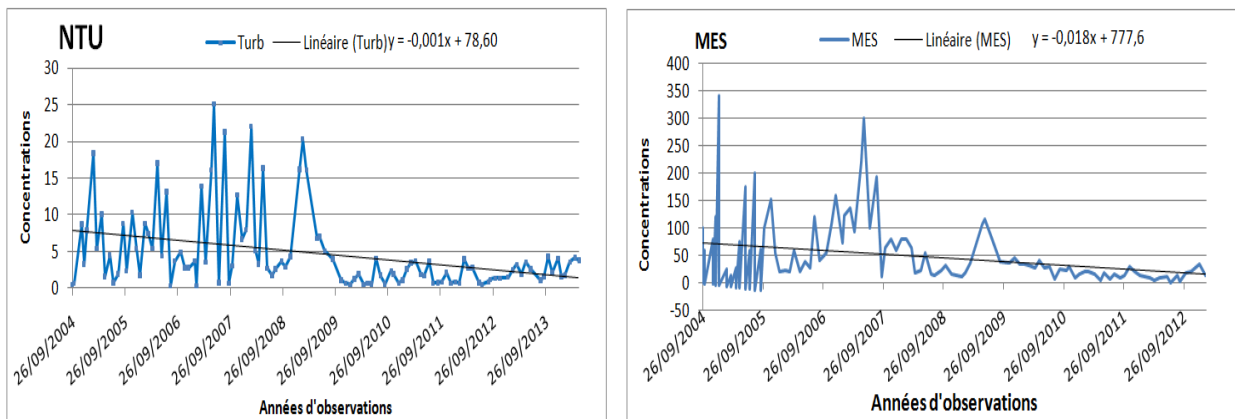


Figure N°VI-11: Evolution de la turbidité et de la matière en suspension de l'eau du barrage de Zit-Emba entre 2004 et 2014.

4.3.2. DBO₅

La DBO₅ (Demande Biologique en Oxygène) est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par la dégradation naturelle. Parmi les substances organiques consommatrices d'oxygène, on trouve l'azote, le phosphore et le carbone. La DBO₅ représente plus particulièrement une mesure de la charge polluante d'origine carbonée (pollution organique biodégradable). L'effet principal d'un apport de matières organiques dégradables dans le milieu naturel est la consommation d'oxygène qui en résulte. En effet, la présence de microorganismes dans les eaux permet la dégradation en éléments plus simples de certaines substances plus complexes d'origine naturelle (végétaux ou animaux morts) ou artificielles (eaux usées). Or, cette activité de dégradation ou autoépuration, est consommatrice d'oxygène. Il nous a paru évident d'évaluer cette pollution organique quantité d'oxygène demandée. La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques, avec le concours des microorganismes, dans des conditions données et sur une période fixée à cinq jours. A titre indicatif, un habitant produit en moyenne une charge de pollution équivalente à 60 grammes de DBO₅ pour une journée, elle s'exprime en milligrammes d'oxygène par litre (mg O₂/l). Les valeurs de la DBO₅ de la période d'observation varient entre un maximum de 20 mg/l et un minimum de 1 mg/l. La moyenne est de l'ordre de 3.9 mg/l. Pendant cette période, on observe une augmentation des teneurs en DBO₅ dans les eaux du Barrage traduisant l'augmentation de la charge polluante suite à l'action anthropique. (Fig. N°VI-12).

4.3.3. DCO

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions de l'essai. Contrairement à la DBO₅ où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation est provoquée à l'aide d'un

oxydant puissant (bichromate de potassium) et sous des conditions bien déterminées (ébullition, catalyseur,...). Alors que la DBO₅ ne mesure que la matière organique naturellement et rapidement dégradée, la DCO permet de mesurer la majeure partie de la matière organique biodégradable et peu dégradée. C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de DBO₅. L'examen de l'évolution de la teneur de la DCO dans l'eau de la cuvette du barrage varie entre une valeur maximale de 85 mg/l et une valeur minimale de 10 mg/l, la moyenne est de l'ordre de 31,8 mg/l. L'évolution globale de ce paramètre montre une tendance positive traduisant l'augmentation de la charge polluante suite à l'action anthropique (Fig. N°VI-12).

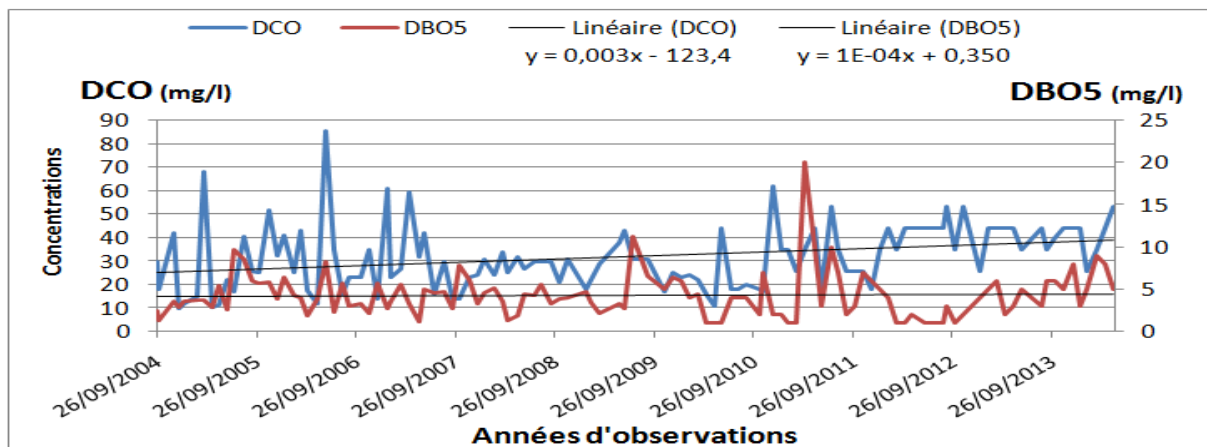


Figure N°VI-12 : Variation de la DCO et de la DBO₅.

4.3.4. Le rapport DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ permet d'évaluer la biodégradabilité d'une eau usée, c'est à dire la faculté de la transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Selon la valeur de ce rapport les eaux peuvent être classées en trois catégories [Jowett, 1980].

- Pour les eaux originaire d'un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3 ;
- Pour les effluents originaires des industries agroalimentaires, il varie entre 1,5 et 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité ;
- Enfin, lorsqu'il est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable.

Le calcul de ce rapport montre (Figure N°VI-13) :

- 3.6 % des échantillons prélevés proviennent des effluents à dominance domestique ;

- 5.4 % des échantillons proviennent des effluents originaires d'industries agroalimentaires ;
- 91 % des échantillons prélevés contiennent de la matière organique difficilement biodégradable.

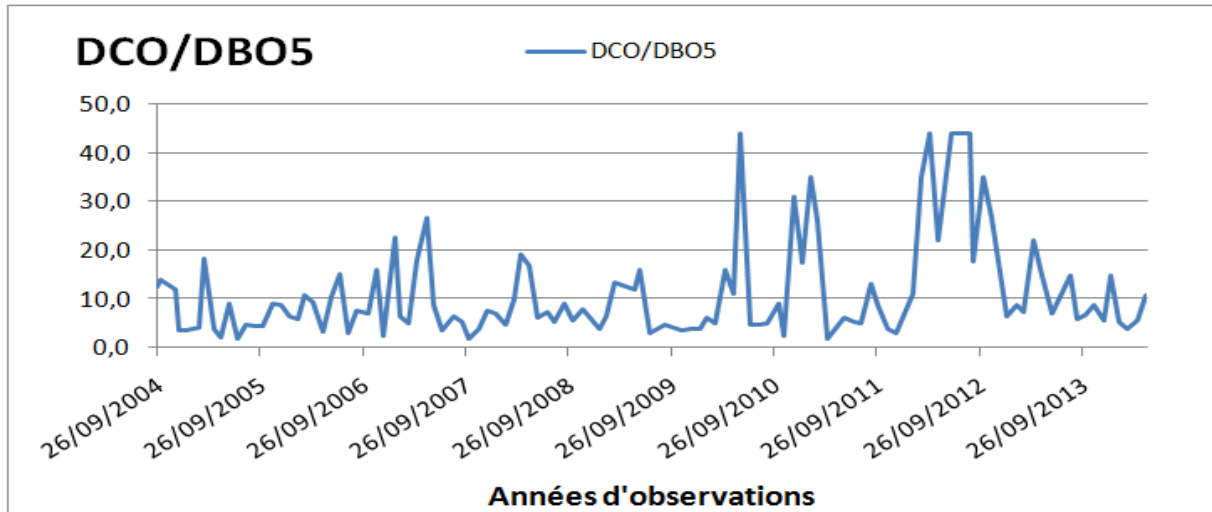


Figure N°VI.13 : Variation du rapport DCO/DBO5.

4.3.5. Matière organique

Les résultats des analyses montrent que les eaux de la cuvette du barrage présentent des concentrations de la teneur en matière organique qui varient entre la valeur minimale de 2.7 mg/l, une valeur maximale 14 mg/l et une moyenne 8.1 mg/l (Figure N°VI-14). Ceci traduit une qualité moyenne à mauvaise. La courbe des tendances traduit une pente positive suite à l'accumulation de la charge polluante dans le lac du barrage.

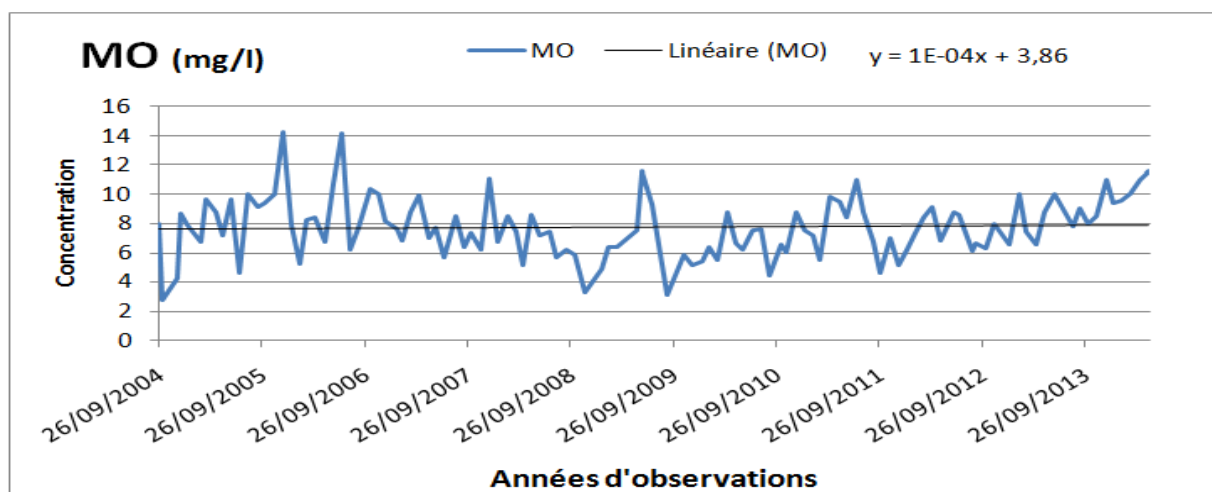


Figure N°VI-14 : Variation de la matière organique.

4.4. Variation des métaux lourds

Les districts miniers fournissent par l'intermédiaire des différents facteurs climatologiques, des masses de déchets riches en sulfures et autres éléments. Ces derniers s'oxydent au contact des eaux de pluie, riches en oxygène, pour former des solutions transportant des sulfates et des métaux toxiques. Les réactions d'oxydation sont catalysées par des bactéries qui utilisent l'énergie des réactions chimiques et qui se sont adaptées aux eaux acides de ces milieux extrêmes. Ces phénomènes sont une source importante de contamination des eaux de surface par des métaux lourds qui peuvent s'étendre pour affecter la santé publique même à long terme, et provoquer un déséquilibre de l'écosystème. Le barrage Zit Emba se trouve en plein centre de la zone mercurielle d'Azzaba. L'ANRH de Constantine fait le suivi et l'analyse de certains éléments traces métalliques tel que Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe_T et Mn^{2+} . Nous avons également fait l'analyse de trois ETM (As, Pb, et Hg) en 2004-2005 [Belhadj, 2007]. Les sites de prélèvement ont été choisis de manière à avoir une répartition spatiale de ces éléments. Le site :

- 1 (S1) station choisie à la sortie des effluents de la station thermale de Hammam Oued Ali à l'amont du barrage ;
- 2 (S2) station à la sortie du village de Bouâti Mahmoud, se trouvant également à l'amont du barrage ;
- 3 (S3) station choisie au niveau de la cuvette du barrage ;
- 4 (S4) station choisie à l'aval du barrage et concerne l'eau traitée du barrage.

Les données moyennes des résultats des différentes analyses ont été reportées dans le tableau N°VI-08. Ces valeurs ont été largement discutées auparavant et seul le mercure dépasse de loin la teneur préconisée par l'OMS [Belhadj, 2007].

Tableau N°VI-08 : Concentrations moyennes (mg/l) de l'arsenic, du plomb et du mercure pendant la période 2004-2005 [Belhadj, 2007].

