

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Contribution à l'étude qualitative et quantitative des eaux d'Oued El Harrach à Hammam Melouane en vue d'une alimentation artificielle de la nappe.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0023-14

APA Citation (توثيق APA):

Boudehane, Said (2014). Contribution à l'étude qualitative et quantitative des eaux d'Oued El Harrach à Hammam Melouane en vue d'une alimentation artificielle de la nappe[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، البوريات، كتب....) و بنه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Système d'Assainissement et d'Épuration

THEME DU PROJET :

Contribution à l'étude qualitative et quantitative des eaux d'oued El Harrach à Hammam Melouane en vue d'une alimentation artificielle de la nappe

PRESENTE PAR:

M^r BOUDEHANE Said

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M ^r T.KHETTAL	Maitre de Conférences (A)	Président
M ^r M.HASSANE	Maitre de Conférences (B)	Membre
M ^r M.D.BENSALAH	Maitre Assistant (A)	Membre
M ^{me} A.ADDOU	Maitre Assistante (A)	Membre
M ^{me} H.MEDDI	Maitre de Conférences (B)	Promotrice

Septembre : 2014

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Système d'Assainissement et d'Épuration

THEME DU PROJET :

Contribution à l'étude qualitative et quantitative des eaux d'oued El Harrach à Hammam Melouane en vue d'une alimentation artificielle de la nappe

PRESENTE PAR:

M^r BOUDEHANE Said

Devant les membres du jury

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r T.KHETTAL	Maitre de Conférences (A)	Président
M ^r M.HASSANE	Maitre de Conférences (B)	Membre
M ^r M.D.BENSALAH	Maitre Assistant (A)	Membre
M ^m c A.ADDOU	Maitre Assistante (A)	Membre
M ^m c H.MEDDI	Maitre de Conférences (B)	Promotrice

Septembre : 2014

Dédicaces

Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail qui est l'accomplissement de longues années d'études, en particulier à :

Mon très cher père et **M**a très chère mère pour leurs aides, leurs conseils et leurs soutiens moraux et matériels. Pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour que je réussisse.

A **M**on frère et **M**es sœurs.

A toute **M**a famille.

A tous **M**es amis sans exception.

BOWDENE LAÏD

Remerciement

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage et de patience pour achever mes études.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PNR dirigé par Mr M.MEDDI. Ce travail a été effectué dans un groupe appartenant à ce projet:

M^{me} H. MEDDI, M^r M. MEDDI et M^r A. BOUFEKANE.

A l'issue de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à :

- M^{me} H. MEDDI mon encadreur
- et M^r M. MEDDI chef du projet et Mr BOUFEKANE membre de ce projet
- Tous mes professeurs.
- Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce modeste travail.
- Sans oublier de remercier mes amis.

BOUDEKANE SAÏD

ملخص

إن طبقة المياه الجوفية لمنطقة متيجة تمثل احتياطي كبير للمياه المستغلة، و نظرا للتطور المشهود في مختلف القطاعات بالإضافة الى التغيرات المناخية المتمثلة في الجفاف الذي مس المنطقة خلال ثلاثين عاما متتالية حيث شهدت انخفاض كبير في مستويات المياه الجوفية وتداخل مياه البحر مما يجعلها غير صالحة للاستعمال.

ومن أجل زيادة هذه الاحتياطيات من الموارد المائية و الحفاظ عليها و رفع مستوى المياه في الآبار و التقليل من المياه الجوفية للمتيجة الضائعة نحو البحر و المساهمة في تحقيق التنمية المستدامة التي تضمن توفر الموارد المائية نلجأ إلى التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية والتي تقوم على المتابعة النوعية والكمية لمياه واد الحراش في جزئه العلوي حمام ملوان.

المتابعة النوعية تشتمل مختلف التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه (درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، الكالسيوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم،...) الضرورية لتقييم درجة التلوث في هذه المياه و امكانية استغلالها كمورد طبيعي للتغذية الاصطناعية لهذه المياه الجوفية.

اما في المتابعة الكمية فيتم تقدير مؤشر تدفق القاعدة الذي يسمح لنا بتقدير كمية التدفق المنخفض و معرفة ما إذا كانت هذه الكمية كافية لزيادة حجم المياه المخزنة.

