



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي – الشلف –

Université Hassiba Ben Bouali – Chlef –

معهد العلوم الزراعية

L'institut des sciences Agronomiques

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère

Spécialité : Hydraulique Agricole

Option : Irrigation et Gestion de l'eau

Thème

Variabilité spatiotemporelle de la qualité de
l'eau destinée à l'irrigation de la retenue de
barrage Sidi M'hamed Ben Taïba Wilaya de
Ain Defla.

Présenté par : M^{me}. AISSANI Amina

Devant le jury :

Président	Pr. BOUTHIBA A.	Professeur.	U.H.B.Chlef
Encadreur	Pr. SAIDI D.	Professeur.	U.H.B.Chlef
Examineurs	Pr. REGUIG H.	Professeur.	U. mostaganem
	Dr. SETTI BA.	Maître de Conférences A.	U.H.B.Chlef
	Dr. ABABOU A.	Maître de Conférences A.	U.H.B.Chlef
Co-encadreur	Mr. HOUARI A.E.K	Maître Assistant A.	U.H.B.Chlef

Année universitaire

2011-2012

Remerciements

Je remercie Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté pour atteindre ce stade de savoir et de pouvoir présenter ce modeste travail.

Je tiens à remercier en premier lieu Mr SAIDI Djamel, professeur à l'université de Chlef pour l'ouverture de l'option de Magistère "Irrigation et gestion de l'eau" et de nous avoir donné cette chance et aussi pour m'avoir fait l'honneur de diriger mon travail.

Je remercie également, mon co-encadreur Mr HOUARI A.E.K Maître de conférence à l'U.H.B. Chlef pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail par ses connaissances, ses conseils judicieux et ses suggestions.

Un grand Merci aux membres de jury:

Mr. BOTHIBA A. (professeur. à l'université de Chlef) pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail et son acceptation de présider le jury de soutenance.

Mr. REGUIG H. (professeur à l'université de Mostaganem), pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Mr. SETTI BA. (Maître de Conférences A à l'université de Chlef), pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Mr. ABABOU A. (Maître de Conférences A. à l'université de Chlef), pour son aide précieuse et ses remarques constructives et pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier Mr MEKJANEG L Directeur du barrage SMBT, de m'avoir mobilisé tous le matériel et le personnel pour effectuer mes prélèvements, pour sa compréhension et ces encouragements ; à Mr Kouadri M et L'ensemble des personnels de SMBT pour leur aide et encouragements.

Ma reconnaissance et mes remerciements les plus affectueux a Mr BEN ALI H, Mr BAGHDALI B, Mr KHALKHAL M, Mr LEMANI R, et L'ensemble du personnel de l'ADE (Ain Defla) pour leurs aides et encouragements.

Les personnes qui ont partagé avec moi les moments d'espoir, de joies et surtout les périodes difficiles par leur soutien continu et sans faille : Mes parents et mes beaux-parents que le tout puissant leur accorde santé et longue vie, mon cher mari, mes deux chères copines Hassina et Cherifa et leurs maris, mon frère, mes sœurs, et ma belle-sœur aussi je vous exprime toute ma reconnaissance et mes remerciements les plus affectueux.

Enfin, je remercie vivement toute personne qui de près ou de loin, a contribué à l'élaboration de ce mémoire.

AMINA

Table des matières

Remerciements

Sommaire

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des abréviations

Liste des formules

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Aperçue bibliographique	3
I-1 Les eaux superficielles :.....	3
I-2 Qualité des eaux de surface :.....	4
I-3 Pollution des eaux de surface :	5
I-4 Qualité de l'eau d'irrigation	6
I-5 Croissance planctonique et qualité de l'eau:.....	13
Chapitre II : Cadre physique	20
II-1 Situation géographique et limites du bassin versant :.....	20
II-2 Caractéristiques biophysiques de la zone d'étude :.....	21
II-3 Description socioéconomique du bassin versant:.....	30
CHAPITRE III: Matériel et méthodes.....	32
III-1 Matériel.....	32
III-2 Méthodes	35
Chapitre IV : Résultats et discussions.....	40
IV-1 Présentation et interprétation des données climatiques et hydrologique du site d'étude :.....	40
IV-2 Evaluation des faciès chimiques et de la qualité d'irrigation des eaux du barrage SMBT et de son affluent avale l'Oued Ebda :	42
IV-3 Caractérisation de la qualité des eaux du barrage SMBT et de son affluent avale l'Oued Ebda..	46
Conclusion générale	83

Résumé

Le barrage Sidi M'Hamed Ben Taïba a la willaya d'Ain defla à un double rôle qui est d'assurer l'alimentation en eau d'irrigation et en eau potable de la région. À cause de son intérêt on a tenté à travers cette étude d'évaluer sa qualité physicochimique et biologique dans l'espace et dans le temps.

Après avoir réalisé le suivi mensuel des deux points d'eaux échantillonnés, le premier au niveau du barrage dans la zone la plus profonde et le deuxième au niveau de l'oued au point du pompage utilisé par les agriculteurs pendant la période allant d'Avril 2011 à Avril 2012, et pour répondre à l'objectif de l'étude, nous avons utilisé, comme outil, les tests statistiques simples pour vérifier la réponse des eaux suivies aux différentes normes de qualité, et des tests statistiques multidimensionnelles (ACP et ANOVA) pour confirmer la variabilité spatiotemporelle de leur qualité physicochimique. Il a sorti des résultats que les eaux du barrage SMBT sont des eaux bicarbonatées et sulfatées et pour leur qualité d'irrigation la projection dans le diagramme de **Rivercide** a révélé que les eaux du barrage SMBT appartiennent à la classe **C2S1**.

L'étude des peuplements phytoplanctoniques a permis de recensé une variation saisonnière de cinq classes, les profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous ont aidé à la compréhension de l'organisation et du fonctionnement du lac de la retenue et le niveau trophique estimé sur la base des descripteurs de qualité de Vollenweider classe la retenue SMBT au stade mésotrophe.

Mots clés : Evolution spatiotemporelle, qualité d'irrigation, qualité physico-chimiques et biologique, profils verticaux, niveau trophique.

ملخص

سد سيدي امجد بن طيبة بولاية عين الدفلى له دور مزدوج في ضمان مياه الري ومياه الشرب في المنطقة. بسبب هذه الأهمية حاولنا من خلال هذه الدراسة تقييم الجودة الفيزيوكيميائية والبيولوجية في المكان والزمن. بعد إجراء الرصد الشهري لعينات المياه ، الأولى في السد على مستوى أعماق منطقة والثانية في الواد عند نقطة المضخة التي يستخدمها المزارعون خلال الفترة من ابريل 2011 إلى أبريل 2012، لتلبية الهدف من هذه الدراسة، استعملنا اختبارات إحصائية بسيطة واختبارات إحصائية متعددة الأبعاد للتحقق من الجودة الفيزيائية والكيميائية في الزمان و المكان.

مياه سد سيدي امجد بن طيبة هي مياه بيكربوناتية و كبريتية و بالنسبة لاستعمالها كمياه ري فان إسقاط جودتها على مخطط **Rivercide** أظهر أنها تنتمي للمصنف **C2S1**.

وقد حددت دراسة العوالق النباتية الاختلاف الموسمي لخمسة أنواع. كما ساعدت المقاطع العمودية لدرجة الحرارة والأوكسجين المذاب في فهم تنظيم البحيرة. أما عن المستوى الغذائي المقدر على أساس الصفات النوعية لفولنوايدر فانه يجعل تصنيف السد من النوع الميزوتروفي.

الكلمات المفتاحية

التطور الزمني والمكاني، جودة الري والجودة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، المقاطع الرأسية، مستوى غذائي.

Abstract

The dam Sidi M'Hamed Ben Taiba in the wilaya of Ain defla has a dual role in ensuring irrigation water and drinking water in the region. Because of his interest was attempting through this study to evaluate its physicochemical and biological quality in space and in time.

After conducting monthly monitoring of both water points sampled, the first at the dam in the deepest area and the second at the river at the point of the pump used by farmers during the period from April 2011 to April 2012, to achieve the objective of the study, we used simple statistical testes to check the response according to the different water quality standards, and statistically tested multidimensional (PCA and ANOVA) to confirm the spatiotemporal variability of Physicochemical quality. SMBA dam waters are sulfated and bicarbonate waters, and for their irrigation quality projection in the **Rivercide** chart revealed that the waters of the dam SMBT belong to the class **C2S1**. The study of the phytoplankton populations has identified a seasonal variation of five classes, the vertical profiles of temperature and dissolved oxygen helped the understanding of the organization and operation of lake and trophic level estimated on the basis of quality descriptors Vollenweider class SMBT in mesotrophic stage.

Keywords: spatiotemporal evolution, irrigation quality, physico-chemical and biological quality, vertical profiles, trophic level.

Liste des abréviations

%: pourcent.

ANBT: agence nationale des barrages et transfert.

ANRH: agence nationale des ressources hydriques.

c°: degré Celsius.

CE : conductivité électrique.

DBO₅ : demande biologique en oxygène dissous en cinq jours.

DCO : demande chimique en oxygène.

DHW: direction hydraulique de la willaya.

ETP: évapotranspiration potentielle.

ha: hectare.

Hm³: hecto mètre cube, million de mètre cube.

km: kilomètre.

m: mètre.

méq/l : milliéquivalent par litre.

MES : Matières en suspension.

mm/an : millimètre par année.

mmol/L : mili mole par litre.

MO : Matière organique.

NGA: niveau géographique Algérien.

OMM : organisation mondiale météorologique.

ONM: office nationale météorologique.

RN4 : route nationale numéro 4.

Liste des formules

Formule 1 : Calcul du CSR (carbonate de sodium résiduel).....Page10

Formule 2 : Calcul du SAR (coefficient d'adsorptions du sodium) en anglais (Sodium Absorption Ratio)..... Page 11

Formule 3 : Calcul de la Chl«a», concentrations en chlorophylle a exprimées en mg/m³.....Page 40

Formule 4 : Calcul de la balance ionique..... Page 41

Formule 5 : Calcul du pourcentage d'erreur dans la balance ionique..... Page 41

Liste des figures

Figure 1: Diagramme de RIVERSIDE.	12
Figure 2: Situation du bassin versant de l'oued Ebda	20
Figure 3: Limites administratives de la zone d'étude	21
Figure 4 : Diagramme ombrothermique du bassin versant de l'oued Ebda.....	23
Figure 5: Précipitation et évapotranspiration sur le bassin versant de l'oued Ebda	24
Figure 6: Réseau hydrographique du bassin versant du barrage SMBT.	25
Figure 7: géologie du bassin versant de l'oued Ebda.....	26
Figure 8: Variations mensuelle des précipitations et du volume de la retenue du barrage SMBT sur la période 2006/2012.	32
Figure 9: Evolution des apports, du volume de la retenue de barrage SMBT et de l'évaporation durant la période d'étude.....	32
Figure 10: Les quantités d'eaux d'alimentation en eaux d'irrigation(AEI), de l'eau déversées (DEV) et de vidange de fond (LVF).....	33
Figure 11: Variation spatiotemporelle des températures moyennes mensuelles.	46
Figure 12: Variabilité spatiotemporelle de la conductivité électrique.....	48
Figure 13: Variabilité spatiotemporelle du potentiel Hydrogène.	49
Figure 14: Variabilité spatiotemporelle de l'Oxygène dissous.	50
Figure 15: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en calcium.....	51
Figure 16: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en magnésium.....	52
Figure 17: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en sodium.....	53
Figure 18: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en potassium.....	54
Figure 19: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en chlorures.....	55

Figure 20: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en bicarbonates.....	56
Figure 21: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en sulfates.....	57
Figure 22: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en ammonium.....	58
Figure 23: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en nitrites.....	59
Figure 24: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en nitrates.....	60
Figure 25: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en phosphates.....	61
Figure 26: Variabilité spatiotemporelle de la matière organique.....	62
Figure 27: Variabilité spatiotemporelle de la concentration en fer totale.....	63
Figure 28: Variabilité spatiotemporelle de la concentration en manganèse.....	64
Figure 29: Cercles de corrélation des variables des quatre ACP dans les plans formés par les axes 1 et 2.....	71
Figure 30: Faciès chimiques des eaux d'après le diagramme de Piper.....	75
Figure 31: Variation de (Na⁺⁺Mg⁺⁺⁺K⁺) en fonction de Cl⁻.....	76
Figure 32: Variation de (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) en fonction de (HCO₃⁻+ SO₄⁻⁻).....	76
Figure 33: La projection des points sur le diagramme de REVERSIDE 1954 pour la période d'étude.....	78
Figure 34: Contribution mensuelle des classes de phytoplancton :.....	80
Figure 35 : Abondance du phytoplancton de la retenue de barrage SMBT :.....	81
Fig 36: Pourcentage des classes phytoplanctoniques en nombre de cellules (A) et en nombre d'algues (B).....	82
Figure 37 : Variation de l'abondance phytoplanctonique et de la chlorophyle «a» durant la période d'étude :.....	82
Figure 38: Profil vertical de l'oxygène dissous (Mars).....	83
Figure 39 : Profil verticale de l'oxygène dissous (Septembre).....	84

Figure 40 : Profil vertical de la temperature (Aout).....	84
Figure 41 : Profil vertical de la temperature (Mars)	85
Figure 42: Diagramme de classement du niveau trophique de la retenue de barrage SMTB	85

Liste des tableaux

Tableau 1: Eléments caractéristiques des eaux de surfaces (ADE, 2007)	3
Tableau 2: Grille de la qualité physique, minérale et organique des eaux de barrages et des oueds....	5
Tableau 3: classification des eaux d'irrigation selon le S.A.R. (Durant, 1982):	11
Tableau 4: Classification selon la conductivité électrique à 25°C (Durant, 1982).....	12
Tableau 5: La localisation des deux stations pluviométriques étudiées.	22
Tableau 6: précipitations moyennes mensuelles dans le bassin versant.....	22
Tableau 7: les températures moyennes mensuelles.....	23
Tableau 8: L'évapotranspiration moyenne mensuelle.....	24
Tableau 9: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Ebda.	28
Tableau 10: Couverture végétale du bassin versant de l'oued Ebda.	29
Tableau 11: Reboisement de protection du bassin versant de l'oued Ebda.....	30
Tableau 12: Caractéristiques sociodémographique du bassin versant de l'oued Ebda.....	30
Tableau 13: Occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Ebda.....	31
Tableau 14:Caractéristiques morphométriques du barrage Sidi M'Hamed Ben Taïba.	34
Tableau 15: Demande en eau à satisfaire par le barrage SMBT.	35
Tableau 16: Paramètres mesurés in situ.....	38
Tableau 17: les méthodes d'analyses.....	39
Tableau 18: Bilan ionique des eaux du barrage SMBA et pour les eaux de l'oued EBDA pour le prélèvement de 13/04/2011.....	42
Tableau 19: Variation de la température du site d'étude (avril 2011/mai2012).....	46
Tableau 17: Variations de la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (avril 2011/mai2012).....	48

Tableau 18: Variations de potentiel Hydrogène (avril 2011/mai2012).....	49
Tableau 19: Variations de l'Oxygène dissous en mg/l (avril 2011/mai2012).....	50
Tableau 20: Variations du Calcium en mg/l (avril 2011/mai2012).....	52
Tableau 21 : Variations du magnésium en mg/l (avril 2011/mai2012).....	53
Tableau 22: Variations du sodium en mg/l (avril 2011/mai2012).....	54
Tableau 23: Variations du potassium en mg/l (avril 2011/mai2012).....	55
Tableau 24: Variations des chlorures en mg/l (avril 2011/mai2012).....	56
Tableau 25: Variations des bicarbonates en mg/l (avril 2011/mai2012).....	57
Tableau 26: Variations des sulfates en mg/l (avril 2011/mai2012).....	58
Tableau 27: Variations de l'ammonium en mg/l (avril 2011/mai2012).....	59
Tableau 28: Variations des nitrites en mg/l (avril 2011/mai2012).....	60
Tableau 29: Variations des nitrates en mg/l (avril 2011/mai2012).....	61
Tableau 30: Variations des phosphates en mg/l (avril 2011/mai2012).....	62
Tableau 31: Variations des matières organiques en mg/l (avril 2011/mai2012).....	63
Tableau 32: Variations du fer totale en mg/l (avril 2011/mai2012).....	64
Tableau 33: Variations du manganèse en mg/l (avril 2011/mai2012).....	65
Tableau 34: Matrice de corrélation des variables (pour toutes les ACP).....	68
Tableau 35: Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.....	69
Tableau 36 : Corrélations des variables actives et illustratives aux axes principaux.....	71
Tableau 37: Résultats de l'ANOVA des eaux étudiées	73

Introduction générale

Vu l'aridité de notre région et l'irrégularité des précipitations, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025 malgré la disposition de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4,5 milliards de m³ et permettant de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m³ utilisées pour l'alimentation en eau potable, l'industrie et l'irrigation. A cause du poids socioéconomique de leurs destinations les eaux des barrages doivent être préservées du point de vue quantitatif et qualitatif.

A la willaya de Ain defla le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba a un double objectif qui est de satisfaire les besoins agricoles des périmètres d'El Amra et d'El Abadia d'une superficie nette de 8500 ha (42 Mm³), et d'assurer un complément d'eau potable de l'agglomération d'Ain Defla et des villes d'Arib, Mekhatria, El Amra, Khemis Miliana et Sidi Lakhdar (14 Mm³). (ANBT Alger, 2007)

En raison de l'utilisation multiple des eaux de ce barrage cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de sa qualité physicochimique et de savoir son évolution dans le temps et dans l'espace, selon (Debieche, 2006) la composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). Et suite à l'utilisation des eaux de ce barrage pour l'alimentation en eau potable depuis Aout 2012 il c'est avéré nécessaire de contrôler son état biologique aussi car selon (Tadowleke, 2004) la composition spécifique du phytoplancton et son importance quantitative et fonctionnelle font partie des indices de la qualité de l'eau. En effet, la connaissance de la composition taxonomique des communautés phytoplanctoniques permet d'établir de véritables outils de diagnose et d'évaluation de pollution (Ngansoumana, 2006). Le plan de travail adopté pour atteindre ces buts était comme suit :

- Le premier chapitre que nous avons réservé à la présentation de la qualité de l'eau d'irrigation et la qualité d'un plan d'eau liée à la communauté phytoplanctoniques du point de vu bibliographique ;
- Le deuxième chapitre, consacré à l'interprétation des données climatiques et hydrologique du site d'étude en plus de la présentation générale de la région d'étude du point de vue géographique, géologique, hydroclimatique et socio-économique ;
- Au troisième chapitre, nous présentons les matériels et méthodes utilisés pour la réalisation du présent travail ;

-Le dernier chapitre, constitue l'essentiel de ce mémoire, lequel porte résultats et discussions, celui-ci est composé de :

1- Caractérisation de la qualité des eaux du barrage SMBT et de son affluent avale l'Oued Ebda par l'étude de l'évolution spatiotemporelle de la qualité des eaux qu'on a renforcé par l'utilisation des méthodes statistiques simples et multidimensionnelles (ACP et ANOVA),

2- Evaluation des faciès chimiques et de la qualité d'irrigation des eaux du barrage SMBT et de son affluent avale l'Oued Ebda à travers le diagramme de piper et le diagramme de Riverside.

3-L'étude des peuplements phytoplanctoniques a fin de caractériser la qualité biologique des eaux du barrage SMBT.

- Enfin, nous terminons ces chapitres par une conclusion générale sur la base de laquelle nous formulerons quelques recommandations.

CHAPITRE I : Aperçue bibliographique

I-1 Les eaux superficielles :

L'eau de surface inclue toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (les eaux des ruisseaux, des rivières et fleuves, des lacs et marais, des étangs et des petites dépressions fermées). Elle a pour origines les eaux qui proviennent à la fois de la fonte des neiges, glaces et de ruissellement des eaux de pluies. **(Rakotondrabe, 2007)**.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble du bassin versant. Elles sont généralement polluées bactériologiquement, de plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions d'origine : urbaine, industrielle et agricole. Par échange à la surface eau-atmosphère, les eaux de surface se chargent également en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). **(Roux, 2000)**.

Le **tableau 1** suivant donne les éléments caractéristiques des eaux de surface :

Tableau 1: Éléments caractéristiques des eaux de surfaces

Caractéristiques	Eaux de surface
Température	variable suivant les saisons.
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	variable, parfois élevée.
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues..) sauf dans les eaux très douces et acides (humiques).
Minéralisation globale	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...etc.
Fe et Mn divalents (l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des plans d'eau en état d'eutrophisation.
CO ₂ agressif	Généralement absent.
O ₂ dissous	le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.
H ₂ S	généralement absent.
NH ₄ ⁺	présent seulement dans les eaux polluées.
Nitrates	peu abondants en général.
Silice	teneur en général modérée.
Micropolluants minéraux et organiques	présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.
Éléments vivants	bactéries (dont certaines pathogènes), virus plancton (animal et végétal).
Solvants chlorés	rarement présents.

Source **(Valiron, 1989)**.

On peut résumer la spécificité des eaux de surface dans les points suivants:

-présence quasi-générale de gaz dissous, en particulier **l'oxygène**,

-Concentration importante **en matières en suspension**, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrages, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale. (**Degrement, 1989**).

-Présence de **matières organiques** d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux, animaux...), (**Degrement, 1989**).

-Présence de **plancton** : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton, (**Roux, 2000**).

-**Variations journalières** (différence de température, d'ensoleillement) ou saisonnières : variations climatiques (température, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles. Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O₂, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année, (**Degrement, 1989**).

-Pollution **organique** conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux, (**Roux, 2000**).

I-2 Qualité des eaux de surface :

La qualité d'une eau est définie par sa conformité à des normes qui portent sur plusieurs paramètres. La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite à ne pas dépasser ou une limite inférieure à atteindre.

I-2-1 Grille de classification des eaux de barrages et des oueds

Cette grille est basée sur des normes internationales et européennes adaptées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)

Elle fixe cinq classes de qualité; Chaque classe est illustrée par une couleur.

- **Classe I (couleur bleue)** : Eau de bonne qualité, utilisée sans exigences particulières.
- **Classe II (couleur verte)** : Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement.
- **Classe III (couleur jaune)** : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé.

- **Classe IV (couleur rouge)** : pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après un traitement spécifique et très onéreux.

Tableau 2: Grille de la qualité physique, minérale et organique des eaux de barrages et des oueds

Classes	C I	C II	C III	C IV
paramètres				
Qualité physique				
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	<6,5>5,5 ou >8,5<9	>9 ou <5,5
MES (mg/l)	0-30	30 -75	75 -100	>100
Température (°C)	25	25 -30	30-35	>35
Odeur, goût	Sans	sans	sans	
Qualité minérale				
Résidu sec	300-1000	1000-1200	1200 -1600	>1600
Ca ⁺⁺ (mg/l)	44-100	100 -200	200 -300	>300
Mg ⁺⁺ (mg/l)	<30	30 -100	100 -150	>150
Na ⁺ (mg/l)	10-100	100 -200	200 -500	>500
Cl ⁻	10-150	150 -300	300 -500	>500
So ₄ ⁻ (mg/l)	50-200	200 -300	300 -400	>400
Qualité organique				
O ₂ dissous en (%)	90-100	90-50	50 -30	<30
DCO	<20	20 -40	40 -50	>50
DBO ₅	<5	5 -10	10 -15	>15
MO	<5	5 -10	10 -15	>15
Matières azotés				
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0 à 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0 à 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0 à 10	10 à 20	20 à 40	>40
Matières Phosphatées				
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0 à 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3

Source (ABH-CZ, 2004).

I-3 Pollution des eaux de surface :

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement. Elles sont généralement polluées bactériologiquement et peuvent présenter plusieurs pollutions de diverses origines :

- **D'origine urbaine** : les rejets provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines (métabolisme de l'homme, confort domestique, ...). (Gaid, 1984).
- **D'origine industrielle** : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques). (Castany, 1982).

- **D'origine agricole** : engrais et produits phytosanitaires entraînés par les eaux de pluies et de ruissellement. Egalement les rejets organiques dus à la présence d'élevages importants. **(Castany, 1982)**.

I-3-1 Le phénomène d'eutrophisation des eaux de surface :

La pollution des eaux de surface est le risque permanent de pénurie d'eau dans un proche avenir.

Dans son évolution, un lac tend naturellement de passer d'un état oligotrophe à un état eutrophe et ce passage, dans les conditions naturelles, demande un temps très long, qu'on peut estimer en milliers d'années. Les substances (phosphore, azote) présentes dans les eaux usées domestiques, industrielles et produites par l'activité agricole favorisent la croissance d'algues et de plantes aquatiques, ce qui accélère le vieillissement ou bien l'eutrophisation des réservoirs d'eaux de surface ce qui a fait que le passage d'un état à l'autre est devenu, dans certains cas, perceptible à l'échelle d'une vie humaine. **(Gaujons, 1995)**.

Associées à une diminution considérable dans les réserves d'eau superficielles les conséquences de ce phénomène peuvent être désastreuses pour le tourisme et la pêche; d'autre part, le coût du traitement de l'eau s'en trouve considérablement augmenté, du fait des équipements et des réactifs nécessaires pour éliminer les organismes eux-mêmes ou les produits de leur métabolisme qui sont dans la plupart des cas toxiques et dangereux pour la santé humaine. **(Grosclaude, 1999)**.

I-4 Qualité de l'eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation, dépendent de l'espèce et de la variété des plantes cultivées, de leur stade de végétation, ainsi que de la nature et de l'état d'humidité du sol et de facteur climatique (précipitations, ensoleillement, vent...).

Le choix d'une source d'eau pour irriguer doit dépendre du type et de la concentration des substances qui y sont dissoutes ou en suspension **(Ollier et Poirée, 1986)**. Il dépend aussi des caractéristiques physiques et chimiques du sol **(Durand, 1982)**. Bien que certaines sources d'eau soient pures, d'autres par contre contiennent des taux élevés de sels, de microorganismes et d'autres résidus. De ce fait, la connaissance des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau utilisée pour l'irrigation est indispensable pour

éviter des effets négatifs sur les plantes, le système d'irrigation utilisé, le sol, et l'environnement.

I-4-1 Les caractéristiques physiques :

I-4-1-1 La température :

Elle est la qualité physique à considérer en premier lieu. Une eau trop chaude ou froide peut donner lieu à des accidents surtout sur les jeunes plantes, **(Rieul & Ruelle, 2003)**. La température optimale semble se situer au environ de 25° Celsius, pour la plupart des plantes, pendant la période active de la végétation.

I-4-1-2 Les particules du sol en suspension dans l'eau :

Ce problème se présente le plus souvent lorsqu'on s'approvisionne avec une eau de surface. Les sédiments sont aspirés par la pompe ou entrent en suspension à la suite de l'agitation de l'eau.

Dans certaines conditions ces particules peuvent être fertilisantes, mais la plus part de temps elles contribuent à l'obstruction des interstices des sols lourds et aussi ces matières peuvent obstruer progressivement les émetteurs des tuyaux d'irrigation surtout en irrigation localisée.

I-4-2 Caractéristiques chimiques :

En plus des caractéristiques physiques, il faut connaître les caractéristiques minérales ou chimiques de l'eau d'irrigation. Essentiellement toutes les eaux d'irrigation contiennent des sels dissous. Certains sont utiles même si les eaux en sont très riches; d'autres utiles à faibles doses, et deviennent nuisibles si la teneur s'accroît ; d'autre enfin sont franchement nocifs. **(Rieul & Ruelle, 2003)**. Cette qualité peut être mieux déterminée par une analyse chimique au laboratoire. Cependant, le seul dosage de chacun des sels ne peut donner la qualité d'une eau car les sels réagissent parfois entre eux de façon plus au moins connue.

Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont : **La salinité, le sodium, l'alcalinité, le pH de l'eau et en fin la concentration en éléments** qui peuvent être toxique pour le végétal. **(Couture, 2006)**.

I-4-2-1 La salinité :

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-) (**Harivandi, 1999**).

-Unité de Mesure de la salinité

La concentration en sels est donnée par le **TDS** (Quantité Totale de Matière Dissoutes) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/L) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m^3) (i.e. $\text{mg}/\text{L} = \text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm}$).

La salinité peut être aussi mesurée grâce à la **conductivité électrique** de l'eau d'irrigation (CE). Elle est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (dS/m) ou microsiemens par centimètre (i.e. $1\text{dS}/\text{m} = 1000\mu\text{S}/\text{cm}$).

La relation entre la concentration en sels (C) et la conductivité électrique (CE) est approximativement: $C = 640 \text{ CE}$.

I-4-2-2 Le sodium (Na^+) :

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément d'origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. (**Baize, 1988**).

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau (**Couture, 2006**).

Un excès de sodium peut également être à l'origine de la toxicité chez certaines plantes, or le sodium est absorbé par les cultures en même temps que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles tandis que l'eau s'échappe par transpiration (**Ayers et Westcot, 1988**). Une fois que la concentration de cet élément atteint le seuil de la tolérance de la culture on peut constater des toxicités qui se manifestent par des brûlures et des dessèchements des feuilles qui aboutissent toujours à une mort certaine du végétal.

La salinité et le sodium sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration (**Durand, 1982, Ayers et Westcot, 1988, Harivandi, 1999**).

I-4-2-3 pH de l'eau d'irrigation :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes (H^+) de la solution. Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Il devrait se situer entre **6,5** et **8,4**, à ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale (**Rieul & Ruelle, 2003**).

I-4-2-4 Alcalinité et dureté :

La dureté de l'eau est essentiellement due au calcium mais également au magnésium et s'exprime par la quantité équivalente de carbonates de calcium ($CaCO_3$). L'alcalinité, quant à elle, est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le «pouvoir tampon de l'eau».

L'abondance des ions carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau d'irrigation mérite d'être évaluée. Lorsque l'eau d'irrigation contient un taux de carbonates et de bicarbonates plus élevé que celui de calcium et du magnésium, on constate une tendance à la précipitation de ces deux derniers éléments ce qui fait augmenter le SAR.

Quand tout le Ca^{2+} et Mg^{2+} apportés par l'eau d'irrigation auront précipité dans le sol sous forme de carbonates de Ca et Mg, l'excès de (CO_3^{2-} et HCO_3^-) sera présent sous forme de carbonates et de bicarbonates de Na (et K) dissous.

On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de $NaHCO_3$ (CSR = carbonate de sodium résiduel) est supérieure à 1,25 méq/l. Par contre, si la concentration est en dessous de 1,25 méq/l, l'eau est probablement

sécuritaire (Condom, 2000; Couture, 2006). Le RSC se calcule en appliquant l'équation suivante:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+2}) \text{ mmol/L} \dots \dots \dots (1)$$

I-4-2-5 Autres éléments :

L'établissement des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué car Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

Les substances toxiques qui doivent être considérées attentivement sont le sodium, les chlorures et le bore, elles peuvent causer la baisse du rendement et provoquer l'échec de la récolte (Ayers et Westcot, 1988).