Stations De Prélèvements	As	Pb	Hg
STATION 1 HAMMAM OULED ALI	0.0028	0.224	0.053
STATION 2 COM. BOUATI. M.	0.001	0.222	0.029
STATION 3 BARRAGE ZIT-EMBA	0.00054	0.278	0.012
STATION 4 AEP DE SKIKDA	0.0026	0.194	0.088

4.4.1. Le cuivre

Le cuivre est très employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles. Les teneurs maximales en cuivre (Cu^{2+}) dans les eaux du barrage sont de l'ordre de 0.095 mg/l. L'examen de la tendance générale montre une augmentation continue due à une pollution ou à une contamination (Figure N°VI-15).

4.4.2. Le Zinc

Le zinc (Zn^{2+}) est un métal très répandu sur le globe. Il entre dans les alliages, la galvanisation des pièces métalliques et dans la fabrication des pigments pour la teinture. Les concentrations sont inférieures à la norme du CEE, l'OMS et Algérienne pour les eaux de surface, fixée à 5 mg/l. La valeur maximale du zinc est de 0.098 mg/l mais on assiste à une augmentation générale suite soit à une contamination naturelle soit à une pollution industrielle (Figure VI-15).

4.4.3. Le Fer

La présence de fer dans l'eau peut avoir une origine naturelle (lessivage des terrains argileux) ou industrielle (dans les industries métallurgiques ou sidérurgiques). Les concentrations de la teneur en Fer la plus élevée dans l'eau du barrage sont de l'ordre de 1.7 mg/l. La tendance générale est vers l'augmentation comme l'indique la figure N°VI-16.

4.4.4. Manganèse

Le manganèse est très répandu dans la nature, les concentrations dans l'écorce terrestre varient entre 500 et 900 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite et la braunite. La présence du manganèse (Mn^{2+}) dans l'eau, est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux aérées, les concentrations de cet élément sont souvent faibles. En revanche dans les eaux peu aérées, on observe de fortes concentrations. Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé. En remarque que les concentrations les plus élevées au niveau de la cuvette du barrage atteignent 1.22 mg/l. La tendance générale suit celle des autres éléments suite à un apport soit naturel soit anthropique (Figure N°VI-16).

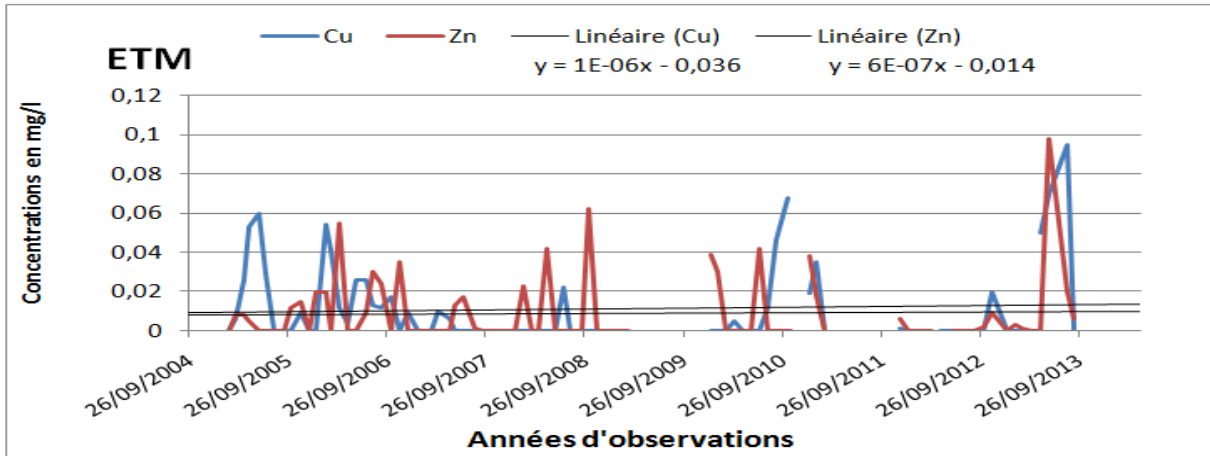


Figure N°VI-15: Variation des métaux lourds (Cu et Zn) durant les dix ans (2004-2014).

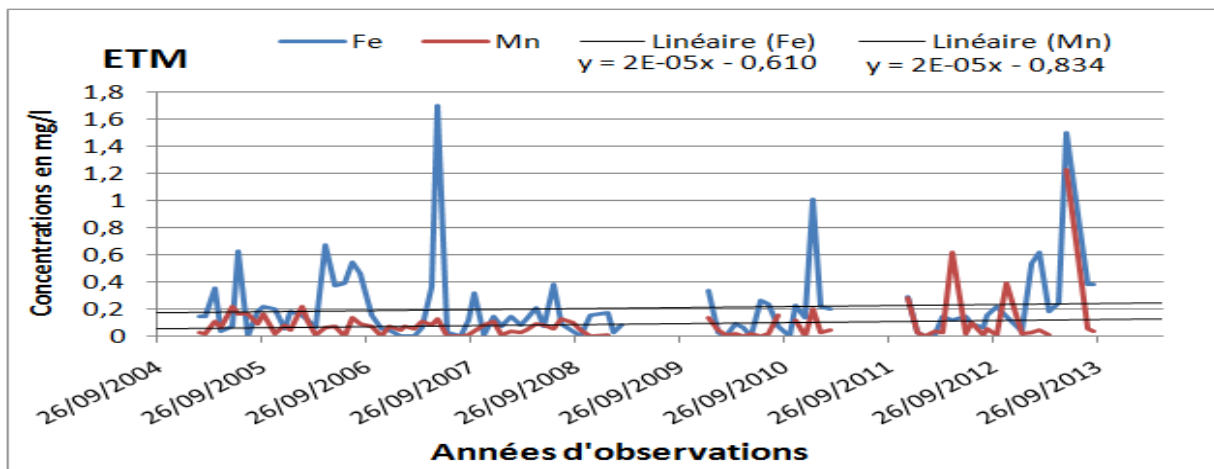


Figure N°VI-16: Variation des métaux lourds (Fe et Mn) durant les dix ans (2004-2014).

5. Variation du chimisme selon le volume d'eau du barrage

La comparaison de la pente (positive) des courbes de tendance des différents éléments physicochimiques avec celle du volume d'eau de la cuvette (négative), permet de dire que, excepté le pH, les nutriments et les paramètres d'érosion (TU et MES), l'augmentation de ces éléments est en liaison entre autre avec la diminution du volume d'eau au niveau de la cuvette du barrage (Tableau N°VI-09).

Tableau N°VI-09 : Pentés des différentes droites de tendances.

Paramètres	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	/
Pente	0,0136	0,0047	0,0004	9E-05	0,0003	0,0051	0,0012	/
Paramètres	HCO ₃ ⁻	pH	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TU	MES	DCO	DBO ₅
Pente	0,0005	-6E-05	-0,0002	-4E-05	-0,0018	-0,018	0,0039	1E-04
Paramètres	MO	OD	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fer	Mn ²⁺	V	P
Pente	1E-04	0,0025	1E-06	6E-07	2E-05	2E-05	-0,04	-0,15

6. Indice de contamination

6.1. Définition de l'indice de contamination

L'appréciation de la pollution métallique dans l'environnement aquatique en se basant seulement sur la détermination de la teneur des métaux reste une approche peu pratique et peu significative surtout lorsqu'il s'agit des rejets complexes des compositions minéralogiques différentes d'une station à une autre. Cependant, les résultats bruts des teneurs métalliques constituent un instrument d'évaluation du degré ou d'indice de pollution métallique et des tendances spatio-temporelles qui lui sont associées. C'est ainsi que certains auteurs comme Belamie et al.,(1982), Boust et al., (1981), Rosso et al., (1993), Bennasser et al., (2000), El Morhit, (2009) ont évalué la pollution à l'aide de cet indice de contamination (IC). IC est défini pour un métal donné comme étant le rapport de la teneur mesurée à une station donnée sur la teneur naturelle optimum fixée comme référence par l'organisation mondiale de la santé (OMS).

$$IC = \frac{\text{Teneur du métal}}{\text{Teneur de référence}}$$

Pour un IC proche de 1, on considère que le site n'est pas ou peu contaminé par les métaux, en général, c'est au-delà de 2 que les auteurs admettent que le site est soumis à un début de contamination ; mais lorsque IC est inférieur à 1 il s'agit soit d'une dilution ou d'une erreur analytique [Boust et al.,1981].

6.2. Calcul des Indices de Contamination Moyens (ICM)

Les indices de Contamination Moyens (ICM) du mercure, du plomb et de l'arsenic, sont calculés en se référant à la norme de l'OMS pour chaque élément (Tableau N°VI-10 et Figure N°VI-17).

Tableau N°VI-10 : Indices de Contamination Moyens (ICM) de Hg, Pb et As.

Désignation	ICM Mercure (Hg)	Observation	ICM Plomb (Pb)	Observation	ICM Arsenic (As)	Observation
St 1 Hammam Ouled Ali	53	Contamination Excessive	2,24	Contaminé	0,056	Absence de contamination
St 2 Bouâti-Mahmoud	29	Forte contamination	2,22	Contaminé	0,02	Absence de contamination
St 3Barrage Zit-Emba	12	Forte contamination	2,78	Contaminé	0,0108	Absence de contamination
St 4 AEP de Skikda	88	Contamination Très Excessive	1,94	Contaminé	0,052	Absence de contamination

L'analyse comparative des ICM de ces eaux avec le seuil de tolérance de chaque élément montre que pour :

- Le mercure, toutes les valeurs sont très supérieures au seuil de tolérance de l'ICM, indiquant une forte contamination de ces eaux pendant toute la période de prélèvements ;
- le plomb, la majorité des valeurs de ICM est supérieure à 1, indiquant que les eaux sont considérées comme contaminées pendant la période de prélèvements ;
- Or pour l'arsenic, toutes ces valeurs sont inférieures au seuil de tolérance de l'IC, indiquant ainsi une absence de contamination.

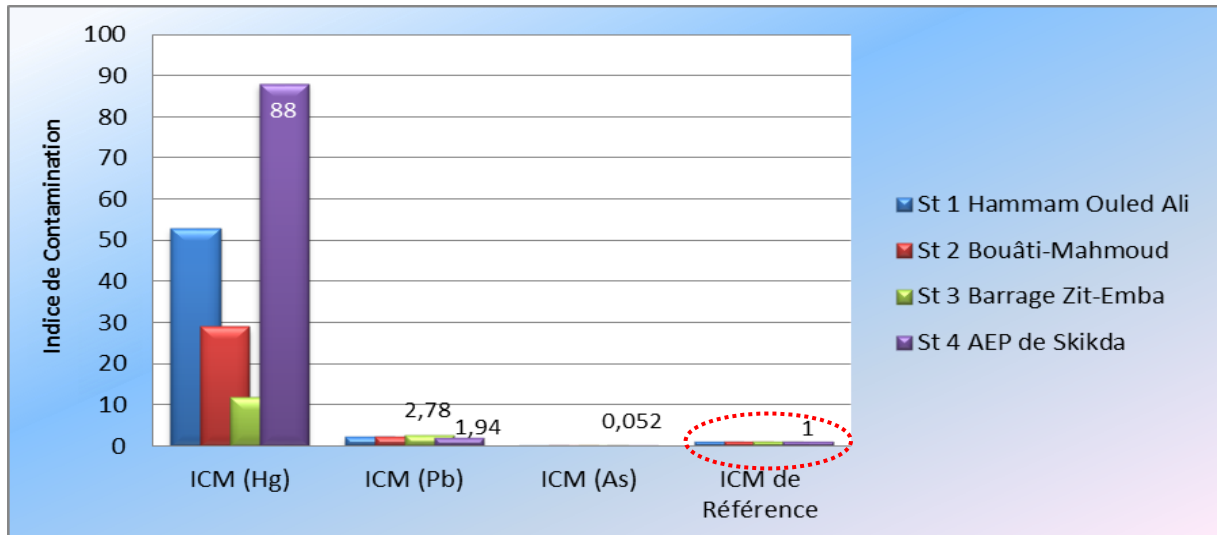


Figure N°VI-17: Évolutions des indices de contaminations moyens (ICM) sur les stations de prélèvements.

L'analyse des indices de contamination moyens (ICM) pour l'ensemble des éléments permet d'établir dans l'ordre d'importance la classification suivante : $ICM_{Hg} > ICM_{Pb} > ICM_{As}$.

6.3. Indices de Contamination des Prélèvements (ICP)

La comparaison et la classification des stations selon les indices de contaminations de chaque prélèvements nous a conduit à définir deux niveau de contaminations par ces métaux lourds (Tableau N°VI-11 et Figure N°VI-18).