Résumé

La nappe de la Mitidja représente une grande réserve d'eau exploitable, et vu le développement dans les différents secteurs ainsi que l'influence des changements climatiques qui se sont traduits par un phénomène de sécheresse qui s'est déclaré durant une trentaine d'années consécutives, elle a connu une baisse importante des niveaux piézométriques ainsi que l'intrusion des eaux marines qui rend cette dernière inexploitable.

Et dans le but d'augmenter et de conserver ces réserves de ressources en eau, relever le niveau d'eau dans les puits et forages, réduire les pertes vers la mer de la nappe de la Mitidja et contribuer à l'instauration du développement durable qui assure la disponibilité des ressources en eau, nous aurons recours à la recharge artificielle de la nappe qui sera basée sur un suivi qualitatif et quantitatif des eaux d'oued El Harrach dans sa partie amont à Hammam Melouane.

Le suivi qualitatif comporte les différentes analyses physico-chimiques de l'eau (pH, Ce, Ca, K, Mg) qui sont nécessaires pour connaître le degré de pollution de ces eaux et la possibilité de les utiliser comme une source naturelle pour une recharge artificiel de la nappe.

Dans le suivi quantitatif, nous procédons à l'estimation de l'indice d'écoulement de base qui permet de quantifier le débit de crues et de dire si ces volumes suffisants dans le but d'augmenter le volume d'eaux emmagasiné.

Abstract

The aquifer of Mitidja represents a large exploitable water reserves, given the development of the different sectors and the influence of climate change which is explained by a drought period of thirty consecutive years, it had a significant drop in groundwater levels and intrusion of marine waters making it unusable.

In order to increase and maintain these water reserves, raising the water level in wells and boreholes, reduce losses of the Mitidja aquifer to the sea and contribute to sustainable development that ensures the availability of water resources, we use the artificial groundwater recharge which is based on a qualitative and quantitative monitoring of the oued El Harrach water in its upstream part at Hammam Melouane station.

The qualitative monitoring includes the various physico-chemical analyzes of water (pH, Ce, Ca, K, Mg) that are necessary to have the degree of pollution of groundwater and the possibility of being used as a natural source for artificial groundwater recharge. In the quantitative monitoring, the estimation of the base-flow index is carried out, which allows quantifying the low flow and saying if this amount is sufficient to increase the volume of water stored.

SOMMAIRE

Problématique.....	15
Introduction générale	17

Chapitre I : Synthèse bibliographiques

I.1 INTRODUCTION.....	19
I.2 LES EAUX NATURELLES	19
I.2.1 LES EAUX SOUTERRAINES.....	19
I.2.1.1 Origines.....	19
I.2.1.2 Caractéristiques générales.....	20
I.2.1.3 Potabilité.....	20
I.2.2 LES EAUX DE SURFACE	21
I.2.2.1 Origine.....	21
I.2.2.2 Caractéristiques générales.....	21
I.2.2.3 Qualité des eaux de surface.....	22
I.2 POLLUTION DES MILIEUX AQUATIQUES.....	24
I.2.1 Pollution organique.....	24
I.2.2 Pollution chimique.....	25
I.2.3 Conséquences de la pollution des milieux aquatiques.....	26
I.2.4 Pollution des milieux aquatiques par les éléments traces métalliques.....	27
I.2.4.1 Définition générale des éléments traces métalliques et leurs caractéristiques physicochimiques	27
I.3 Etude des débits d'étéage.....	30
I.3.1 Classification des débits d'étéage.....	31
I.3.2 Prévision des étéages.....	36

I.3.2.1 L'indice d'écoulement de base (IEB).....	38
I.3.2.2 Description de la méthode UKIH.....	41
I.3.2.3 Détermination du nombre de jours « N ».....	42
I.3.2.4 Facteurs influençant le débit de base.....	43

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1 INTRODUCTION.....	45
II.2 PRESENTATION DE LA REGION DE HAMMAM MELOUANE.....	45
II.3 GEOLOGIE.....	48
II.4 LA MITIDJA.....	50
II.4.1 Les formations aquifères de la plaine de la Mitidja.....	50
II.6 CLIMAT	54
II.6.1 Pluviométrie	54
II.6.2 Température	54
II.6.3 Les vents	55
II.7 CONCLUSION.....	55

Chapitre III : Qualité des eaux de Hammam Melouane

III.1 INTRODUCTION.....	57
III.2 LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU.....	57
III.3 CHOIX ET LOCALISATION DES SITES DE PRELEVEMENT.....	57
III.4 PRELEVEMENT DE L'EAU.....	59
III.5 MESURES PHYSICO – CHIMIQUES.....	61
III.5.1 Mesure du pH.....	61
III.5.2 Mesure de la Conductivité électrique.....	61