- **Le bore** est l'un des éléments essentiels à la croissance des végétaux, mais il n'est nécessaire qu'à doses relativement faibles, en quantités excessives, il devient toxique. Il faut 0,2 mg/l dans l'eau d'irrigation pour la croissance des plantes alors que la toxicité peut apparaître de 1 à 2 mg/l (Ayers et Westcot, 1988)
- **Les chlorures** peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsque cette dernière est pratiquée par aspersion (Couture, 2006).

I-4-3 Caractéristiques biologiques :

Il s'agit essentiellement des bactéries et des algues présentes dans l'eau d'irrigation. L'eau pompée directement de puits artésiens pose rarement problème à cet égard. Il peut en être autrement de l'eau de bassins ou de rivières.

I-4-4 Classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation :

La qualité des eaux pour l'irrigation est conditionnée principalement par la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Pour cette raison plusieurs classifications sont élaborées en se basant sur ses deux paramètres.

L'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule. En effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium,

Le coefficient d'adsorptions du sodium SAR en anglais (Sodium Absorption ratio) est calculé par la formule suivante, élaborée par (Gapon, 1933) et (Richards, 1954)

$$SAR = Na / \sqrt{(Mg + Ca) / 2} \text{ En méq/l.....(2)}$$

- Les eaux d'irrigation peuvent être classées selon le taux d'absorption du sodium (S.A.R.), cette classification est la suivante :

Tableau 3: classification des eaux d'irrigation selon le S.A.R. (Durant, 1982):

Nomination	Classe	Interprétation
Classe1 (S1)	0 < SAR <10 bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe 2 (S2)	10 < SAR < 18 taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe 3 (S3)	18 < SAR <26 haut taux de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
Classe 4 (S4)	SAR > 26 très haut taux de sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

- Il est possible également de classer les eaux d'irrigation selon leur conductivité électrique à 25°C, les classes sont données dans le tableau suivant:

Tableau 4: Classification selon la conductivité électrique à 25°C (Durant, 1982)

Nomination	Classe	Interprétations
Classe 1 (C1)	$CE < 250 \mu S/cm$	Eau non saline, utilisée pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur différents sols.
Classe 2 (C2)	$250 < CE < 750 \mu S/cm$	salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage.
Classe 3 (C3)	$750 < CE < 2250 \mu S/cm$	Eau à forte salinité, non utilisable dans les sols à drainage restreint.
Classe 4 (C4)	$2250 < CE < 5000 \mu S/cm$	Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation.
Classe 5 (C5)	$5000 < CE < 20000 \mu S/cm$	Eau à salinité excessive.

➤ Pour la prédiction de l'effet des eaux d'irrigation en considérant les deux critères en même temps (salinisation et sodium), la classification de **Riverside de l'USSL (1954)** est la plus utilisée. Comme il est expliqué dans **la figure 1**, le diagramme de Riverside repose sur le croisement des deux critères:

- le premier est la conductivité électrique (CE) en abscisse, les eaux sont classées de C1 à C4 selon le risque croissant de salinisation (**Tableau I-4**). Ce critère vise à quantifier la charge en sels de la solution et par voie de conséquence le risque de salinisation (accumulation de sel dans les sols).
- le second est le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) de l'eau en ordonnées, les eaux sont classées de S1 à S4 selon le risque croissant de sodicité. Ce second critère permet d'évaluer le risque de sodisation du sol par l'eau d'irrigation.

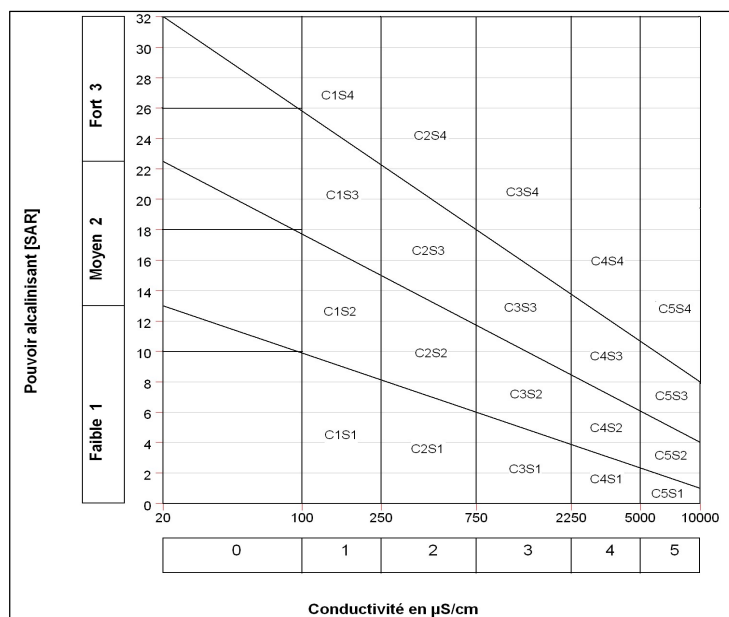


Figure 1: Diagramme de RIVERSIDE.

L'interprétation selon (**Durant, 1982**) des classes issues de cette projection est comme suit:

Classe (C1S1) : Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.

Classes (C1S2 et C2S1): Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.

Classes (C1S3, C2S2 et C3S1): Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes (C1S4, C2S3, C3S2, C4S1): Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes (C2S4, C4S2, C3S3): Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.

Classes (C3S4, C4S3) : Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.

Classe (C4S4) : Eau déconseillée pour l'irrigation.

I-5 Croissance planctonique et qualité de l'eau:

Que ce soit directement (ralentissement des eaux, enrichissement en phosphore) ou bien par l'intermédiaire du végétal (élévation de PH, augmentation de turbidité) l'activité humaine a pour effet de généraliser les conditions favorables pour l'installation de la flore d'eau à cyanobactérie qui occasionne des nuisances affectant la qualité de l'eau. (**Barroin, 1999**).

Les eaux de surface contiennent de nombreux organismes constituant le phytoplancton et le zooplancton, plusieurs de ces organismes dont certains actinomycètes et certains cyanophycées donnant à l'eau un goût et une odeur désagréable (**Monod, 1989**).

La croissance «massive» de certaines populations phytoplanctoniques peuvent entraîner des nuisances ou présenter un risque pour la santé publique. Certaines espèces produisent des substances toxiques, dangereuses pour l'Homme lorsqu'elles sont accumulées

par des organismes filtreurs, consommables par ce dernier, tel que les moules et les huîtres (Barroin, 1999).

I-5-1-Réseau trophique planctonique :

Le réseau trophique planctonique est constitué par le phytoplancton et le zooplancton qui sont les deux premiers maillons (compartiments) de la chaîne trophique des écosystèmes aquatiques (Barbault, 2000).

I-5-1-1 Phytoplancton:

Il constitue l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse (ils ont des pigments chlorophylliens composés majoritairement de la chlorophylle «a») leurs propres substances organiques à partir de l'énergie solaire de l'eau, du dioxyde de carbone et de sels nutritifs (Bontoux, 1993). Le phytoplancton est composé en majeure partie des algues unicellulaires ou coloniales que l'on trouve en pleine eau (Faurie et al, 2003).

1-5-1-2 Zooplancton :

C'est le premier niveau de la production secondaire dans la pyramide trophique des écosystèmes aquatique (Faurie et al, 2003), ce sont les animaux du plancton, ils sont transparents et nagent plus au moins activement, possèdent des appendices leur permettant de se maintenir dans l'eau (Monod, 1989).

I-5-2 La chlorophylle «a», indicatrice de la biomasse phytoplanctonique

Les chlorophylles sont des molécules comportant un cycle tétra-pyrrolique, solubles dans les solvants organiques (alcool, chloroforme, acétone, acétate d'éthyle...) et conférant la couleur verte au chloroplaste. La chlorophylle 'a' est commune à toutes les algues (Valiron, 1989). Elle est le principal pigment du phytoplancton, les eaux riches en pigments chlorophylliens apparaissent relativement vertes (Allenbach, 2005).

Grace au dosage de la chlorophylle, il est possible d'estimer la productivité algale primaire, c'est-à-dire, la biomasse phytoplanctonique synthétisé lors de la photosynthèse (Weber, 2002).

I-5-3 Facteurs de l'environnement influençant la croissance planctonique:**I-5-3-1 Facteurs physicochimiques:**

- **Température:**

Le réchauffement accélère la multiplication et la croissance des organismes aquatiques, Ainsi le développement des algues microscopiques du plancton (phytoplancton) devient deux fois plus rapide pour un réchauffement d'une dizaine de degrés (**Roux, 1987**).

La température optimale varie selon les organismes, par exemple, certains algues planctoniques préfèrent les basses températures et le faible éclaircissement de l'hiver. D'autres ont une nette affinité pour les eaux chaudes de sorte que leur croissance est maximale en été et au début de l'automne (**Pesson et al 1980**).

Pour le zooplancton, l'influence bénéfique d'un réchauffement est évidente. Le temps de renouvellement des générations, c'est-à-dire le temps qui sépare l'éclosion de l'œuf du moment où l'individu est apte à la reproduction, est diminué (**Servin et al, 1995**).

- **PH:**

Le PH des eaux naturelles varie avec les conditions édaphiques. Les eaux douces des milieux naturels sont généralement tamponnées à un PH de 7 à 8 (**Gaujous, 1995**).

Les organismes aquatiques sont très sensibles à ses variations et un développement correct de la faune et de la flore aquatique nécessite des valeurs comprises entre 6 et 9 (**Angelier, 2003**).

Le pH et la vie aquatique d'après (Arrignon, 1998):

PH<5	Limite inférieure à la survie des espèces.
5<PH<9	Tolérance pour la plupart des espèces.
6<PH<7.2	Zone optimale pour la reproduction de la plupart des espèces.
7,5<PH<8,5	Zone optimale pour le plancton.
PH>8.5	Destruction de certaines algues et prolifération d'autres.
PH>9	Seuil létal de nombreuses espèces.

- **La conductivité électrique:**

La conductivité, qui est l'inverse de la résistivité est liée à la teneur en sels minéraux (électrolytables) dissous dans l'eau (**Bourelly, 1989**).

La conductivité électrique des eaux apporte de précieux renseignements sur leur richesse en électrolytes dissous, sa mesure donne une indication rapide comparée à l'analyse chimique, beaucoup plus longue, qu'elle vient renforcer et préciser (**Bachasson, 1997**).

Les déversements des eaux usées, se traduisent généralement par une élévation de la conductivité (**Coin, 1981**).

- **L'oxygène dissous**

L'oxygène dissous représente environ 35% des gaz dissous dans l'eau selon (**Servin et al, 1995**), un grand nombre de conditions physicochimiques dépend de sa concentration. Issu de la photosynthèse des végétaux, ce gaz est utilisé par tous les organismes aquatiques pour leur respiration.

Selon (**Weiss, 1970**), la teneur de l'oxygène dans l'eau est déterminée principalement par la respiration des organismes aquatiques, l'oxydation et dégradation des polluants, l'activité photosynthétique de la flore et les échanges avec l'atmosphère.

Les auteurs (**Beupoil et Bornens 1997**), ont fixé les seuils suivants pour l'oxygène dissous :

- Qualité excellente à acceptable : >5mg/l.
- Qualité moyenne à médiocre : 3a5mg/l.
- Qualité mauvaise à très mauvaise : 2a3mg/l.
- Hors classe niveau 1 : 1a2mg/l.
- Hors classe niveau 2 : <1mg/l.

- **La turbidité :**

La turbidité joue un rôle déterminant dans le devenir des populations de micro-organismes, végétaux et animaux. Dans tous les milieux aquatiques, la turbidité est causée par l'ensemble des éléments en suspension dans l'eau, elle réduit la pénétration de la lumière et limite par conséquent la photosynthèse (**Ehrhardt & Seguin, 1978**).

Toutes les études réalisées montrent la diminution des algues du phytoplancton s'il y a augmentation de turbidité. En générale, sans mobilité, elles sont incapables d'échapper à la sédimentation qui provoque un important déclin numérique (**Servin et al, 1995**).

- **Les courants :**

Dans les cours d'eau, une vitesse entre 15 et 30 cm/s permet l'implantation d'une vingtaine d'espèces susceptibles de proliférer, les milieux stagnants sont particulièrement vulnérables aux proliférations algales (lacs, retenue de barrage, lagune...) (**Ramade, 1982**).

Le facteur corollaire du courant est le temps de séjour de l'eau, plus le milieu se renouvelle rapidement, moins les organismes aquatiques ont le temps de se développer. Selon (**Souchu et al 1998**), ce paramètre intervient sur la nature des fonds, favorisant en particulier les dépôts de sédiments fins, dans lesquels le phosphore peut être stocké et sur lesquels les algues se fixent (**Dutka, 1997**).

- **Les éléments nutritifs :**

Pour les autotrophes, les substances nutritifs sont des composés minéraux nécessaires à leur métabolisme selon (**Monod, 1989**) et (**Valiron, 1994**) l'azote et le phosphore sont les plus importants d'entre eux.

- **Le phosphore :**

C'est un élément clef du métabolisme cellulaire, selon (**landner et Wahlgren, 1986**) C'est le «facteur limitant» du développement de la plupart des algues. Dans les conditions habituelles, le phosphore reste généralement sous la forme de phosphate dissous ou intégré dans les organismes et les sédiments.

D'après (**Serin et al, 1995**) le phosphate est peu abondant dans les eaux naturelles non polluées (moins de 1mg/l). Il provient des activités agricoles et des effluents urbains. Un apport de phosphate est des plus efficaces pour la production algale, lorsqu'il est fourni en abondance, une algue verte (*scendesmus.sp*) peut le stocker dans une proportion pouvant atteindre 7 à 30 fois la teneur physiologique minimale.

Le programme coopératif international de surveillance des eaux douces de l'OCDE (1985), a fixé le seuil admis pour les teneurs en phosphore à 0,1 mg/l de phosphore dissous, soit environ 0,3 mg/l exprimés en phosphate ou de 0.2 mg/l en phosphore totale.

- **L'azote**

D'après (**Servin et al, 1995**), l'azote est utile à la croissance du phytoplancton sous ces principales formes minérales qui sont (l'ammonium NH_4^+) et (Nitrate NO_3^-), présentant des niveaux d'écotoxicité très différents, tant pour les organismes d'eau que pour l'Homme.

Les composéé azotés incriminés sont principalement ceux utilisés comme engrais (agriculture intensive) et ceux de l'élevage, qui vont s'accumuler dans les retenues et créer ainsi des nuisances (**Lacaze, 1996**).

I-5-4 Nature et caractéristiques des principaux taxons phytoplanctoniques.

On peut résumer les caractéristiques des différentes classes d'algues au point de vue coloration et morphologie (d'après **BOURRELY, 1966**) :

Pigments diversement colorés dispersés dans le cytoplasme,

Rarement vert-pur, pas de plaste.....CYANOPHYTES

1. pigments portes par un ou plusieurs plastes

2. plastes d'un vert franc.

3. amidon dans les plastes colorable par l'iode.....CHLOROPHYTES

3. Paramylon hors des plastes nom colorable par l'iode.....EUGLENOPHYTES

3. Ni amidon, ni oaramylon.

4. cellules non flagellées ou flagellées a petit nombre de

Plastes vert.....XANTHOPHYCÉES

4. cellules dans une logette siliceuse bivalve.....DIATOMOPHYCÉES

⊙. Plastes jaune-vert, bleus, rouges bruns ou jaunes

3. Pas d'amidon

4. Sporanges pluri-et uniloculaires.....PHEOPHYCÉES

4. Pas de sporanges pluri et uniloculaires.

5. loge siliceuse a 2 valves.....DIATOMOPHYCÉES

5. Pas de loge siliceuse bivalve.

6. Plastes jaunes ou bruns.....CHRYSOPHYCÉES

6. Plastes jaune-vert.....XANTHOPHYCÉES

3. De l'amidon véritable

- 4. Cellules nageuses à sillon équatorial et longitudinal.....DINOPHYCÉES
- 4. Cellules nageuses de forme différenteCRYPTOPHYCÉES
- 3. De l'amidon floridben pas de cellules nageuses.....RHODOPHYTES

Chapitre II : Cadre physique

II-1 Situation géographique et limites du bassin versant:

S'étalant sur une superficie d'environ 43750 km², le bassin hydrographique du Chélif est le plus grand bassin versant de l'Algérie du nord, Il est drainé par l'oued Chleff (750 km) qui prend sa source dans l'atlas saharien pour se jeter en méditerranée à environ 10 km à l'Est de Mostaganem.

La plaine de Chélif compte trois bassins versants qui sont:

1. Le bassin de Chélif-amont du barrage de Boughzoul;
2. Le bassin du haut et du moyen Chélif;
3. Le bassin du bas Chélif et de la Mina.

Le bassin versant de l'oued Ebda qui constitue le site d'étude se situe dans le deuxième compartiment du bassin versant de Chélif, le bassin du haut et du moyen Chélif (**Figure 2**).

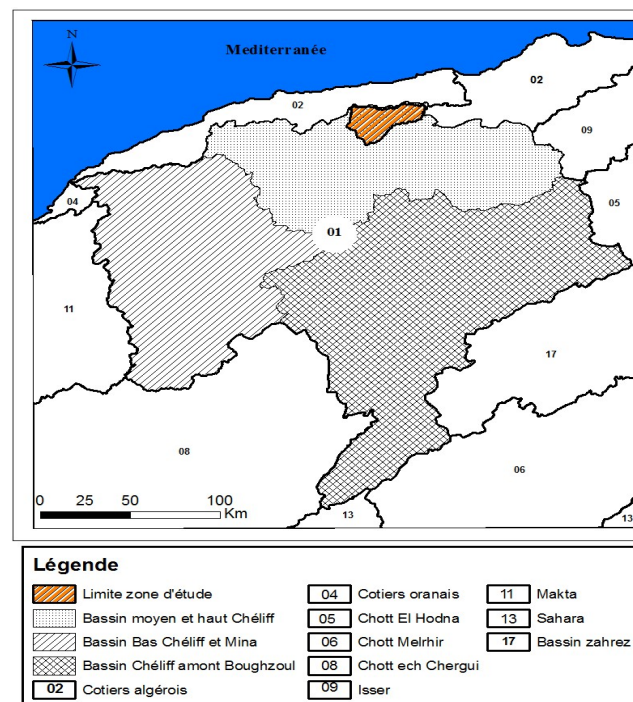


Figure 2: Situation du bassin versant de l'oued Ebda.

Le bassin versant de l'oued Ebda se situe en rive droite de l'oued Cheliff dans les monts de Zaccar, dans la willaya d'Ain Defla sur les communes d'Arib, Mekhatria, et Ben Allal (**Figure 3**).

Le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba sur l'Oued Ebda, affluent rive droite de l'Oued Chélif. L'aménagement est situé à la wilaya de Ain Defla; dans la daïra d'El-Amra commune de Arib ; il est accessible par la RN4.

Le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba est construit sur le cours moyen de l'oued ABDA, dans la commune d'Arib.

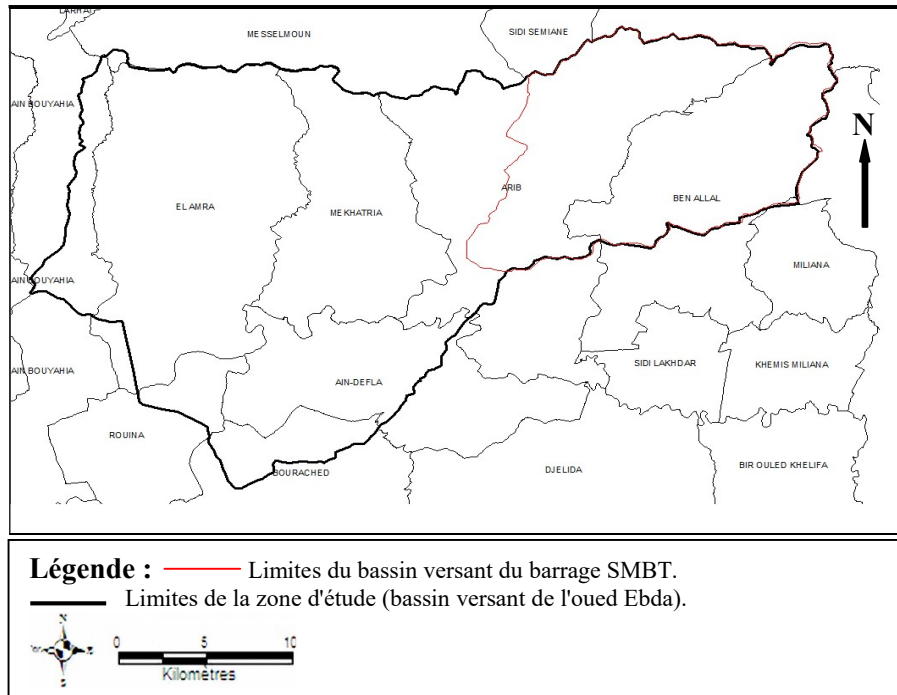


Figure 3: Limites administratives de la zone d'étude.

II-2 Caractéristiques biophysiques de la zone d'étude :

II-2-1 Le climat

Le bassin versant de l'oued Ebda bénéficie d'un climat méditerranéen avec des hivers typiquement froids et pluvieux et des étés secs et chauds.

II-2-1-1 Précipitations

L'influence des hautes montagnes du Zaccar fait que le bassin versant d'oued Ebda est le plus arrosé du bassin du Chélif.

Les précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant sont d'environ **900mm/an** et varient de **500mm/an** sur les parties les moins élevées du bassin à **1000-1200mm/an** sur les sommets montagneux du Nord.

Trois stations pluviométriques, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 5 suivant, ont été utilisées pour une analyse des précipitations journalières dans la région, dont les deux premières se situant à l'intérieure du bassin versant.

1. La station d'**Aribs Ebda** : elle est située à l'intérieur du bassin versant sur le côté exposé au vent des collines.

2. La station de **Sidi Mdjahed Ebda** : elle est également située à l'intérieur du bassin versant mais sur les pentes les plus élevées de Djebel Zaccar Gharbi (1576m).

3. La station d'**Ain Defla** : elle est située sur Oued Chélif à **6km** du site du barrage.

Tableau 5: La localisation des stations pluviométriques étudiées.

Stations	Code station	Nombre d'années complètes	Coordonnées LAMBERT		Altitudes (m)
			Longitude X	Latitude Y	Altitude Z
Arib Ebda	011801	43(1966-2008)	439,65	335,55	280
Sidi Mdjahed Ebda	011803	81(1916-2008)	452,15	337,05	850
Ain defla	011804	81(1910-2008)	434,6	329,9	270

Source (ANRH Alger)

Les précipitations moyennes mensuelles dans le bassin sont données au tableau suivant.

Tableau 6: précipitations moyennes mensuelles dans le bassin versant.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	154	109	101	89	56	20	02	04	31	115	103	115	899
%	17,1	12,1	11,2	9,9	6,2	2,2	0,2	0,4	3,4	12,8	11,5	12,8	100

Source (ANRH Alger, année)

Le caractère saisonnier des précipitations est nettement marqué, car on peut remarquer que les mois de Juillet et Août représentent la période la plus sèche de l'année et il est fréquent de ne relever aucune précipitation pour ces mois. Alors que d'Octobre à Avril on enregistre plus de 87 % des précipitations de l'année avec la plus grande partie des précipitations se produisant au cours de Décembre et Janvier.

II-2-1-2 Température

La température est le second paramètre qui conditionne la climatologie d’une région après les précipitations car c’est son augmentation qui provoque souvent un déficit pluviométrique et une forte évapotranspiration; Le tableau 7 montre les températures moyennes mensuelles mesurées en (c°) du bassin versant.

Tableau 7: les températures moyennes mensuelles.

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(c°)	9.2	10.6	12.8	15.8	18.3	25.5	29.6	29.3	25.0	19.8	14.0	10.0

Source (ONM Alger)

II-2-1-3 Diagramme ombrothémique de Bagnauls et Gaussen :

Un mois est dit sec quand la moyenne mensuelle des précipitations en « mm » est inférieure ou égale au double de la température moyenne du même mois, $P \leq 2T$ (Bagnauls et Gaussen, 1953).

Cette relation permet d’établir un diagramme pluviométrique, sur lequel les valeurs de températures sont doublées et indiquées en (°C), les précipitations en (mm). La surface d’intersection des deux courbes correspond à la saison sèche.

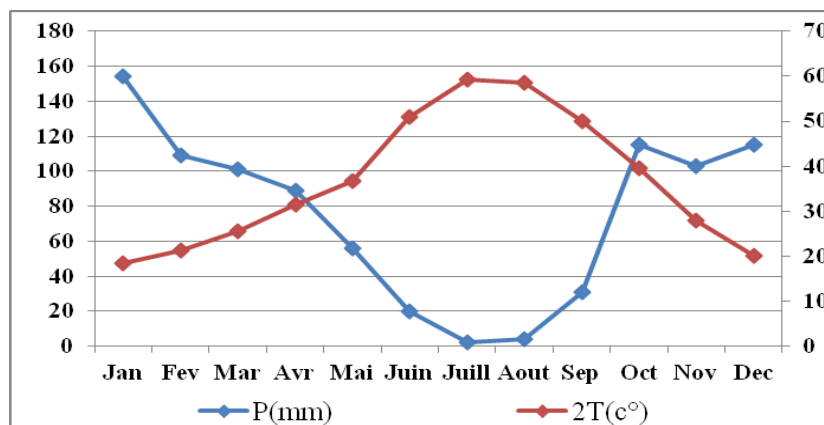


Figure 4 : Diagramme ombrothémique du bassin versant de l’oued Ebda.

Selon le diagramme ombrothémique la saison sèche au niveau de notre bassin versant dure cinq mois et cela de Mai à Septembre.

II-2-1-4 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation (Hillel, 1984; Messaoudi et al, 2004).

L'évapotranspiration moyenne annuelle est d'environ 1200 mm, le tableau 8 donne ces valeurs moyennes mensuelles en (mm) dans le bassin versant.

Tableau 8: L'évapotranspiration moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
ETP (mm)	35	42	68	85	118	115	205	199	134	82	45	32	1200
%	2,9	3,5	5,7	7,1	9,8	12,9	17	16,6	11,2	6,8	3,8	2,7	100

Source (ONM Alger)

On peut remarquer que durant la saison chaude les valeurs de l'ETP mensuelle dépassent fortement celles des précipitations (pour le mois de juillet par exemple une évapotranspiration de 205 mm contre une pluviométrie qui ne dépasse guère les 2 mm).

En saison froide l'ETP décroît progressivement où les valeurs des précipitations sont supérieures (pour le mois de janvier l'évapotranspiration est de 35 mm pour une pluviométrie de 154 mm).

La superposition des valeurs de pluviosité à celles d'évaporation potentielle permet de repérer les mois déficitaires en eau (figure 5) En effet le déficit hydrique est de 658mm et s'étale des mois d'Avril à Septembre. Par ailleurs un surplus est enregistré des mois d'Octobre à Mars et atteint 338mm.

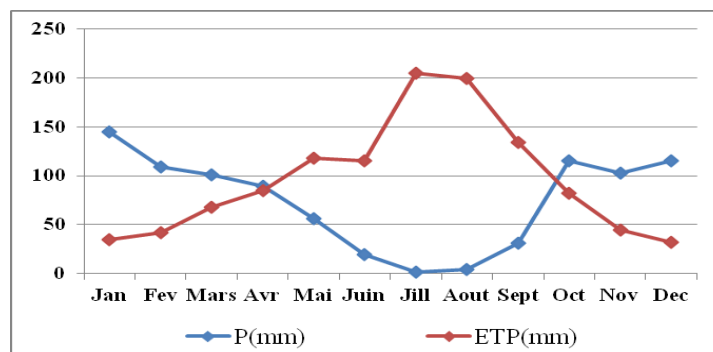


Figure 5: Précipitation et évapotranspiration sur le bassin versant de l'oued Ebda.

On peut constater que le bassin versant est soumis a une intense évaporation et un régime climatique semi-aride et a cette raison que la demande en eau pour l’irrigation est devenue importante surtout pendant la saison sèche. A cet effet, les autorités ont envisagées la construction du barrage en terre Sidi M’Hamed Ben Taïba a fin de couvrir les besoins en eau de la région.

II-2-2 Réseau hydrographique :

A l’intérieur du bassin versant, les affluents s’écoulent des hautes montagnes au nord-est vers le site du barrage au sud-ouest; Le réseau hydrographique du bassin est constitué par une multitude de cours d’eau saisonniers ou pérennes (Oued El Had), dont on peut citer parmi les plus importants :

- Oued **Ferhat** et Oued **Belhassene** qui drainent la partie Nord-Ouest du bassin,
- Oued **Zeboudj** qui draine la partie Nord,
- Oued **El Had** qui draine la partie Nord-est. Figure 6.

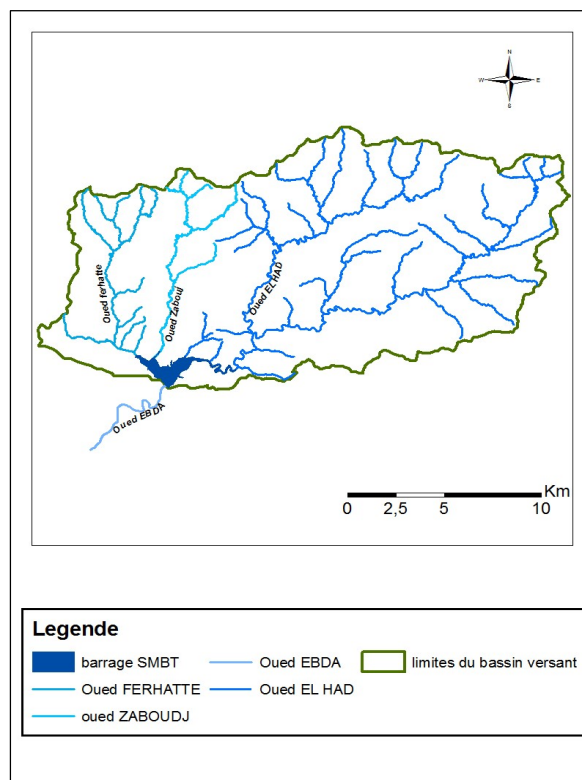


Figure 6: Réseau hydrographique du bassin versant du barrage SMBT.

Remarque: Le bassin versant du barrage SMBT représenté dans la figure 6 fait partie du bassin versant de l’oued EBDA (voir la figure3).