- Le 1^{er} niveau de contamination représenté par le mercure :
Ces ICP sont très supérieurs pour toutes les stations de prélèvements. L'évolution spatiale de ces ICP dans ces eaux révèle la présence d'une contamination régulière, généralisée et importante à excessives avec une augmentation importante au niveau de la station N°4 située en aval (AEP de la ville de Skikda). Ceci est dû à un second apport du mercure uniquement au niveau de cette station (S₄) (Figure N°VI-18-a) liée à une deuxième source alimentant simultanément la station de traitement d'eau potable de Hamadi Krouma qui n'est que le barrage de Zerdezas. Les teneurs sont dégressives dans l'espace depuis

(S1, S2 et S3), puis ils atteignent un niveau supérieur (98 IC en période de basse eau et un maximum de 68 IC en période de haute eau). A cet effet, et pour pouvoir contrôler les teneurs en mercure avec des fréquences acceptables le développement d'un modèle de prévision des concentrations de mercure dans l'eau desservie à la population s'avère nécessaire et par conséquent sera développé au sous chapitre 7.

La comparaison et la classification des stations selon leurs indices de contamination des prélèvements nous a conduits à établir selon un ordre décroissant la classification suivante :

$$\text{ICP Hg (S4)} > \text{ICP Hg (S1)} > \text{ICP Hg (S2)} > \text{ICP Hg (S3)}.$$

- Le 2^{ème} niveau de contamination représenté par le plomb :

Ces ICP s'accroissent en période de basses eaux pendant tous les prélèvements et pour toutes les stations de prélèvements (Figure N°VI-18-b), indiquant un niveau de pollution peu contaminé à contaminé. Pour la période de hautes eaux, les ICP indiquant un niveau entre : non contamination à peu contaminé (Tableau N°VI-11 et Figure N°VI-18).

La comparaison et la classification des stations selon leurs indices de contamination des prélèvements nous a conduits à établir dans l'ordre décroissant la classification suivante :

$$\text{ICP Pb (S3)} > \text{ICP Pb (S1)} > \text{ICP Pb (S2)} > \text{ICP Pb (S4)}.$$

Tableau N°VI-11 : Indices de Contamination des Prélèvements (ICP) des ETM (Hg, Pb et As) dans l'eau calculés par rapport à la norme de référence (OMS).

Désignations		Mercure (Hg)		Plomb (Pb)		Arsenic (As)	
		ICP	Observation	ICP	Observation	ICP	Observation
St 1	N° Prélèvements						
	1	0,016/0,001 = 16	forte contamination	0,654/0,1 = 6,54	contaminé	0,006/0,05 = 0,12	Pas de contamination
	2	0,026/0,001 = 26	forte contamination	0,539/0,1 = 5,39	contaminé	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
	3	0,022/0,001 = 22	forte contamination	0,410/0,1 = 4,10	contaminé	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
	4	0,073/0,001 = 73	contamination Très Excessive	0,089/0,1 = 0,89	Non contaminé	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
	5	0,072/0,001 = 72	contamination Très Excessive	0,106/0,1 = 1,06	peu contaminé	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	6	0,077/0,001 = 77	contamination Très Excessif	0,270/0,1 = 2,70	Début de contamination	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	7	0,067/0,001 = 67	contamination Excessive	0,215/0,1 = 2,15	Début de contamination	0,006/0,05 = 0,12	Pas de contamination
	8	0,017/0,001 = 17	forte contamination	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	9	0,093/0,001 = 93	contamination Très Excessive	0,101/0,1 = 1,01	peu contaminé	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	10	0,082/0,001 = 82	contamination Très Excessif	0,084/0,1 = 0,84	Non contaminé	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	11	0,043/0,001 = 43	contamination Excessive	0,069/0,1 = 0,69	Non contaminé	0,004/0,05 = 0,08	Pas de contamination
12	-	/	0,063/0,1 = 0,63	Non contaminé	-	/	

Désignations		Mercure (Hg)		Plomb (Pb)		Arsenic (As)	
		ICP	Observation	ICP	Observation	ICP	Observation
St 2	N° Prélèvements						
	1	0,028/0,001 = 28	forte contamination	0,640/0,1 = 6,40	contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	2	0,028/0,001 = 28	forte contamination	0,659/0,1 = 6,59	contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	3	0,017/0,001 = 17	forte contamination	0,325/0,1 = 3,25	contaminé	0,001/0,05 = 0,05	Pas de contamination
	4	0,023/0,001 = 23	forte contamination	0,273/0,1 = 2,73	Début de contamination	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	5	0,018/0,001 = 18	forte contamination	0,083/0,1 = 0,83	Non contaminé	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	6	0,028/0,001 = 28	forte contamination	0,178/0,1 = 1,78	Début de contamination	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	7	0,022/0,001 = 22	forte contamination	0,099/0,1 = 0,99	peu contaminé	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	8	0,013/0,001 = 13	forte contamination	0,091/0,1 = 0,91	peu contaminé	-	/
	9	0,061/0,001 = 61	contamination Excessive	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	-	/
	10	0,063/0,001 = 63	contamination Excessive	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	0,001/0,05 = 0,05	Pas de contamination
	11	0,021/0,001 = 21	forte contamination	0,053/0,1 = 0,53	Non contaminé	-	/
12	-	/	0,076/0,1 = 0,76	Non contaminé	-	/	

Désignations		Mercure (Hg)		Plomb (Pb)		Arsenic (As)	
		ICP	Observation	ICP	Observation	ICP	Observation
St 3	N° Prélèvements						
	1	0,007/0,001 = 07	forte contamination	0,907/0,1 = 9,07	contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	2	0,011/0,001 = 11	forte contamination	0,876/0,1 = 8,76	contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	3	0,004/0,001 = 04	forte contamination	0,629/0,1 = 6,29	contaminé	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	4	0,007/0,001 = 07	forte contamination	0,201/0,1 = 2,01	Début de contamination	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	5	0,004/0,001 = 04	forte contamination	0,067/0,1 = 0,67	Non contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	6	0,013/0,001 = 13	forte contamination	0,103/0,1 = 1,03	peu contaminé	0,00/0,05 = 0	Pas de contamination
	7	0,009/0,001 = 09	forte contamination	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	0,001/0,05 = 0,02	Pas de contamination
	8	0,009/0,001 = 09	forte contamination	0,083/0,1 = 0,83	Non contaminé	-	/
	9	0,038/0,001 = 38	forte contamination	0,103/0,1 = 1,03	peu contaminé	-	/
	10	0,021/0,001 = 21	forte contamination	0,102/0,1 = 1,02	Début de contamination	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
	11	0,008/0,001 = 08	forte contamination	0,089/0,1 = 0,89	Non contaminé	0,001/0,05 = 0,05	Pas de contamination
12	-	/	0,0629/0,1 = 0,629	Non contaminé	-	/	

Désignations		Mercure (Hg)		Plomb (Pb)		Arsenic (As)	
		ICP	Observation	ICP	Observation	ICP	Observation
St 4	N° Prélèvements						
	1	0,098/0,001 = 98	contamination Très Excessive	0,531/0,1 = 5,31	contaminé	0,009/0,05 = 0,18	Pas de contamination
	2	0,095/0,001 = 95	contamination Très Excessive	-	/	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	3	0,088/0,001 = 88	contamination Très Excessive	0,321/0,1 = 3,21	contaminé	0,004/0,05 = 0,08	Pas de contamination
	4	-	/	-	/	-	/
	5	-	/	-	/	-	/
	6	-	/	-	/	-	/
	7	-	/	-	/	-	/
	8	0,094/0,001 = 94	contamination Très Excessive	0,117/0,1 = 1,17	peu contaminé	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
	9	0,078/0,001 = 78	contamination Très Excessive	0,099/0,1 = 0,99	peu contaminé	0,003/0,05 = 0,06	Pas de contamination
	10	0,094/0,001 = 94	contamination Très Excessive	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	0,006/0,05 = 0,12	Pas de contamination
	11	0,068/0,001 = 68	contamination Très Excessive	0,093/0,1 = 0,93	peu contaminé	0,002/0,05 = 0,04	Pas de contamination
12	-	/	0,106/0,1 = 1,06	peu contaminé	-	/	

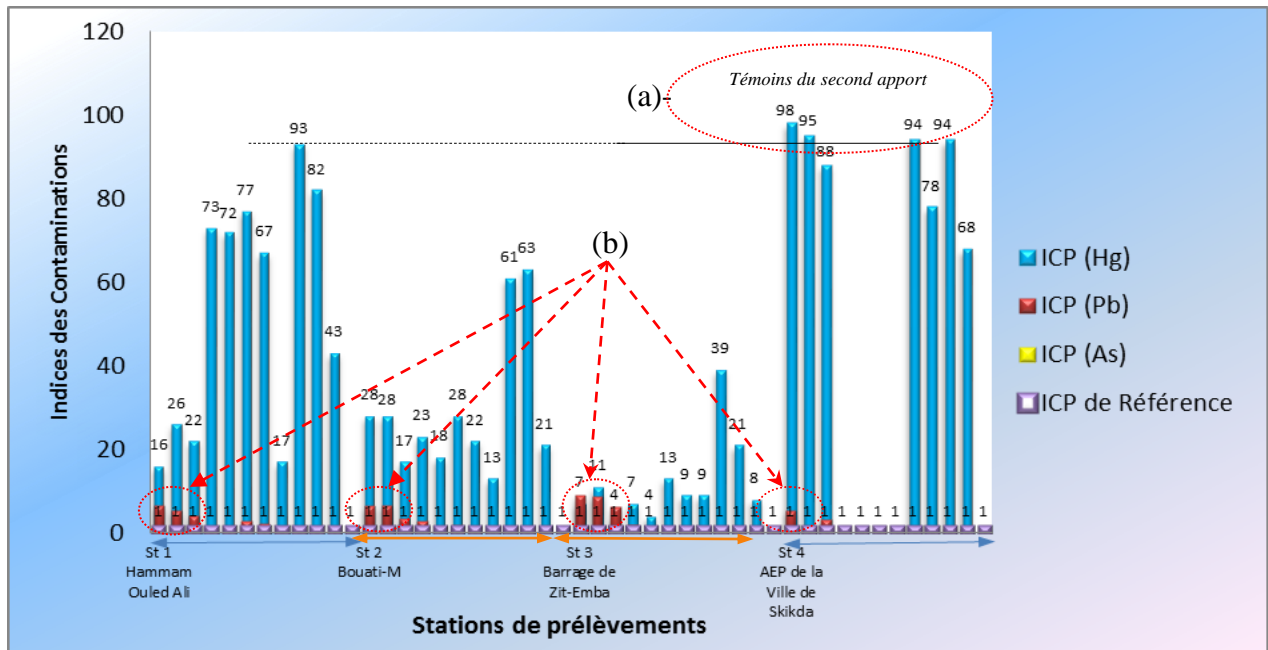


Figure N°VI-18 : Évolutions des Indices de Contamination des Prélèvements (ICP) Des métaux lourds (Hg, Pb et As).

7. Modélisation de la concentration du mercure

7.1. Objectifs de la modélisation de la concentration du mercure

L'objectif de la modélisation des teneurs en mercure est l'élaboration d'un modèle de régression simple et/ou multiple qui nous permettra de prévenir les concentrations du mercure dans l'eau distribuée pour l'alimentation. L'objectif essentiel est de faire un suivi systématique de l'évolution de ce paramètre dans les eaux de surface (barrage Zit-Emba) destinées aussi bien à la consommation humaine qu'à l'usage agricole.

7.2. Corrélations

L'examen de la matrice de corrélation de la station N°01 (en annexe) permet de sélectionner les relations : $Hg = f(Cl)$ et $Hg = f(SO_4)$. A noter que Hg est corrélé positivement avec SO_4 et négativement avec Cl^- .

L'examen de la matrice de corrélation de la station 2 (en annexe), montre que le mercure n'est corrélé avec aucun élément chimique et par conséquent aucun modèle ne peut être calculé.

L'examen de la matrice de corrélation de la station 3 (en annexe) montre que le mercure n'est corrélé qu'avec Cl^- ce qui permet d'avoir une liaison $Hg = f(Cl)$

L'examen de la matrice de corrélation de la station 4 (en annexe) montre que le mercure est corrélé avec Cl et SO_4^{-2} ce qui permet d'avoir une liaison **Hg = f (Cl) et Hg = f (SO₄)**

L'examen de la matrice globale de tous les prélèvements de toutes les stations (en annexe), montre des corrélations entre Hg, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO_4^{-2} . Ces corrélations sont positives entre Hg et Na⁺- K⁺- SO_4^{-2} et négative entre Hg - Cl⁻.

7.3. Etablissement du modèle de régression

Plusieurs modèles de régression simples et multiples de prévision de la teneur en mercure ont été développés en fonction des teneurs moyennes des variables significativement corrélées à celui-ci (Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO_4^{-2}). Les critères de performance permettant de sélectionner le meilleur modèle sont mentionnés au tableau N°VI-12.

7.4. Choix du modèle adéquat

Compte tenu d'un coefficient de détermination de 63,4%, d'un résidu faible de l'ordre de 0.00020 et d'un nombre réduit à deux variables utilisées, le modèle de prévision des concentrations de mercure retenu est le numéro 10 (Tableau N°VI-12) soit :

$$\mathbf{Hg = 0,000302 - 0,000178 Cl + 0,000150 SO_4} \quad (17)$$

Tableau N°VI-12 : Equations de régression exprimant la teneur en Hg en fonction des éléments chimiques (Na, K, Cl, SO₄).