III.5.3 Résidu sec.....	62
III.5.4 Détermination des matières en suspension.....	62
III.6 ELEMENTS MINERAUX MAJEURS.....	63
III.6.1 Cations.....	63
III.6.1.1 Calcium, sodium et potassium.....	63
III. 6.1.2 Dosage du magnésium.....	66
III.6.2 Anions.....	66
III.6.2.1 Chlorures (Cl ⁻).....	66
III.6.2.2 Sulfates (SO ₄ ⁻²).....	67
III.7 PARAMETRES DE POLLUTION.....	69
III.7.1 Composés azotés.....	69
III.7.1.1 Ammonium (NH ₄ ⁺).....	69
III.7.1.2 Nitrites (NO ₂ ⁻).....	69
III.7.1.3 Nitrates (NO ₃ ⁻).....	70
III.7.1.4 Phosphates (PO ₄ ⁻²).....	71
III.8 ACIDITE – ALCALINITE.....	73
III.8.1 Détermination de l'acidité.....	73
III.8.2 Détermination de l'alcalinité.....	75
III.9 DURETE OU TITRE HYDROTOMETRIQUE (TH).....	76
III.10 DOSAGE DES CARBONATES, BICARBONATES ET OH ⁻	77
III.11 DOSAGE DE LA SILICE.....	78
III.12 Qualités d'une eau potable selon l'OMS.....	79
III.13 LES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO – CHIMIQUE DE L'EAU SUPERFICIELLE D'OUED EL HARRACH A LA STATION DE HAMMAM MELOUANE.....	81
III.13.1 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et Baraki pour l'année 2010.....	81

III.13.2 Discussion des résultats	81
III.13.3 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et BARAKI pour l'année 2011.....	85
III.13.4 Discussion des résultats	85
III.13.5 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et Tabainat pour l'année 2012.....	88
III.13.6 Discussion des résultats.....	88
III.13.7 Comparaison des résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane avec les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) pour l'année 2012.....	92
III.14 TRANSPORT SOLIDE.....	94
III.15 CONCLUSION.....	96

Chapitre IV : Etude des composantes de l'écoulement superficielle

IV.1 INTRODUCTION.....	98
IV.2 DESCRIPTION DU PROGRAMME DU CALCUL BFI.....	99
IV.2.1 Manipulations.....	99
IV.3 METHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DE L'IEB.....	100
IV.3.1 Données disponibles.....	101
IV.3.2 Ressources en eau en période d'étiage.....	103
IV.3.3 Séparation de l'hydrogramme d'écoulement	104
IV.4 VARIATION DES DEBITS DE BASE.....	112
IV.5 RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	114
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	117
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines.....	23
Tableau 2 : Précipitations mensuelles moyennes et nombre de jours de pluie.....	54
Tableau 3 : Températures mensuelles moyennes (°C).....	54
Tableau 4 : vitesse mensuelle moyenne (m/s).....	55
Tableau 5 : Caractéristiques des points de mesure.....	57
Tableau 6 : Conservation des prélèvements.....	60
Tableau 7 : La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (O.M.S).....	80
Tableau 8 : Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station Rocher des Pigeons (Annexe).	
Tableau 9 : Suite du tableau 7 (Annexe).	
Tableau 10 : Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station de BARAKI (Annexe).	
Tableau 11 : Suite du tableau 9 (Annexe).	
Tableau 12 : Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station Rocher des Pigeons (Annexe).	
Tableau 13 : Suite du tableau 11 (Annexe).	
Tableau 14 : Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station de BARAKI (Annexe).	
Tableau 15 : Suite du tableau 13 (Annexe).	
Tableau 16 : Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station Rocher des Pigeons (Annexe).	
Tableau 17 : Suite de tableau 15 (Annexe).	
Tableau 18 : Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station de Tabainat (Annexe).	
Tableau 19 : Suite de tableau 17 (Annexe).	
Tableau 20 : Résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane et les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) pour l'année 2012.....	93
Tableau 21 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2012-2013.....	106
Tableau 22 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2011-2012.....	108
Tableau 23 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2010-2011.....	110
Tableau 24 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2009-2010.....	112
Tableau 25 : Volume d'eau écoulé annuel, de base et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons.....	113