II-2-3 Contexte géologique et géomorphologique:

II-2-3-1 Géologie régionale:

L'étude de la géologie régionale a été faite à partir des cartes géologiques au 1 : 500 000 de l'Algérie du Nord et au 1 : 50 000 de Miliana (Feuille n°84, 2^{ème} édition, 1954).

L'oued Ebda et ses deux affluents principaux Oued Ferhat et Oued El Had drainent une région composée de deux formations géologiques différentes, l'une constituée de roches **métamorphiques pauvres** et l'autre de roches **sédimentaires**.

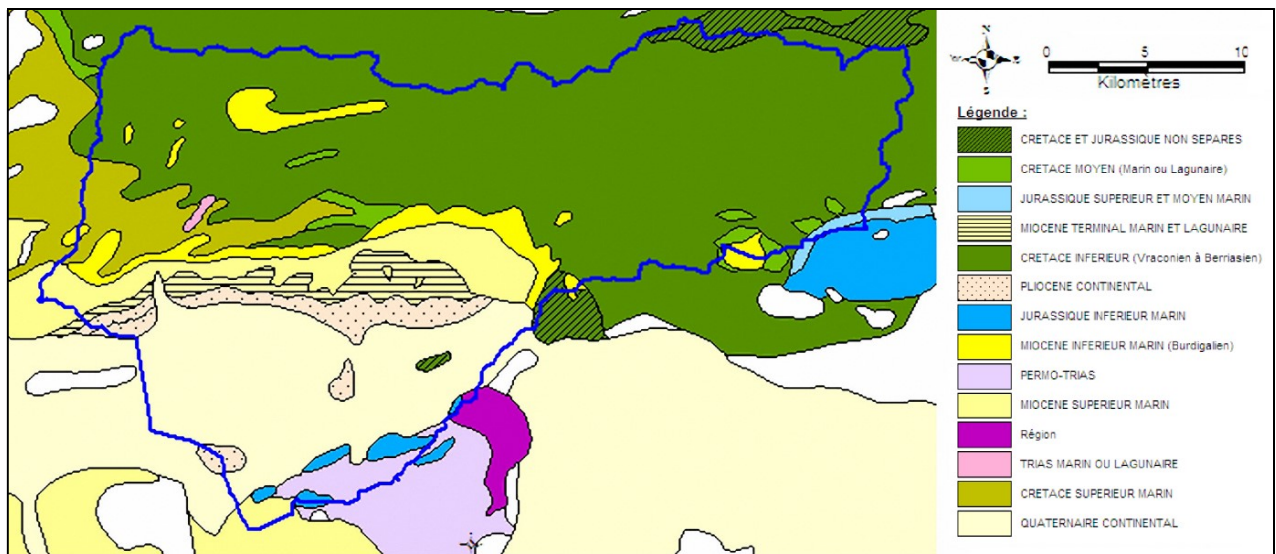


Figure 7: géologie du bassin versant de l'oued EBDA.

La formation de roches métamorphiques inclut des calcaires schisteux, des marnes et des quartzites des périodes du **Jurassique** et du **Crétacé**, tandis que les formations sédimentaires du **Miocène** lui sont sous-jacentes, en forte discordance stratigraphique et sont constituées de brèches, de sable, de marnes et de micro brèches inter stratifiés.

Les formations principales de la région sont :

- Les formations du **Néocomien** qui comprennent une série puissante d'argiles schisteuses atteignant 800 à 1000 m d'épaisseur et composées de schistes durs, argileux, bleuâtres. Elles correspondent sans doute à une série comprimée où sont représentés plusieurs étages allant du **Crétacé Inférieur** à l'**Aptien**, marquées par la présence de Nummulites (Dans la zone d'oued El Had).

- Les formations de l'**Albien** (ou **Albo-Aptien**) constituées de schistes gris ou brunâtres, en alternance avec des bancs de quartzites noirs, reposent, en discordance, sur le Jurassique, mais concordant avec le Crétacé Inférieur (Néocomien). Le Jurassique et le Crétacé Inférieur ont subi un métamorphisme de pression puissante et de température réduite (Anquimétamorphisme).
- Les formations du **Miocène**, reposant en discordance sur les roches du Néocomien.
- Les formations du **Quaternaire**, constituées de :
 - Alluvions anciennes des niveaux supérieurs, dominant à plus de 20 m, la vallée d'oued Ebda.
 - Cônes de déjection des torrents descendant des massifs montagneux et qui continuent à se former actuellement.
 - Alluvions récentes, formées de cailloutis avec des bancs argileux et limoneux, couverts par un sol organique.
 - Alluvions actuelles des vallées, en déplacement dans les lits majeurs et mineurs des cours d'eau.
 - Eboulis de pente, en grande partie, calcaires ou schisto-quartzeux de la série du Zaccar et de Littré (Arib), contenant des fragments de taille variable plus ou moins consolidés. (**Monographie Sidi M'Hamed Ben Taïba, ANBT Alger**).

II-2-3-2 Géologie de la cuvette:

La cuvette du barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba se développe en deux bras, à l'ouest l'oued Ferhat coule sur les argiles et les brèches du **Miocène** tandis qu'à l'Est Oued El Had coule dans les calcaires schisteux du **Crétacé**.

Les argiles Helvétiques (**Miocène supérieur**) forment le côté Sud de la vallée d'Oued Ferhat, bras ouest de la retenue. Elles sont encadrées, à intervalles réguliers, par des terrasses fluviales de graviers, sables et silt. Les colluvions masquent les pentes collinaires dans la majorité des endroits.

- L'oued Zebboudj, petit affluent étroit, venant du Nord-Est, a creusé son lit de la brèche **Miocène**, sous-jacente à des schistes et des quartzites du Crétacé Inférieur.

- Sur toute la longueur de l'Oued El Had on observe des schistes d'âge **Crétacé**, à la fois Albiens et Néocomiens (Crétacé inférieur). Ceux-ci sont de composition marneuse et calcaire et les roches plus jeunes de l'Albien se présentent surtout sur une bande au nord du Néocomien. (**Monographie Sidi M'Hamed Ben Taïba, ANBT Alger année**).

II-2-4 Topographie et paramètres physiographique:

La topographie du bassin versant est formée principalement de montagnes dont l'orientation est nord-est, sud-ouest. Le bassin versant s'élève d'une altitude de 270m au site du barrage à 1507m à Djebel Zaccar Gharbi à l'est avec plusieurs sommets qui dépassent 1000m.

Tableau 9: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Ebda.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Superficie du bassin versant	Km²	269,125
Périmètre du bassin versant	Km	67,75
Indice de compacité (K)	-	1,16
Rectangle équivalent longueur (L)	Km	20,805
Rectangle équivalent largeur (l)	Km	12,93
Altitude Max (L max)	m	1507
Altitude Min (L min)	%	240
Indice pente de roche (Ip)	m/Km	7,07
Indice pente globale (Ip)	-	34/13
Densité de drainage totale (Dd)	-	5,41
Densité de drainage permanente (ddp)	-	0,14
Densité de drainage temporaire (ddt)	-	5,27

Source (Goumri, 1990)

II-2-5 Hydrologie:

L'apport moyen annuel de l'oued El Had est de 51,23 hm³. Depuis la mise en eau du barrage, l'apport annuel maximum enregistré a été de 91,24 m³ en 2010/2011 alors que l'apport minimal enregistré était de 28,71 hm³ en 2007/2008. La plus forte crue enregistrée a été en date du 02/02/2011 estimée à 28,42 hm³. **Source (DHW Ain Defla, 2012).**

II-2-6 Couvert végétal:

Les fonds de vallées et les terrasses sont utilisés pour l'agriculture, tandis que les pentes des terrains à basse altitude sont occupées par des arbustes. La forêt recouvre les terrains plus montagneux. Le tableau 10 présente le couvert végétal du bassin versant étudié.

Tableau 10: Couverture végétale du bassin versant de l'oued Ebda.

Type de végétation	Superficie occupée (ha)	Pourcentage (%)
Forêts	4880	17,42
Arboriculture	250	0,9
Cultures annuelles	750	2,68
Maquis	21720	77,57
Terres incultes	400	1,42
Totale	28000	100

Source (direction des forêts Ain Defla, 2010)

Le bassin versant de l'oued Ebda a bénéficié de reboisements dans le cadre de sa protection, les compagnes de reboisement sont résumées dans le tableau 11.

Tableau 11: Reboisement de protection du bassin versant de l’oued Ebda.

Année	Lieu	Superficie	Type de plantation
2001	Gilasse- Arib	80 ha	Pain d’halep
	Mekhatria	150 ha	Arbres fruitieres
	Mekhatria	24 ha	Viticulture
2003	Arib	300ha	Pain d’halep+cypre
	Arib	200 ha	Arbre fruitieres
	Mekhatria+Arib	50 ha	Plantations opurtia
2006	Mekhatria	150 ha	Pain d’halep+ Oliastre
2008	Mekhatria+Arib	225 ha	Pain d’halep+ Oliastre
2009	Berges de la cuvette du barrage	60 ha	Cypre, Eucalyptus, Acacia cyanophila
2010-2012		50 ha	Pain d’halep

Source (Direction des forêts Ain Defla, 2011)

II-3 Description socioéconomique du bassin versant:

II-3-1 Caractéristiques sociodémographiques:

Le bassin versant de l’oued Ebda connait une faible occupation de population, ce sont des localités éloignées l’une de l’autre qui rassemblent peut de familles.

Tableau 12: Caractéristiques sociodémographique du bassin versant de l’oued Ebda.

Commune	Localité	Nombre de ménages	Nombre d’habitant	Activité (%)	
				Agriculture	Élevage
Mekhatria	Sidi Ahmed El Farki	111	532	65	22
	EL rmadhnia	85	398	70	20
	Aalouba	124	576	65	25
Arib	Oued El Had	51	251	60	30
	Sidi Amar	18	105	65	32

Source (Direction des forêts Ain Defla, 2009)

II-3-2 Occupation de la population:

Sur le plan de la répartition de la population par secteur d'activité (**Tableau 12**). A l'examen de ces données il ressort que le secteur le plus important est l'Agriculture avec 65,3% suivie par l'élevage avec 24,2%.

II-3-3 Occupation du sol:

La situation et la configuration géographiques confèrent au bassin versant de l'oued Ebda une utilisation du sol constitué que de milieux naturels et d'activités agricoles, aucune activité industrielle n'est présente dans le bassin versant. Le tableau 13, présente les superficies des différentes occupations du sol pour le bassin versant. On peut conclure de l'observation des données présentées par le tableau que le bassin versant est un milieu naturel dans presque la totalité de sa superficie.

Tableau 13: Occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Ebda.

Type d'occupation du sol	Superficie (Km ²)	Pourcentage (%)
Milieu naturel	266	95
Zones agricoles+Pâturage	14	5

Source (Direction des forêts de Ain Defla, 2010)

Remarque : L'ensemble des figures utilisées dans ce chapitre sont des images regroupant plusieurs couches issues de la digitalisation par un logiciel de SIG (**Arc gis 9.3**).

II-4 Présentation et interprétation des données climatiques et hydrologique du site d'étude :

La mise en service du barrage été le 9 octobre 2005, et le premier déversement a eu lieu le 12 mai 2006, la **figure 8** montre la variation temporelle du volume de la retenu et des précipitations relevées au niveau du barrage SMBT, on peut constater que le volume du barrage a connu des fluctuations importantes d'une saison à une autre mais en arrivant chaque année à la capacité maximale (**75 hm³**) depuis sa mise en eau. La moyenne des précipitations entre (2006-2012) est de **590,79 mm**, les précipitations les plus importantes ont été enregistrées durant l'année 2010/2011 estimées à **763 mm** et les plus faibles précipitations enregistrées en eu lieu durant l'année 2006/2007 elles n'ont pas dépassées les **395,15 mm**.

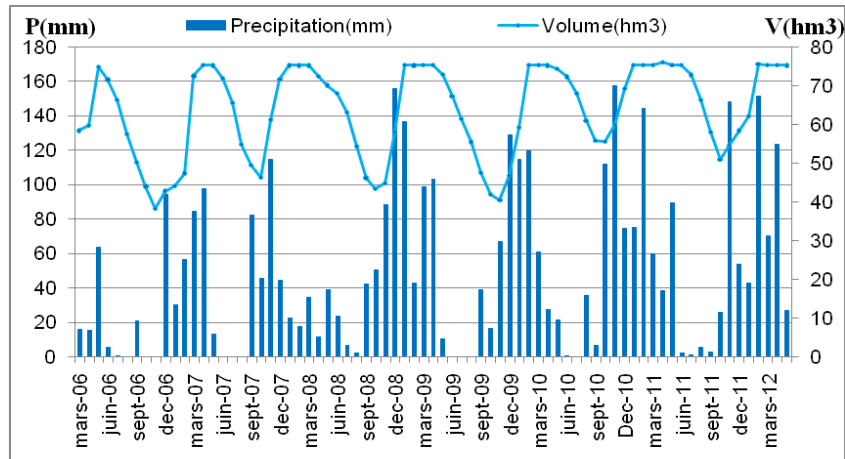


Figure 8: Variations mensuelle des précipitations et du volume de la retenue du barrage SMBT sur la période 2006/2012.



Figure 9: Evolution des apports, du volume de la retenue de barrage SMBT et de l'évaporation durant la période d'étude.

La **figure 9** montre la variabilité du volume de la retenue de barrage SMBT et les apports enregistrés durant notre suivie, l'apport le plus important a été enregistré le mois de Février (**36,92 hm³**) et c'est l'apport mensuel le plus important depuis la mise en eau du barrage, en effet l'année 2010/2011 a enregistré le maximum d'apport avec **118,503 hm³**, l'apport minimale a été enregistré durant l'année 2007/2008 avec **37,287 hm³** et la moyenne des apports est de **62,81 hm³**. Le mois d'Octobre a connu le volume le moins important de la retenue durant la période de notre suivi **50,919 hm³** tandis que l'évaporation la plus intéressante (**1,109 hm³**) a survenu le mois d'Aout.

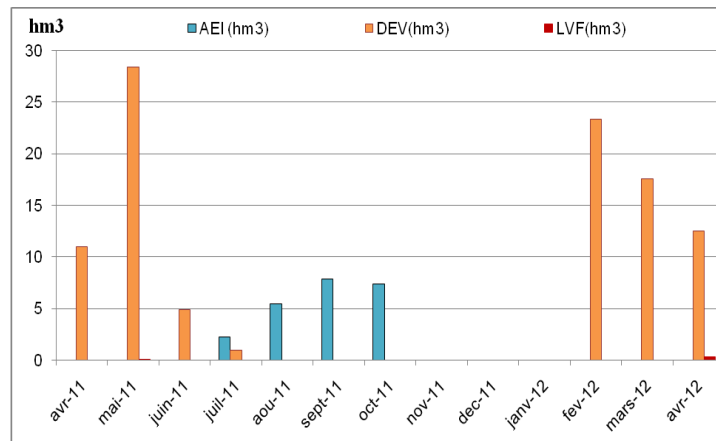


Figure 10: Les quantités d’eaux d’alimentation en eaux d’irrigation(AEI), de l’eau déversées (DEV) et de vidange de fond (LVF)

La **figure 10** nous renseigne sur le volume d’eau déversé à partir de la retenue de barrage SMBT (DEV), sur les lâchés effectués en vue d’assurer l’alimentation en eau d’irrigation (AEI), et les levés de vidange de fond (LVF). On peut constater que le barrage a déversé pendant six mois de l’année de notre suivie et on constatant la **figure10** on peut remarquer que le barrage SMBT déverse chaque années pendant deux à quats mois à l’exception de cette dernière année (2010/2011) ou il a déversé pendant six mois à cause des apports importants.

On ce qui concerne l’alimentation en eau d’irrigation, le barrage SMBT a assuré l’approvisionnement en eau des agriculteurs durant quats mois de Juillet à octobre durant l’année 2011 avec un volume de **22,862 hm³**.

Il en sorte aussi de l’analyse de la **figure 10** que la vidange de fond du barrage SMBT a eus lieu le mois de mai 2011 avec un volume de **0,06 hm³** et le mois d’Avril 2012 avec un volume de **0,265 hm³**.

CHAPITRE III: Matériel et méthodes

III-1 Matériel

III-1-1 Description du lac réservoir de Sidi M'Hamed Ben Taïba:

Le site du barrage Sidi M'Hamed Ben Taïba se trouve sur l'Oued Ebda immédiatement au sud de la confluence de deux oueds situés au nord: Oued Ferhat et Oued El-Had qui partent dans le bassin versant et s'étendent jusqu'aux montagnes de Djebel Boumaâd et Djebel Zeccar Gharbi. L'aménagement est situé dans la wilaya d'Ain Defla, à environ 8 Km au nord-est de la ville d'Ain Defla.

Les caractéristiques morphométriques du lac de barrage sont représentées dans le tableau 14.

Tableau 144: Caractéristiques morphométriques du barrage Sidi M'Hamed Ben Taïba.

Caractéristiques	Valeurs
-Année de début de travaux	1996
-Date de mise en eau	9 octobre 2005
-Date de premier déversement	12 mai 2006
-Superficie du plan d'eau	2,4 Km ²
-Capacité totale	75 Hm ³
-Volume annuel régularisable	56 Hm ³
-Hauteur du barrage hors sol	52 m
-Largeur de la crête	10 m
-Longueur de la crête	370 m
-Cote de Retenue Normale	317 NGA
-Cote des Plus hautes eaux	322,1 NGA
-Cote de crête	322,75 NGA

Source (ANBT Alger, 2007)

Le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba a un double objectif:

- de satisfaire les besoins agricoles des périmètres d'El Amra et d'El Abadia d'une superficie nette de 8 500 ha (42 Mm³),
- d'assurer un complément d'eau potable de l'agglomération d'Ain Defla et des villes d'Arib, Mekhatria, Khemis Miliana et Sidi Lakhdar (14 Mm³).

La demande en eau, à satisfaire par le barrage de Sidi M'Hamed Ben Taïba, a été fixée par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts, et est représentée sur le tableau 15, ci-dessous :

Tableau 15: Demande en eau à satisfaire par le barrage SMBT.

Moi	Eau Potable (Mm ³)	Irrigation(Mm ³)
Septembre	1.12	3.36
Octobre	1.12	1.68
Novembre	1.12	0
Décembre	1.12	0
Janvier	1.12	0
Février	1.12	0.42
Mars	1.12	1.68
Avril	1.26	4.20
Mai	1.26	6.72
Juin	1.26	8.82
Juillet	1.26	8.82
Août	1.12	6.30
Total Annuel	14	42

Source (ANBT Alger, 2007)

III-1-2 Contextes et objectifs:

Après sa mise en eau le 9 octobre 2005 comme nous l'avons mentionné précédemment, le 23 Avril 2006 le barrage a commencé à desservir les agriculteurs de la région en eau d'irrigation, mais le contrôle de la qualité par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques de ses eaux n'a débuté qu'en Mai 2010, avec le démarrage de la réalisation de la station de traitement d'eau potable.

De ce fait, l'approche sur laquelle notre étude s'est basée était de décrire et de quantifier l'évolution temporelle des paramètres physico-chimiques, et chimique des eaux de barrage

SMBT et de son affluent avale l'oued EBDA pour la comparer aux différentes normes (normes d'irrigation, normes des eaux destinées à être potabilisées et la grille de la qualité des eaux superficielles) et notamment de suivre la qualité biologique des eaux du barrage vue leur utilisation pour assurer l'alimentation en eau potable.

III-1-3 Les prélèvements :

S'il est bien évident qu'un prélèvement correct soit indispensable à l'obtention des résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et son arrivée au laboratoire.

- Les prélèvements ont été effectués dans des flacons en plastiques (polyéthylène), rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Les bouchons sont placés de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air pour éviter toute oxydation et dégazage. Pour la conservation et le transport de l'eau du barrage au laboratoire, les échantillons ont été conservés au frais à 4°C, dans une glacière et les analyses ont été effectuées le plus tôt possible en raison de l'évolution de certains ions.
- Les mesures de la température, de la teneur en oxygène, du pH et de la conductivité ont été faites sur place.

III-1-4 Points d'échantillonnage:

Deux points de prélèvement ont été choisis selon l'objectif de l'étude :

- Le premier situé dans le plan d'eau du barrage à la profondeur maximale de la retenue. La couche d'eau échantillonnée correspond à la zone euphotique ($2,5 \times$ profondeur du disque de Secchi) soit un prélèvement intégré. D'après L'OMM(1994) ce type de prélèvement constitue un échantillon de l'eau à une certaine profondeur.

Ce prélèvement a été effectué avec une barque et le point échantillonné a été marqué avec un flotteur pour qu'on puisse y revenir toujours au même endroit.

- Le deuxième point échantillonné correspond au point de pompage d'eau de barrage par les agriculteurs, le point se situe à l'oued Ebda et se trouve à 2,38 km en aval du barrage SMBT.

III-1-5 Fréquences des prélèvements:

L'échantillonnage a été effectué selon deux échelles :

- Une échelle spatio-temporelle durant laquelle une campagne de prélèvements a été réalisée pendant une année et c'est étalée de Avril 2011 à Avril 2012 à raison de

deux à trois prélèvements par mois généralement espacés de 10 jours au total, 30 prélèvements ont été réalisés pour chacun des deux points.

- Une échelle verticale depuis la surface jusqu'au fond pour le premier point échantillonner, dont le but était de réaliser des profils en profondeur de l'oxygène dissous et de la température.

III-1-6 Conservation des échantillons :

☒ Dans le premier point échantillonné quatre échantillons d'eau sont placés dans 4 flacons en polyéthylène de 1000 ml, préalablement rincés à l'eau échantillonnée :

- Le premier est destiné à l'analyse des cations (acidifié à un $\text{pH} < 2$ avec de l'acide nitrique ultrapur).
- Le deuxième est prévu pour les analyses des anions.
- Le troisième est fixé avec du Mg NO_3 pour le dosage de la chlorophylle a.
- Le dernier échantillon est fixé avec du lugole et réservé à l'analyse des formes phytoplanctoniques de la retenue.

☒ Pour le deuxième point échantillonné deux échantillons aussi placés dans deux flacons en polyéthylène de 1000 ml rincés avec l'eau échantillonnée :

- Le premier est destiné à l'analyse des cations (acidifié à un $\text{pH} < 2$ avec de l'acide nitrique ultrapur).
- Le deuxième est prévu pour les analyses des anions.

Les échantillons sont conservés immédiatement dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisante pour garder une température inférieure à 4°C , jusqu'à l'arrivée au laboratoire, les échantillons sont mis dans le réfrigérateur jusqu'au moment de l'analyse.

III-2 Méthode

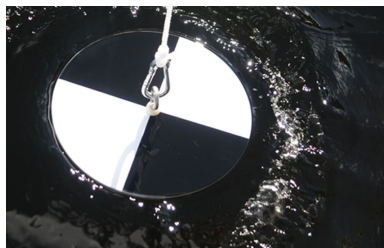
III-2-1 Paramètres physico chimiques :

Les paramètres physico chimiques sont mesurés sur site, les échantillons d'eau sont prélevés et analysés pour déterminer in situ à l'aide d'un multi paramètre portatif de type Hach les caractéristiques suivantes :

Tableau 16: Paramètres mesurés in situ.

Paramètres	Méthode
Température	la température de l'eau est mesurée in situ à l'aide d'une thermo sonde en verre.
Potentielle Hydrogène (pH)	le pH est mesuré in situ par la méthode électro chimique grâce à une électrode en verre en utilisant un pH-mètre préalablement étalonné.
Conductivité électrique	Elle est déterminée in situ par la méthode électrique à l'aide d'une sonde de conductivité.
L'oxygène dissous	Mesuré également in situ grâce à une sonde d'oxygène dissous étalonnée.

- **La transparence** : également estimée in situ par un disque dit « disque de Secchi » fabriqué localement en zinc galvanisé de 20 cm de diamètre et peint en noir et blanc. La profondeur de disparition (en m) du disque de Secchi (DS) est une évaluation de la transparence des eaux ou couche euphotique. En limnologie cette couche est de 2 à 2.5 fois plus épaisse que la disparition du disque (Desagne, 1999) et (Coté, 2002).



Disque de Secchi



Bouteille de prélèvement en profondeur

III-2-2 Analyses des éléments chimiques :

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ADE Ain Defla. Trois méthodes d'analyses sont utilisées pour déterminer les concentrations des différents éléments chimiques.

- **Méthode volumétrique (Titrimétrie)**

Cette méthode a été utilisée pour le dosage des teneurs en bicarbonates, de calcium, de magnésium, et des chlorures, elle permet de déterminer la concentration d'une solution à partir du volume de solution que l'on met en présence.

- **Méthode colorimétrique**

L'analyse colorimétrique est basée sur le principe que certains composants spécifiques réagissent avec d'autres par la production d'une couleur, ce qui permet de mesurer la concentration de l'ion mesuré.

Cette méthode a été utilisée pour mesurer les concentrations des orthophosphates des nitrates des nitrites de l'ammonium et des Sulfates.

- **Spectrophotométrie d'absorption atomique**

Cette méthode mesure l'émission d'une radiation par les atomes. Lorsqu'un atome d'un élément est excité par une énergie, il devient instable, et va donc restituer cette énergie sous forme de radiation lumineuse pour revenir à son état initial. L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrométrie d'émission.

Cette méthode a été utilisée pour analyser deux cations majeurs (Na^+ et K^+).

Remarque : tous les protocoles et les méthodes d'analyses déjà citées sont jointes dans le tableau suivant et leur protocole d'analyses détaillés sont joints en **annexe 6**.

Tableau 17: les méthodes d'analyses.

Paramètres	Méthode
Calcium et Magnésium	Titrimétrie avec une solution aqueuse d'E.D.T.A
Bicarbonate	Titrimétrie avec une solution d'acide Chlorhydrique
Sulfates	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 420 \text{ nm}$)
Chlorures	Titrimétrie avec une solution de nitrate d'argent
Potassium et Sodium	Spectrophotométrie d'émission de flamme
Nitrite	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 543 \text{ nm}$)
Nitrate	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 420 \text{ nm}$)
Phosphate	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 880 \text{ nm}$)
Ammonium	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 655 \text{ nm}$)
Matière Organique	Oxydabilité au permanganate de Potassium
Fer totale	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 510 \text{ nm}$)
Manganèse	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 450 \text{ nm}$)

III-2-3 Paramètres biologiques :

III-2-3-1 Dosage de la chlorophylle«a»

Les mesures des concentrations en chlorophylle a ont été effectuées suivant la méthode monochromatique de (Lorenzen, 1967). Des volumes d'échantillons de 500 à 1000 ml (en fonction de la densité de l'échantillon) sont filtrés sur membranes en fibres de verre fritté GF/C Whatman (0.45µm de maillage). Les pigments sont extraits en 24 heures au froid et à l'obscurité avec de l'acétone à 90%. Après centrifugation, les densités optiques de l'extrait acétonique ont été mesurées à 665 nm avant et après acidification par l'acide chlorhydrique. Les concentrations, exprimées en mg/m³ en chlorophylle a Chl«a» ont été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Chl«a» (mg/m}^3\text{)} = \frac{26,7 \times (\text{Abs } 665^{\text{AV}} - \text{Abs } 665^{\text{AP}}) \times v}{V \times l} \dots\dots\dots(3)$$

Où V : volume d'eau filtrée (en litres) ;

v : volume de solvant d'extraction (millilitres) ;

l : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (centimètres) ;

Abs 665^{AV} : densité optique à 665nm avant acidification par rapport à l'acétone 90% ;

Abs 665^{AP} : densité optique à 665nm après acidification par rapport à l'acétone 90%.

III-2-3-2 Identification et comptage des microalgues :

Les échantillons destinés à cette analyse sont transportés dans une glacière et à l'obscurité au laboratoire d'hygiène de Ain Defla. Ces derniers peuvent être conservés au réfrigérateur jusqu'à 24-48 h après prélèvement.

- **Analyse qualitatives :** Après leur récolte, les échantillons étaient immédiatement fixés par addition de lugole. Ce fixateur a l'avantage d'être peu onéreux, faible volume utilisé, non toxique et facilite la sédimentation pour l'opération de comptage et d'identification.

Après leur fixation aussitôt, les échantillons ont été concentrés selon le processus de sédimentation, de longues durées Pour l'établissement de l'inventaire des divers taxons récoltés, nous nous sommes servi de documents et clés de détermination spécialisés de (Bourrely, 1966).

- **Analyse quantitatives :** Des sous-échantillons de 5 à 25 ml (selon la densité de l'échantillon initial) ont été dénombrés suivant la méthode d'Uthermöl (1958), après

une durée minimale de 24 heures de décantation. Le dénombrement cellulaire des espèces ne dépassant pas quelques micromètres de taille a été effectué par la lame de Nageotte moyennant un microscope optique de type Olympus.

Pour que nos résultats de numération cellulaire soit les plus corrects possible, nous avons bien tenu à respecter certaines procédures notamment des prélèvements corrects, une meilleure conservation des échantillons et leur bonne homogénéisation avant remplissage de la cuve servant au comptage.

III-2-4 Le contrôle des résultats d'une analyse d'eau par la méthode du bilan ionique :

L'établissement de la balance ionique pour les résultats de l'analyse chimique d'une eau, permet de vérifier la fiabilité de cette dernière. Les éléments utilisés dans ce contrôle sont les quatre anions (HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻ et SO₄⁻) et les quatre cations (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ et K⁺); pour que la neutralité électrique de la solution soit respectée, la somme des cations doit être égale à celle des anions.

La précision d'une analyse ou le pourcentage d'erreur de la balance ionique est donnée par l'expression suivante :

$$E = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{(\sum r^+ + \sum r^-)} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Avec: E : L'erreur ; r⁺ : Quantité en réaction des cations et r⁻ : Quantité en réaction des anions, elles sont données en milliéquivalent par litre et définie comme suit:

$$r = \frac{\text{Poids de l'élément en en solution (mg)}}{\text{équivalent atomique } \frac{A}{N}} \dots\dots\dots (5)$$

Avec, A : La masse atomique; N: Valence.

Selon Rodier J., 2005, il existe toujours une certaine différence entre la somme des cations et celle des anions, or si l'erreur calculée est inférieur à 5% on peut considérer l'analyse comme acceptable.

Exemple :

Pour vérifier la fiabilité des résultats obtenus, on a procédé au calcul de la balance ionique (Formule 4) pour chaque échantillon effectué sur la période d'étude. Le tableau suivant représente les résultats obtenus pour le premier prélèvement effectué.

Tableau 18: Bilan ionique des eaux du barrage SMBA et pour les eaux de l'oued EBDA pour le prélèvement de 13/04/2011.