N° Modèles	Modèles	S _{y,x}	R ² adj (%)	Valeurs des probabilités (P) relatives à :				
				b1	b2	b3	b4	
01	Modèles simple	Hg = - 0,000119 + 0,000310 Na	0,000252741	42,3	5,95***	-	-	-
02		Hg = - 0,000225 + 0,00233 K	0,000268202	35,0	-	5,13***	-	-
03		Hg = 0,000918 - 0,000307 Cl	0,000292821	22,5	-	-	3,83***	-
04		Hg = - 0,000021 + 0,000169 SO ₄	0,000218975	56,7	-	-	-	7,90***
05	Modèles à 02 variables	Hg = - 0,000294 + 0,000218 Na + 0,00118 K	0,000242608	46,8	3,35**	2,22*	-	-
06		Hg = 0,000282 + 0,000268 Na - 0,000215 Cl	0,000229331	52,5	5,48***	-	3,30**	-
07		Hg = - 0,000019 - 0,000003 Na + 0,000170 SO ₄	0,000221392	55,7	0,03 NS	-	-	3,87***
08		Hg = 0,000172 + 0,00185 K - 0,000171 Cl	0,000258261	39,7	-	3,76***	2,15*	-
09		Hg = - 0,000218 + 0,000985 K + 0,000137 SO ₄	0,000209547	60,3	-	2,29*	-	5,51***
10		Hg = 0,000302 - 0,000178 Cl + 0,000150 SO₄	0,000201385	63,4	-	-	3,06**	7,23***
11	Modèles à 03 variables	Hg = 0,000129 + 0,000225 Na + 0,000631 K - 0,000183 Cl	0,000228489	52,8	3,67***	1,15 NS	2,59*	-
12		Hg = - 0,000189 - 0,000087 Na + 0,00114 K + 0,000168 SO ₄	0,000209908	60,2	0,92 NS	2,46*	-	4,01***
13		Hg = 0,000300 + 0,000002 Na - 0,000178 Cl + 0,000149 SO ₄	0,000203660	62,5	0,02 NS	-	3,03**	3,61***
14		Hg = 0,000124 + 0,000608 K - 0,000147 Cl + 0,000133 SO ₄	0,000199361	64,1	-	1,39 NS	2,39*	5,61***
15	M à 04 V	Hg = 0,000128 - 0,000052 Na + 0,000715 K - 0,000141 Cl + 0,000152 SO ₄	0,000200924	63,5	0,56 NS	1,49 NS	2,24*	3,73***

Légende : (*) : Corrélation juste significative entre les deux caractéristiques.

(**): Corrélation hautement significative entre les deux caractéristiques.

(***): Corrélation très hautement significative.

8. Potabilité de l'eau

8.1. Généralités

Une eau est dite **potable** quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Les standards de référence dans ce domaine diffèrent selon les époques et les pays et selon l'autorité en charge de cette définition dans certains pays. Le concept de « *potabilité* » varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique, scientifique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisqu'une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain [EP, 2012].

Cette potabilité est indiquée par une valeur guide qui correspond à la concentration d'un constituant pour lequel le risque encouru par le consommateur, en supposant qu'il consomme l'eau concernée pendant la totalité de sa vie, ne dépasse pas le risque tolérable pour la santé. Les directives relatives à certains contaminants chimiques (plomb ou nitrate, par exemple) sont définies de manière à protéger les sous-populations sensibles. Elles protègent aussi la population générale sur la durée d'une vie humaine [OMS, 2004]. Le dépassement d'une valeur guide n'entraîne pas nécessairement un risque important pour la santé. Par conséquent, les déviations positives par rapport aux valeurs guides, que ce soit à court ou à long terme, n'impliquent pas nécessairement que l'eau soit impropre à la consommation. La valeur et la durée que peut atteindre ce dépassement sans nuire à la santé publique dépendent de la substance particulière en cause. Néanmoins tout dépassement doit être un signal indiquant la nécessité :

- Au minimum, d'étudier sa cause en vue de prendre, si nécessaire, des mesures correctives ;
- De solliciter l'avis et les conseils de l'autorité responsable de la santé publique.

Lorsqu'une valeur guide est dépassée, il est recommandé de consulter l'autorité responsable de la santé publique quant aux mesures à prendre, en tenant compte de l'absorption de la substance à partir d'autres sources que l'eau de boisson, de la toxicité de cette substance, de la probabilité et de la nature de tout effet nocif éventuel et des possibilités de mise en œuvre des mesures correctives [OMS, 2004].

8.2. Cas des eaux du barrage Zit Emba

Afin de définir la potabilité des eaux superficielles du barrage, on a pris en considération les normes Algérienne [JO n°11/18, 2011] et celles de l'O.M.S qui ont défini la concentration maximale de la substance (Tableau N°VI-13). Les teneurs supérieures peuvent être

dangereuses pour la santé. La comparaison des analyses effectuées par rapport aux normes de potabilités montre que tous les échantillons ne dépassent pas celles-ci.

Tableau N°VI-13 : Norme OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques appliquées pour les eaux du barrage Zit Emba.

Paramètres	Unité	Norme OMS 2011	Norme Algérienne
T _{eau}	°C	25	/
pH	-	6,5 à 8,5	6,5 à 8,5
CE	µs/cm	1500	2800 à 20°C
MES	mg/l	/	/
Rs	mg/l	1500	1500 à 2000
Ca ⁺⁺	mg/l	200	75 à 200
Mg ⁺⁺	mg/l	150	150
Na ⁺	mg/l	200	200
K ⁺	mg/l	12	20
Cl ⁻	mg/l	≤ 250	200 à 500
SO ₄ ²⁻	mg/l	≤ 250	200 à 400
HCO ₃ ⁻	mg/l	/	/
NO ₃ ⁻	mg/l	≤ 50	≤ 50
NO ₂ ⁻	mg/l	≤ 0,1	≤ 0,1
NH ₄ ⁺	mg/l	≤ 0,5	≤ 0,5
PO ₄ ³⁻	mg/l	≤ 0,5	/
DCO	mg O ₂ /l	30	/
DBO5	mg O ₂ /l	5	/
DCO/DBO5	mg O ₂ /l	/	/
O ₂ dis	mg O ₂ /l	5 ≤ O ₂ ≤ 8	/
As	mg/l	0,01	10 µg/l
Pb ⁺	mg/l	0,01	10 µg/l
Hg ²⁺	mg/l	0,001	6 µg/l
Cu ²⁺	mg/l	2	2
Zn ²⁺	mg/l	3	5
Fe _T	mg/l	Pas de valeur guide	0,3
Mn ²⁺	mg/l	0,4	50 µg/l

8.3. Qualité des eaux pour l'irrigation

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau (Na, Cl, Ca, Mg, K etc..) ont des effets sur le sol, les plantes et les êtres humains. Ces sels peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption de l'eau qui agit sur le processus osmotique, ou chimiquement par les réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques (Hg et Pb).

Si l'on arrose la plante avec de l'eau faiblement minéralisée, l'eau pénètre dans la plante par un phénomène d'osmose, par contre si l'on arrose par de l'eau trop minéralisée, on inverse le phénomène d'osmose et la plante se dessèche, de même avec un excès d'engrais. Également selon (Person, 1978) les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa

perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante. Par conséquent, la consommation de cette dernière peut être à l'origine de maladies chroniques.

L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie [A. Douaoui et T. Hartani, 2007 ; S. Bouhlassa et al., 2008 ; A.E.K. Rouabhia et L. Djabri, 2010 ; L.Gouaidia et al., 2012].

Impérativement les eaux destinées à l'irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des terrains cultivés dans la région d'étude.

Afin d'estimer le degré de l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, deux méthodes simplifiées permettent d'apprécier l'aptitude de l'eau à l'irrigation, en fonction du type de sol, celle du :

- **SAR** (Sodium absorption, ratio) ou celle du Riverside ;
- **WILCOX** (la conductivité électrique en fonction du pourcentage de Na).

Selon [R. S. Ayers et D. W. Westcot, 1988] quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et la destruction de la structure du sol [Suyama et al., 2007 ; Khechana, 2014], si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium, dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture [Khelef K, 2006 ; Papaioannoua et al., 2007 ; Khechana et al., 2014]. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable.

8.3.1. Méthode du SAR

Pour classer les eaux d'irrigation, on fait appel au diagramme de Richards [Richards, 1954]. Cette méthode est celle établie par United State Salinity Laboratory Staff en 1954, on la trouve également sous le nom de classification de "l'USSL" ou "USSLS", qui est le sigle de son laboratoire d'origine. En plus de sa simplicité, il est le plus répandue et le plus utilisé [Laraque, 1991 ; Gonzalez Barrios, 1992 ; Montoroi, 1995 ; Khechana et al., 2014]. Cette méthode prend en compte les deux grands dangers que peuvent comporter les eaux utilisées

en irrigation : celui de la salinisation et celui de sodisation (ou d'alcalisation) des sols. Dans ce diagramme, les classes sont définies sur la base du SAR et de la CE.

Si l'eau est très riche en sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe du sol et exercer alors une action défloculante. Pour apprécier le risque alcalin, on compare la concentration en ions Na^+ et celle en ions Ca^{++} et Mg^{++} à l'aide de la formule (18).

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{\frac{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})}{2}} \quad (18)$$

Avec :
 Na^+ : Concentration de l'eau en ions sodium en méq/l.
 Ca^{2+} : Concentration de l'eau en ions de calcium (méq/l).
 Mg^{2+} : Concentration de l'eau en magnésium en méq/l.

Quatre classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin (Tableau VI-14).

Tableau N°VI-14 : Classification des eaux par niveau d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R

	Désignations Classes	Risque alcalin	Sodium Absorption Ratio (S.A.R)
1	S1	Risque faible	S.A.R ≤ 10
2	S2	Risque moyen	10 < S.A.R ≤ 18
3	S3	Risque élevé	18 < S.A.R ≤ 26
4	S4	Risque très élevé	S.A.R > 26

En tenant compte de la salinité globale des eaux, la conductivité électrique définie toujours quatre classes (Tableau N°VI-15).

Tableau N°VI-15 : Classification de la salinité globale des eaux.

	Désignation Classe	Risque salin	Conductivité électrique CE
1	C1	Risque faible	CE ≤ 0,25
2	C2	Risque moyen	0,25 < CE ≤ 0,75
3	C3	Risque élevé	0,75 < CE ≤ 2,25
4	C4	Risque très élevé	CE > 2,25

En tenant compte du risque alcalin et de la salinité globale des eaux, la classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation est donnée par le tableau N°VI-16.

Tableau N°VI-16: Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation.

Degré	Qualité	Classes	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.
		C2-S2	
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
		C3-S2	
		C2-S3	
4	Médiocre	C4-S1	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
		C4-S2	
		C3-S3	
5	Mauvaise	C3-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.
		C4-S3	
		C4-S4	

L'application de la méthode du SAR aux échantillons d'eaux prélevés dans la cuvette du barrage de Zit-Emba (Fig. N°IV-19) permet d'énoncer que ces eaux sont de qualité bonne pour l'irrigation et ne présente aucun danger pour la plupart des cultures et sur la plupart des sols.