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB).....	40
Figure 2 : Séparation de débit de base et de débit total dans l'hydrogramme annuel.....	41
Figure 3 : Localisation géographique de la région de Hammam Melouane.....	46
Figure 4 : Image satellitaire de la région de Hammam Melouane.....	47
Figure 5 : Topographie de la région de Hammam Melouane.....	48
Figure 6 : Carte des pentes de Hammam Melouane.....	49
Figure 7 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja.....	53
Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement.....	58
Figure 9 : Variation de la conductivité à 20 °C en fonction de la nature des sels et de leur concentration.....	62
Figure 10 : Courbe d'étalonnage du Sodium.....	64
Figure 11 : Courbe d'étalonnage du Potassium.....	65
Figure 12 : Courbe d'étalonnage du Calcium.....	65
Figure 13 : Courbe d'étalonnage des Chlorures.....	67
Figure 14 : Courbe d'étalonnage des Sulfates.....	68
Figure 15 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium.....	69
Figure 16 : Courbe d'étalonnage des Nitrites.....	70
Figure 17 : Courbe d'étalonnage des Nitrates.....	71
Figure 18 : Courbe d'étalonnage des Phosphates.....	73
Figure 19 : Variation de la concentration (mg/l) en matière solide pour l'année 2011.....	94
Figure 20 : Variation de la concentration (mg/l) en matière solide pour l'année 2012.....	95
Figure 22 à Figure 65 (Voire annexe)	
Figure 66 : Séparation de l'IEB des mois de janvier et de février 2013.....	101
Figure 67 : Stations hydrométriques du Bassin versant de l'oued El Harrach.....	102
Figure 68 : l'ancienne station de Rocher de Pigeon (1979-2001).....	103
Figure 69 : L'actuelle station de Rocher de Pigeon.....	103
Figure 70 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2012.....	105
Figure 71 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2012.....	107
Figure 72 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2011.....	109

Figure 73 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2010.....111

Figure 74 : Variation annuelle des IEB à la station Rocher des Pigeons.....114

Problématique

Problématique

Lorsque les quantités d'eau pompées sont excessives, le niveau des nappes phréatiques baisse et les puits s'assèchent. Le temps de restitution naturelle du niveau de la nappe est souvent très long. Les méthodes de réalimentation permettent de maintenir les nappes phréatiques à un niveau suffisant afin qu'elles puissent continuer à être exploitables dans des contextes d'utilisation intensive. Le principe est relativement simple : il s'agit de créer des bassins de ré infiltration ou des tranchées sur un sol ayant une perméabilité suffisante. La méthode peut être mise en œuvre à partir d'une retenue d'eau créée par un barrage ou par pompage dans un cours d'eau et transfert dans des bassins de ré infiltration. Ce processus est aussi utilisé pour purifier l'eau de façon naturelle ce qui permet son utilisation pour l'alimentation en eau potable.

En raison de son coût, cette technique a surtout été mise en œuvre dans les pays développés depuis une vingtaine d'années. Elle est largement utilisée aux Etats-Unis, mais commence à émerger en Europe. Ce sont surtout les grandes villes qui développent le plus ce mode de gestion (Berlin, Banlieue de Paris, Lyon, Dunkerque). Dans les pays méditerranéens, la réalimentation des nappes a pu parfois être prise en compte dans la conception d'une retenue d'eau de façon à limiter les pertes par évaporation.

En Algérie, cette technique reste limitée à cause du manque et de la pollution des ressources en eaux superficielles ainsi que l'instabilité des niveaux des eaux des oueds.

Introduction générale

Introduction générale

La forte croissance démographique et l'urbanisation ont engendré une concentration importante de la population aux alentours de la capitale et par conséquent des besoins importants en eau potable. La restructuration de l'agriculture a permis un redéploiement de l'activité agricole et a donné lieu à une augmentation des besoins en eaux d'irrigation. Enfin, la libération de l'activité commerciale a permis un développement important de la petite et moyenne industrie engendrant un besoin important en eau industrielle, dont les grands consommateurs sont les unités transformatrices de produits agricoles.

Tous ces besoins en eaux en évolution grandissante conjuguée à un phénomène de sécheresse qui s'est déclaré durant une trentaine d'années consécutives, a fait empirer les problèmes d'approvisionnements de la population, des agriculteurs et des unités industrielles.