Date et point de prélèvement	cations	C en mg/l	fact de conv	C en (méq/l)	$\Sigma r+$ (méq/l)	anions	C en mg/l	fact de conv	C en méq/l	$\Sigma r+$ (méq/l)	E (%)
13/04/2011 barrage SMBT	Ca ⁺⁺	64,00	0,049	3,14		Cl ⁻	38,34	0,028	1,07		
	Mg ⁺⁺	21,60	0,082	1,77		SO ₄ ⁻	102,60	0,021	2,15		
	Na ⁺	12,00	0,043	0,52		HCO ₃ ⁻	140,30	0,0163	2,29		
	k ⁺	1,10	0,026	0,03	5,45	NO ₃ ⁻	0,21	0,0161	0,00	5,52	0,61
13/04/2011 oued EBDA	Ca ⁺⁺	64,00	0,049	3,14		Cl ⁻	38,34	0,028	1,07		
	Mg ⁺⁺	29,16	0,082	2,39		SO ₄ ⁻	131,00	0,021	2,75		
	Na ⁺	20,00	0,043	0,86		HCO ₃ ⁻	146,40	0,0163	2,39		
	k ⁺	1,10	0,026	0,03	6,42	NO ₃ ⁻	0,54	0,0161	0,01	6,22	1,55

Comme on vient de le constater, les pourcentages d'erreurs obtenus pour les deux prélèvements du 13 avril 2011 (**Tableau 18**) et pour tous le reste des prélèvements réalisés durant la période d'étude sont inférieurs à **5 %**, et selon **Rodier (2005)**, on peut considérer les analyses comme acceptables.

III-2-5 Analyse en composantes principales (ACP) :

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive; son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (**Diday & al, 1982 ; Philipeau, 1992**). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (**Gaudin, 1982 ; Diday & al.1982 ; Philipeau, 1992 ; Dervin, 1992**). Pour des raisons évidentes de faciliter la visualisation des individus, l'ACP réduit les dimensions des espaces. Les espaces retenus seront donc à une dimension (c'est-à-dire des droites) ou, et c'est le cas le plus fréquent, à deux dimensions (c'est à dire des plans) (**Philipeau, 1992**).

Les droites et les plans issus d'une ACP ne seront pas réalisés avec les variables initiales mais avec des indices synthétiques obtenus par combinaison linéaire de variables initiales. La méthode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale : cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

Ensuite, une seconde composante est recherchée et ceci sous deux conditions :

- Avoir une corrélation nulle avec la première.
- Avoir, à son tour, la plus grande variance.

Ainsi, cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliquée par la première (Dervin, 1992 ; Philipeau, 1992).

Le processus se déroule ainsi jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part d'information expliquée par chacune d'elle devenant de plus en plus faible (Diday & al, 1982 ; Philipeau, 1992).

III-2-6 Analyse de la variance (ANOVA) :

L'analyse de la variance à un critère de classification a pour but la comparaison des moyennes de n_A populations, à partir d'échantillons aléatoires et indépendants prélevés dans chacune d'elles. Ces populations sont en général des variantes (ou niveaux n_a) d'un facteur contrôlé (ou facteur A) de variation.

Conditions

1. le paramètre étudié suit une distribution normale.
2. les variances des populations sont toutes égales (HOMOSCEDASTICITE).
3. les échantillons sont prélevés aléatoirement et indépendamment dans les populations.

Procédure de calcul d'une ANOVA

1. Déterminer si les échantillons varient de la même manière.
2. Si nous démontrons l'homogénéité des variances, alors, nous pouvons comparer les moyennes de ces échantillons.

Dans le cas d'une ANOVA, le test de Hartley est utilisé pour vérifier que tous les échantillons d'une expérience (s'ils ont des nombres d'individus identiques) ont des variances qui sont comparables. Ceci est indispensable pour s'assurer que les échantillons proviennent effectivement d'une même population de départ, et que si le facteur de variation utilisé dans l'expérience a eu un effet sur les données, il a bien induit une modification de moyenne, mais pas de variance.

Le test de Fisher est utilisé pour comparer deux carrés moyens car les carrés moyens sont des variances, et qu'ils ont en général des nombres de degrés de liberté différents (ils sont donc calculés à partir de nombres d'individus différents).

☒ L'objectif de l'ANOVA

Est de savoir si une variable numérique a des valeurs significativement différentes selon plusieurs catégories (i.e., selon les valeurs d'un facteur). Plus précisément, on teste l'hypothèse nulle : il y a au moins deux catégories pour lesquelles les moyennes de la variable sont différentes. C'est une généralisation du t-test dans le cas où il y a plus de deux catégories.

- l'ANOVA suppose que la variable numérique suit une loi normale dont la moyenne dépend éventuellement de la valeur des facteurs (mais pas trop sensible si ce n'est pas tout à fait vrai).
- l'ANOVA suppose que la variable numérique a un écart-type indépendant de la valeur des facteurs (hypothèse d'homoscédasticité) et elle est très sensible à cette hypothèse.
- analyse de la variance à un facteur : un seul facteur pour les catégories ("one way ANOVA")
- analyse de la variance à deux facteurs : deux facteurs pour les catégories ("two way ANOVA")
- si une différence significative est notée, on ne sait par contre pas quelles catégories sont concernées. (**RUXTON, G.D. & BEAUCHAMP, G. 2008**).

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV-1 Etude de la variabilité spatiotemporelle de la qualité des eaux du barrage SMBT et de son affluent aval l'Oued Ebda :

Pour avoir une idée sur le comportement des variables et apprécier leur évolution plusieurs techniques de traitement existent : des méthodes statistiques simples et des méthodes multidimensionnelles lorsqu'on dispose de plusieurs paramètres comme le cas de notre étude.

IV-1-1 Evolution spatiotemporelle de la qualité des eaux

Les paramètres physico-chimiques sont des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des polluants dans l'eau. L'analyse des résultats de la physicochimie et de la chimie des eaux de la retenue du barrage de Sidi M'hamed Ben Taïba et de l'oued Ebda pendant l'année (2011/2012), ont montré des variations spatiales et temporelles plus ou moins significatives.

Afin de bien montrer et comprendre ces variations, une représentation statistique des valeurs maximales, moyenne, minimales et des Ecart-types sont présentées sous forme de tableaux où figurent aussi les normes d'eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable (1), les normes des eaux d'irrigation (2), et les normes des eaux de surface (3).

- (1) Limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau livrée à la consommation humaine le conseil des communautés européennes du 07 Avril 1995 *in* Rodier (1996). Représentées en (**annexe 2**)
- (2) Les normes des eaux d'irrigation fixée par la FAO, 1996. Représentées en (**annexe 3**)
- (3) Grille de la qualité physique, minérale et organique des eaux de barrages et des oueds, ABH-CZ, 2004. Figurants dans le (**tableau 2**) en chapitre I.

IV-1-1-1 Evolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques mesurés *in situ*

- **Température (T)**

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (**DEBIECHE, 2002**). Les valeurs de la température observées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 19: Variation de la température du site d'étude (avril 2011/mai 2012)

T° C		Barrage SMBT	Oued Ebda
Paramètres statistiques	Min	11	10,20
	Moy	19,34	18,91
	Max	26,50	25
	Ecart type	5,21	4,61
Normes		< 25 (1)	; 25 -30 CII(3)

La température des eaux relevée est comprise entre (11 et 26,5 °C) pour la retenue de barrage et entre (10,20 et 25°C) pour l'oued ; les écart-types calculés sont respectivement, de 5,21 et 4,61.

Selon la grille de la qualité des eaux de surface (tableau 2), l'eau du barrage peut être classée comme bonne à moyenne. L'ensemble des valeurs mesurées ne dépassent pas la norme d'eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable ainsi que la norme d'irrigation sauf pour le prélèvement du 21 août 2011 dans la retenue du barrage et celui du 06 juillet 2011 pour l'oued.

Les eaux des deux cites considérés montrent une variation assez marquée des températures, d'une saison à une autre, causée par leur contact direct avec l'atmosphère. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant les mois d'été et les plus faibles pendant les mois d'hiver. L'analyse de la figure 11 montre que la variation des températures des deux cite suit la même allure à l'exception des mois d'août, septembre et octobre où les valeurs moyennes mensuelles des eaux de l'oued sont visiblement inférieures à celles enregistrées dans la retenue de barrage. Cette diminution peut être attribuée aux lâchés d'eau effectués à partir des couches profondes du barrage.

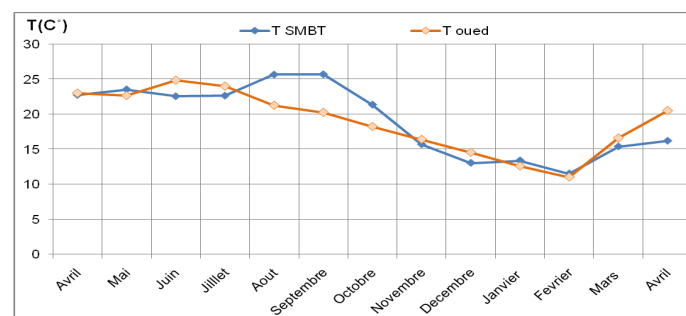


Figure 111: Variation spatiotemporelle des températures moyennes mensuelles.

- **Conductivité Electrique (CE)**

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution et donc elle constitue un critère d'appréciation de la minéralisation globale d'une eau (**Degremont, 1989**). Elle dépend de la température et de la nature des terrains traversés. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 20: Variations de la conductivité en $\mu\text{S/cm}$ (avril 2011/mai 2012)

Cond $\mu\text{S/cm}$		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	441,00	466,00
	Moy	529,97	695,77
	Max	763,00	1236,50
	Ecart type	67,10	219,71
Normes		<1250 (1)	; <3000 (2)

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la conductivité électrique mesurées pour la retenue du barrage sont comprises dans la fourchette de **441 $\mu\text{S/cm}$** à **763 $\mu\text{S/cm}$** et elle fluctue pour l'oued entre **466** et **1236,5 $\mu\text{S/cm}$** , avec des écart-types respectifs de **67,1** et **219,71**.

Les eaux de barrage SMBT sont conformes aux normes d'eaux destinées à être traitées à fin de consommation et aux normes d'irrigation tandis que les valeurs maximales mesurées dans l'oued ont dépassées la norme des eaux destinées à être potabilisées, mais elles restent toujours acceptables pour l'irrigation.

Nous pouvons constater, que les valeurs de la conductivité mesurées pour le lit de l'oued sont légèrement supérieures aux valeurs enregistrées dans la retenue du barrage à l'exception des mois de décembre et janvier où la différence est très importante (**Figure 12**). Ces valeurs élevées de la conductivité de l'oued Ebda peuvent être attribuées à la dissolution des minéraux des terrains traversés en particulier durant la période de fortes précipitations.

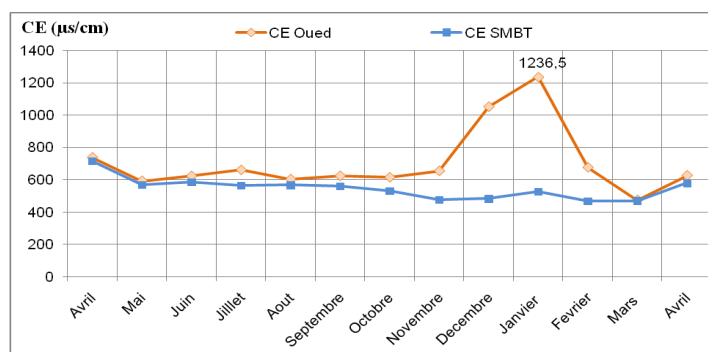


Figure 112: Variabilité spatiotemporelle de la conductivité électrique.

Les faibles valeurs de la conductivité enregistrées dans le barrage peuvent être liée d’une part au phénomène de dilution, vu le volume important emmagasiné (le barrage déverse pendant plus de cinq mois de l’année), et d’autre part à la faible vulnérabilité de son bassin versant à l’érosion (95% de sa superficie est couverte de forêts).

- **Potentiel d’Hydrogène (pH)**

C’est un paramètre qui détermine l’acidité ou l’alcalinité d’une eau ainsi que l’état d’équilibre des éléments chimiques dans l’eau. Le tableau suivant donne les valeurs maximales, moyenne, minimales et les écarts types des deux points d’eaux suivies.

Tableau 21: Variations de potentiel Hydrogène (avril 2011/mai2012)

pH		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	7,61	7,57
	Moy	7,96	7,87
	Max	8,22	8,17
	Ecart type	0,22	0,20
Normes		6,5 < pH < 9,5 (1) ; 6 < pH < 8.4 (2) ; 6,5 < pH < 8,5 (3)	

Les valeurs de pH des eaux du barrage sont relativement neutres à légèrement alcalines, de fait de leur contacte directe avec l’air, elles fluctuent entre **7,61 et 8,22** avec une très faible variation que ce soit au sein de la retenue de barrage ou bien à son aval dans l’oued Ebda. Selon la grille de la qualité des eaux de surface (**figure 2**), les eaux prélevées sont de bonne qualité vis-à-vis le potentiel Hydrogène. Elles sont également conformes aux normes des eaux destinées à être potabilisées et aux normes des eaux d’irrigation.

L’analyse de la **figure 13** montre que la variation moyenne mensuelle du pH pour les deux points de mesure suit la même allure à l’exception des moyennes enregistrées en mois de septembre et octobre. Pendant ces deux mois, on constate une diminution du pH des eaux de

l'oued coïncidant avec les lâchées d'eau profonde exempte d'activité photosynthétique. Elles sont également de températures moins importantes favorisant ainsi leur oxygénation tout le long de leur parcours dans le lit de l'oued.

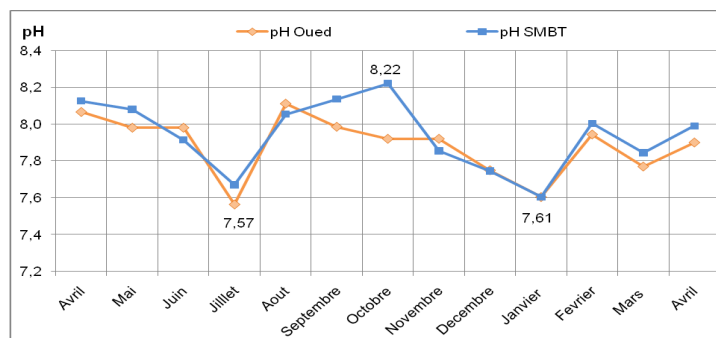


Figure 113: Variabilité spatiotemporelle du potentiel Hydrogène.

- **Oxygène dissous (O₂):**

Dans les milieux aquatiques, l'oxygène est le moteur essentiel de la vie des organismes, il assure l'oxydation de la matière organique en faisant intervenir les différents groupements bactériens et en contribuant ainsi à l'autoépuration du milieu. L'oxygène est généré souvent par les algues et les végétaux aquatiques dont l'activité photosynthétique assure l'approvisionnement des organismes aquatiques en oxygène nécessaire à leur respiration, il est apporté également au milieu par aération à partir de l'atmosphère ou par diffusion à partir d'eaux plus oxygénées. L'oxygène dissous est étroitement lié à la température qui conditionne sa solubilité.

Tableau 22: Variations de l'Oxygène dissous en mg/l (avril 2011/mai2012)

[OD] mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	6	6,16
	Moy	7,70	7,58
	Max	9,86	11,14
	Ecart type	1,47	1,74
Normes		90-50% de la valeur de saturation CII(3)	

Les teneurs en oxygène dissous, dans les eaux du barrage SMBT, fluctuent entre **6** et **9,86 mg/l** et elles varient entre **6,16** et **11,14** pour l'oued Ebda. Selon la grille de la qualité des eaux **tableau 2**, la majeure partie des enregistrements sont supérieures à **50 %** ce qui permet de classer l'eau du barrage dans les classes de bonne et moyenne qualité. Les teneurs en

Oxygène dissous dépassent la valeur naturelle de (3 mg/l), indiquant ainsi une très haute saturation selon (DEBIECHE, 2002).

L'analyse de la **figure 14** montre que l'évolution de l'oxygène dissous est peu affectée par le rythme saisonnier. Pour les mois d'été et d'automne la saturation de l'eau en oxygène est majoritairement élevée, cela peut-être expliqué par un développement accéléré de l'activité photosynthétique dû aux bonnes conditions d'insolation. Tandis que l'élévation des concentrations pendant l'hiver peut être attribuée à l'action combinée de l'aération par le vent et des apports pluvieux.

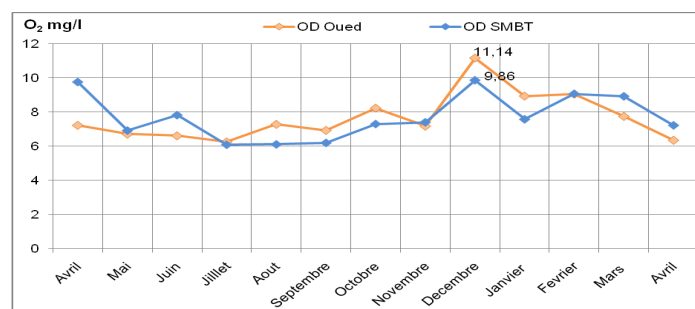


Figure 114: Variabilité spatiotemporelle de l'Oxygène dissous.

IV-1-1-2 Evolution spatiotemporelle des éléments chimiques

Une analyse complète des éléments majeurs a été effectuée sur les eaux prélevées dans le barrage SMBT et à son aval, dans le lit de l'oued Ebda, pendant la période allant de avril 2011 à avril 2012. Pour vérifier la fiabilité des résultats obtenus, on a procédé au calcul de la balance ionique (**Formule 4**) pour chaque échantillon de la période étudiée et on a constaté que les pourcentages d'erreurs obtenus de l'ensemble des analyses effectuées sont inférieurs à **5 %**, et selon **Rodier (2005)**, on peut considérer l'analyse comme acceptable.

Les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types de ces ions des eaux sont présentées dans les tableaux suivants.

D'une manière générale, on peut constater une variabilité dans les valeurs des paramètres considérés les teneurs les plus élevées, pour la plupart des éléments, sont observées au niveau des eaux de l'oued pendant la saison hivernale, à cause des fortes précipitations et de la vulnérabilité des terrains traversés à l'érosion. En revanche, les concentrations dans le barrage sont plus faibles et elles ne peuvent être attribuées à une saison particulière.

• Le calcium (Ca⁺⁺)

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄).

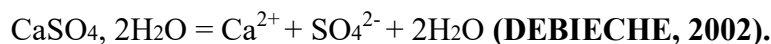
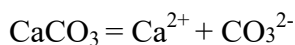


Tableau 23: Variations du Calcium en mg/l (avril 2011/mai2012)

Ca mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	45,05	48,06
	Moy	53,56	69,24
	Max	64,12	102,13
	Ecart type	6,75	18,93
Normes		<100 (1) ; <400 (2) ;	44-100 CI(3)

Les concentrations en calcium varient entre un minimum de 45,05 mg/l et un maximum de 64,12 mg/l pour les eaux de barrage SMBT tandis que pour les eaux de l'oued Ebda elles varient entre 48,93 mg/l et 102,13 mg/l.

Ce tableau montre que toutes les analyses effectuées sur les deux points d'eau présentent des concentrations inférieures à la norme des eaux destinées à être potabilisées sauf pour un seul prélèvement qui représente le maximum pour les eaux de l'oued Ebda. Elles sont également de bonne qualité vis-à-vis de la norme d'irrigation.

Pour la grille de qualité des eaux de surface on constate que la plupart des concentrations sont inférieures à 100 mg/l ce qui classe les eaux dans la classe de bonne qualité.

On constatant la figure 15 on peut remarquer que les concentrations en calcium sont plus élevées dans les eaux de l'oued durant tout le cycle du suivie avec une différence intéressante durant les mois de forte précipitations et cela peut être expliqué par l'enrichissement des eaux de l'oued par les éléments minéraux lors de la période de fort lessivage de terrain.

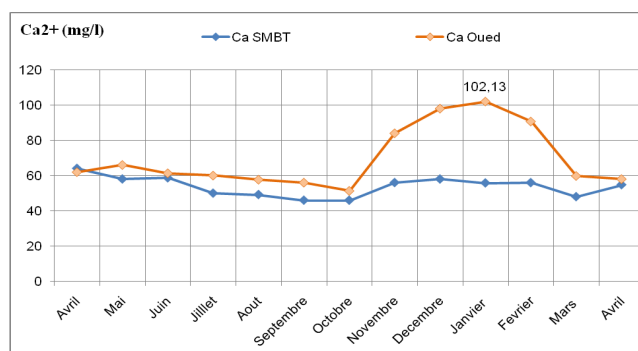


Figure 115: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en calcium.

• Le magnésium (Mg⁺⁺)

Ses origines sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite (MgCO₃) et dolomite (CaMg(CO₃)₂)).

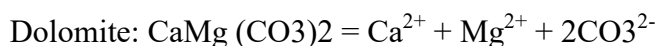


Tableau 24 : Variations du magnésium en mg/l (avril 2011/mai2012)

Mg mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	18,58	22,01
	Moy	24,44	32,09
	Max	32,00	52,60
	Ecart type	3,80	11,75
Normes		<50(1) ; 60,75(2)	; 30 -100 CII(3)

Les eaux de barrage SMBT présentent des concentrations en magnésium qui varient entre un minimum de **18,58 mg/l** et un maximum de **32 mg/l**. Pour l’oued Ebda elles sont entre **22,01** et **52,6 mg/l**. On peut constater que dans la majorité des prélèvements effectuées les deux points d’eaux sont conformes aux normes d’eaux destinées à être potabilisées en ce qui concerne ce paramètre elles sont également conformes aux normes d’irrigation.

Les concentrations en magnésium précédemment mentionnées classe les eaux étudiées de bonne à moyenne qualité selon la grille de qualité des oueds et des eaux de surface.

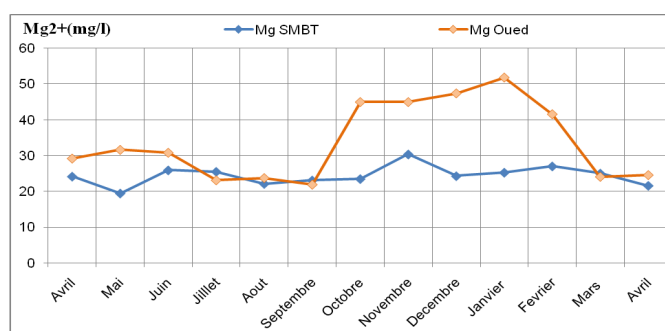


Figure 116: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en magnésium.

A travers La **figure 16** on peut constater que le magnésium est comme le calcium dans la majorité de la période d’étude plus concentré dans les eaux de l’oued surtout durant la saison automnale et hivernale.

• **Le Sodium (Na⁺)**

Il tient son origine des échanges de base qui s’effectuent au niveau de certains minéraux (argiles sodiques). C’est un élément constant dans l’eau, il provient géologiquement de la lixiviation du dépôt en surface Il peut avoir aussi une origine industrielle (Rodier, 2005).

Tableau 25: Variations du sodium en mg/l (avril 2011/mai2012)

Na mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	12,00	16,00
	Moy	17,99	26,56
	Max	22,60	60,70
	Ecart type	2,97	14,94
Normes		<150(1) ; <950(2) ;	10-100 CI(3)

A travers le tableau précédent on peut voir que les concentrations des eaux étudiées en sodium varient entre **12 mg/l** et **60,7 mg/l** et ces concentrations sont très basses pour causer un risque pour la consommation humaine ou pour l’irrigation.

Selon la grille de la qualité des eaux des oueds et des eaux de surfaces les teneurs en sodium classent les eaux étudiées dans la classe C1 de bonne qualité.

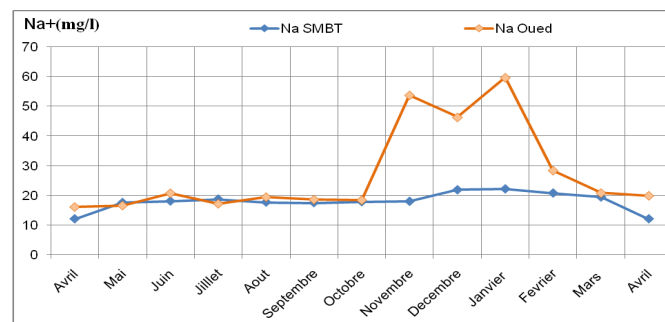


Figure 117: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en sodium.

On peut constater à travers la **figure17** que le comportement des teneurs en sodium est identique à celui des autres cations, les concentrations deviennent plus importantes dans l’oued durant la saison des fortes précipitations.

• **Le potassium (K⁺)**

Le potassium provient de l’altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (DEBIECHE, 2002). Selon Rodier (1984), la présence de cet élément, à peu près constante dans les eaux naturelles, ne

dépasse pas habituellement 10 mg/l à 15 mg/l et n’offre pas d’inconvénients pour la santé des populations.

Tableau 26: Variations du potassium en mg/l (avril 2011/mai2012)

K mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,85	0,90
	Moy	1,15	1,35
	Max	1,50	2,38
	Ecart type	0,18	0,46
Normes		<12(1)	; <2(2)

Les teneurs en potassium des eaux du barrage SMBT varient entre **0,85** et **1,5mg/l** tandis que a son aval dans les eaux de l’oued Ebda elles fluctuent entre **0,9** et **2,38 mg/l** .Selon le tableau les eaux du barrage sont conformes aux normes de potabilité et d’irrigation mais les eaux de l’oued Ebda ont dépassées légèrement la norme de l’irrigation pour leur valeur maximale.

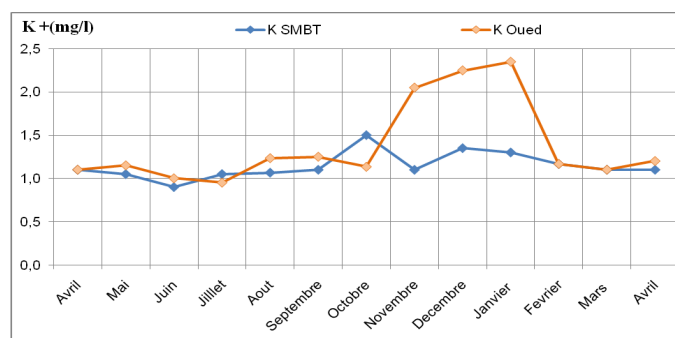


Figure 118: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en potassium.

La **figure 18** montre une allure semblable des deux points durant la majorité de la période du suivie sauf durant la saison pluviale on constate une augmentation des concentrations des eaux de l’oued Ebda.

- **Les chlorures (Cl)**

Lorsque les eaux traversent des terrains salifères-argileux ou marneux, leur composition s’enrichit en chlorures. L’utilisation des pesticides organochlorés et le déversement de détergents dans la rivière influent également les teneurs en chlorure des eaux courantes (**Rodier, 1984**).

Tableau 27: Variations des chlorures en mg/l (avril 2011/mai2012)

Cl mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	29,46	31,95
	Moy	38,49	72,80
	Max	53,90	198,28
	Ecart type	6,63	55,04
Normes		≤250(1)	≤400(2) 10-150(3)

A travers le **tableau 27** on peut constater que les teneurs en chlorures du site étudié varillent entre **29,46** et **198,28 mg/l**, ces concentrations enregistrées sont conforment aux normes des eaux destinées a êtres potabilisées et aux normes des eaux d’irigation dans leur totalité.

On ce qui concerne la grille de qualité des eaux superficielles les chlorures classent les eaux du bassin versant de l’oued Ebda de bonne qualite (classe C1).

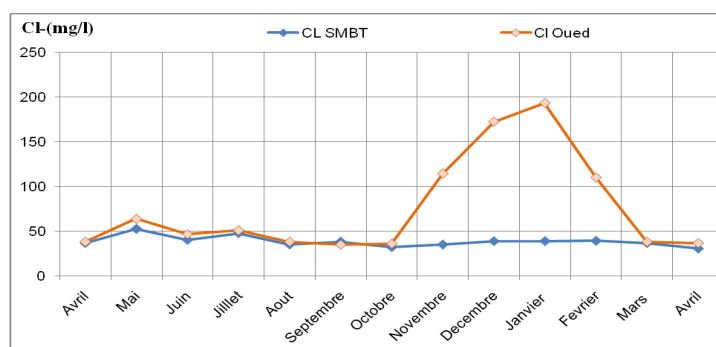


Figure 119: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en chlorures.

- Les bicarbonates (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans l’eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Tableau 28: Variations des bicarbonates en mg/l (avril 2011/mai2012)

HCO3 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	109,80	134,20
	Moy	137,25	155,55
	Max	189,10	195,20
	Ecart type	21,65	21,60
Normes		<610(2)	

Les eaux étudiées ont marquées des teneurs en bicarbonates qui varient entre **109,8** et **195,2** mg/l elles ne présentent pas de danger pour l'irrigation.

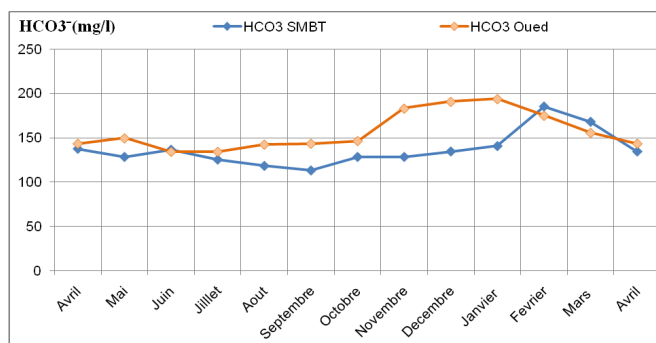


Figure 20: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en bicarbonates.

A travers la **figure 20** on remarque que les teneurs en bicarbonates sont plus intéressantes au sein des eaux de l'oued durant la saison des hautes eaux.

IV-1-1-1-2-7 Les sulfates (SO₄²⁻)

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates à des concentrations variables. Selon **Mabilot (1979)**, les sulfates proviennent de la dissolution de gypse et de l'oxydation des sulfures dans les roches. Ils sont présents aussi au niveau des matières organiques d'origine animale.

Tableau 29: Variations des sulfates en mg/l (avril 2011/mai2012)

SO4 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	63,49	70,82
	Moy	98,68	122,58
	Max	136,07	190,85
	Ecart type	17,94	35,86
Normes		≤250(1)	≤960(2) 50-200(3)

Les concentrations en sulfate mesurées dans les eaux du barrage et des eaux de l'oued sur toute la période d'étude ont variées entre **63,49** et **190,85 mg/l** et elles permettent de classer ces eaux dans les classes de bonne qualité pour la grille de qualité des eaux des barrages et des oueds (**tableau 2**). Les teneurs en sulfates marquent une très grande variation d'une saison à une autre.