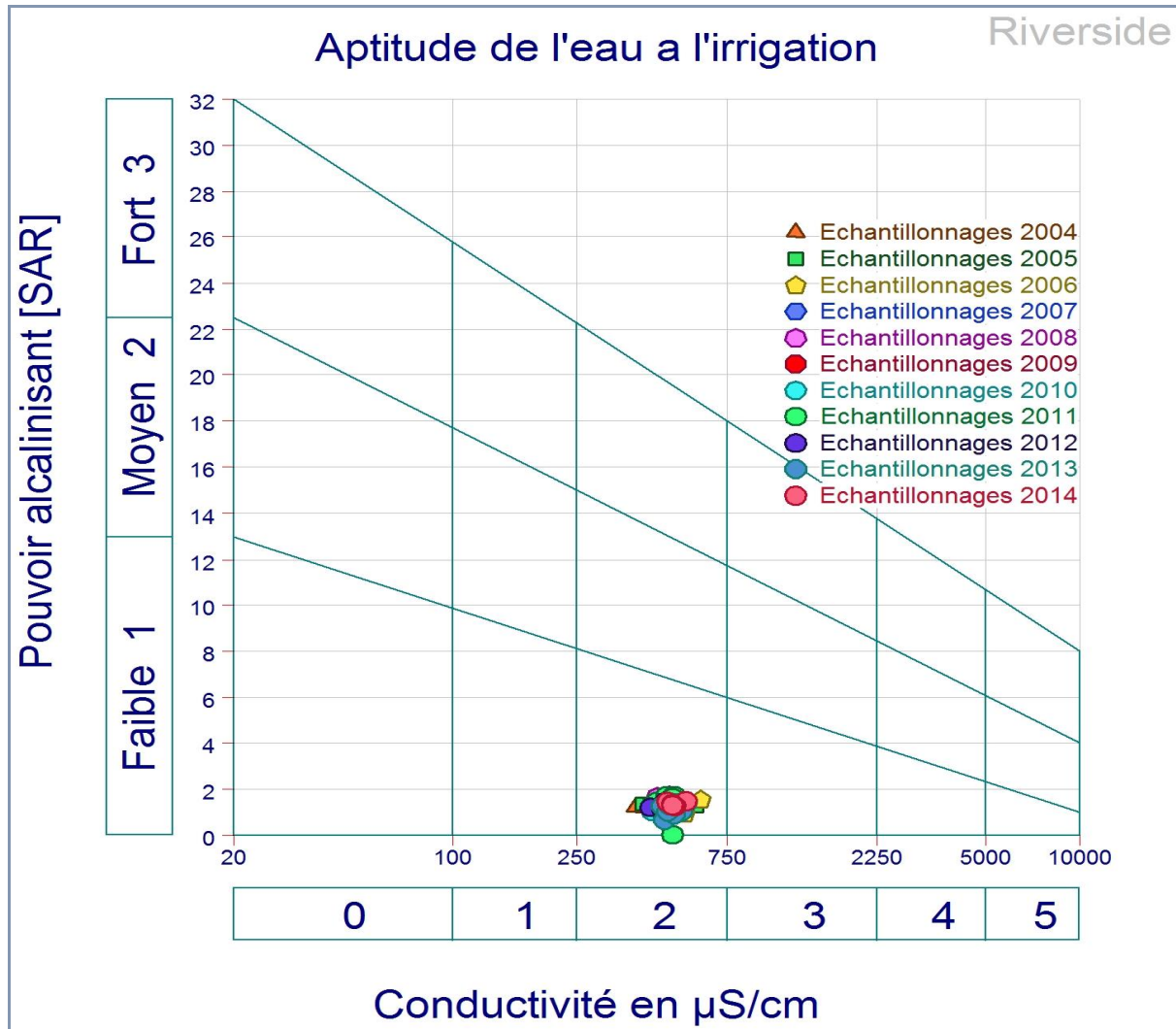


Figure N°VI-19 : Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation (base de données 2004-2014).

8.3.2. Classification de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium, ce qui justifie l'utilisation d'une deuxième classification des eaux destinées à l'irrigation. Cette classification est celle de [WILCOX, L.V. \(1948\)](#). Wilcox s'est penché sur ce problème et il a établi un diagramme, qui est une représentation graphique du pourcentage du sodium (% Na) en fonction de la conductivité électrique. Ceci permet de déterminer le risque de salinité des eaux car l'augmentation de la charge en Na^+ influence négativement le développement des plantes. La classification définit cinq classes d'eau : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise [[Belhadj, 1995, 2007, 2011](#)]. Cette classification est définie par la formule (19).

$$Na\% = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+)} \quad (19)$$

Toutes les teneurs sont exprimées en méq/l.

D'après le diagramme de Wilcox (Fig. N°VI-20), on constate que la majorité des eaux du barrage de Zit-Emba (hautes et basses eaux) sont de qualité excellente pour l'irrigation, avec un pourcentage de sodium compris entre 20 et 40 % pour toute la période d'observation.

On constate donc que les résultats obtenus à l'aide des deux méthodes sont très proches. On peut dire que l'eau est utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur l'ensemble des sols de la zone étude.

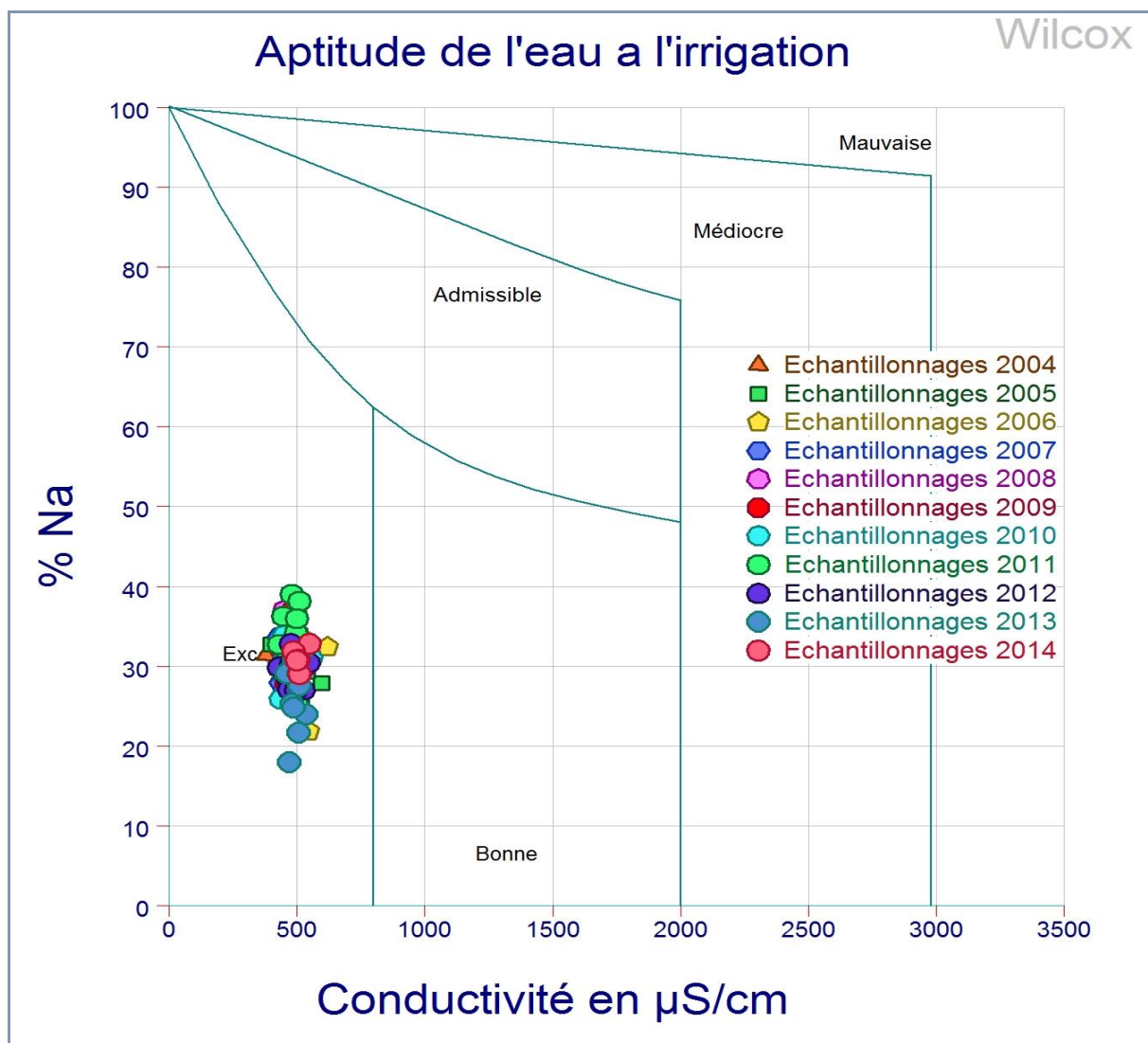


Figure N°VI-20: Diagramme Wilcox (base de données 2004-2014).

9. Indice de qualité de l'eau

L'indice de la qualité de l'eau établi par National Sanitation Foundation (NSF-IQE) a été appliqué pour évaluer la qualité de l'eau du barrage de Zit Emba à l'aide de sept paramètres annuels. Les coliformes fécaux et le changement de température n'ont pas pu être mesurés pendant la période d'échantillonnage. Les valeurs de WQI ont été obtenues par le Calculateur NSF-IQE en ligne. ([Http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm](http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm)) (Tableau N°VI-17). La qualité de l'eau à chaque année était presque la même. Les valeurs varient de 77 à 88 et peuvent être classés à la catégorie de "bonne qualité". Cette caractéristique dépend de la faible intensité de l'activité de la région environnante [Boudoukha et al., 2014]. Cela pourrait en raison de processus de la décomposition de la matière organique à partir de végétaux en décomposition par les microbes qui consomment l'oxygène dissous.

Tableau N°VI-17 : Les valeurs de WQI de l'eau de surface du barrage Zit Emba.

Année	WQI	Classification
2004	85	Bonne
2005	77	Bonne
2006	81	Bonne
2007	79	Bonne
2008	83	Bonne
2009	83	Bonne
2010	84	Bonne
2011	77	Bonne
2012	88	Bonne
2013	85	Bonne
2014	84	Bonne

10. Conclusion

L'étude hydrochimique entreprise à l'aide d'une base de données d'une dizaine d'années a montré que cette série est homogène dans son ensemble, néanmoins les paramètres de pollution (NO₃, PO₄, TU, DCO, DBO5 et MES) qui présentent des valeurs des paramètres d'aplatissement de dissymétrie supérieurs à 2. L'application de l'analyse de la variance univariée a permis de comparer, entre les onze années, l'égalité des moyennes de chaque caractéristique (variable) mesurée. Les différentes corrélations entre les éléments a montré que le chimisme de l'eau est le résultat d'une contamination naturelle liée à la géologie et d'une action anthropique urbaine, industrielle et agricole.

L'analyse en composantes principales a montré que le facteur 1 est celui de la minéralisation alors que le facteur 2 est celui de la pollution agricole. L'analyse hiérarchique ascendante a permis d'affiner la distribution des éléments chimiques et leur distribution en trois groupes (pollution, carbonates et salés) contrôlés par la conductivité électrique.

Les données chimiques montrent que les eaux du barrage ont une minéralisation moyenne exprimée par un résidu sec allant de 780 à 1840 mg/l et que le faciès est de type chloruré, sulfaté, calcique et magnésien en liaison avec la géologie et l'action anthropique. L'examen de la variation de ce chimisme à long terme a permis de voir que les différents éléments chimiques aussi bien les éléments majeurs, mineurs ou de pollution ont une tendance positive suite à une pollution croissante de l'environnement aquatique.

La présence d'un gisement mercuriel dans la région d'Azzaba a contribué à une pollution par le mercure dont les teneurs dépassent les normes admissibles. La modélisation du comportement de cet élément selon quelques éléments majeurs, a permis de cerner le comportement de l'élément Hg^{2+} dans les eaux de surface de la région. Malgré la présence de ces éléments qui sont parfois toxiques, les eaux sont de bonne qualité chimique pour l'irrigation mais qui restent à surveiller et le cas échéant à traiter pour l'alimentation en eau potable.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'eau est une ressource de l'environnement et un bien collectif. Sa contribution au développement d'une société est si indispensable qu'on s'accorde à dire qu'il n'y a pas de vie sans eau. Donc, l'eau c'est la vie. Mais nous devons savoir quelle est cette eau qui donne la vie. Si cette eau n'est pas bonne, elle donne le contraire de la vie. C'est dans ce cadre, que ce travail de recherche a été réalisé sur la ressource superficielle du "barrage Zit-Emba" destinée à l'alimentation en eau potable du chef lieu de la wilaya de Skikda et les localités d'Azzaba, Zardezas, Ain Bouziane, El Harouch, Emdjez Edchiche, Salah Bouchaour. Cette eau est également destinée à l'irrigation du périmètre de Zit-Emba d'une superficie de 6000 ha et celui de Saf Saf et les zones avoisinantes. Ce barrage est situé dans la zone mercurielle Nord de la Numidie, épinglée entre plusieurs sources potentielles de pollution. IL s'agit des effluents thermo-touristiques, domestiques et agro-industriels d'un côté et les effets des retombées atmosphériques du plus grand complexe d'exploitation mercurielle d'Afrique "Ismail" d'un autre côté. Ces sources de pollution sont distantes du barrage d'une dizaine de km à vol d'oiseau. A ces sources polluantes, il faut ajouter les effets des dépôts atmosphériques secs et humides de la cimenterie de Hadjar El-Soud, se trouvant à environ 7 Km à vol d'oiseau.

Le but de cette étude est d'utiliser une approche permettant d'appréhender l'état de pollution du milieu aquatique du barrage de Zit-Emba et de faire par la suite, une appréciation de la qualité de l'eau depuis la source thermale jusqu'à la retenue du barrage. Ceci a permis surtout de déterminer les facteurs qui influent sur la qualité de cette eau et les mécanismes qui les ont engendrés.

Il ressort de cette étude que le secteur présente des anomalies métallogéniques pouvant être un réservoir d'ETM toxiques. Ces gisements se trouvent localiser essentiellement dans la partie méridionale du bassin versant notamment au Sud-

ouest au niveau de djebel Taya comme les sulfures d'antimoine (stibine Sb_2S_3) avec des traces de cinabre (HgS). Au Sud du bassin versant à Djebel Debar on y trouve des concentrations d'halloysite (silicate d'alumine Hydraté = Kaolinite). Ces concentrations sont accompagnées d'oxyde de fer, associée à des carbonates de zinc ($ZnCO_3$), du plomb arsenical et à de l'arséniate de Zinc. La zone mercurielle d'Azzaba se compose de nombreux dépôts de mercure qui sont hébergés dans une variété lithologique tel que les grès, les calcaires, les brèches et les conglomérats. Ces formations datent de l'Yprésien-Lutétien.