L'alimentation artificielle constitue un outil largement utilisé pour accroître les ressources en eaux souterraines. Le projet de Hammam Melouane vise à résoudre la problématique de la baisse du niveau d'eau.

Pour pouvoir réaliser cette technique, une étude qualitative et quantitative des eaux de l'oued concerné s'avère essentielle.

Les paramètres caractéristiques des bassins d'infiltrations ne seront pas pris en considération dans ce travail. Ils le seront dans l'établissement des bilans et scénarios dans le futur travail.

A travers ce travail, je me suis initié à la recherche bibliographique dans ce domaine, en plus des techniques d'analyses de l'eau ainsi que l'évaluation des composantes de l'écoulement superficiel.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à la recherche bibliographique en définissant et en développant les différents termes de notre thème de recherche intitulé : suivi qualitatif et quantitatif des eaux de l'Oued El Harrach à Hammam Melouane en vue d'une alimentation artificielle de la nappe.

I.2 LES EAUX NATURELLES

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surfaces retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.¹

I.2.1 LES EAUX SOUTERRAINES

I.2.1.1 Origines

Une nappe peut être libre. Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

Une nappe peut être captive. Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde.

Un cas plus particulier est représenté par les nappes alluviales : ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

Le stockage et la circulation de l'eau de nappe peuvent se situer dans la totalité de la couche géologique considérée ; c'est le cas des terrains poreux tels que sable, grès, alluvions. Ils peuvent s'établir dans des fissures ou fractures de roches compactes. Les roches compactes à fissures étroites sont représentées par la plupart des roches éruptives ou métamorphiques. Ces roches ne sont pas intrinsèquement perméables. L'eau pénètre les roches et y circule grâce aux fissures localisées et dispersées.

¹ Monod, Jérôme. Mémento technique de l'eau. 9ème Edition. France : Rueil-Malmaison : Degrémont, 1989. pp. 21.

Les roches compactes à fissures larges ou à cavernes sont typiquement représentées par les terrains calcaires ; les fissures originelles sont progressivement élargies par dissolution dans l'eau chargée de gaz carbonique qui y circule ; on aboutit à des cavernes importantes avec parfois formation des vrais cours d'eau souterrains ; c'est le relief karstique. On peut aussi trouver rarement des marnes et exceptionnellement du grès.²

I.2.1.2 Caractéristiques générales

La nature géologique du terrain à une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule ; il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées. Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques.

Le tableau II.1 donne les caractéristiques des eaux souterraines selon les principaux paramètres analytiques.

Parmi les caractéristiques de ces eaux, il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, l'absence presque générale d'oxygène. Dans le cas des nappes en milieu fermé, principalement en circulation de type karstique, on peut cependant relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de pollution diverses. Ces variations sont liées à celles du débit de la nappe engendrées par les précipitations. En outre, les eaux souterraines sont souvent d'une grande pureté bactériologique.³

I.2.1.3 Potabilité

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes "d'eaux propres" et répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles.

Une nappe libre, étant alimentée par toute la surface du sol située au-dessus d'elle, est plus sensible qu'une nappe captive. Les nappes alluviales sont aussi menacées sur toute leur surface et par l'ensemble des affluents de la rivière.

² Ibid. pp. 22.

³ Ibid. pp. 22.

Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également fixés et adsorbés sur les roches et minéraux du sous-sol.

Les eaux souterraines peuvent aussi contenir des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité. Ceci est dû à la composition du terrain de stockage. On peut citer Fe, Mn, H₂S, F ...⁴

I.2.2 LES EAUX DE SURFACE

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

I.2.2.1 Origine

Elles sont pour origines, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenus, barrage) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable.⁵

I.2.2.2 Caractéristiques générales

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissout (oxygène, azote, gaz carbonique). Le tableau 1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines. Il faut noter :

- présence quasi-générale de gaz dissous, en particulier l'oxygène.
- concentration importante en matière 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 barrage,

⁴ Ibid. pp. 22-23.

⁵ Ibid. pp. 23.

le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale.

- 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...).
- présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...).
- variation journalière (différence de température, d'ensoleillement), la lumière : 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.
- pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux.⁶

I.2.2.3 Qualité des eaux de surface

Les eaux de surface sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions :

- d'origine urbaine : les rejets provenant de la collecte des ERU (métabolisme de l'homme, confort domestique), après leur traitement en station d'épuration ou le rejet direct dans le milieu naturel (rivière, oued...).
- d'origine industrielle : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganique (métaux lourds, produits toxiques).
- d'origine agricole : engrais entraînés par les eaux de pluies et le ruissellement.⁷

⁶ Ibid. pp. 25.