La concentration la plus élevée est de **190,85mg/l** enregistrée pour le mois de janvier pour les eaux de l'oued et la plus faible est de **63,49mg/l** enregistrée le mois de mai au sein des

eaux de barrage. Mais elles restent toujours conformes aux normes d'irrigations et de potabilité.

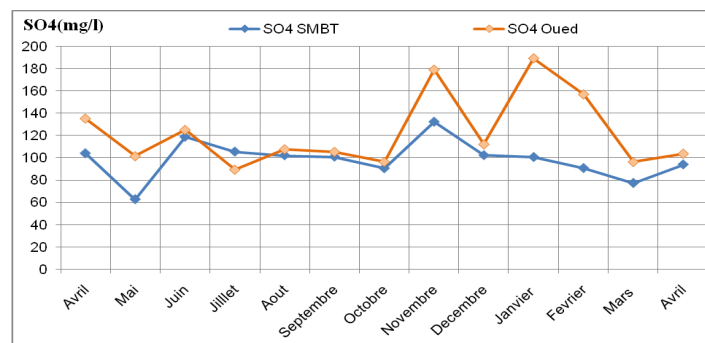


Figure 21: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en sulfates.

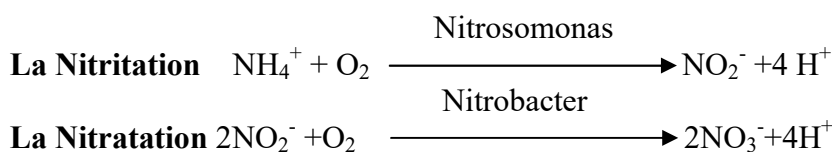
La figure 21 montre la forte variation des sulfates durant la période du suivie et confirme sa teneur plus intéressante dans les eaux de l'oued durant presque la totalité de l'année.

IV-1-1-3 Evolution spatiotemporelle des éléments azotés, du phosphore et de la matière organique

- L'ammonium (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal est une caractéristique des eaux riches en matières organiques puisque c'est le produit de leur dégradation. Il provient de l'hydrolyse des substances azotées rejetées dans l'eau et des fertilisants azotés d'origine agricole. L'ion NH₄⁺ est la forme chimique de l'azote minéral préférentiellement assimilée par le phytoplancton même en présence des nitrates.

Cet élément est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de biodégradation incomplète de la matière organique, cependant, sa teneur devrait être relativement faible puisque l'ammonium est graduellement oxydé en nitrates (NO₃⁻) suivant les réactions:



Remarque: Nitrosomonas et Nitrobacter sont des bactéries aérobies.

L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine: la matière végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine (urées,...), les rejets industriels et les engrais (Rodier, 1996).

Tableau 30: Variations de l'ammonium en mg/l (avril 2011/mai2012)

NH4 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,00	0,01
	Moy	0,02	0,03
	Max	0,028	0,14
	Ecart type	0,01	0,05
Normes		0,5(1) ; 5(2) ;	0 à 0,01 CI (3)

Les teneurs en ammonium dans les eaux du barrage varient de 0 mg/l à 0,028 mg/l. Selon le tableau 30, la plus forte valeur en cet élément est observée au niveau de l'oued (0,14 mg/l). Nous pouvons constater que les eaux du barrage SMBT et de l'oued Ebda sont conformes aux normes d'irrigations et de potabilité.

On ce qui concerne la grille de qualité des eaux de surfaces les teneurs en ammonium du barrage SMBT classe ces eaux dans la classe de bonne qualité tandis que celle de l'oued classe ce dernier dans la classe de mauvaise qualité pour la valeur maximale (0,14 mg/l) qui dépasse 0,1mg/l.

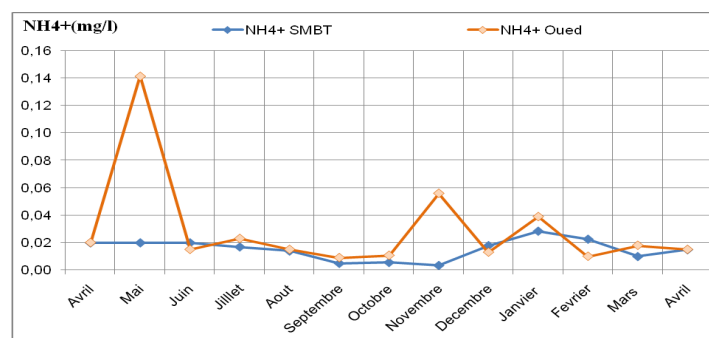


Figure 22: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en ammonium.

La figure 22 montre une faible variation saisonnière des concentrations d'ammonium au niveau des eaux du barrage nous pouvons remarquer juste une faible hausse durant les mois de forte précipitations cela peut être expliquer par l'apport d'une pollution urbaine avec les fortes eaux pluviales tandis que pour les eaux de l'oued Ebda la variation en ce paramètre est nettement intéressante cela est due aux activités agricoles proche des berges de ce dernier et aux passages des éleveurs avec leurs troupeaux pour boire à partir des eaux de l'oued.

- Les nitrites (NO₂-)

Les nitrites (NO₂⁻) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium, soit d'une réduction des nitrates. Du fait qu'elles ne présentent qu'un stade intermédiaire, les nitrites disparaissent très vite en milieu naturel (Gaujons, 1995).

Tableau 31: Variations des nitrites en mg/l (avril 2011/mai2012)

NO2 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,01	0,01
	Moy	0,02	0,01
	Max	0,045	0,025
	Ecart type	0,01	0,01
Normes		0,1(1) ; 0,01 à 0,1 CII(3)	

La valeur la plus élevée (**0,045mg/l**), en cet élément, est observée dans les eaux de barrage SMBT les valeurs moyennes dans le site d'étude sont **0,02mg/l** et **0,01mg/l** respectivement pour le barrage SMBT et l'oued Ebda. Ces valeurs sont dans les normes de potabilité.

Pour la grille de qualité des eaux de surface les eaux étudiées se classent de bonne à moyenne qualité pour ce paramètre.

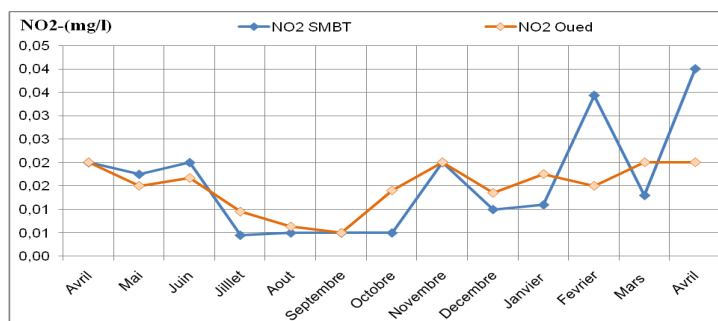


Figure 23: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en nitrites

L'analyse de la **figure 23** révèle une qualité bonne vis-à-vis des nitrites 100% des observations. La variation des concentrations peut être expliquée par le lessivage des sols par ruissellement, des apports de déchets d'origine végétale et animale riche en composés organiques azotés.

- Les nitrates (NO₃⁻)

Toutes les formes de l'azote (azote organique, ammonium, nitrites,...) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. L'élévation de la teneur en nitrates dans les eaux superficielles est souvent liée au

développement des élevages, à la fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les fientes et par les fumiers divers. La présence d’ammoniaque indique une pollution récente ou un milieu dépourvu d’oxygène, celle des nitrates indique une pollution très ancienne ou plus lointaine en milieu oxygéné (Tarda, 1984).

Tableau 32: Variations des nitrates en mg/l (avril 2011/mai2012)

NO3 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,00	0,00
	Moy	0,06	2,71
	Max	0,57	15,04
	Ecart type	0,13	6,03
Normes		<50(1) ; <10(2) ;	0 à 10 CI(3)

Les valeurs obtenues en cet élément fluctuent entre **0,00 mg/l** et **0,57 mg/l**, pour les eaux du barrage SMBT ces concentrations permettent de ranger l'eau du barrage dans les classes de bonne qualité en ce qui concerne la grille de qualité des eaux superficielles et de la qualifiées aussi conforme aux normes d’irrigation et de potabilité.

Pour leur concentrations moyennes en nitrates les eaux de l’oued sont aussi conformes aux normes de potabilité et d’irrigation et se classe aussi de bonne qualité dans la grille des eaux superficielles mais pour la valeur maximale enregistrée (**15,04 mg/l**) les eaux de l’oued deviennent non conformes aux normes d’irrigation.

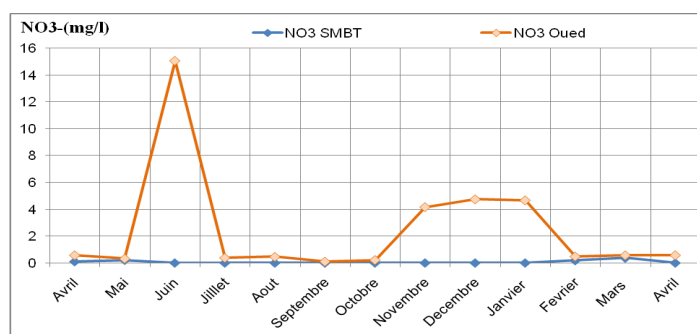


Figure 24: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en nitrates

A travers la **figure 24** on peut constater les concentrations très basse des nitrates au niveau du barrage durant toute la période du suivie tandis que l’oued marque des variations qui sont plus ou moins significatives, un pic durant le mois de juin qui peut être attribué aux activités agricoles et d’élevages et une autre augmentation dans les concentrations durant les mois de fort lessivage de terrain.

• Les phosphate (PO4³⁻)

Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO₃, pyro H₄P₂O₇ et ortho H₃PO₄, en milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par :

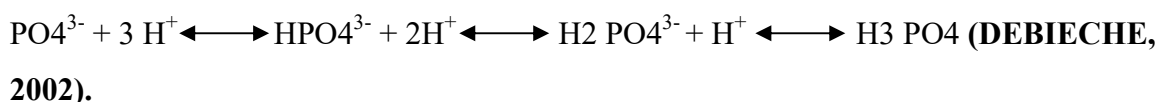


Tableau 33: Variations des phosphates en mg/l (avril 2011/mai2012)

PO4 mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,00	0,01
	Moy	0,04	0,05
	Max	0,09	0,09
	Ecart type	0,03	0,04
Normes		0,5(1) ; 2(2) ;	0,01 à 0,1 CII(3)

Les concentration en phosphate enregistrées aux niveaux des eaux du barrage SMBT varient ente **0,00** et **0,09 mg/l** tandis qu’au niveau de l’oued Ebda elles fluctuent entre **0,00** et **0,09 mg/l**, on peut constater que pour 100% des prélèvements effectués les deux points étudiés sont conforment aux normes de potabilité et d’irrigation pour toute la période du suivie.En ce qui concerne la grille de qualité des eaux superficielles, les eaux ce classent de bonne a moyenne qualité vis-à-vis ce paramètre.

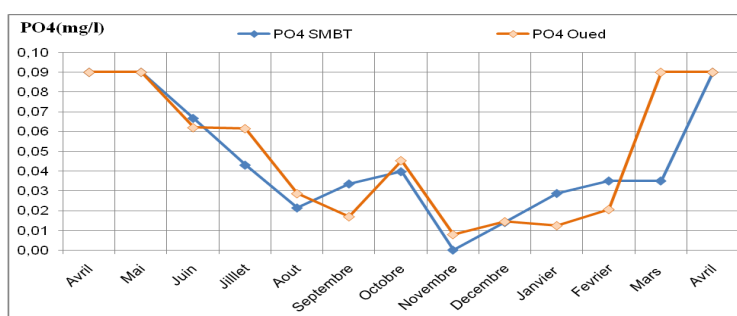


Figure 25: Variabilité spatiotemporelle des concentrations en phosphates

On peut remarquer de la **figure 25** que les teneurs en phosphore varient de la même manière donc on peut dire que l’augmentation dans les eaux de l’oued résulte d’une augmentation au niveau du barrage mais ce sont des teneurs faibles qui ne peuvent être jugées par une véritable pollution

- **La matière organique (MO):**

Les concentrations relevées en matières organiques dans les eaux du barrage varient entre un minimum de **0,56 mg/l** et un maximum de **1,19 mg/l**. Pour les eaux de l’oued elles ont variées entre **0,38 mg/l** et **1,56 mg/l**, L'ensemble des valeurs permettent de classer les eaux du barrage et de l’oued dans les classes de bonne qualité pour la grille de qualité des eaux superficielles.

Les eaux étudiées sont également conformes aux normes des eaux destinées à être potabilisées, il n ya pas de norme d’irrigation pour la matière organique.

Tableau 34: Variations des matières organiques en mg/l (avril 2011/mai2012)

MO Acide mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,56	0,38
	Moy	0,90	0,91
	Max	1,19	1,56
	Ecart type	0,31	0,49
Normes		≤10(1)	

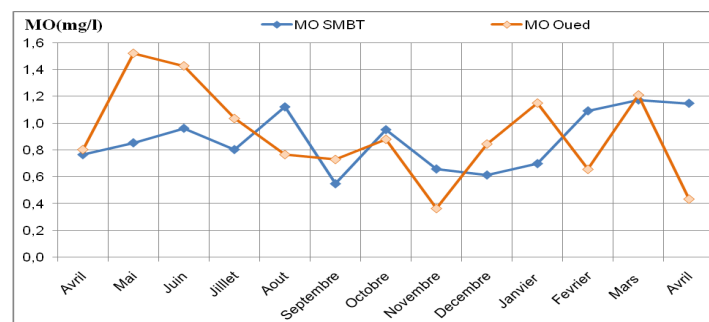


Figure 26: Variabilité spatiotemporelle de la matière organique.

La **figure 26** montre que les concentrations les plus intéressantes en matière organique dans l’oued ont survenues durant les mois de mai et juin cela peut être expliqué d’une part par les températures intéressantes et d’une autre part par l’obstruction des eaux de l’oued car il n’y avait pas de lâchés des eaux de barrage durant ces moi ce qui a causer un niveau d’eau très bas dans le lit de l’oued Ebda.

Les taux dans les eaux du barrage montre une variabilité importante mais avec des teneurs très réduites qui ne peuvent traduire une signification.

IV-1-1-4 Evolution spatiotemporelle des éléments métalliques en traces

- **Le fer totale :**

La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). (DEBIECHE, 2002).

Tableau 35: Variations du fer totale en mg/l (avril 2011/mai2012)

Fe total mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,00	0,00
	Moy	0,01	0,05
	Max	0,042	0,11
	Ecart type	0,02	0,05
Normes		≤0,3(1)	≤5(2)

Pour les eaux du barrage SMBT les concentrations en fer ont variées entre un minimum de 0,00 et un maximum de 0,042 mg/l et pour les eaux de l'oued Ebda elles ont fluctuées entre 0,00 et 0,11mg/l avec respectivement des écarts type de 0,02 et 0,05, ces teneurs enregistrées qualifient les eaux étudiées conformes aux normes d'irrigation et des eaux brutes destinées à être potabilisées.

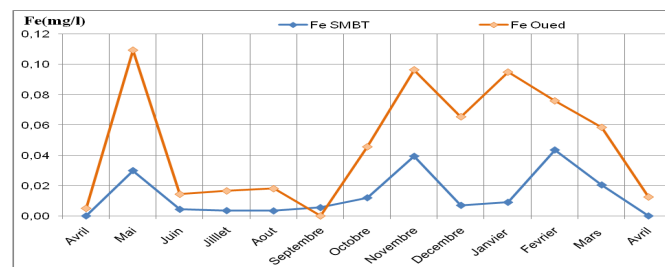


Figure 27: Variabilité spatiotemporelle de la concentration en fer totale

Les concentrations au niveau du barrage sont moins importantes que celle de l'oued cela peut être expliqué par le passage des eaux de l'oued à travers un chemin plus long et plus vulnérable à l'érosion ce qui favorise leur enrichissement en fer. L'augmentation des teneurs en fer durant la saison des fortes précipitations au niveau des deux cite et aussi du a un lessivage plus important.

- **Le manganèse :**

Cet élément chimique est souvent rencontré dans la nature accompagnée du fer, du point de vue industriel sa présence est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations en manganèse sont souvent faibles.

En revanche dans les eaux peu aérées nous pouvons observer de fortes concentrations. Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé que celui du fer. (DEBIECHE, 2002).

Tableau 36: Variations du manganèse en mg/l (avril 2011/mai2012)

Mn mg/l		Barrage SMBT	Oued EBDA
Paramètres statistiques	Min	0,00	0,00
	Moy	0,01	0,026
	Max	0,025	0,05
	Ecart type	0,01	0,02
Normes		0,1(1)	0,2(2)

Les résultats obtenus montrent que les concentrations en manganèse enregistrées pour la retenue du barrage sont comprises dans la fourchette de 0,00 à 0,025 mg/l et elles fluctuent pour l'oued entre 0,00 et 0,05mg/l, avec des écart-types respectifs de 0,01 et 0,02.

Les eaux de barrage SMBT et les eaux de l'oued Ebda sont conformes aux normes d'eaux destinées à être traitées à fin de consommation et aux normes d'irrigation pour les concentrations en manganèse enregistrées.

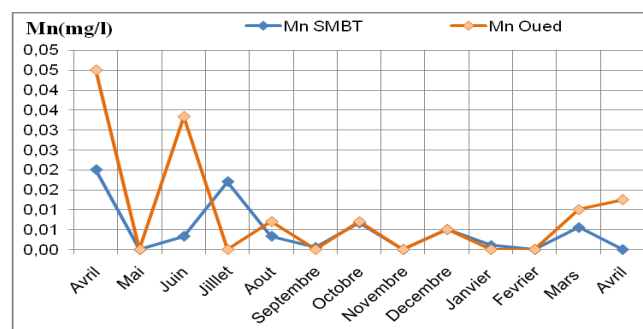


Figure 28: Variabilité spatiotemporelle de la concentration en manganèse.

Nous constatons, que les valeurs du manganèse mesurées pour le lit de l'oued sont légèrement supérieures aux valeurs enregistrées dans la retenue de barrage dans quelques observations (Figure 28). Ces augmentations sont dues au lâchés des eaux profondes du barrage qui sont plus chargées en manganèse par rapport aux eaux superficielles.

IV-1-1-5 Conclusion :

- Tous les paramètres étudiés présentent des teneurs moyennes inférieures ou proches de la norme d'irrigation et de la norme des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable que ce soit pour les eaux du barrage SMBT ou bien pour les eaux de l'oued Ebda.

- Pour la grille de la qualité des eaux superficielles la plupart des paramètres suivis ont classés les eaux étudiées dans la classe CI (bonne qualité), tandis que les résultats de quelques paramètres les ont classées dans la classe CII (bonne à moyenne qualité).

VI-1-2 Analyse statistique (ACP) des données physicochimiques.

Comme une eau est composée de plusieurs paramètres qui interagissent entre eux, la qualité d'une eau ne peut donc se faire en fonction d'un ou de deux paramètres seulement. Les méthodes multidimensionnelles telles que l'analyse en composantes principales (ACP) apportent souvent des informations complémentaires nécessaires pour mieux comprendre et interpréter la qualité d'une eau.

Dans notre travail, l'ACP va permettre d'expliquer le comportement des éléments chimiques ainsi que leur origine dans le but de décrire la qualité des eaux étudiées.

Le traitement de nos données par analyse en composantes principales (ACP) a été réalisé par le logiciel Spad Version 5.50.

Plusieurs analyses en composantes principales ont été effectuées et qui se présentent en 4 parties : analyse des eaux du barrage, analyse des eaux de l'oued, analyse des hautes eaux et enfin l'analyse des basses eaux des deux points échantillonnés.

L'ACP a été faite sur des variables actives et des variables illustratives (passives). Les variables actives sont : Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄⁺, PO₄³⁻, Fe, Mg et le pH; les variables illustratives sont la CE et le SAR. Ces deux dernières variables ne participent pas directement dans le calcul des inerties. Ce choix est justifié par le fait que : le SAR est lui-même calculé par des variables (Na, Ca, Mg) faisant partie des variables actives, ce qui conduit à des redondances dans les calculs s'il est pris en compte ; la CE dont la variabilité est exprimé par la variabilité des autres éléments et n'apporterait pas d'informations supplémentaire intéressantes.

VI-1-2-1 Corrélation linéaire :

Avant d'entamer l'analyse des résultats par utilisation de l'ACP, il est intéressant d'avoir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux (tableau 35), il en ressort ce qui suit:

- Pour les eaux du barrage le cation Ca²⁺ est bien corrélé avec les NO₂ et l'NH₄ tandis que le Mg présente une bonne corrélation avec les SO₄²⁻ et le Fe. Le Na montre une corrélation significative avec les PO₄³⁻ et avec le Mn. Les SO₄²⁻ sont aussi corrélées

avec les NO_3 et enfin les HCO_3 se manifeste par une corrélation avec les NO_3 et les NO_2 . Le K, les Cl et le pH ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments.

- Pour les eaux de l'oued on constate la corrélation la plus forte entre le Ca^{2+} et les Cl. Des corrélations fortes entre les ions (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3 , et PO_4) pris deux à deux. ainsi qu'une corrélation significative entre le Fe et les ions (NH_4^+ , Mg, Cl et HCO_3). On note aussi une corrélation entre les PO_4 et les NO_2 . Le Mn, les NO_3 et le pH ne sont corrélés à aucune autre variable.
- Pour les hautes eaux la plus forte corrélation est entre le Ca^{2+} et les Cl, les ions (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3) pris deux à deux présentent aussi de fortes corrélations. Le K et le Na présentent une bonne corrélation avec le pH et les PO_4^{3-} . Le Fe est bien corrélé avec le Mg, les Cl et l' NH_4^+ . Les PO_4^{3-} sont aussi bien corrélés avec le Mg, les Cl et les HCO_3 . Les NO_2 , les NO_3 , et le Mn ne présentent aucune corrélation avec n'importe quel autre élément.
- Pour les basses eaux les éléments (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3 , NO_3 et Fe) ont de fortes corrélations pris deux à deux sauf pour le couple (SO_4 , K). L' NH_4^+ est bien corrélés avec (Ca, Na, SO_4 , HCO_3 , NO_3 , et le Fe) et les NO_2 sont bien corrélés avec (Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 , HCO_3 , NO_3 et Fe). Les PO_4 , le Mn et le pH ne sont corrélés à aucun autre variable.

Tableau 37: Matrice de corrélation des variables (pour toutes les ACP).

ACP des eaux de barrage SMBT													
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	PO_4	Fe	NO_2	NH_4	Mn
Ca	1,00												
Mg	-0,03	1,00											
Na	-0,10	0,23	1,00										
K	-0,24	-0,13	0,29	1,00									
Cl	0,24	0,06	0,34	-0,33	1,00								
SO_4	0,22	0,41	-0,05	-0,21	-0,23	1,00							
HCO_3	0,18	0,34	0,31	0,07	0,03	-0,29	1,00						
NO_3	0,07	0,00	0,14	-0,08	0,30	-0,59	0,67	1,00					
PO_4	0,28	-0,20	-0,61	-0,36	0,12	-0,28	0,00	0,20	1,00				
Fe	0,05	0,51	0,21	-0,03	0,14	-0,02	0,34	0,20	0,00	1,00			
NO_2	0,41	-0,01	-0,20	-0,13	-0,10	-0,19	0,55	0,32	0,31	-0,01	1,00		
NH_4	0,56	-0,11	0,20	-0,08	0,28	-0,01	0,31	0,12	0,12	-0,04	0,24	1,00	
Mn	0,36	0,03	-0,46	-0,05	-0,07	0,08	-0,04	-0,04	0,32	-0,16	0,04	0,11	1,00
pH	-0,16	-0,30	-0,40	0,10	-0,19	-0,13	-0,16	-0,12	0,11	-0,08	-0,02	-0,26	0,23

ACP des eaux de l'oued Ebda													
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	NH4	NO2	PO4	Fe	Mn
Ca	1,00												
Mg	0,88	1,00											
Na	0,78	0,80	1,00										
K	0,70	0,70	0,92	1,00									
Cl	0,95	0,90	0,88	0,84	1,00								
SO4	0,74	0,84	0,72	0,53	0,70	1,00							
HCO3	0,90	0,82	0,85	0,83	0,91	0,66	1,00						
NO3	0,14	0,07	0,15	0,06	0,11	0,12	-0,03	1,00					
NH4	0,08	0,31	0,10	0,10	0,14	0,17	0,04	-0,03	1,00				
NO2	0,24	0,35	0,34	0,15	0,26	0,38	0,24	0,29	0,16	1,00			
PO4	-0,49	-0,48	-0,55	-0,51	-0,52	-0,47	-0,52	0,16	0,13	0,41	1,00		
Fe	0,36	0,55	0,39	0,36	0,44	0,37	0,40	-0,04	0,69	0,32	-0,02	1,00	
Mn	-0,19	-0,18	-0,18	-0,17	-0,21	-0,19	-0,24	0,24	-0,08	0,22	0,36	-0,26	1,00
pH	-0,27	-0,21	-0,32	-0,21	-0,33	-0,10	-0,18	-0,37	-0,07	-0,19	-0,03	-0,13	0,01

ACP des hautes eaux													
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	Fe	Mn	NH4	NO2
Ca	1,00												
Mg	0,82	1,00											
Na	0,72	0,77	1,00										
K	0,60	0,62	0,90	1,00									
Cl	0,91	0,89	0,89	0,79	1,00								
SO4	0,86	0,87	0,70	0,58	0,81	1,00							
HCO3	0,55	0,64	0,65	0,54	0,63	0,48	1,00						
NO3	0,11	0,05	0,12	-0,01	0,08	0,17	-0,12	1,00					
pH	-0,22	-0,32	-0,52	-0,42	-0,32	-0,27	-0,26	-0,39	1,00				
Fe	0,35	0,61	0,39	0,32	0,46	0,38	0,31	-0,03	-0,12	1,00			
Mn	-0,08	-0,12	-0,22	-0,12	-0,18	-0,06	-0,29	0,09	0,27	-0,25	1,00		
NH4	0,09	0,35	0,08	0,12	0,17	0,17	-0,02	-0,04	-0,08	0,69	-0,07	1,00	
NO2	-0,13	-0,15	-0,12	-0,05	-0,15	-0,16	0,13	-0,04	0,15	-0,24	-0,03	0,00	1,00
PO4	-0,45	-0,50	-0,59	-0,51	-0,54	-0,40	-0,68	0,12	0,25	-0,16	0,30	0,10	0,06

ACP des basses eaux													
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	Fe	Mn	NH4	NO2
Ca	1,00												
Mg	0,85	1,00											
Na	0,87	0,85	1,00										
K	0,76	0,72	0,85	1,00									
Cl	0,93	0,85	0,90	0,82	1,00								
SO4	0,53	0,71	0,67	0,36	0,44	1,00							
HCO3	0,88	0,80	0,83	0,84	0,83	0,44	1,00						
NO3	0,88	0,82	0,97	0,83	0,95	0,54	0,84	1,00					
pH	-0,31	-0,20	-0,14	0,03	-0,26	-0,06	-0,17	-0,16	1,00				
Fe	0,55	0,61	0,60	0,51	0,54	0,44	0,62	0,57	-0,21	1,00			
Mn	-0,07	-0,16	-0,08	0,02	-0,05	-0,21	-0,08	-0,10	-0,02	-0,22	1,00		
NH4	0,41	0,32	0,52	0,34	0,34	0,44	0,44	0,41	-0,23	0,48	-0,14	1,00	
NO2	0,43	0,57	0,52	0,30	0,41	0,57	0,43	0,50	-0,24	0,62	-0,30	0,06	1,00
PO4	-0,25	-0,23	-0,29	-0,28	-0,19	-0,36	-0,20	-0,23	-0,11	0,11	0,01	-0,27	0,10

VI-1-2-2 Valeurs propres :

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propres totales.

Tableau 38: Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.

ACP Pour	Nombre d'échantillons	Axe	valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Eaux du barrage	30	1	2,8971	20,69	20,69
		2	2,6153	18,68	39,37
		3	1,9663	14,05	53,42
Eaux de l'oued	30	1	6,6624	44,42	44,42
		2	2,5517	17,01	61,43
		3	1,6561	11,04	72,47
Hautes eaux	32	1	6,3083	45,06	45,06
		2	1,6724	11,95	57,01
		3	1,4605	10,43	67,44
Basses eaux	28	1	7,5735	54,10	54,10
		2	1,5192	10,85	64,95
		3	1,2562	8,97	73,92

- Pour l'ACP des eaux du barrage Le premier axe principal à une valeur propre égale à 2,8971 il exprime 20,69 % de la variation totale. La deuxième composante explique 18,68 % de la variance totale. La part de l'information expliquée par deux axes du même plan est égale à la simple addition des parts des variances expliquées par chacun d'eux. Ainsi, le plan formé par les deux premiers axes explique 39,37 % de la variance totale. Le troisième axe avec une valeur propre égale à 1,9663 exprime 14,05 % de la variance totale donc il sera pris en considération lors des interprétations.
- Pour l'ACP des eaux de l'oued le premier axe principal à une valeur propre égale à 6,6624, il exprime 44,42 % de la variation totale. La variance de la deuxième composante est de 17,01 % de la variance totale. Ainsi, le plan formé par les deux premiers axes explique 61,43 % de la variance totale. L'information apportée par le troisième axe est de 11,04 %.
- Pour l'ACP des hautes eaux Le premier axe principal à une valeur propre égale à 6,3083, il explique 45,06 % de la variation totale, la seconde composante a une variance de 11,95 % cumulant ainsi 57,01 % d'information. La troisième composante principale représente 10,43 % de la variance totale.
- Pour l'ACP des basses eaux Le premier axe principal a une valeur propre égale à 7,5735, il explique 54,10 % de la variation totale, la seconde composante égale à 1,5192 explique 10,85 % de la variance totale. Les pourcentages de variation sont assez élevés pour les deux premiers axes avec un cumul de 64,95 % nous allons donc nous limiter à ces deux axes pour nos interprétations.