L'étude hydroclimatologique du bassin versant de Zit-Emba a montré que le climat est de type méditerranéen, caractérisé par des hivers doux pluvieux et des étés chauds et secs. Considérée parmi les régions les plus arrosées avec des précipitations moyennes interannuelles égales à 708 mm. Ces précipitations sont variables et irrégulières d'une année à une autre et conditionnent l'écoulement saisonnier, influence directement le régime des cours d'eau ainsi que l'alimentation des nappes aquifères.

Le secteur étudié est jalonné par un réseau hydrographique très développé qui draine 53 Hm^3 d'eau ainsi que toute la charge polluante des différentes activités en amont du barrage. De ce fait, on constate une dégradation latente et constante des eaux de la retenue du barrage de Zit-Emba par une pollution urbaine et industrielle notamment en période d'étiage. L'impact de la pollution apportée par les eaux usées déversées est beaucoup plus ressenti au niveau des centres thermaux de hammam Ouled Ali et le village de Bouâti que les eaux du barrage pendant la période de basses eaux qu'en période de hautes eaux. Ceci se traduit par une augmentation importante de la DBO_5 , la DCO, les nitrites et l'ammonium accompagnée d'une diminution de l'oxygène.

Le rapport DCO/DBO_5 montre que la plupart des valeurs sont inférieures à 3 ce qui traduit l'influence d'une pollution domestique et/ou agro-alimentaire. Mais

au niveau des eaux de la retenue il est supérieur à 3 ce qui confirme que les effluents agro-industriels sont difficilement biodégradables.

La minéralisation moyenne de l'eau varie entre 780 et 1840 mg/l, et les teneurs en cations et en anions majeurs sont inférieures à la norme pour la quasi-totalité des échantillons.

Cependant la présence d'éléments traces métalliques toxiques s'est avérée importante dans ces eaux depuis de la source thermale jusqu'à l'eau distribuée. Les teneurs en **Hg** et en **Pb** retrouvées dans ces eaux de surface sont **très élevées et dépassent les normes admissibles**, témoignant ainsi d'une contamination des eaux.

A cet effet et pour pouvoir contrôler les teneurs en mercure avec des fréquences acceptables, un modèle a été élaboré.

L'étude la qualité des eaux d'irrigation selon la classification de Richards ou Riverside et celle de Wilcox a montré que la qualité de l'eau est excellente.

Recommandations

- 1- **Appliquer strictement les règlements** ayant trait aux rejets des effluents liquides, industriels et thermale, est nécessaire ;
- 2- Définir un **périmètre de sécurité en amont du barrage** qui organise toutes les activités ;
- 3- Planter une **station d'épuration en amont du barrage** afin d'éviter si non limiter toute pollution d'origine thermale, urbaine ou industrielle; Ou bien pour réduire la pression des polluantes sur les eaux stocker dans le barrage de Zit-Emba et sur le milieu naturel notamment aquatique, les différents rejets doivent être collectés et transportés à l'aval du barrage.
- 4- Installer une **station d'épuration au niveau de l'usine agro-alimentaire** de Bouâti-M pour limiter l'impacte sur le milieu récepteur ;
- 5- **Ne pas alimenter**, en eau potable la ville de Skikda, à **partir des deux barrages Zit-Emba et Zardezas, simultanément**, étant donné que la somme des teneurs du mercure s'accumule au niveau de la station de traitement des eaux à Hamadi Krouma ;
- 6- Ne pas consommer les poissons se trouvant dans ce barrage vu que :
 - a. la région présente des anomalies métallo géniques en éléments toxiques et en particulier le mercure,
 - b. L'effet cumulatif de cet élément dans les corps des êtres vivants et en particulier les écailles des poissons.
- 7- Dépollutions :
 - a. La dépollution du mercure par des bactéries génétiquement modifiées au niveau du barrage,
 - b. La dépollution biologique des sols de la zone d'étude par la bioremédiation et la **phyto-rémédiation**.
 - c. La décontamination du corps humains peut se faire par la consommation des fruits et les légumes ayant la faculté de détoxification notamment : **Les fraises** (selon le site [Plante et aliments qui absorbent les métaux lourds, 2014](#)), **l'ail, l'ognon, les brocolis, les pêches, les jus de coriandre...**, évitez les fruits de mer, faire du sport, etc...
 - d. La dépollution du site de l'ancienne usine de recyclage de mercure d'Azzaba et ces gisements d'extractions de minerai de mercure.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- AFNOR., 1979.** Recueil de normes françaises. Eaux, méthodes d'essais.
- Alligui. F, 2011.** **Dispersion Géochimique Naturelle et Artificielle du Mercure dans la Région de Azzaba -W. Skikda- et son Impact sur l'Environnement.** Thèse doctorat ès sciences en sciences de la terre Spécialité Hydrogéologie Présentée à l'U.S.T.H.B.
- Alligui. F et Abdelhak Boutaleb, 2010.** **Impact of Mercury Mine Activities on Water Resources at Azzaba-North-East of Algeria.** American Journal of Environmental Sciences 6 (4): 395-401.
- Alioua, 2008.** **Détection et étude de la pollution mercurielle à l'aide des bios indicateurs dans la région de Azzaba (Algérie Orientale).** European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.24 No.1 (2008), pp.12-22
- ANRH, 2015.** Agence Nationale des Ressources en hydrauliques, **Etude hydrologique de l'oued El Hammam au site du barrage Zit-Emba.** Établé, par Elhadef Elokki Ahcene, ingénieur hydrologue, mars 2015.
- ANGCM, 2008.** Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier Alger, ISSN:1010-9366.
- Anazawa K., Ohmori H., Tpmiyasu H., Sakamoto H. (2003).** Hydrochemistry at a volcanic summit area, Norikura, central Japan. *Geochimica et cosmochimica Acta.* 67(18S) 17.
- ASTM, 1974.** Anal Book of American society for testing and material Standards. Water. Part 31.
- Ayers, R.S., & Westcott, D.W. 1989.** Water quality for agriculture. [FAO] Irrigation and Drainage Paper, No. 29 (rev. 1).
- Belhadj M. Z. 2007-** **Etude de la pollution des eaux de surface du barrage de Zit Emba. Région Est de Skikda. NE algérien.** Mémoire de Magister Dép. Hydrau. Univ. Batna.
- Belhadj M. Z., et Boudoukha A. 2011.** **Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la wilaya de Skikda (Nord-est de l'Algérie). Contamination naturelle par le mercure.** European Journal of Scientific Research. Vol 56 N°(2) pp 204-211

- Belhadj M.Z., et Boudoukha A. 2014. Avilissement des eaux de surface du Barrage de Zit-Emba Wilaya de Skikda par une contamination des métaux lourds et une pollution anthropique. Revue ENSH (LJEE) Le journal de l'eau et de l'environnement n° 24&25 juin-déc 2014.**
- Boudoukha A. 1988.** Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère ferme d'El-Eulma-Ain Lahdjar. Thèse Doctorat, Laboratoire géologie, Université Franche comté-France 184 P.
- Boudoukha A. et Belhadj M. Z. 2012. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux du barrage de Zit Emba. Est algérien. Revue La Houille Blanche, n° 4, 2012, p. 34-41**
- 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.
- Boudoukha A., Bouguerne A., Mebarkia A., 2014.** Impact of climate change and human activity on water quality of the dam Ain Zada. Algeria. International Journal of Global Change, 2(3), 74-75.
- Bouarroudj .M.T1989. Les Minéralisation A Hg, Pb, Zn, Cu, Ba, De La zone Nord numidique du Nord de L'Algérie orientale - métallogénie et recherche de guides de prospection.** Thèse Docteur ingénieur, université Pierre et marie curie, Paris VI 242 Pages.
- Beloucif. N, 2007. Etude géochimique de l'indice du Djebel Raout-Lassoued (Azzaba, Algérie nord orientale).** Université Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire Département des Sciences de la Terre Mémoire de Magister en géologie.
- Belkhiri L. 2011. Étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel - Est Algérien.** Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences option : hydraulique, Dép. Hydrau. Univ. Batna.
- Belkhiri, L., Boudoukha, A. and Mouni, L. (2011).A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data, Int. J. Environ. Res., 5 (2), 537-544**
- Blowes DW, Ptacek CJ (1994) Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings. The Environmental Geochemistry of Sulphide Mine-Wastes 22:271–292**

- Benhamza et al, 2004. Qualité des eaux souterraines de la zone mercurielle nord numidique (Azzaba), nord est Algérie.**
- Benhamza. M 2005.** Application de l'analyse en composante principale à l'évaluation de la pollution mercurielle dans la région de Azzaba (1999, 2000,2001) 1^{er} colloque euro-méditerranéen en biologie végétale et environnement le 28,29 et 30 novembre 2005 université Badji Mokhtar (Algérie). 7 p
- Benhamza M, Kherici N, Picard-Bonnaud F et Nezzal A, 2004.** Evaluation de la contamination de la population par le mercure inorganique.
- Benhamza M. et Kherici N. 2007.** Contamination par les micropolluants métalliques des eaux souterraines de la zone mercurielle nord numidique (Azzaba), Nord Est algérien. 2^{ème} Colloque International sur l'Eau et l'Environnement : Sidi Fredj les 30 et 31 Janvier 2007, p287-295
- Boulkaibet. A, 2011. La question du risque industriel et le Développement durable en Algérie Cas de la wilaya de Skikda (la zone pétrochimique et la cimenterie de HadjarAssoud).** Mémoire de magistère en aménagement du territoire Spécialité aménagement des milieux urbains, université mentouri de Constantine faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire département d'aménagement du territoire.
- Bouhlassa S., Alechcheikh C. et Kabiri L. 2008. Origine de la minéralisation et de la détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du Quaternaire du bassin-versant de Rheris (Errachidia, Maroc).** Sécheresse, vol. 19, n° 1, p. 67-75.
- Bouhy P. et Thierry Denies M. 2007. L'eau du robinet, un partenaire sante incontournable,** Union Professionnelle des Diététiciens de Langue Française.
- Bouroche J.M., Saporata G., 1980. L'analyse des données.** 1^{er} édition. Presses Académique de France. Paris, 127 p.
- Brinis. N, 2010. Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en pays aride Cas de l'aquifère d'El-Outaya Région nord-ouest de Biskra, Algérie.** Thèse doctorat ès sciences en Hydraulique, Université Mohamed Kheider-Biskra, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur département d'Hydraulique.

- Brown R. M., McClelland N. I., Deininger R. A. and Tozer R., 1970.** A Water Quality Index. Do wedare Water and Sewage Works.
- BhatiaR. et M. Falkenmark. 1992.** Water resource policies and the urban poor: innovative approaches and policy imperatives. Document d'information, ICWE, Dublin, Irlande.
- COTE M, 1998a.** Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, Rhumel, n° 6, pp. 57-71.
- CRE ,2015.** Les concepts de ressource en eau, les articles d'irrigazette.
- Chouti W.K, 2007.** Evaluation de la qualité des eaux des puits couverts munis de pompe dans la commune de Porto-Novo. Université d'Abomey-Calavi (Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques) - DESS 2007.
- Dagnélie P., 1986.** Analyse statistique à plusieurs variables. Gembloux, presses agronomiques, 362 p.
- Dagnélie P., 2006.** Statistique théorique et appliquée. Tomme 2 : Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER : 659 p.
- Dagnélie P., 1970.** Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques (vol. 2).Gembloux, Pesses agronomiques, 451 p.
- DPAT, 2013.** Annuaire statistique de la Wilaya de Skikda.
- Durand-Delga, M. et Fontboté, J.M., 1980.** Le cadre structural de la méditerranée occidentale. Mém. Bur. Rech : Géol. Min., 115, 65-85.
- Douaoui A. et Hartani. T. 2007.** Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes du troisième atelier régional Sirma(Nabeul, Tunis), CD-Rom, Édit. CIRAD, Montpellier, 5 p.
- Ezzaouaq M, 1991.** Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé. D.E.S. Fac. Sci. Rabat, 140 p.
- El Blidi s., Fekhaoui m., El Abidi a., Idrissi l., BenazzouT., 2006.** Contamination des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) par des métaux traces. Vecteur environnement, janvier, 46–53.
- Elwatane, 2011.** Du mercure à l'air libre à Azzaba Un drame écologique se joue dans l'indifférence.

- EP, 2012. Eau potable 2012.** Les risques sanitaires liés à la microbiologie de l'eau : évolution et modalités d'évaluation TSM.
- FAO, 1990.** Programme international d'action concernant l'eau et le développement agricole durable. Rome.
- FAO, 1993.** Problématique Des Ressources En Eau Et Agriculture.
- Fischer, J. C., Boughriet A., Ouddane B., Bodineau L., 2000.** Comportement des polluants métalliques et de la matière organique en Manche. Revue Océans, 23(1), 89-111.
- François de Dardel, 2009.** L'analyse d'eau en détail.
- Geller W, Friese K, Herzsprung P, Kringel R, Schultze M (2000)** Limnology of sulphuric acid mining lakes. II Chemical properties: the main constituents and buffering systems. Verhandlungen des Internationally Verein Limnologie 27:2475–2479
- Gupta. D.B. 1992.** The importance of water resources for urban socioeconomic development. In International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century.
- GOE, 2003.** Glossaire office de l'eau.
- Golterman, H. L. & Meyer, M. L. (1985)** The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone: Part 4: The determination of the solubility product of hydroxyapatite. Hydrobiologia 126, 25-29.
- GTE, 2012.** Glossaire de termes sur l'eau.
- GTA, 2013.** Guide technique d'assainissement BDEF.
- Gouaidia L., O. Guefaïfia, A. Boudoukha, M. Laid Hemila et C. Martin 2012.** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). Revue : physio-Géo, volume 6, p.141-160
- GPQEP, 2011.** Glossaire des paramètres de qualité de l'eau potable.
- GÛLER 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., Vol. 285, 177-198.
- Harrat. N, 2013.** **Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface.** Thèse Doctorat en sciences

Spécialité: Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, Faculté des Sciences et de la technologie, Département : Génie civil et hydraulique.

Hébert, S. et S. Légaré, 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq n° ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.

HU, 2011. Hydraulique urbaine, document technique.

IPEN, 2010. International POPs Elimination Network Manuel pour ONG sur la pollution par le mercure Par Jack Weinberg Senior Policy Advisor.

Jain P, Sharma JD, Sohu D, Sharma P. 2005. Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Juipur District. Int. J. Environ. Sci. Tech. 2 (4): 373-379.

Jowett, J. R., 1980. Clean lakes program guidance manual. United States Environmental Protection Agency. Washigton D.C. 20460. EPA-440/5-81-003.

JORA, Journal Officiel de la République Algérienne Et Populaire, Décret exécutif n° 83–03 (1983), n° 93–160 (1993), n°93–163(1993) ART 6-7, n°94–41 (1994) ART 1-10-11-12-14-16-18-19-25-(26-27-36-38-)40.

JORA, Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique Et Populaire (JO n° 11/18). (2011). Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Kaiser H.F.,1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educ. Psychol. Meas., 20: 141-151.

Kattan, Z., Salleron, J. L. & Probst, J. L. (1987) Bilans et dynamique de transfert de l'azote et du phosphore sur le bassin de la Moselle (Nord-Est de la France), Sciences de l'Eau 5 no. 4, 437-461.

Kempe, S. (1982) Long-term records of the C07 pressure fluctuations in fresh water. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. (Proc. Hamburg Symp., SCOPE/UNEP), Sonderband Heft 52, 91-332

Kim JH, Kim RH, Lee JH, Cheong TJ, Yum BW, Chang HW (2005). Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea. Hydrological Processes 19(6),1261–1276

- Khelef K, 2006.** Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Oued-Souf. Thèse de Master d'école de Management Euro-Med, Université de Marseille, 100p.
- Khechana.S, et El-Fadel Derradji, 2014.** Qualité des eaux destinées à la consommation humaine et à l'utilisation agricole (Cas des eaux souterraines d'Oued-Souf, SE algérien), Rev. Sci. Technol., Synthèse 28 : p58-68
- Khechana.S, 2014. Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien).** Thèse doctorat ès sciences en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba, Faculté des Sciences de la Terre Département de Géologie
- Leynaud. G, 1968.** Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, Maroc. 224-881.
- Landwehr J.M., Deininger R.A., 1976.** A comparison of several water quality indexes. Journal Water Pollution Control Federation, 48(5), 954-958.
- Lowson RT., 1982.** Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen, Chemistry. Revue. 82, 461-497.
- Meybeck M., Friedrich G., Thomas R., Chapman D. 1996.** Rivers. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 49-58.
- Mebarki A. 2005. Hydrologie des bassins de l'est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement,** Thèse de doctorat d'état (Géographie et Aménagement du Territoire, option Hydrologie).
- Mézédjri, L., 2008. Modélisation de l'Impact de la Pollution Industrielle Hydrique dans le Golfe de Skikda (Littoral Est algérien).**Thèse Doctorat ès Sciences de la Mer, Université Badji Mokhtar Annaba.
- MathWorks, Inc. 2005.** Matlab Programming. Available at <http://www.mathworks.com>.
- MRE, 2007.** Ministère des ressources en eaux, Institut national de perfectionnement de l'équipement, Thème : Réutilisation des eaux usées Animé par M.BENAISSA Ing en génie rural Session du 8 au 12 décembre 2007.
- Nezzal et al, 2004.** Étude sur l'imprégnation mercurielle chronique dans la région de Azzaba.
- NWS, 2010.** National Weather Service, « South Dakota Storm Produces Record Hailstone », NOAA News.

- OCDE, 2009.** Organisation de coopération et de développement économiques, Informations sur l'eau dans le monde, Appel de à investir dans le traitement des eaux usées, par Sabine Casalonga.
- ONU. 1992.** Protection des ressources en eau douce et de leur qualité: application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau. Chapitre 18, programme Action 21, Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.
- ONID, 2007.** Office National de l'Irrigation et du Drainage, Etats signalétique des périmètres en exploitation en Algérie - année 2007.
- OMM, 2011.** Organisation météorologique mondiale, « Grêle », Glossaire de la météorologie, Eumetcal.
- OMS, 2013.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Deuxième édition Additif au Volume 1 Recommandations.
- OMS, 2004.** Organisation Mondiale De La Sante, Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition volume 1, Recommandations. **Genève** 2004, WSH_Guidelines_DrinkingWater_Quality-fr.doc
- Olive P., 1976.** Introduction to geochemistry of continental waters. Eds. Didac. Ped. Bucaresti,
- Ouahab. K 2006.** Le mercure enfin banni à Skikda Retour sur les traces du métal blanc, journal El Watan.
- PapaioannouA., Plageras P., Dovriki E., Minas A., Krikelis V., Nastos P.Th., Kakavas K., & Paliatsos A.G., 2007.** Groundwater quality and location of productive activities in the region of Thessaly (Greece), Journal of Desalination, 213, 209–217.
- PNE, 2010.** **Plan national de l'eau**, réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau Volet 5 : demande en eau industrielle, Mission 2 : Ressources et demandes, Tome 2, annexes-tableaux.
- Person J. 1978.** Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2ème série) section III, n°2 : 143-151.
- PNUE. 1991.** **Pollution des eaux douces.** Bibliothèque de l'environnement PNUE/GEMS. N° 6. Nairobi.

- Postel. S.1992.** Last oasis: facing water scarcity. Norton, New York.
- Palm R., 1998.** L'analyse en composantes principales, Principes et applications. Notes stat. Inform. (Gembloux) 98/2, 33 p.
- Palm R., 2000.** L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante, principes et applications. Notes stat. Inform. (Gembloux) 2000/1, 40 p.
- Parker V.** 1989. Water Analysis by Atomic Absorption Spectrometry, Techtron.Pty.Ltd, Springrale Australia.
- QAE, 2011. La Qualité et les Analyses de l'eau,** Action contre la faim, publier par : Saidou Gayet, p40.
- Rafraf. M, 2010.** Cimenterie de Hadjar-Soud, une production de 1 million de tonnes attendue pour 2010. MIDI, Quotidien national d'information libre ISSN:1112-7449, N° 939 Dimanche 11 avril 2010
- Richards, L. A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, 160 p.
- Rogers P. 1992.** Comprehensive water ressources management, a concept paper. Policy Research Working Paper. Banque mondiale, Washington.
- Rodier J.,1998. L'analyse de l'eau.** 8^{eme} édition, Dunod, Paris.
- Rouabhia A.E.K. et Djabri L. 2010.** L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. Larhyss Journal (<http://larhyss.net/journal.html>), N° 8, p. 55-67.
- RGPH 2008.** Recensement Général De La Population Et De L'habitat, durant la période du 16 au 30 Avril 2008.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie,** Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.
- Suyama H., Benes S.E., Robinson P.H., Grattan S.R., Grieve C.M. &Getachew G., 2007.** Forage yield and quality under irrigation with saline-sodic drainage water, Greenhouse evaluation. Agricultural water management, 88, 159–172.
- Sharpley, A. N. (1980)** The enrichment of soil phosphorus in runoff sediment. J. Environ. Qual. 9 (3), 521-526.

- Sneath PHA., SokalRR., 1973.** Numerical Taxonomy e the Principles and Practice of Numerical Classification, Ed. Freeman, W.H, San Francisco.
- Stumm W., Morgan JJ., 1996.** Aquatic Chemistry–Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, third ed., Wiley & Sons, New York, NY,
- Toutant Claude, 2013.** L'importance des propriétés organoleptiques de l'eau.
- Tiri A. Pollution urbaine et industrielle des eaux de surface du barrage de Koudiat Medouar, Est Algérien. 2011-** Thèse Doctorat en sciences option : hydraulique, Dép. Hydrau. Univ. Batna.
- Tiri A., Belkhiri L., Boudoukha A., Lahbari N. (2011).** Characterization and evaluation of the factors affecting the geochemistry of surface water of Koudiat Medouar basin. Algeria. African Journal of environmental Science and Technology. 5(5) 355-362
- Techniques d'assainissement, 2003.** Technique d'assainissement, procédés biologiques naturels et artificiels.
- Thomassin J.F et Touze 2003.** Le mercure et ses composés comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments. Rapport final BRGM/RP-51890-FR.
- Villa J.M. 1967.** Analyse stratigraphique et structurale du flysch de Penthièvre (Nord Constantinois) Algérie.
- Vila .J.M. 1971.** Essai d'interprétation structurale d'un profil transversal du nord-est de la Berbérie entre les régions d'Annaba (Bône) et de Guelma.
- Vila .J.M et Magne .J. 1969.** Le cadre structural du Djebel Debar (nord du constantinois, Algérie). Extrait du bulletin de la société géologique de France, 7e série, t .XI pp 75 à 81
- Vila .J.M, Busnardo. R, Devries. A, Magne .J et Sigal.J. 1968.** Données stratigraphiques sur la série renversée et charriée du Djebel Bousba et étude de son cadre structural (Région de Guelma, Constantinois, Algérien) Extrait du bulletin de la société géologique de France, 7e série, t .X,P .206 à 212, année 1968.
- Vnoukov.A et Kovalev. A, 2000.** Barrage de Zit-Emba, pièces d'exécution et notice explicative.
- WHO, 2011.**World Health Organization-Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations. 4th ed. Switzerland. www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/nitrate.pdf.

Wise, B.M., Gallagher, N.B., Bro, R., Shaver, J.M., Windig, W., Koch, R.S., 2004. PLS Toolbox Version 3.5 Manual for use with MATLAB TM.

Wilcox, L.V., 1948. The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington D.C.

X., 2011. Minitab software statistique, version 16 pour windows.

ZohounTh, Fayomi E B, Tchokki F 1993. Poussière de ciment et pollution d'eau de puits, a propos d'une étude réalisée dans des localités proches d'une cimenterie à Cotonou-République du Bénin.

ZohounTh, Fayomi E B, Tchokki F 1993. Poussière de ciment et pollution d'eau de puits, a propos d'une étude réalisée dans des localités proches d'une cimenterie à Cotonou-République du Bénin.

Productions scientifique

Productions scientifique

☞ Publications Internationales

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya De Skikda (Nord-est de l'Algérie) Contamination naturelle par le mercure. *European Journal of Scientific Recherche*, vol.56 N°2 année 2011, pp 204-211.
- Boudoukha A., **BELHADJ M. Z.** et BENKADJA R. 2012. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux du barrage de Zit Emba. Est algérien. *La Houille Blanche*, n° 4, 2012, pp34-41.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Avilissement des eaux de surface du barrage de Zit-Emba wilaya de Skikda par une contamination des métaux lourds et une pollution anthropique. *Le journal de l'eau et de l'environnement* n° 24&25 juin-déc 2014

☞ Proceedings

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Avilissement des eaux de surface du barrage de Zit-Emba wilaya de Skikda par une contamination des métaux lourds et une pollution anthropique. **Publication au Proceedings du 5^{ème} colloque international sur les ressources en eau et le développement durable, février 2013.**
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux de surface du **barrage de Zit-Emba wilaya de Skikda (nord-est algérien).** **Publication au Proceedings du 2^{ème} Séminaire maghrébin sur la gestion des ressources naturelle et le développement durable (GRN2D), mai 2011.**

☞ Communications Nationales Et Internationales

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Qualité des eaux de surface destinée a l'alimentation en eau potable et à l'irrigation au niveau de la ville de Skikda. Séminaire **international** sur la biodiversité et la conservation des zones humides

(**SIZH**) ; organisé par le département de biologie, faculté des sciences et sciences de l'ingénieurs, université de Guelma. Du 02 au 04 décembre 2008.