VI-1-2-3 Etude des variables :

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré ; autant que ce coefficient est important, autant la variable contribue à la formation de l'axe, à partir du **tableau 39** on peut considérer:

- Pour l'ACP des eaux du barrage les corrélations des variables avec l'axe 1 sont classées, par ordre décroissant, comme suit : HCO_3 , NO_3 , NO_2 , NH_4 , Ca, Cl. Les variables les plus corrélées à l'axe 2 sont présent en deux pôles le premier est par ordre décroissant: Na, SAR, Mg, et le deuxième est celui des PO_4 , CE, Mn et Ca. Le troisième axe présentait également une bonne corrélation positive avec les SO_4^{2-} , Ca, Mg, et négative avec le K.
- Pour l'ACP des eaux de l'oued les variables qui contribuent fortement à la formation de l'axe 1 sont presque toutes corrélées positivement à cet axe elles sont classées par ordre décroissant comme suit : Cl, Mg, SAR, Na, HCO_3 , Ca, K, SO_4 , CE et le Fe, sauf les PO_4 qui sont corrélés négativement, donc c'est l'axe de la minéralisation d'origine géologique il oppose ainsi les eaux minéralisées aux eaux faiblement chargées. L'axe 2 marque une bonne corrélation par ordre décroissant avec les NO_2 , PO_4 , NH_4 , Fe, et les NO_3 tandis que l'axe 3 présente une corrélation positive avec les NO_3 et le Mn et une corrélation négative avec les NH_4^+ , et le Fe. L'axe 2 et l'axe 3 dans leurs pôles négatifs sont constitués par les éléments de la pollution.
- Pour L'ACP des hautes eaux le **tableau 39** montre que les corrélations des variables de la minéralisation d'origine géologique avec L'axe 1 sont négatives, elles sont classées, par ordre décroissant, comme suit : Cl, Na Mg, SAR, Ca, SO_4 , K, HCO_3 , CE et le Fe, on note aussi une corrélation positive des PO_4^{2-} et du PH avec cet axe. Le deuxième axe présente lui aussi une bonne corrélation avec le Fe et les PO_4^{2-} mais sa plus forte corrélation ce présente avec l' NH_4^+ . L'axe 3 représente positivement le pH et négativement les NO_3 .
- Pour L'ACP des basses eaux on peut constater à travers le **tableau 39** que la majorité des variables présentent une bonne corrélation avec l'axe 1; il s'agit en l'occurrence et par ordre décroissant des éléments : Na, SAR, NO_3 , Cl, Mg, Ca, HCO_3 , K ,Fe, SO_4 , CE, NO_2 , et NH_4 donc c'est l'axe de la minéralisation et de la pollution en même temps il traduit le processus d'enrichissement en minéraux des eaux étudiées durant la période des faibles précipitation. L'axe 2 représente des éléments de pollutions qui

sont avec ordre décroissant NO₂, PO₄, Fe de son côté négatif et le Mn de son côté positif.

Tableau 39 : Corrélations des variables actives et illustratives aux axes principaux.

variables	ACP barrage			ACP oued			ACP hautes eaux			ACP basses eaux		
	Axe1	Axe2	Axe3	Axe1	Axe2	Axe3	Axe1	Axe2	Axe3	Axe1	Axe2	Axe3
Ca	0,49	-0,42	0,53	0,92	-0,06	0,12	-0,86	-0,03	-0,12	0,92	0,10	-0,16
Mg	0,21	0,45	0,50	0,94	0,11	-0,07	-0,92	0,19	0,01	0,92	-0,05	0,03
Na	0,28	0,84	-0,02	0,93	-0,01	0,14	-0,92	-0,16	-0,09	0,97	0,11	0,02
K	-0,21	0,34	-0,44	0,85	-0,08	0,05	-0,81	-0,14	-0,02	0,84	0,33	-0,13
Cl	0,46	0,10	0,11	0,96	0,01	0,07	-0,95	-0,02	-0,04	0,92	0,13	-0,24
SO4	-0,37	0,12	0,83	0,81	0,00	0,04	-0,84	0,06	-0,19	0,67	-0,13	0,51
HCO3	0,80	0,18	-0,18	0,93	-0,14	0,04	-0,73	-0,31	0,36	0,90	0,10	-0,15
NO3	0,74	0,00	-0,46	0,10	0,41	0,63	-0,08	0,00	-0,81	0,94	0,11	-0,10
NH4	0,55	-0,13	0,29	0,20	0,59	-0,64	-0,23	0,85	0,16	0,52	0,04	0,28
NO2	0,57	-0,37	-0,07	0,30	0,62	0,28	0,15	-0,27	0,32	0,58	-0,62	0,08
PO4	0,26	-0,76	-0,05	-0,57	0,62	0,11	0,64	0,41	-0,30	-0,26	-0,61	-0,55
Fe	0,36	0,36	0,12	0,51	0,52	-0,58	-0,54	0,71	0,21	0,70	-0,43	-0,03
Mn	-0,02	-0,59	0,24	-0,28	0,38	0,50	0,26	0,06	-0,38	-0,16	0,50	-0,57
pH	-0,36	-0,39	-0,37	-0,29	-0,39	-0,34	0,45	0,11	0,44	-0,24	0,39	0,39
SAR	0,12	0,82	-0,22	0,93	0,03	0,10	-0,92	0,00	-0,17	0,95	0,05	0,00
CE	-0,32	-0,63	0,02	0,66	-0,04	0,21	-0,61	-0,15	-0,29	0,60	0,11	-0,46

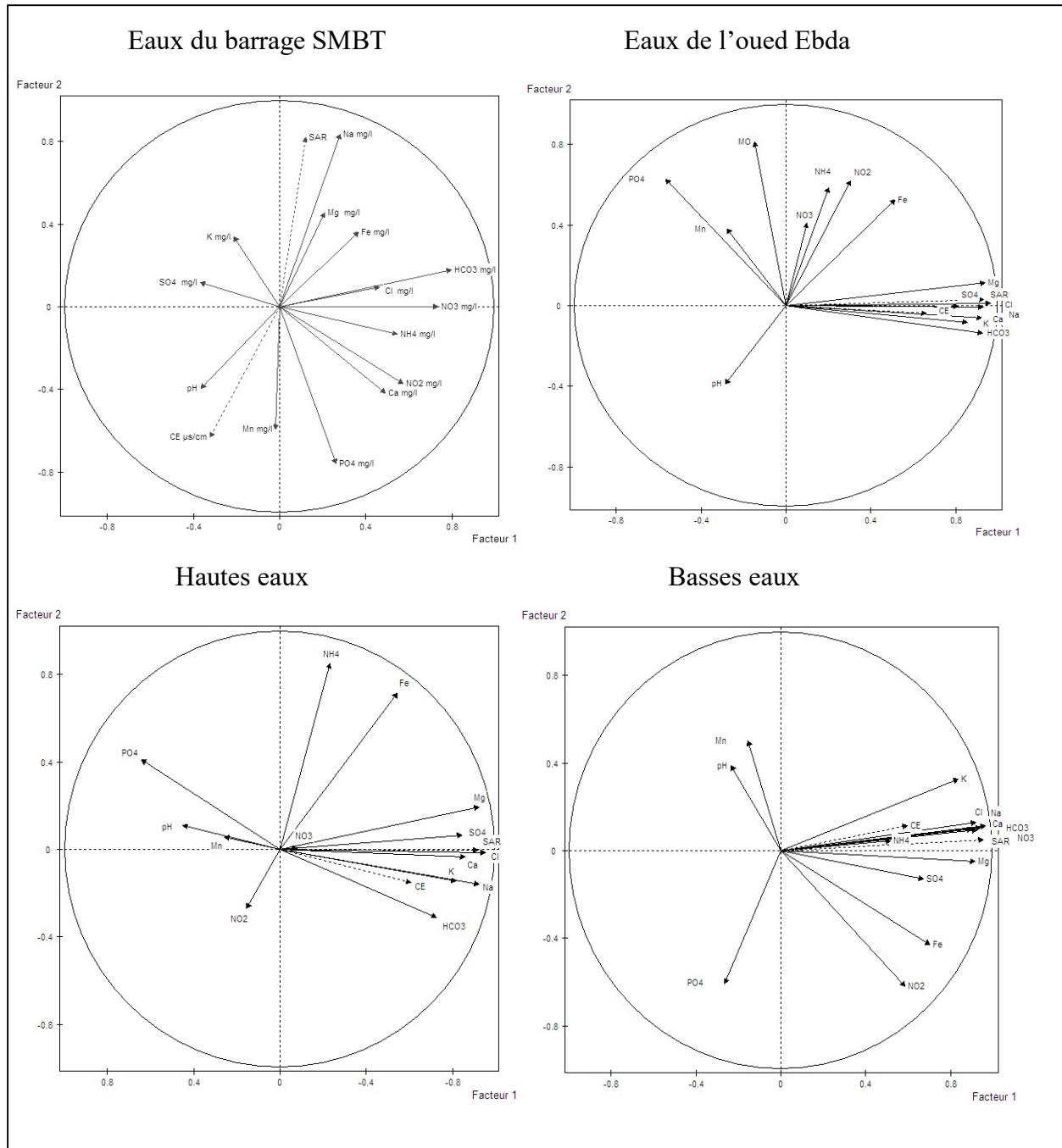


Figure 29: Cercles de corrélation des variables des quatre ACP dans les plans formés par les axes 1 et 2.

VI-1-2-4 Conclusion :

En constatant l'ACP des eaux du barrage et celle des eaux de l'oued Ebda on peut remarquer la différence des résultats obtenues, l'axe de la minéralisation et de la pollution étaient bien visible pour les eaux de l'oued tandis que ce n'était pas le cas pour les eaux du barrage cela est dû à la faible minéralisation des eaux de ce dernier et à sa faible vulnérabilité

a la pollution, d'après ces résultats on peut dire que la variabilité spatiale entre les deux point suivie est existante.

La différence entre les eaux de la période des fortes précipitations mentionner hautes eaux et la période des faibles précipitations mentionner basse eaux a aussi était plus au mois distincte avec des corrélations des éléments minéraux et des paramètres de pollution plus importantes pour les basses eaux par rapport aux hautes eaux ce qui montre une variabilité temporelle des eaux suivies.

Pour confirmer l'existence de la variabilité spatiotemporelle dans les résultats du suivie physicochimiques de ces eaux on a eu recours à une analyse de la variance dans les résultats sont expliquer dans la partie qui suit.

VI-1-3 Analyse de variance (ANOVA) :

L'analyse de variance effectuée sur les résultats obtenus pour la retenue de barrage SMBT, son affluent avale l'oued EBDA, les hautes eaux, et enfin les basses eaux, a révélé à travers le test Pearson :

- Des différences très hautement significative (à $P < 0,001$) spatiotemporelles pour les éléments (NO_2^- et HCO_3^-) et spatiale pour les éléments (SAR et Ca),
- Des différences hautement significatives (à $P < 0,01$) spatiale pour les éléments (NH_4^+ , CE et Cl^-),
- Des différences significatives (à $P < 0,05$) spatiotemporelles pour l'élément (PO_4^{2-}) et spatiale pour les éléments (Mg, SO_4 et Na),
- Des différences non significatives (à $P > 0,05$) pour les éléments (NO_3 , K, pH et Mn),

Voire **annexe 4** pour plus de détaille sur la variabilité spatiale et temporelle.

Tableau 40: Résultats de l'ANOVA des eaux étudiées

paramètre	p<0.001	paramètre	p<0.01	paramètre	p<0.05	paramètre	p>0.05
NO_2^-	< 0,0001	NH_4^+	0,0044	Mg	0,0123	NO_3	0,0633
SAR	< 0,0001	CE	0,0079	PO_4^{2-}	0,0168	K	0,1967
Ca	0,0002	Cl^-	0,0091	SO_4	0,0242	pH	0,306
HCO_3^-	0,0003			Na	0,0354	Mn	0,4284

Les teneurs en NO_2 , PO_4^{2-} et en NH_4^+ enregistrèrent étaient plus importantes dans les eaux de l'oued par rapport à celle du barrage et une hausse était enregistrer durant la saison des forte précipitations en NO_2 et PO_4^{2-} qui était aussi plus visible dans les eaux de l'oued

cela peut être attribuée à la vulnérabilité au lessivage des terrains agricoles sur les berges de l'oued ce qui favorise plus d'apport de traces de polluants.

Du fait que les berges de l'oued sont plus vulnérables au lessivage les teneurs en CE et en éléments minéraux HCO₃, Ca, Mg, SO₄, Cl et Na enregistrées sont plus importantes dans les eaux de l'oued par rapport à celle du barrage cela explique la variabilité spatiale tandis que la variabilité temporelle est due au fort lessivage hivernale qui favorise parfois l'augmentation des concentrations en minéraux et polluants dans les eaux de l'oued plus que dans celles du barrage.

Les paramètres NO₃, K, pH et Mn n'ont pas marqué de différences significatives spatiales ou temporelles cela peut être attribué à leurs variations faibles au cours de toute l'année du suivi que ce soit au sein de la retenue de barrage ou bien à son aval l'oued Ebda.

IV-2 Evaluation des faciès chimiques, de l'origine de la minéralisation des eaux et de la qualité d'irrigation des eaux du barrage SMBT et de son affluent avale l'Oued Ebda :

IV-2-1 Principaux faciès chimiques

Les faciès chimiques, d'après (Jaekli, 1970), sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

Les principaux faciès chimiques déterminés dans les eaux de barrage SMBT et de son affluent aval l'oued EBDA sont présentés dans le **tableau 41**.

L'examen du tableau 40, montre que les eaux du barrage SMBA sont des eaux bicarbonatées et sulfatées et que chacune de ces deux familles représentent **50 %** des résultats. La prédominance de ces deux familles est due probablement à la nature géologique des terrains traversés (présence des évaporites qui sont riches en bicarbonates et en sulfates), tandis que pour les eaux de l'oued EBDA on remarque la présence du faciès chloruré avec **16,66 %** en plus du bicarbonaté qui représente **56,66 %** et du sulfaté avec **26,66 %** cela peut être attribué à la pollution qui touche les eaux de l'oued et qui augmente leur teneurs en chlorures.

Tableau 41 : Faciès chimiques des eaux du barrage SMBT et de l'oued EBDA.

Point d'eaux	Faciès chimique	Pourcentage
Barrage SMBT	Sulfaté calcique	46,66 %
	Sulfaté magnésien	3,33 %
	Bicarbonaté calcique	46,66 %
	Bicarbonaté magnésien	3,33 %
Oued EBDA	Sulfaté calcique	20 %
	Sulfaté magnésien	6,66 %
	Bicarbonaté calcique	56,66 %
	Chloruré calcique	16,66 %

- **Représentation graphique des faciès chimiques**

Dans le but de bien identifier les faciès chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de barrage, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

➤ **Diagramme de Piper**

Le diagramme triangulaire de piper permet d'avoir une approche du faciès chimique des eaux et il a la particularité de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Le principe consiste à reporter dans chaque triangle réservé à cet effet les r % de chaque ion (r % rapport caractéristique). Dans chaque triangle nous obtiendrons un point triple soulignant la dominance ou non dominance d'un cation ou d'un anion donné, ces deux points triples nous donnent un point unique dans le losange qui représente le faciès chimique de l'échantillon considéré ou bien un nuage de points concentrés dans un pôle qui représente pour différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

L'analyse de la composition en ions majeurs et leur distribution dans le diagramme de piper **Figure 30** montre que le faciès chimique dominant pour l'eau du barrage SMBT et de son affluent avale l'oued EBDA est le **chloruré et sulfaté calcique et magnésien**.

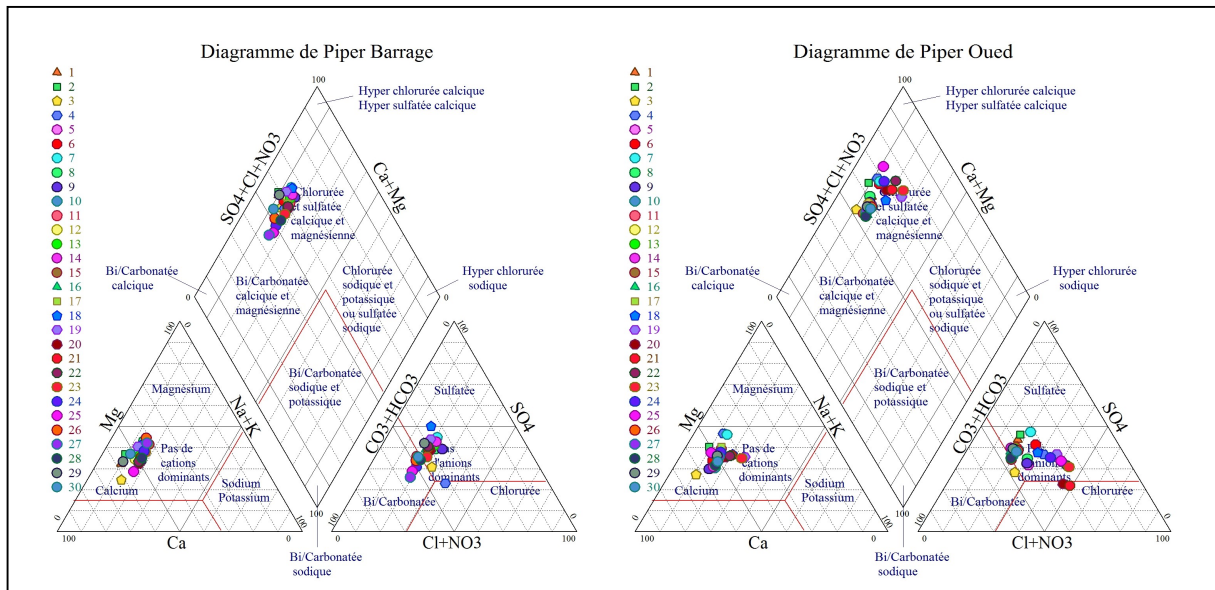


Figure 30: Faciès chimiques des eaux d'après le diagramme de Piper.

IV-2-2 Origine de la minéralisation des eaux

Les résultats d'analyses chimiques des eaux du barrage montrent des valeurs de la conductivité électrique qui fluctuent entre de **441 $\mu\text{s/cm}$** à **763 $\mu\text{s/cm}$** et elle fluctue pour l'oued entre **466** et **1236,5 $\mu\text{s/cm}$** , En parallèle le faciès chimique dominant pour l'eau du barrage SMBT et de son affluent avale l'oued EBDA est le **chloruré et sulfaté calcique et magnésien**. L'analyse globale des paramètres étudiés montre également que l'évolution des éléments (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-}) est parallèle à celle de la conductivité électrique dans les eaux de l'oued durant la saison des fortes précipitations.

L'origine des sulfates, Chlorures, et sodium peut être liée d'une part à la dissolution et le lessivage des formations du **Néocomien** qui comprennent une série d'argiles schisteuses composées de schistes durs, argileux, bleuâtre et d'autre part elle peut être attribuée à une pollution qui touche les eaux de l'oued. La présence du calcium, magnésium et bicarbonate peut être liée à la dissolution des formations métamorphiques qui inclut des calcaires schisteux, des marnes et des quartzites des périodes du **Jurassique** et du **Crétacé**.

Dans ce qui suit on va tenter d'une part de déterminer l'origine de ces éléments chimiques dominants à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux.

➤ **Corrélation entre les ions** On va tenter d'examiner deux relations principales:

- **La corrélation entre les cations (Na^+ , Mg^{2+} , K^+) et l'anion Cl^-**

La figure 31 indique pour les eaux de barrage et notamment pour celle de l'oued une corrélation linéaire positive entre les cations ($(\text{Na}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+)$) et l'anion chlorure avec un coefficient de détermination élevé ($R^2 > 0,8$). Pour les eaux de l'oued, la pente de la droite de corrélation est très proche de 1 mais l'ordonnée à l'origine est positive: Cela tend à prouver que la majeure partie des chlorures provient de la dissolution des chlorures de Na^+ , Mg^{++} , K^+ provenant de la dissolution des formations évaporitiques traversées, mais qu'une très faible proportion de ces cations pourrait provenir de la dissolution d'autres minéraux.

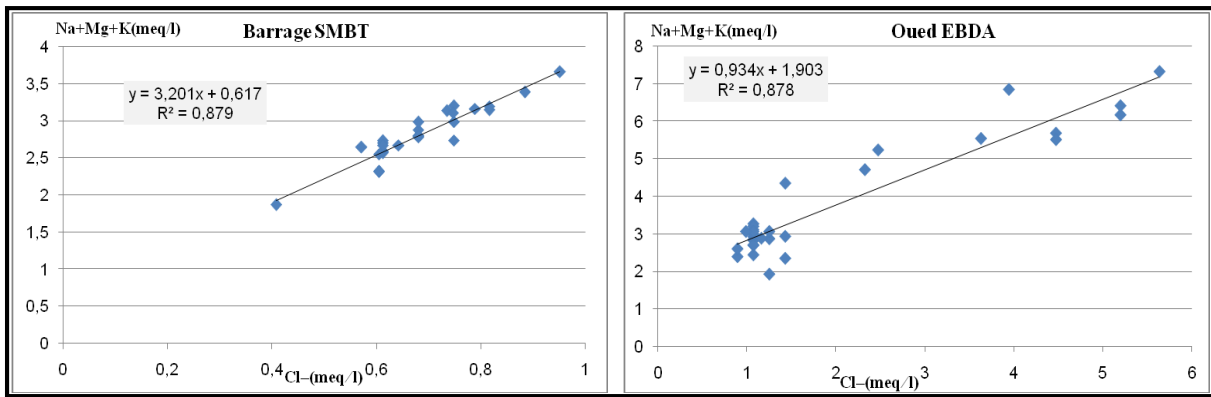


Figure 31: Variation de $(\text{Na}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+)$ en fonction de Cl^- .

- **La corrélation entre les éléments ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) et $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{--})$**

La figure 32 rapportant la variation de $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ en fonction de $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{--})$ indique qu'une partie de calcium et magnésium pourrait bien provenir de la dissolution des carbonates et des dolomites du jurassique et de crétaé traversés.

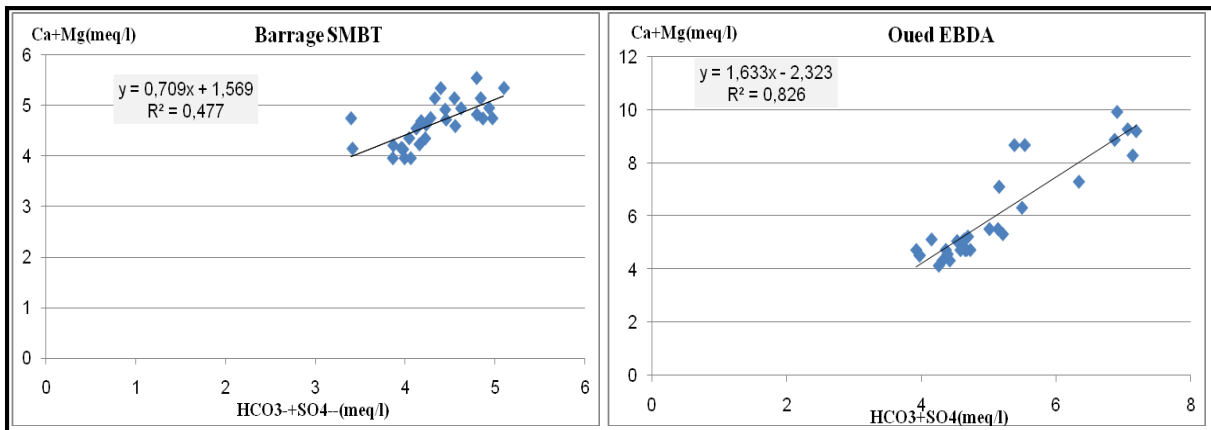


Figure 32: Variation de $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ en fonction de $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{--})$.

IV-2-3 Aptitude des eaux étudiés à l'irrigation

Sous un climat semi-aride à fort déficit hydrique durant une longue période de l'année, l'utilisation des eaux stockées dans le barrage SMBT à partir du lit de l'oued Ebda pour l'irrigation est une pratique courante pour combler les besoins en eaux des cultures dans la région, en effet durant l'année 2011 un volume de **22,862 hm³** été relâché dans le lit de l'oued pour servir les agriculteurs de la région. Le recours de plus en plus croissant à cette eau au cours de ces dernières années nécessite une meilleure connaissance de sa qualité.

L'irrigation avec des eaux chargées en sels minéraux peut d'une part perturber le développement physique des plantes et d'autre part causer une dégradation des sols, par changement dans leurs structures (perméabilité, aération, ...).

La qualité des eaux destinées à l'irrigation est conditionnée principalement par la conductivité électrique donnée en $\mu\text{s/cm}$ et le *Sodium Absorption ration* (SAR).

Comme nous l'avant mentionné précédemment, l'évolution de la conductivité de l'eau du barrage SMBT sur la période d'avril 2011 à mai 2012 a marqué une variation entre **763 $\mu\text{s/cm}$ et 441 $\mu\text{s/cm}$** cela permet d'avancer que pour l'ensemble de la période d'étude l'eau appartient à la classe **C2: Eau a salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage**. Et pour les eaux de l'oued EBDA la CE a atteint les **1236,5 $\mu\text{s/cm}$** pour la valeur max et **466 $\mu\text{s/cm}$** pour la min ce qui la range dans **la classe C2 et C3: Eau à forte salinité, non utilisable dans les sols à drainage restreint** (les échantillons qui ont classé l'eau de l'oued dans cette dernière classe sont ceux qui ont eu lieu durant la période des fortes précipitations et elles ne représentent que 16,66% de l'ensemble de l'année du suivie).

Les valeurs du SAR calculées à partir des teneurs en calcium, magnésium et sodium et à l'aide de **la formule (1)** sont rapportées dans un tableau en **annexe 1**. D'après ces valeurs du SAR obtenues (<2) pour les eaux du barrage SMBT et (<2) pour les eaux de l'oued EBDA, les eaux du barrage et de l'oued peuvent être placée dans la classe **A1: Taux faible du sodium, eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées**.

Dans la plupart des cas et pour la prédiction de l'effet des eaux d'irrigation en considérant les deux critères en même temps (salinisation et sodium), la classification de **RIVERSID de l'USSS (1954)** est la plus utilisée elle est établi en fonction de la CE et du SAR et tient compte de l'équilibre entre ces deux variables dont l'une influe sur l'autre. Le

risque de la sodicité due au SAR est atténué en présence d'une salinité élevée (Richards et al, 1954).

La projection des points sur le diagramme de Riverside est représentée dans la figure 32 suivante.

➤ Diagramme de Riverside :

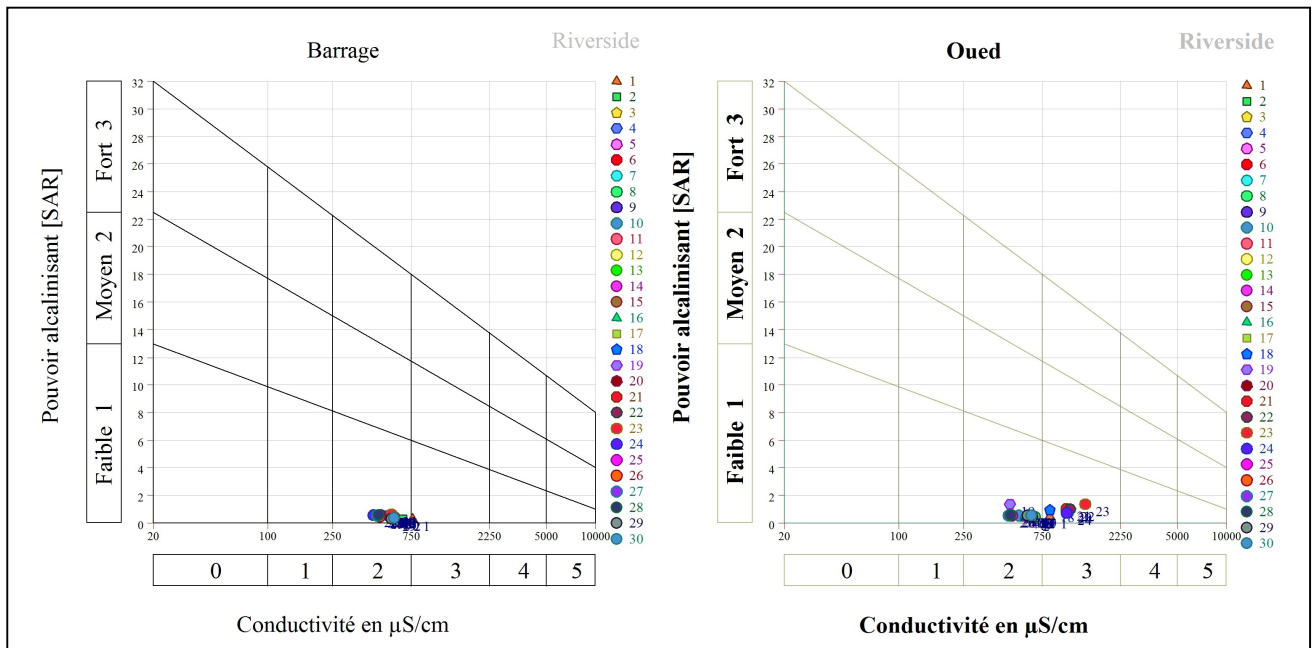


Figure 33: La projection des points sur le diagramme de REVERSIDE 1954 pour la période d'étude.

En analysant la figure 33 on constate que l'eau du barrage SMBT appartient à la classe **C2S1: Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles**. Pour les eaux de l'oued EBDA l'eau est aussi rangée dans la classe **C2S1** pour la majorité des prélèvements effectués sauf quelques-uns qui se trouvent dans la classe **C3S1: Eau de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse**.

IV-3- Etude des peuplements phytoplanctoniques et caractérisation de la qualité biologique des eaux du barrage SMBT:

En plus de satisfaire une grande partie des besoins en eaux d'irrigations de la région la retenue de barrage SMBT est un réservoir destiné aussi à la production d'eau potable, la mise en service de la station de traitement d'eau potable de Sidi M'Hamed ben Taïba a été le 06/12/2012 pour desservir en eaux potable six commune de la willaya de Ain defla qui sont

«le chef-lieu de la willaya, El Amara, Mekhatria, Arib, Sidi lakhdar et Khemis miliana» cette situation nous offre une opportunité très intéressante pour entamer l'étude des peuplements phytoplanctoniques du plan d'eau qui sont mal connues et qui non pas fait l'objectif d'une étude antérieure.

Dans le cadre du suivie des eaux de barrage SMBT l'objectif de cette partie du travail étais la connaissance de la composition taxonomique de la communauté phytoplanctonique, le suivi dans le temps de l'évolution des peuplements algaux, et l'analyse dynamique des populations a travers la réponse aux variations environnementales à l'aide de variables synthétiques telles que l'abondance et la biomasse phytoplanctonique.

Ce suivi est essentiel car la connaissance de la richesse sur le plan taxonomique des espèces du phytoplancton, en tant que premier maillon de la chaine trophique des écosystèmes aquatiques, et son évolution dans le temps fait un déterminant de première importance pour toute action d'exploitation du plan d'eau. Et en particulier, l'identification des facteurs qui contrôlent la dynamique des communautés phytoplanctoniques, peut s'avérer nécessaire à la compréhension des mécanismes favorisant les efflorescences phytoplanctoniques toxiques ou nuisibles.

Des profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous ont étais réaliser a fin d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement et l'organisation du lac de la retenue.

IV-3-1 Composition taxonomique du phytoplancton

Au cours de notre suivi des eaux de barrage SMBT nous avons répertorié 38 genres qui englobent 52 espèces en plus de 16 espèces non identifiés (voir **annexe 5**)

La classe des Diatomophycées avec 26 espèces qui représentent **50%** de la totalité des espèces identifiées est la classe qui englobe le plus de diversité taxonomique, suivie par la classe des Chlorophycées avec 18 espèces (**34,61%** de l'ensemble des espèces), par la suite survienne la classe des Euglenophycées avec 4 espèces (**7,69%**) puis la classe des Dinophycées avec 3 espèces (**5,76%**), et en dernier la classe des Cryptophycées avec une seule espèce (**1,92%**).

D'après les résultats illustrés précédemment nous pouvons constater que plus de **84%** des espèces répertoriés appartiennent aux deux classes des Chlorophycées et des Diatomophycées, donc ce sont les deux classes qui renferment la richesse spécifique la plus importante.

La répartition du peuplement algale par classe au fil du temps est illustrée dans la **figure 34**, elle révèle pour la période étudier que :

La classe des Chlorophycées est présente durant presque la totalité de l'année, la valeur la plus élevée était enregistrée en mois de juin et les Chlorophycées n'étaient absentes que durant les deux mois février et mars.

La classe des Diatomophycées aussi a marqué une présence remarquable durant presque tout le cycle du suivie et sa valeur la plus élevée était aussi répertorié en mois de juin et n'était totalement absente qu'en mois de janvier et février.

La classe des Dinophycées est présente tout le long de l'année avec la valeur la plus élevée durant le mois d'octobre et la plus faible durant les mois de janvier février et mars.

La classe des Euglenophycées a marqué sa valeur la plus élevée durant le mois de juin et était absente en mois de janvier février et mars.

En fin la classe des Cryptophycées enregistre les valeurs les plus faibles comparant aux autres classes et elle était absente durant les mois d'août janvier et février.

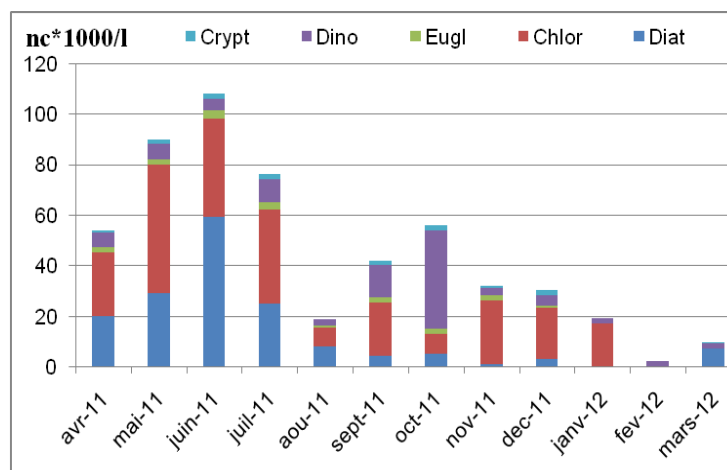


Figure 34: Contribution mensuelle des classes de phytoplancton :

Le phytoplancton évolue au cours des saisons tant du point de vue quantitatif que qualitatif, ce sont les variations des facteurs physiques (température, lumière) chimiques (nutriments) et biologiques (consommation, parasitisme), et leur combinaisons qui déterminent cette évolution (**Maguran, 1988**).

Dans notre cas nous avons recensé une variation saisonnière de nombre d'algues et de nombre de cellules qui a marqué des faibles concentrations en hiver et deux pics de production algale correspondant à deux périodes de l'année soit la période printano-estivale (mai et juin) et la

période automnale (octobre et novembre) elles révèlent notamment la richesse spécifique la plus élevée. On peut observer ces variations dans la **figure 35** qui suit.

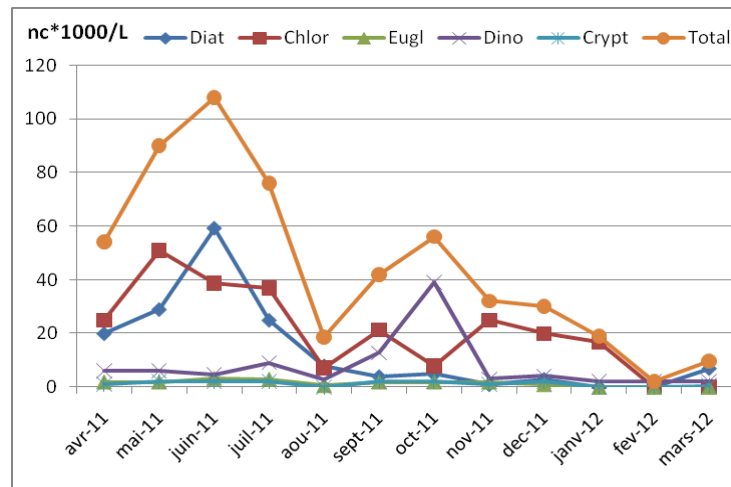


Figure 35 : Abondance du phytoplancton de la retenue de barrage SMBT :

L'accroissement printanier de la prolifération phytoplanctonique est remarquable à cause de la disponibilité des nutriments suite aux apports hivernaux. En revanche, en été, on observe une diminution de l'abondance phytoplanctonique période où la température marque ces plus fortes valeurs surtout durant le mois d'Aout. Cette régression du phytoplancton n'était pas le résultat d'une diminution de la quantité de nutriments dans l'eau mais à cause de l'intense activité zooplanctonique observée, selon (CARLOS. *et al*, 2000) la prédation du zooplancton sur les producteurs primaires assure sans doute un rétrocontrôle négatif sur l'abondance du phytoplancton, voir en **annexe7** le zooplancton de la retenue SMBT.

IV-3-2 Pourcentage des classes

Soit que les inventaires sont exprimés en nombre de cellules ou en nombre d'algues c'est la classe des chlorophycées qui est la plus importante et on peut remarquer son pourcentage un peu plus élevé en nombre de cellules (**46,6%**) comparé à celui exprimé en nombre d'algues (**37,21%**) et cela peut être attribué à la présence d'espèces pluricellulaires, par la suite surviennent par ordre décroissant les autres classes comme suit Diatomophycées, Dinophycées, Euglenophycées et cryptophycées.

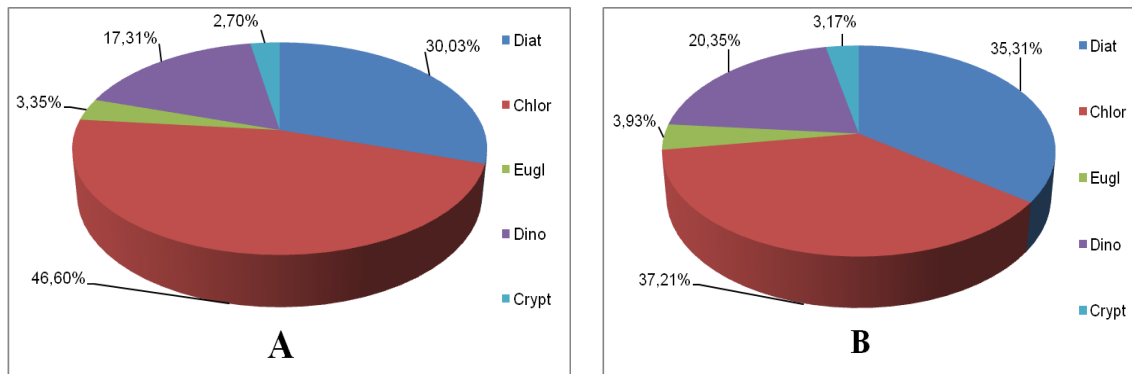


Fig 36: Pourcentage des classes phytoplanctoniques en nombre de cellules (A) et en nombre d’algues (B) :

IV-3-3 Evolution des concentrations en chlorophylle «a» :

Le suivi des variations temporelles des pigments chlorophylliens montre des fluctuations saisonnières avec des teneurs élevées en automne et au printemps et faibles en hiver et en été. En constatant la **figure 37** du suivie de l’évolution des concentrations en chlorophylle «a» on peut remarquer une bonne compatibilité entre la fluctuation des deux courbe de la variabilité de l’abondance exprimer en nombre d’algues et de la concentration en chlorophylle «a» , en effet le premier pic de la chlorophylle a survenue juste après le pic printanier de l’abondance phytoplanctonique il est intéressant de mentionner que ce pic printanier a été le résultat de la prolifération des deux classes des Diatomophycées et des Chlorophycées. Le deuxième pic a eu lieu avec celui de l’abondance phytoplanctonique de la saison automnale les concentrations de la chlorophylle ont marquées leurs valeurs les plus importantes durant cette période dont le pic étais former par les Chlorophycées et les Dinophycées, le grand niveau de concentration de la chlorophylle «a» durant cette période est un indicateur de l’abondance des algues microscopiques dans le lac de la retenue SMBT.

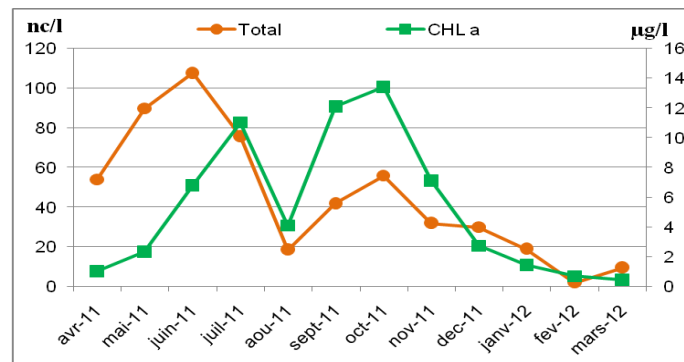


Figure 37 : Variation de l’abondance phytoplanctonique et de la chlorophylle «a» durant la période d’étude :

IV-3-4 Profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous

Des profils verticaux de la température et de l'oxygène dissous ont été réalisés pour nous aider à la compréhension de l'organisation et du fonctionnement du lac de la retenue de barrage SMTB.

IV-3-4-1 Oxygène dissous (mg/l)

L'analyse de l'oxygène dissous (**figure 14**) des eaux de surface du lac SMTB montre des fluctuations saisonnières d'oxygénation. Deux pics de concentration d'oxygène dissous sont enregistrés en Décembre (9,86 mg/l) et en Avril (9,7 mg/l). Les teneurs les plus faibles sont mesurées en mois de Juillet et Août et étaient de (6 mg/l).

Les **figures 38** et **39** présentent les profils verticaux de l'oxygène en deux mois de l'année (Mars et Septembre). Dans les deux cas le gradient vertical est décroissant vers la profondeur. Mais sans que les teneurs en oxygène ne baissent sous les 6 mg/l jusqu'à la profondeur de **30m**, à cette même profondeur les plus faibles valeurs d'oxygène dissous ont été enregistrées pendant les mois d'été et elles ne sont pas moins de 4,5 mg/l mais le brassage hivernal a permis la reconstitution du stock d'oxygène des couches profondes. Le lac respire au rythme des saisons (**BENZHA F., et al. 2009**).

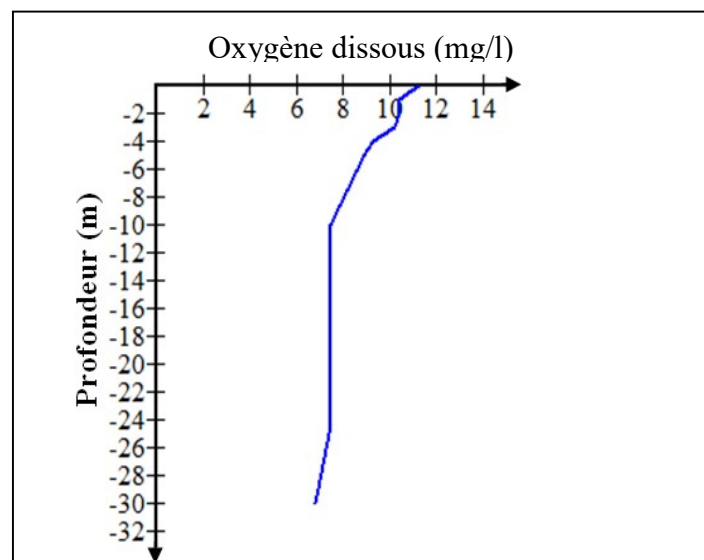


figure 38 : Profil vertical de l'oxygène dissous (Mars)

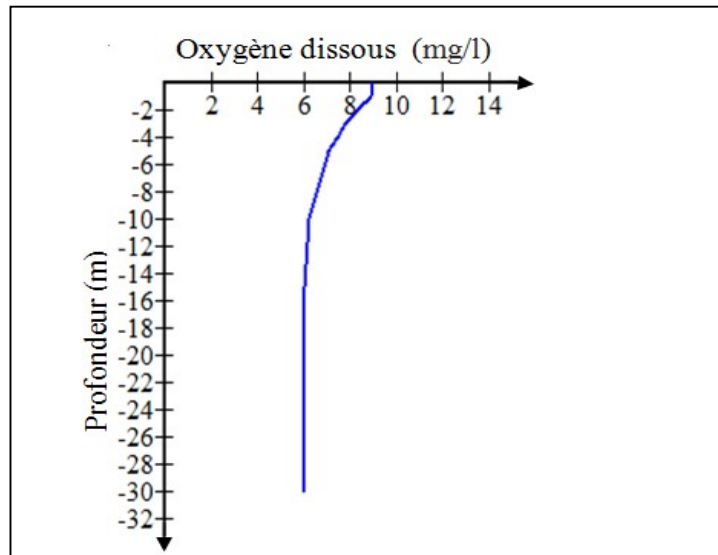


Figure 39 : Profil vertical de l'oxygène dissous (Septembre)

IV-3-4-2 Température (C°)

La variabilité thermique temporelle des eaux de barrage SMBT au court de la période de l'étude montre une rythmicité saisonnière, Les eaux du lac sont chaudes en été (maximum 26,5°C) et froides en hiver (minimum 11°C). voir **figure 11**.

La variabilité verticale (**figure 40, figure 41**) indique pour le mois de Mars un écart thermique entre les eaux de surface et de fond qui est de 4,5°C tandis que pour le mois d'Août l'écart enregistré été plus de 13°C à cause de la température maximale de l'air et des faibles courants de vent.

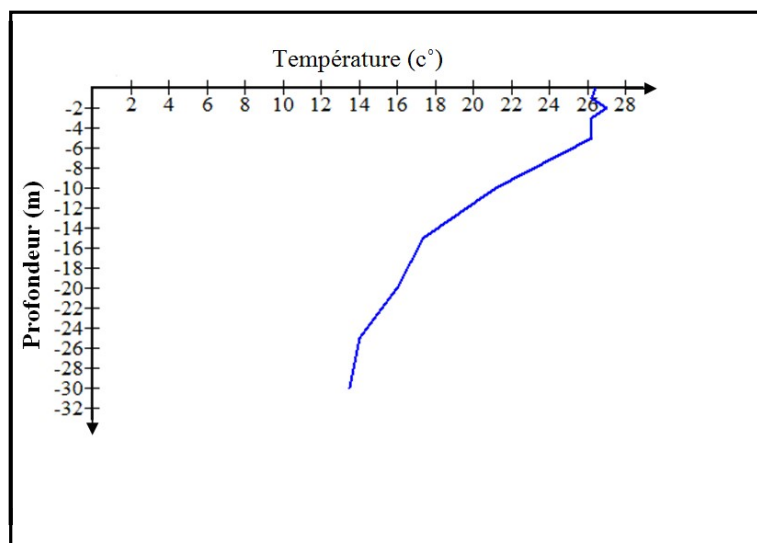


Figure 40 : Profil verticale de température (Août)

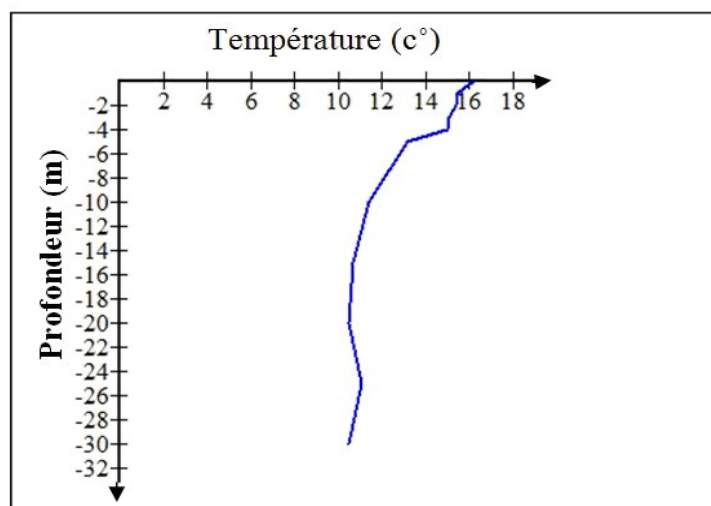


Figure 41 : Profil verticale de température (Mars)

IV-3-5 Niveau trophique de la retenue SMBT

Le niveau trophique estimé sur la base des descripteurs de qualité de Vollenweider classe la retenue du barrage SMBT dont la concentration moyenne annuelle en phosphore, la transparence moyenne annuelle et la concentration moyenne annuelle en chlorophylle « a ». La **figure 42** présente les niveaux trophiques estimés durant l’année 2011-2012. La teneur moyenne de la chlorophylle «a» de l’ordre de 5,28 µg/l et la transparence moyenne représentée par 2,16 m à la retenue de barrage SMBT permet de la classer à un niveau trophique méso-eutrophe. Par contre le phosphore moyen évalué par 40 µg/l classe la retenue au stade eutrophe.

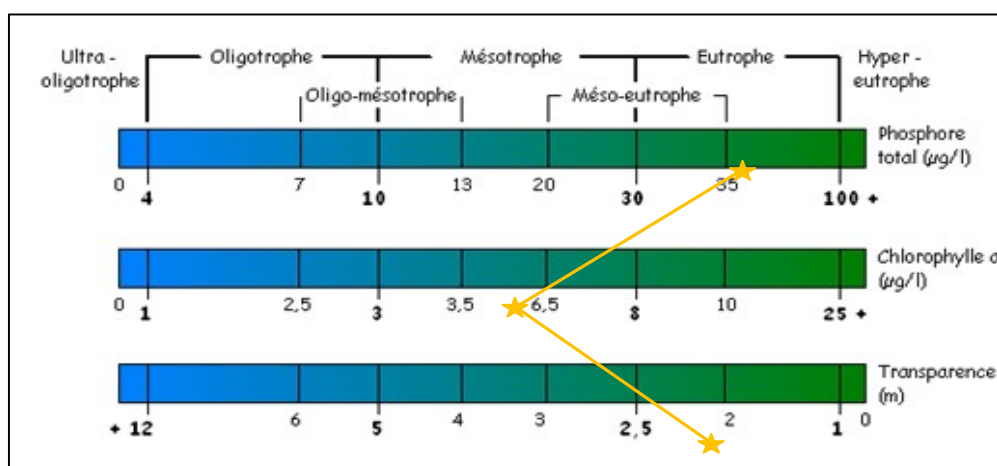


Figure 42 : Diagramme de classement du niveau trophique de la retenue de barrage SMBT

IV-3-6 Conclusion

Le suivi de la qualité de l'eau montre que la retenue SMBT présente certains signes de vieillissement, la présence des nutriments phosphorés, le taux de la chlorophylle (a) et la faible transparence en sont les meilleurs exemples et d'autres de bonne santé d'un plan d'eau telle que la bonne oxygénation des couches profondes suite au bon brassage hivernal et les faibles teneurs en éléments nutritifs. Toutefois, des mesures de lutte contre l'eutrophisation ont été prises au niveau de la retenue du barrage SMBT (introduction de la carpe argentée en 2006 et optimisation du niveau de prise à l'aide d'une barge flottante à partir de l'année 2013), afin d'éviter l'aggravation de la tendance observée, malgré cela une dégradation de l'eau brute destinée à la potabilisation a induit à l'eau traitée, un héritage de mauvais goûts et odeurs inacceptables pour le consommateur durant les mois d'automne qui coïncident avec le deuxième bloom algale, selon **Lacaze, 1996**, l'apparition des mauvais goûts et odeurs dans l'eau est sûrement la conséquence la mieux connue du phénomène d'eutrophisation. Un grand nombre d'algues favorise l'apparition de saveurs diverses dans l'eau (saveurs d'herbes de poisson voire odeur septique).

Conclusion générale

Au terme de ce travail, dont l'objectif principal été de caractériser la qualité des eaux de la retenue SMBT et de son affluent avale l'oued Ebda et en fonction des tests et analyses effectués sur les paramètres suivies il a en sortie que :

- ✚ Les eaux du barrage SMBA sont des eaux **bicarbonatées et sulfatées** et que chacune de ces deux familles représentent **50 %** des résultats, tandis que pour les eaux de l'oued EBDA on remarque la présence du faciès **chloruré** avec **16,66 %** en plus du **bicarbonaté** qui représente **56,66 %** et du **sulfaté** avec **26,66 %**.
- ✚ L'analyse de la composition en ions majeurs et leur distribution dans le diagramme de **Piper** montre que le faciès chimique dominant pour l'eau du barrage SMBT et de son affluent avale l'oued EBDA est le **chloruré et sulfaté calcique et magnésien**.
- ✚ La projection dans le diagramme de **Rivercide** a révélé que les eaux du barrage SMBT appartiennent à la classe **C2S1: Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles**. Pour les eaux de l'oued EBDA l'eau est aussi rangée dans la classe **C2S1** pour la majorité des prélèvements effectués sauf quelques-uns qui se trouvent dans la classe **C3S1: Eau de qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse**.
- ✚ Tous les paramètres étudiés ont présentés des teneurs moyennes inférieures ou proches de la **norme d'irrigation** et de la norme **des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable** que ce soit pour les eaux du barrage SMBT ou bien pour les eaux de l'oued Ebda. Tandis que pour la **grille de la qualité des eaux superficielles** les paramètres suivis ont classés les eaux étudiées dans la classe **bonne à moyenne qualité**.
- ✚ L'ACP réalisée entre les deux points suivis a donné un **axe de la minéralisation et de la pollution** bien visible pour les eaux de l'oued par rapport aux eaux du barrage on peut dire que la **variabilité spatiale** est existante.
- La différence entre les ACP des eaux de la période des fortes précipitations mentionner **hautes eaux** et la période des faibles précipitations mentionner **basse eaux** a aussi états plus au mois distincte avec **des corrélations** des éléments minéraux et des paramètres de pollution **plus importantes** pour les **basses eaux** par rapport aux **hautes eaux** ce qui montre une **variabilité temporelle** des eaux suivies.

✚ L'analyse de variance effectuée sur les eaux de la retenue de barrage SMBT et son affluent avale l'oued EBDA a révélé à travers le test Pearson :

- Des différences très hautement significative (à $P < 0,001$) **spatiotemporelles** pour les éléments (NO_2^- et HCO_3^-) et **spatiale** pour les éléments (SAR et Ca),
- Des différences hautement significatives (à $P < 0,01$) **spatiale** pour les éléments (NH_4^+ , CE et Cl^-),
- Des différences significatives (à $P < 0,05$) **spatiotemporelles** pour l'élément (PO_4^{2-}) et **spatiale** pour les éléments (Mg, SO_4 et Na),
- Des différences non significatives (à $P > 0,05$) pour les éléments (NO_3 , K, pH et Mn),

En ce qui concerne la qualité biologique des eaux de la retenue SMBT, il a en sortie que :

✚ Les eaux de la retenue SMBT renferment 38 genres qui englobent 52 espèces en plus de 16 espèces non identifiés.

✚ nous avons recensé une **variation saisonnière** de nombre d'algues et de nombre de cellules qui a marqué des faibles concentrations en hiver et deux **pics de production algale** correspondants a deux périodes de l'année soit la période printano-estivale (mai et juin) et la période automnale (octobre et novembre).

✚ peut remarquer une **bonne compatibilité** entre la fluctuation des deux courbes de la **variabilité de l'abondance** exprimer en nombre d'algues et de la **concentration en chlorophylle «a»**.

✚ Le niveau trophique estimé sur la base des descripteurs de qualité de Vollenweider classe la retenue du barrage SMBT un niveau trophique **méso-eutrophe**.

✚ Le suivi de la qualité de l'eau montre que la retenue SMBT présente certains signes de **vieillessement** , la présence des nutriments phosphoré, le taux de la chlorophylle«a» et la faible transparence en sont les meilleurs exemples et d'autres de bonne santé d'un plan d'eau d'eau telle que la bonne oxygénation des couches profondes suite au bon brassage hivernale et les faibles teneurs en éléments nutritifs.

D'après les résultats obtenues de cette étude il en sorte que la qualité de l'eau de la retenue SMBT est en bon état pour la plupart des paramètres suivies, pour maintenir cette qualité et pour y remédier aux problèmes existants il est recommander de :

✚ Suivre l'activité agricole sur le bassin versant, en effet l'utilisation des engrais accélère le phénomène eutrophique du plan d'eau.

✚ Favoriser les vidanges de fond a fin de chasser le sédiment ce qui permettra de diminuer le taux du manganèse et du phosphate dans l'eau de la retenue ce qui ce

répercutera sur l'activité photosynthétique et notamment sur la qualité organoleptique.

- ✚ Envisager un suivie de la masse piscicole existante dans la retenue pour vérifier sa compatibilité avec le plan d'eau.
- ❖ En ce qui concerne le débordement du trop plain du barrage pendant plusieurs mois de l'année, la mise en place de retenues collinaires peut être une bonne façon pour éviter la perte de toute cette eau qui déborde.

Références bibliographiques

- ❖ **ABH-CZ., 2004**, Cadastre Hydraulique du bassin hydrographique du moyen-Cheliff. Deuxième partie. 52p
- ❖ **ALLENBACH K., 2005**, Traçage des apports terrigènes par imagerie satellitaire dans les eaux oligotrophes des bassins levantins (méditerranée), disponible sur www.bodc.ac.uk
- ❖ **ANGELIER E., 2003**, Introduction à l'écologie des écosystèmes naturels à l'écosystème humain. Edit : Tec et Doc, Paris. 230 P
- ❖ **ARRIGNON J., 1998**, Aménagement piscicole des eaux douces. Edit Tec et DOC, New yourk. 28-56P
- ❖ **AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1984**, La qualité de l'eau en irrigation. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. 29 Rév. 165p.
- ❖ **BACHASSON B., 1997**, Mise en valeur des étangs. 2^{ème} édition. Tec et Doc, Paris (24-25)
- ❖ **BAIZE D., 1988**. Guide des analyses courantes en pédologie. Edition INRA, Paris, 172p.
- ❖ **BARBAULT R., 2000**. Ecologie générale. Structure et fonctionnement 5^{ème} édition Dunod 242p
- ❖ **BARROIN G., 1999**. Limnologie appliqué au traitement des lacs et des plants d'eau INRA Thonon les Bains 119p
- ❖ **BEAUPOIL C et BORNENS P., 1997**, Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniac en zones estuarienne. Edit : Ifremer. (27-36)P
- ❖ **BENZHA F, HILALI A, ZIDANE F., 2009**, Hydrogéochemie des retenues de barrage. Imfout, Daourat et Sidi Maâchou (Maroc). *Revue internationale Environmental technology*, volume 30, N°9, 969-983. Publication August 2009.
- ❖ **BONTOUX J., 1993**. Introduction à l'étude des eaux douces Edit Tec et Doc 53-54 p
- ❖ **BOURRLLY., 1966**, Les algues d'eaux douces, initiation à la systématique Edition N.Boubee et Cie, Paris
- ❖ **BOURRELLY., 1966**, Les algues d'eaux douces, initiation à la systématique. Tome 1 les algues vertes. Edit N. boubée et Cie, Paris 572P
- ❖ **CARLOS J, DE OLIVEIRA M & Clavier J., 2000**. Variations spatiotemporelles des matières en suspension dans l'estuaire du Sinnamary, Guyane française. Influence du barrage. *Rev. bras. oceanogr.* 48(1):29-39.

- ❖ **CASTANY G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. 2^{ème} cycle. édit. Dunod. Paris. 236 p
- ❖ **COIN L., 1981,** La pratique de l'eau. Edit : Moniteur. (295-301) P
- ❖ **CONDOM N., 2000.** Analyse et modélisation couplée des processus hydrogéochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger. Thèse de Doctorat. Ecole National Supérieur d'Agronomie de Montpellier. 240 p
- ❖ **COTE R, BUSSIERES D, DESAGNE P., 2002.** Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique. Rev Science de l'eau. (597-614)
- ❖ **COUTURE I., 2006.** Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Communication au colloque sur l'irrigation. L'eau, source de qualité et de rendement. Québec 10 février. 13 p
- ❖ **DEBIECHE T H., 2002.** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien. Thèse doctorat. U.F.R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté. Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé. 199 p
- ❖ **DEGREMONT., 1989.** Mémento technique de l'eau. Tome I .9^{ème} Edit.592 p.
- ❖ **DERVIN Ch., 1992** Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle. *Collection STA-ITCF.* 93P
- ❖ **DESAGNE P., 1999.** Aspect de la productivité primaire et secondaire d'un réservoir hydroélectrique Québécois. Mem UNIV Québec. 701P
- ❖ **DIDAY E, LEMAIRE J, POUGET J, TESTU M., 1982,** Eléments d'analyse de données. Ed. BORDAS. 463p
- ❖ **DURAND J H., 1982,** Les sols irrigables. Edit. P.U.F. Paris. 340 p.
- ❖ **DUTKA., 1997,** Une recette simple pour détecter les contaminants dans l'eau. Edit : Centre de la recherche pour le développement internationale. (24-35)P
- ❖ **EHRHARDT & SEGUIN., 1978,** Le plancton «composition, écologie, pollution» Edit : De. Boeck (141-179).
- ❖ **FAURIE C et al, 2003,** Ecologie, approche scientifique et pratique 5^{ème} édition, Edit Tec et Doc. 407 p
- ❖ **GAID A., 1984,** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I. p(1).