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Qualité des eaux de surface destinée a l'alimentation en eau potable et à l'irrigation au niveau de la ville de Skikda **Cas De Pollution Par Le Mercur**. Séminaire national de l'interaction biologie environnement (**SNIBE**) ; organisé par le département de biologie, faculté des sciences, université de Skikda du 14 au 16 décembre 2008.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Qualité des eaux de surface destinée a l'alimentation en eau potable et à l'irrigation au niveau de la ville de Skikda **Cas De Pollution Par Le Plomb**. Séminaire national de l'interaction biologie environnement (**SNIBE**), qui s'est déroulée à l'université de Skikda du 14 au 16 décembre 2008.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Impact de la qualité chimique des eaux d'irrigation sur le sol. **1^{ère} journée nationales** d'agronomie sur les sols de l'Algérie "État actuel des connaissances et perspectives de recherche". organisé par le département des sciences agronomiques, faculté des sciences, université de Skikda du 02 au 03 juin 2009.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux de surface du **barrage de Zit-Emba wilaya de Skikda** (nord-est algérien). **2^{ème} Séminaire maghrébin** sur la gestion des ressources naturelle et le développement durable (**GRN2D**) organisé par le laboratoire de recherche "Eco-développement des espaces", université de Djillali Liabés de Sidi Bel Abbés le 17 et 18 mai 2011.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux de surface de **deux barrages de l'EST algérien**. **2^{ème} Séminaire maghrébin** sur la gestion des ressources naturelle et le développement durable (**GRN2D**) organisé par le laboratoire de recherche "Eco-développement des espaces", université de Djillali Liabés de Sidi Bel Abbés le 17 et 18 mai 2011.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Avilissement des eaux de surface du barrage de Zit-Emba par une contamination des métaux lourds et une pollution anthropique wilaya de Skikda (nord-est Algérien). **portes ouvertes sur le département de**

l'hydraulique et a la journée des post-gradués de l'université d'Elhadj Lakhdar de Batna qui ont lieu le 04 et le 05 juin 2012.

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Avilissement des eaux de surface du barrage de Zit-Emba wilaya de Skikda par une contamination des métaux lourds et une pollution anthropique. Séminaire **5^{em} colloque Internationale : Ressources en Eau et Développement Durable (5CIREDD2013) organisé par l'ENSH de Blida** à Alger les 24 et 25 Février 2013.

Communications Acceptées

- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. L'état actuel des ressources en eau de la wilaya d'El Oued. Aspects quantitatifs et qualitatifs. Colloque international sur "**La Géologie du Sahara: Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau**" le 03, 04 et 05 Décembre 2012 à l'université KASDI Merbah-Ouargla.
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Diagnostique qualitative et Évaluation du degré de contamination mercurielle des eaux de surface du barrage de Zit-Emba Wilaya de Skikda, Nord Est Algérien. Conférence international d'Istanbul le 28-30 Mai 2015 à l'université d'istanbul (Istanbul University Innovation 2015).
- **BELHADJ M. Z.** et Boudoukha A. Diagnostic and qualitative assessment of the extent of mercury contamination of surface water dam Zit-Emba wilaya of Skikda, North Eastern Algeria. Conférence international de Séfcologie 2016, octobre 24-28 a Marseille, France.

ANNEXES

Annexes

Annexe N°01 :

1 – Formule de calcul et évaluation de la population future :

La population future est évaluée par la formule des intérêts composés :

$$P_F = P_R (1 + \zeta)^N$$

Avec :

P_F : Population future pour l'horizon 2031 ;

P_R : Population de référence (année de recensement local) ;

ζ : Taux d'accroissement local 3,5% ;

N : Horizon pris en considération (25 ans) ;

Calcul de la population future de Bouâti Mohamed :

Désignation /(année)	2008	2010	2013	2014	2020	2025	2034
Taux %	-	1	1,5	1,5	2	1,8	1,6
Population (habitants)	9658	9852	10302	10457	11776	12875	14852

Calcul de la population future de Ouled Ali :

Désignation /(année)	2008	2010	2013	2014	2020	2025	2034
Taux %	-	1	1,5	1,5	2,5	2,5	2
Population (habitants)	-	-	1229	1247	1447	1637	1956

Calcul de la population future de Roknia :

Désignation/ (année)	2008	2010	2013	2014	2020	2025	2034
Taux %	-	1	1,5	1,5	2	1,8	1,6
Population (habitants)	9758	9954	10409	10565	11898	13008	15006

Annexe N°02 :

Matrice de Corrélations globale et de probabilité des 4 stations:

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	N03	N02
Mg	0,962 0,000								
Na	0,522 0,000	0,484 0,000							
K	0,288 0,047	0,274 0,059	0,639 0,000						
Cl	-0,076 0,607	0,006 0,967	-0,260 0,074	-0,456 0,001					
SO4	0,398 0,005	0,422 0,003	0,871 0,000	0,567 0,000	-0,309 0,033				
HCO3	0,929 0,000	0,818 0,000	0,513 0,000	0,320 0,027	-0,174 0,238	0,292 0,044			
N03	0,246 0,092	0,182 0,217	0,161 0,275	-0,230 0,116	0,151 0,305	0,058 0,698	0,366 0,010		
N02	0,108 0,467	0,138 0,350	0,003 0,985	-0,110 0,458	0,193 0,188	-0,078 0,598	0,072 0,629	0,381 0,008	
Pb	-0,124 0,402	-0,077 0,602	-0,158 0,284	-0,068 0,646	0,001 0,992	-0,193 0,188	-0,073 0,620	-0,006 0,968	-0,018 0,906
Hg	0,115 0,436	0,096 0,514	0,660 0,000	0,603 0,000	-0,492 0,000	0,759 0,000	0,125 0,399	-0,092 0,534	-0,147 0,317
CND	0,939 0,000	0,903 0,000	0,479 0,001	0,202 0,168	0,087 0,559	0,304 0,036	0,869 0,000	0,243 0,096	0,021 0,885
pH	-0,461 0,001	-0,485 0,000	-0,277 0,056	-0,008 0,958	-0,296 0,041	-0,171 0,245	-0,372 0,009	-0,178 0,226	0,089 0,549
	Pb	Hg	CND						
Hg	-0,189 0,198								
CND	-0,153 0,300	-0,015 0,920							
pH	0,200 0,172	0,078 0,598	-0,616 0,000						

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Matrice de Corrélations et de probabilité Station 1

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	N03	N02
Mg	0,979 0,000								
Na	0,572 0,052	0,484 0,111							
K	0,785 0,002	0,788 0,002	0,727 0,007						
Cl	0,038 0,907	0,113 0,726	-0,232 0,467	-0,285 0,370					
SO4	0,459 0,133	0,389 0,211	0,714 0,009	0,799 0,002	-0,684 0,014				
HCO3	0,698 0,012	0,647 0,023	0,421 0,173	0,435 0,158	0,261 0,413	0,094 0,771			
N03	-0,717 0,009	-0,642 0,024	-0,579 0,048	-0,759 0,004	0,517 0,085	-0,846 0,001	-0,293 0,355		
N02	-0,040 0,901	0,074 0,820	-0,494 0,102	-0,342 0,276	0,548 0,065	-0,585 0,046	-0,286 0,367	0,361 0,249	
Pb	0,235 0,463	0,338 0,282	-0,284 0,372	-0,100 0,757	0,550 0,064	-0,484 0,111	0,077 0,812	0,114 0,724	0,665 0,018
Hg	-0,015 0,963	0,006 0,984	0,108 0,739	0,390 0,210	-0,641 0,025	0,620 0,032	-0,153 0,636	-0,353 0,260	-0,427 0,167
CND	0,909 0,000	0,876 0,000	0,649 0,022	0,716 0,009	0,047 0,885	0,358 0,253	0,843 0,001	-0,541 0,069	-0,188 0,559
pH	-0,504 0,095	-0,481 0,113	-0,389 0,212	-0,278 0,382	-0,448 0,144	0,089 0,782	-0,862 0,000	0,010 0,976	0,241 0,450
	Pb	Hg	CND						
Hg	-0,596 0,041								
CND	0,117 0,716	-0,051 0,875							
pH	-0,220 0,492	0,315 0,319	-0,657 0,020						

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Matrice de Corrélations et de probabilité Station 2

Mg	Ca 0,929 0,000	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	N03	N02
Na	0,805 0,002	0,799 0,002							
K	0,080 0,804	-0,056 0,863	0,341 0,278						
Cl	0,207 0,519	0,397 0,201	0,249 0,436	-0,320 0,310					
SO4	0,659 0,020	0,889 0,000	0,615 0,033	-0,207 0,518	0,518 0,084				
HCO3	0,843 0,001	0,600 0,039	0,718 0,009	0,372 0,233	-0,135 0,676	0,182 0,572			
N03	0,233 0,467	0,415 0,180	0,287 0,367	-0,351 0,264	0,339 0,280	0,552 0,063	-0,075 0,818		
N02	0,007 0,984	-0,188 0,559	0,156 0,629	0,061 0,851	-0,379 0,225	-0,393 0,207	0,351 0,263	-0,137 0,671	
Pb	-0,462 0,131	-0,257 0,420	-0,394 0,205	-0,279 0,380	0,083 0,797	0,058 0,857	-0,647 0,023	0,387 0,213	-0,326 0,301
Hg	-0,229 0,475	-0,316 0,317	-0,143 0,658	0,025 0,940	-0,188 0,558	-0,391 0,209	-0,031 0,925	-0,501 0,097	-0,078 0,811
CND	0,961 0,000	0,919 0,000	0,821 0,001	0,105 0,746	0,310 0,327	0,684 0,014	0,789 0,002	0,389 0,211	-0,035 0,913
pH	-0,725 0,008	-0,771 0,003	-0,737 0,006	0,036 0,912	-0,285 0,370	-0,667 0,018	-0,524 0,080	-0,672 0,017	0,068 0,834
Hg	Pb -0,131 0,685	Hg	CND						
CND	-0,296 0,350	-0,309 0,329							
pH	0,023 0,943	0,241 0,451	-0,827 0,001						

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Matrice de Corrélations et de probabilité Station 3

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	N03	N02
Mg	0,313 0,322								
Na	0,450 0,142	0,805 0,002							
K	0,749 0,005	0,178 0,580	0,428 0,165						
Cl	-0,054 0,867	-0,682 0,015	-0,691 0,013	0,090 0,781					
SO4	0,550 0,064	-0,183 0,568	-0,054 0,867	0,713 0,009	0,168 0,602				
HCO3	0,881 0,000	0,416 0,179	0,687 0,014	0,751 0,005	-0,205 0,522	0,421 0,173			
N03	0,756 0,004	0,391 0,209	0,565 0,056	0,735 0,006	-0,156 0,629	0,466 0,127	0,834 0,001		
N02	-0,239 0,455	0,075 0,818	-0,204 0,525	-0,334 0,289	0,119 0,712	-0,034 0,916	-0,328 0,298	-0,163 0,612	
Pb	0,149 0,643	0,547 0,066	0,605 0,037	0,230 0,473	-0,355 0,258	-0,260 0,415	0,431 0,162	0,454 0,138	-0,103 0,751
Hg	0,227 0,478	-0,326 0,301	-0,298 0,346	0,191 0,552	0,614 0,034	-0,033 0,919	0,048 0,883	0,146 0,652	-0,273 0,391
CND	0,320 0,311	-0,328 0,298	-0,419 0,175	0,239 0,453	0,405 0,191	0,546 0,066	0,004 0,991	0,122 0,706	0,202 0,529
pH	0,401 0,197	0,606 0,037	0,623 0,030	0,166 0,607	-0,541 0,069	-0,021 0,949	0,617 0,032	0,526 0,079	-0,242 0,449
	Pb	Hg	CND						
Hg	-0,268 0,399								
CND	-0,362 0,247	0,249 0,436							
pH	0,347 0,269	-0,057 0,861	-0,351 0,263						

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Matrice de Corrélations et de probabilité Station 4

Mg	Ca 0,999 0,000	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	N03	N02
Na	-0,426 0,168	-0,457 0,135							
K	0,583 0,047	0,571 0,052	0,159 0,621						
Cl	-0,580 0,048	-0,598 0,040	0,595 0,041	-0,625 0,030					
SO4	-0,631 0,028	-0,655 0,021	0,685 0,014	-0,185 0,565	0,579 0,049				
HCO3	0,994 0,000	0,993 0,000	-0,438 0,155	0,601 0,039	-0,604 0,038	-0,606 0,037			
N03	0,819 0,001	0,827 0,001	-0,659 0,020	0,204 0,524	-0,578 0,049	-0,602 0,038	0,814 0,001		
N02	0,171 0,595	0,143 0,656	0,536 0,072	0,050 0,878	0,414 0,180	0,298 0,347	0,112 0,728	0,164 0,611	
Pb	0,798 0,002	0,817 0,001	-0,879 0,000	0,199 0,536	-0,690 0,013	-0,736 0,006	0,812 0,001	0,868 0,000	-0,275 0,388
Hg	0,267 0,401	0,290 0,360	-0,554 0,061	0,056 0,862	-0,627 0,029	-0,624 0,030	0,241 0,450	0,579 0,048	-0,126 0,696
CND	0,967 0,000	0,959 0,000	-0,259 0,416	0,578 0,049	-0,456 0,136	-0,521 0,083	0,963 0,000	0,805 0,002	0,343 0,274
pH	-0,759 0,004	-0,783 0,003	0,791 0,002	-0,273 0,391	0,716 0,009	0,920 0,000	-0,733 0,007	-0,736 0,006	0,252 0,429
Hg	Pb 0,472 0,122	Hg	CND						
CND	0,680 0,015	0,217 0,498							
pH	-0,878 0,000	-0,611 0,035	-0,608 0,036						

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P