- ❖ **GAPON E N., 1933**, On the theory of exchange adsorption in soils. J. Gen. Chem. USSR (Eng. Trasl.) 3: 144-163
- ❖ **GAUDIN G., 1982**, Mathématique et informatique, analyse en composantes principales. INA PG. 43P
- ❖ **GAUJONS D., 1995**, La pollution des milieux aquatiques. Aide memoire. 2^{ème} Edit. Technique et documentation. 220 p.
- ❖ **GAUJONS D., 1995**, La pollution des milieux aquatiques Edit Tec ET DOC, Paris 217p.
- ❖ **GROSCLAUDE G., 1999**, L'eau usage et pollution. Edit. INRA. 144 p.
- ❖ **HARIVANDI A., 1999**, Interpreting turfgrass irrigation Water test result. Water journal of California, Publication 8009, University of California, Division of agriculture and natural resources. 9p.
- ❖ **LACAZE J C., 1996**, L'eutrophisation des eaux marines et continentales : Causes, Manifestations, conséquences et moyens de lutte. Edit : Marketing. (19-115)
- ❖ **IANDNER L et WAHLGREN U., 1986**, L'eutrophisation des lacs et réservoirs en climats chaud. Edit : CEBE.DOC (24-39) P.
- ❖ **MABILLOT A., 1979**, Le forage d'eau. Guide pratique. Edit. Crépine Johnson. Tec et Doc. Paris. 235p.
- ❖ **MAGURAN A E., 1988**, Ecological diversity and its measurement. Croom Helm Limited, London. 179P.
- ❖ **MONOD, 1989**, Mémento technique de l'eau. Tome : 1 Edit Dégrément 592P.
- ❖ **NGANSOUMANA B A, 2006**, La communauté phytoplanctonique du lac de Guiers (Sénégal) : Type d'association fonctionnelles et approches expérimentales des facteurs de régulation. (these de doctorat). 244 P.
- ❖ **OLLIER C H et POIREE M., 1986**, Irrigation, les réseaux d'irrigation: Théorie, technique et économie des arrosages. Edt. EYROLES. Paris. 503 p.
- ❖ **PESSON et al 1980**, La pollution des eaux continentales. Edit G Villars 75_82 p.
- ❖ **PHILIPPEAU G., 1992**, Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? *Collection STA-ITCF*. 93P.
- ❖ **RAKOTONDRABE F., 2007**, Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21: Cas du bassin versant de Morondava (Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire de recherches pour l'obtention du diplôme d'études approfondies en hydrogéologie. 87 P.
- ❖ **RAMADE F., 1982**, élément d'écologie Edit : E. Science. (487-507).

- ❖ **RICHARDS L A., 1954**, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA, in: Agricultural Handbook 60, Washington, 160 p.
- ❖ **RIEUL L., RUELLE P., 2003**, Irrigation- Guide pratique 3^{ème} édition Cemagref.
- ❖ **RODIER J., 2005**, L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 8^{ème} Edition. Edit. Dunod, Paris.1383p.
- ❖ **ROUX J., 2000**, les secrets de la terre. l'eau source de vie. Edit. BRGM. Orléans -la campagne de livre. Paris.
- ❖ **ROUX M., 1987**, Analyse biologique de l'eau Edit A.F.E.E, Paris 229 p.
- ❖ **RUXTON G D. & BEAUCHAMP, G., 2008**, Some suggestions about appropriate use of the Kruskal-Wallis test. *Animal Behaviour* **76**, 1083-1087.
- ❖ **SERVIN J et al., 1995**, Le recyclage de lisier du porc par lagunage. Edit Tec et Doc Paris.
- ❖ **SOUCHU P et al., 1998**, Biogeochemical aspect of bottom anoxia in a Mediterranean lagoon.
- ❖ **TADOWLEK D., 2004**, Production et biomasse phytoplanctonique dans le Léman.
- ❖ **TARDA H, BEAUDRY J P., 1984**, Chimie des eaux .Les Editions Le griffon d'argile Inc. Québec.
- ❖ **VALIRON F., 1989**, Gestion des eaux: alimentation en eau, assainissement. Edit. PENPC .501 p.
- ❖ **VALIRON F., 1994**, Mémento de gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. Tome : 3. Edit : Tec et Doc, Paris. 435 P.
- ❖ **WEBER B., 2002**, Suivie multi temporel de la concentration de la chlorophylle en méditerranée orientale disponible sur www.bodc.ac.uk
- ❖ **WEISS R F., 1970**, the saturation of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. Edit: Deep Sea- Research (80-82) P.

Annexe 1 : valeurs de SAR pour la période d'étude.

Date de prélèvement	SAR des eaux du barrage SMBT	SAR des eaux de l'oued EBDA
13/04/2011	0,329	1,062
28/04/2011	0,316	0,657
10/05/2011	0,448	0,486
24/05/2011	0,559	1,360
05/06/2011	0,503	1,036
15/06/2011	0,483	0,986
26/06/2011	0,483	1,435
06/07/2011	0,475	0,892
24/07/2011	0,592	0,770
10/08/2011	0,524	0,894
21/08/2011	0,541	1,000
31/08/2011	0,501	1,026
06/09/2011	0,517	0,979
21/09/2011	0,525	0,838
02/10/2011	0,541	1,026
16/10/2011	0,538	0,976
23/10/2011	0,525	1,063
09/11/2011	0,492	2,373

22/11/2011	0,460	3,827
06/12/2011	0,599	2,297
20/12/2011	0,606	2,775
03/01/2011	0,608	2,792
23/01/2011	0,618	3,917
01/02/2012	0,578	1,957
20/02/2012	0,604	1,517
28/02/2012	0,516	1,051
13/03/2012	0,542	1,085
28/03/2012	0,580	0,978
08/04/2012	0,336	1,039
18/04/2012	0,356	0,983

Annexe 2 : Normes d'irrigation.

Paramètre de l'eau	Symbole	Unité	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	CE	dS/m	3
Total des sels dissous	TDS	mg/l	2000
Calcium	Ca ⁺⁺	mg/l	400
Magnésium	Mg ⁺⁺	mg/l	60,75
Sodium	Na ⁺	mg/l	920
Carbonates	CO ₃ ⁻	mg/l	3
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	mg/l	610
Chlore	Cl	mg/l	1065
Sulfates	SO ₄ ⁻	mg/l	960
Nitrates	NO ₃ ⁻	mg/l	10
Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/l	5
Phosphate	PO ₄ ⁻	mg/l	2
Potassium	K	mg/l	2
Acidité	pH		6 – 8,5
Coefficient d'absorption du sodium	SAR		15
Bor	B	mg/l	2

(Source : FAO, 1996)

Annexe 3 : Qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau livrée à la consommation humaine.

Paramètre organoleptique

Paramètre	Limite acceptable
Couleur (après filtration)	≤ 200 mg/L échelle Pt/Co

Paramètres liés à la structure naturelle des eaux

Paramètre	Limite acceptable
Température	< 25 °C
Chlorures	≤ 250 mg/L
Sulfates	≤ 250 mg/L
% d'oxygène dissous	> 30 % de la valeur de saturation

Paramètres concernant certaines substances indésirables

Paramètre	Limite acceptable
Nitrates	≤ 50 mg/L (NO ₃) pour les eaux superficielles ≤ 100 mg/L (NO ₃) pour les autres eaux
Ammonium	≤ 4 mg/L (NH ₄)
Oxydabilité (KMnO ₄) en milieu acide	≤ 10 mg/L (O ₂)
Phénols (indice phénol) parani-traniline-4-aminoantipyrine	≤ 0,1 mg/L (C ₆ H ₅ OH)
Agents de surface (réagissant au bleu de méthylène)	≤ 0,5 mg/L (lauryl sulfate)
Hydrocarbures dissous émulsionnés après extraction au tétrachlorure de carbone	≤ 1 mg/L
Zinc	≤ 5 mg/L (Zn)
Baryum	≤ 1 mg/L (Ba) pour les eaux superficielles

Annexe 4 : Résultats de l'ANOVA

4-1: Variabilité spatiotemporelle des paramètres qui présentent une très haute signification $p < 0,001$.

No2			No2					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes			
OG vs BE	< 0.0001	Oui	OG	0,0472333	A			
OG vs BG	< 0.0001	Oui	HE	0,0272188		B		variation dans l'espace
OG vs HE	0,0056924	Oui	BG	0,0154333		B	C	
HE vs BE	0,0154727	Oui	BE	0,0088214			C	variation saisonnière
HE vs BG	0,2013154	Non						
BG vs BE	0,70567	Non						
SAR			SAR					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes			
OG vs BG	< 0.0001	Oui	OG	1,4359536	A			variation dans l'espace
OG vs BE	0,0537612	Non	HE	0,9895334	A			
OG vs HE	0,0702761	Non	BE	0,9539639	A	B		
HE vs BG	0,0444827	Oui	BG	0,509915		B		
HE vs BE	0,9974309	Non						
BE vs BG	0,087665	Non						
Ca			Ca					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes			
OG vs BG	0,0005234	Oui	OG	69,243933	A			variation dans l'espace
OG vs BE	0,0100499	Oui	HE	65,4825	A	B		
OG vs HE	0,7558754	Non	BE	56,7375		B	C	
HE vs BG	0,0115219	Oui	BG	53,559067			C	
HE vs BE	0,1139515	Non						
BE vs BG	0,8503771	Non						
HCO3			HCO3					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes			
OG vs BE	0,0082351	Oui	OG	155,55267	A			variation dans l'espace
OG vs BG	0,0077728	Oui	HE	154,59938	A			
OG vs HE	0,9981567	Non	BG	137,25333		B		variation saisonnière
HE vs BE	0,011853	Oui	BE	137,03571		B		
HE vs BG	0,0112405	Oui						
BG vs BE	0,9999799	Non						

BG: barrage global. OG: oued global. HE : hautes eaux. BE : basses eaux.

Remarque: nous n'avons interpréter que les deux couples : (OG vs BG) qui représente la variation spatiale et (HE vs BE) qui représente la variation temporelle.

4 -2: Variabilité spatiotemporelle des paramètres qui présentent une haute signification
 $p < 0,01$.

NH4			NH4							
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				variation dans l'espace	
OG vs BE	0,0105116	Oui	OG	0,046	A					
OG vs BG	0,0108666	Oui	HE	0,0307188	A	B				
OG vs HE	0,3821992	Non	BG	0,0154		B				
HE vs BE	0,3588906	Non	BE	0,01475		B				
HE vs BG	0,3799897	Non								
BG vs BE	0,9998969	Non								
CE			CE							
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				variation dans l'espace	
OG vs BG	0,0038312	Oui	OG	695,76667	A					
OG vs BE	0,200136	Non	HE	624,34375	A	B				
OG vs HE	0,4255751	Non	BE	599,75	A	B				
HE vs BG	0,1880704	Non	BG	529,96667		B				
HE vs BE	0,9551346	Non								
BE vs BG	0,476186	Non								
Cl			Cl							
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes					
OG vs BG	0,0080128	Oui	OG	72,801333	A					
OG vs BE	0,1178841	Non	HE	61,690625	A	B				
OG vs HE	0,7080034	Non	BE	48,735	A	B			variation dans l'espace	
HE vs BG	0,1196922	Non	BG	38,488		B				
HE vs BE	0,6116044	Non								
BE vs BG	0,7751047	Non								

BG: barrage global. OG: oued global. HE : hautes eaux. BE : basses eaux.

Remarque: nous n'avons interpréter que les deux couples : (OG vs BG) qui représente la variation spatiale et (HE vs BE) qui représente la variation temporelle.

4 -3 : Variabilité spatiotemporelle des paramètres qui présentent une signification avec
 $p < 0,05$

Mg			Mg						
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
OG vs BG	0,0081618	Oui	OG	32,094	A				
OG vs BE	0,1686852	Non	HE	29,265125	A	B			
OG vs HE	0,6152093	Non	BE	27,129643	A	B			variation dans l'espace
HE vs BG	0,1656828	Non	BG	24,443133		B			
HE vs BE	0,8023344	Non							
BE vs BG	0,6774274	Non							
PO4			PO4						
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
HE vs BE	0,0408766	Oui	HE	0,0531875	A				
HE vs OG	0,0359999	Oui	BG	0,043	A	B			variation dans l'espace
HE vs BG	0,7025091	Non	OG	0,0274		B			
BG vs BE	0,3827201	Non	BE	0,0273929		B			variation saisonnière
BG vs OG	0,3673309	Non							
OG vs BE	1	Non							
SO4			SO4						
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
OG vs BG	0,0119169	Oui	OG	122,57767	A				variation dans l'espace
OG vs HE	0,3701894	Non	BE	110,93071	A	B			
OG vs BE	0,4430706	Non	HE	110,36438	A	B			
BE vs BG	0,3975365	Non	BG	98,679667		B			
BE vs HE	0,9998545	Non							
HE vs BG	0,4100883	Non							
Na			Na						
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
OG vs BG	0,0192096	Oui	OG	26,556667	A				
OG vs BE	0,3708442	Non	HE	22,703125	A	B			
OG vs HE	0,5307604	Non	BE	21,785714	A	B			variation dans l'espace
HE vs BG	0,3524212	Non	BG	17,993333		B			
HE vs BE	0,9889662	Non							
BE vs BG	0,572006	Non							

BG: barrage global. OG: oued global. HE : hautes eaux. BE : basses eaux.

Remarque: nous n'avons interpréter que les deux couples : (OG vs BG) qui représente la variation spatiale et (HE vs BE) qui représente la variation temporelle.

4 -4 : Variabilité spatio-temporelle des paramètres qui ne présentent pas une signification $p > 0,05$

NO3				NO3					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
OG vs BG	0,0901577	Non	OG	2,7072333	A				pas de variation
OG vs BE	0,2398044	Non	HE	2,1078125	A				
OG vs HE	0,947861	Non	BE	0,5605714	A				
HE vs BG	0,2527734	Non	BG	0,0643	A				
HE vs BE	0,5142682	Non							
BE vs BG	0,9721409	Non							
K				K					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
OG vs BG	0,1360119	Non	OG	1,3466667	A				pas de variation
OG vs HE	0,6454796	Non	BE	1,2535714	A				
OG vs BE	0,7523507	Non	HE	1,240625	A				
BE vs BG	0,6637542	Non	BG	1,1466667	A				
BE vs HE	0,9990038	Non							
HE vs BG	0,7270912	Non							
pH				pH					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
BG vs OG	0,427	Non	BG	7,956	A				pas de variation
BG vs HE	0,550	Non	BE	7,948	A				
BG vs BE	0,999	Non	HE	7,884	A				
BE vs OG	0,530	Non	OG	7,872	A				
BE vs HE	0,655	Non							
HE vs OG	0,996	Non							
Mn				Mn					
Contraste	Pr > Diff	Significatif	Modalité	Moyenne	Groupes				
HE vs BE	0,3497545	Non	HE	0,0249375	A				pas de variation
HE vs OG	0,8117732	Non	BG	0,0166	A				
HE vs BG	0,900488	Non	OG	0,0142333	A				
BG vs BE	0,768706	Non	BE	0,0045357	A				
BG vs OG	0,9974398	Non							
OG vs BE	0,8647634	Non							

BG: barrage global. OG: oued global. HE : hautes eaux. BE : basses eaux.

Remarque: nous n'avons interpréter que les deux couples : (OG vs BG) qui représente la variation spatiale et (HE vs BE) qui représente la variation temporelle.

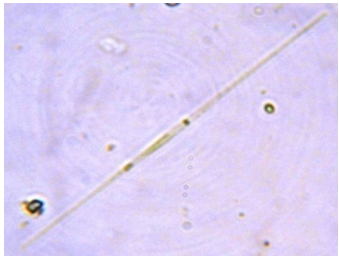
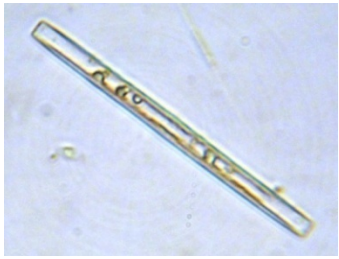

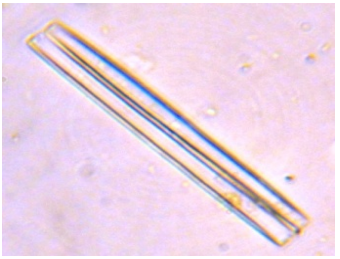


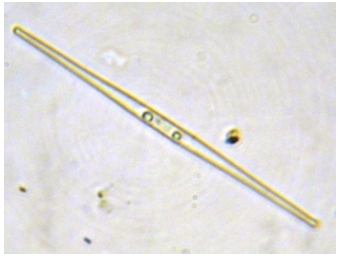













Annexe 5 : Résultats biologiques.

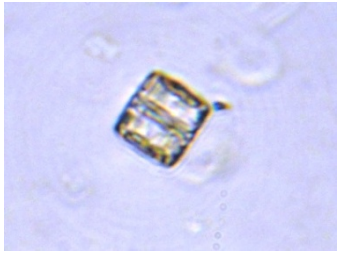











N°	Classe	Espèce	Abondance×10 ³	Fréquence%	Occurrence%
1	Diatomophycees	<i>Synedra ulna</i>	22	3,15	71,42
2	"	<i>Diatoma elangatum</i>	5	0,72	17,86
3	"	<i>Fragilaria crotonensis</i>	5	0,72	17,86
4	"	<i>Fragilaria capucina</i>	4	0,57	10,71
5	"	<i>Diatoma vulgare</i>	2	0,29	10,71
6	"	<i>Nitzschia sp</i>	1	0,14	7,14
7	"	<i>Synedra acus</i>	3	0,43	14,28
8	"	<i>Fragilaria sp</i>	1	0,14	3,57
9	"	<i>Asterionella formosa</i>	2	0,29	3,57
10	"	<i>Craticula sp</i>	1	0,14	3,57
11	"	<i>Navicula sp</i>	8	1,15	32,14
12	"	<i>Acanthoceras lapponica</i>	1	0,14	3,57
13	"	<i>Navicula radiosa</i>	2	0,29	10,71
14	"	<i>Amphora ovalis</i>	1	0,14	3,57
15	"	<i>Storoneis sp</i>	6	0,86	21,42
16	"	<i>Cymbella helvetica</i>	2	0,29	3,57
17	"	<i>Cymatopleura solea</i>	1	0,14	7,14
18	"	<i>Navicula viridula</i>	2	0,29	10,71
19	"	<i>Cymbella helvetica variété curta</i>	1	0,14	3,57
20	"	<i>Diploneis ovalis</i>	2	0,29	7,14
21	"	<i>Diatoma hiemale</i>	1	0,14	7,14
22	"	X1	2	0,29	7,14
23	"	<i>Fragilaria intermedia</i>	1	0,14	3,57
24	"	<i>Stauroneis pseudosubobtusoides</i>	4	0,57	14,28
25	"	X2	2	0,29	7,14
26	"	<i>Gyrosigma macrum</i>	86	12,33	53,57
27	"	<i>Centronella reicheltii</i>	22	3,16	57,14
28	"	<i>Eunotia sp</i>	3	0,43	10,71
29	"	X3	2	0,29	14,28
30	"	X4	1	0,14	3,57
31	"	X5	2	0,29	7,14
32	"	X6	1	0,14	3,57
33	Chlorophycees	<i>Scenedesmus sp</i>	25	3,58	35,71
34	"	<i>Scenedesmus sp</i>	11	1,58	10,71
35	"	<i>Scenedesmus flexuosus</i>	48	6,88	17,85
36	"	<i>Cosmarium circular</i>	4	0,57	7,14
37	"	Y1	2	0,29	7,14
38	"	Y2	11	1,58	32,14
39	"	<i>Chondrosphaera lapponica</i>	2	0,29	7,14
40	"	<i>Oocystis lacustris</i>	5	0,72	17,85
41	"	Y3	3	0,43	7,14
42	"	<i>Pediastrum clathratum</i>	27	3,87	17,85
43	"	Y4	4	0,57	3,57
44	"	<i>Staurastrum lunatum</i>	3	0,43	7,14
45	"	<i>Asterococcus sp</i>	4	0,57	14,28
46	"	<i>Chodatella cilliata</i>	1	0,14	7,14
47	"	<i>Chlorococcum sp</i>	7	1	25

48	"	Y5	6	0,86	17,85
49	"	<i>Tetraedron minimum</i>	18	2,58	53,57
50	"	<i>Pandorina morum</i>	2	0,29	14,28
51	"	<i>Gloetrichia echinalata</i>	1	0,14	3,57
52	"	<i>Ankistrodesmus viridis</i>	7	1	28,57
53	"	<i>Anabaena echinospora</i>	7	1	21,42
54	"	<i>Chrodactylon ramosum</i>	75	10,76	35,71
55	"	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	3	0,43	7,14
56	"	Y6	90	12,9	39,28
57	"	Y7	1	0,14	3,57
58	"	Y8	1	0,14	3,57
59	"	Y9	1	0,14	3,57
60	"	Y10	1	0,14	3,57
61	Euglenophycees	<i>Euglena sp</i>	6	0,86	25
62	"	<i>Euglena sp</i>	6	0,86	10,71
63	"	<i>Phacus pleuronectes</i>	3	0,43	35,71
64	"	<i>Phacus sp</i>	3	0,43	10,71
65	Dinophycees	<i>Ceratium hirundinella</i>	24	3,44	42,85
66	"	<i>Peridinium sp</i>	52	7,46	85,71
67	"	<i>Peridinium sp</i>	2	0,29	3,57
68	"	Z1	10	1,43	32,14
69	"	Z2	2	0,29	3,57
70	"	Z3	4	0,57	7,14
71	Cryptophycees	<i>Cryptomonas sp</i>	16	2,29	60,71
Total			697	100	







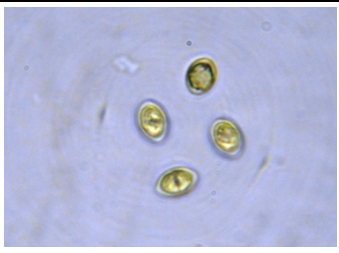

Annexe 5-1 : Le Phytoplancton de la retenue de barrage SMBT :


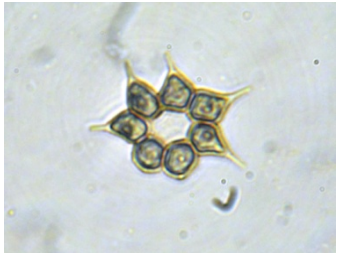
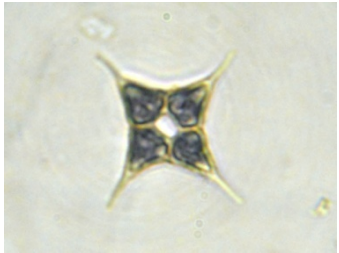
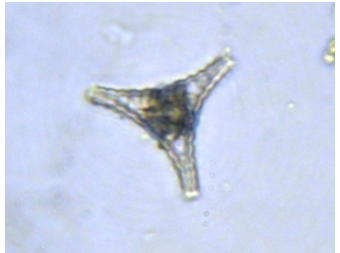
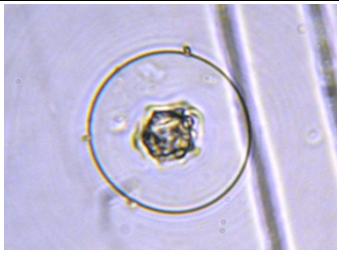
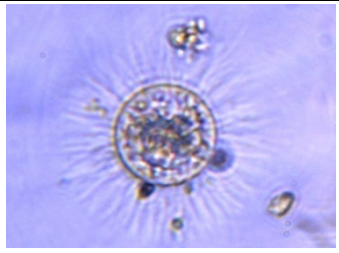


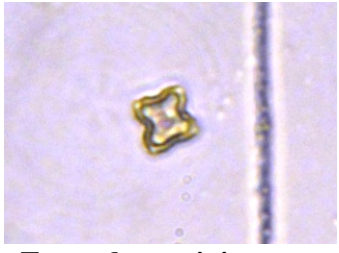





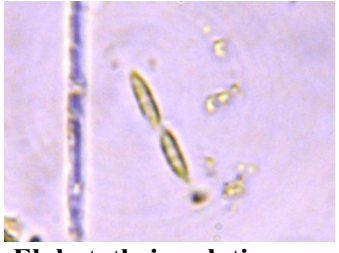
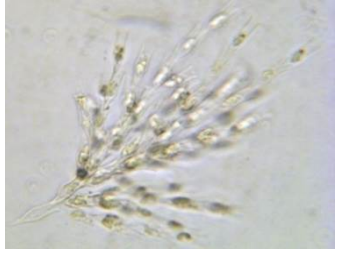
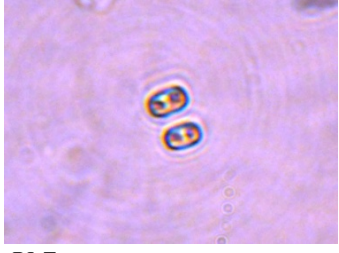


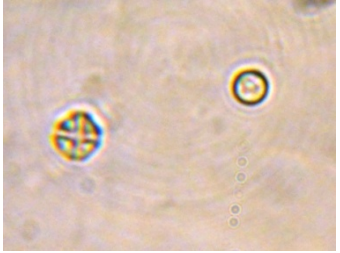
5-1-1 Famille des Diatomophycees :

			
<i>Synedra ulna</i>	<i>Diatoma elangatum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Fragilaria capucina</i>
			
<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Nitzschia sp</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Fragilaria sp</i>
			
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Craticula sp</i>	<i>Navicula sp</i>	<i>Acanthoceras lapponica</i>
			
<i>Navicula radiosa</i>	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Storoneis sp</i>	<i>Cymbella helvetica</i>
			
<i>Cymatopleura solea</i>	<i>Navicula viridula</i>	<i>Cymbella helvetica variété curta</i>	<i>Diploneis ovalis</i>

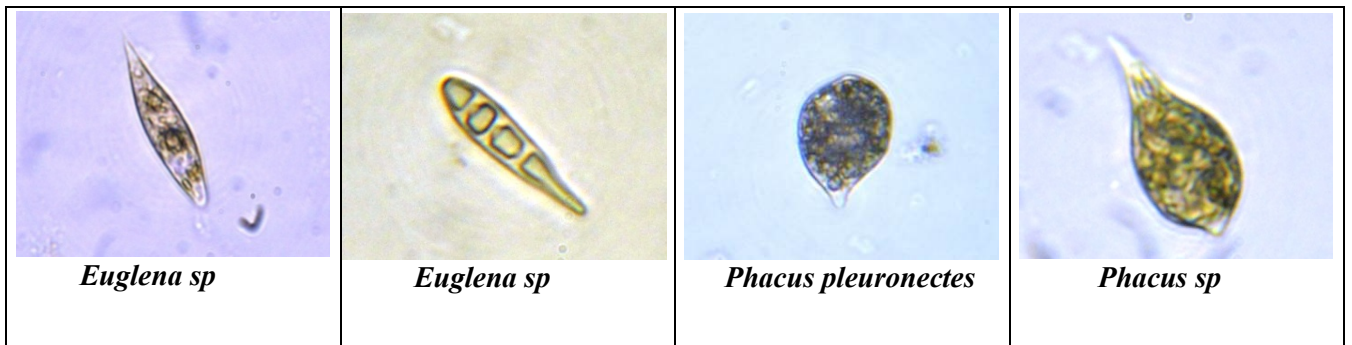
			
<i>Diatoma hiemale</i>	<i>XI</i>	<i>Fragilaria intermedia</i>	<i>Stauroneis pseudosubobtusoides</i>
			
<i>X2</i>	<i>Gyrosigma macrum</i>	<i>Centronella reicheltii</i>	<i>Eunotia sp</i>
			
<i>X3</i>	<i>X4</i>	<i>X5</i>	<i>X6</i>

5-1-2 Famille des Chlorophycees :

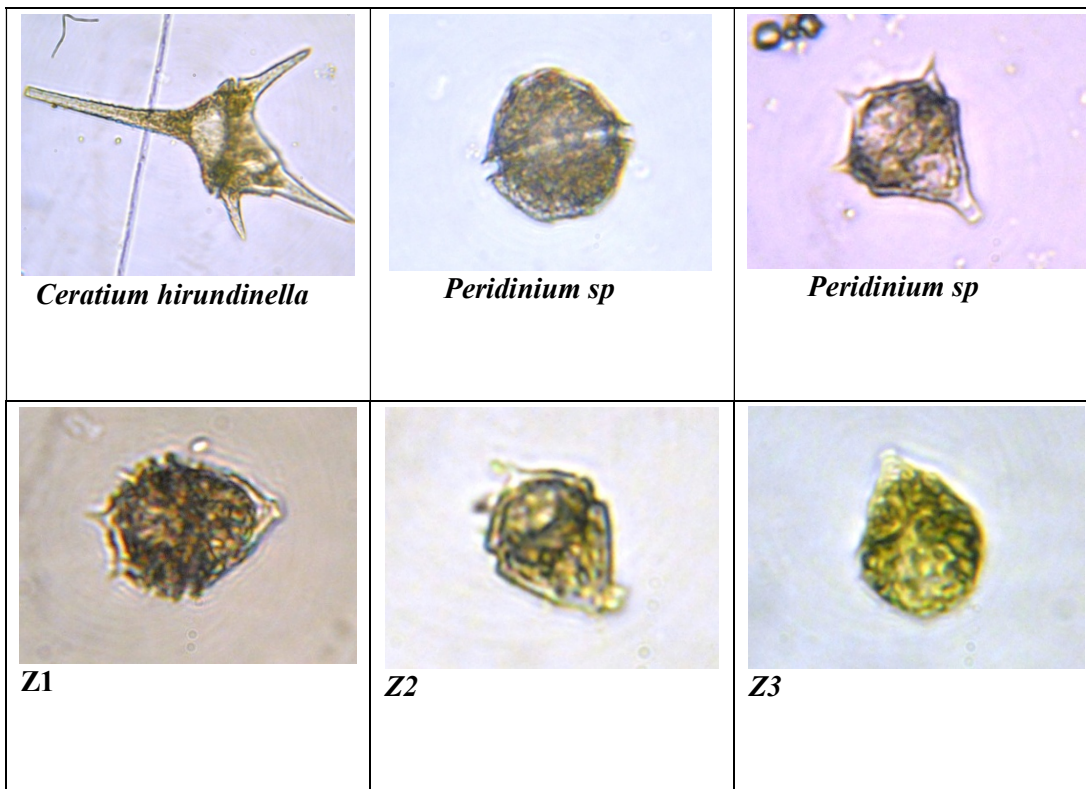
			
<i>Scenedesmus sp</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	<i>Scenedesmus flexuosus</i>	<i>Cosmarium circular</i>
			
<i>Y1</i>	<i>Y2</i>	<i>Chondrosphaera lapponica</i>	<i>Oocystis lacustris</i>

			
Y3	Pediastrum clathratum	Y4	Staurastrum lunatum
			
Asterococcus sp	Chodatella ciliata	Chlorococcum sp	Y 5
			
Tetradron minimum	Pandorina morum	Gloetrichia echinalata	Ankistrodesmus viridis
			
Anabaena echinospora	Chroodactylon ramosum	Elakatothrix gelatinosa	Y6
			
Y 7	Y 8	Y 9	Y 10

5-1-3 Famille des Euglenophycees :



5-1-4 Famille des Dinophycees :



5-1-5 Famille des Cryptophycees :



Annexe 5-2 : Le zooplancton de la retenue de barrage SMBT :