⁷ Ibid. pp. 25.

Tableau 1 : Différentes caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines.

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues,...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques par exemple)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
CO ₂ agressif	Généralement absents	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps
H ₂ S	Généralement absents	Souvent présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluant minéraux et organiques	Présent dans les eaux de pays développés, mais susceptible de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries (dont certains pathogène, virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquentes
Solvants chlorés	Rarement présents	Souvent présent
Caractère eutrophie	Fréquent, accentué par les températures élevées	non

Source : Mémento technique de l'eau. pp. 24.

I.2 POLLUTION DES MILIEUX AQUATIQUES

Le terme « pollution » désigne toute modification défavorable du milieu naturel, qui paraît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités réactives du milieu.⁸

La pollution est la dégradation d'un écosystème par la diffusion, comme sous-produit involontaire d'une activité humaine, d'agents matériels, les polluants, qui rendent ce milieu malsain, dangereux ou qui dégradent les conditions de vie.

Elle peut être définie également, comme la surexploitation des capacités d'autoépuration du milieu naturel. En effet, pendant longtemps, les eaux souterraines étaient pures car le passage dans les roches poreuses joue un rôle de filtre et elles s'auto nettoient grâce aux bactéries aérobies et anaérobies. Mais, depuis quelques années, ces nappes sont touchées par la pollution car les bactéries ne parviennent plus à l'enrayer assez rapidement. Dans le cas des fleuves, des rivières et des cours d'eau, si la source polluante est maîtrisée, l'eau en mouvement se renouvelle et peut donc se nettoyer. La pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération.⁹

I.2.1 Pollution organique

Cette forme de pollution constitue la fraction la plus importante. En effet, elle résulte de l'introduction dans le milieu de substances organiques provenant de diverses activités : industrielles (hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et domestiques (phosphates, matières fermentescibles).

La pollution organique de l'eau provenant des eaux domestiques et des industries agroalimentaires provoque une surconsommation de l'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique et peut entraîner par conséquent la mort de la vie aquatique.

Les composés azotés contribuent à la pollution organique, suite à la dégradation de l'urée, et des acides aminés, ce sont d'abord les formes ammoniacales qui dominent en milieu désoxygéné ; la fraction d'ammoniaque non dissociée (NH₄) est toxique pour le poisson. Lorsque les eaux

⁸ Ramade, François. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. pp 651.

⁹ Gaujous, Didier. La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2^{ème} Edition. Paris : Lavoisier, 1995. pp. 53.

sont réoxygénées, l'ammoniaque se transforme en nitrates, avec un stade intermédiaire les nitrites (eux-mêmes toxiques)¹⁰.

Les formes d'azotes (azote organique, ammoniaque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates très solubles, par un processus d'oxydation biologique. La migration des nitrates est nettement plus rapide sur les surfaces cultivables laissées à nues pendant l'hiver.

Ainsi, les rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries (engrais azotés) peuvent aussi concourir à l'enrichissement des eaux en nitrates. La présence d'ammonium dans les eaux résulte d'une contamination liée aux rejets d'effluents domestiques et industriels ou d'un phénomène de réduction naturelle des nitrates en nitrites, qui dans le cycle de l'azote s'insèrent très rapidement en occupant un niveau intermédiaire, et sont très peu stables et par conséquent très peu présents dans les eaux sauf en cas de pollution proche : les nitrites sont donc des bons indices de contamination organique¹¹.

Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphatés isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés ou sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. Ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans l'eau est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage ou par infiltration causant par la suite une dystrophisation avancée. Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération des phénomènes d'eutrophisation (facteur limitant) dans les lacs et les rivières¹².

I.2.2 Pollution chimique

Ce type de pollution des eaux de surface résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds, etc.). La pollution chimique des eaux peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle peut être due à :

- l'insuffisance de certaines stations d'épuration.
- l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones.
- le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies.
- le rejet d'effluents par les industries.

10 Rodolph, P. Le grand livre de l'eau. Paris : Cité des sciences, 1990. pp 163.

11 Dobbs, A ; Zabel T. Water quality control in Rivers. 1994. Vol. II, pp. 326

12 Gaujous, Didier. La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2ème Edition. Paris : Lavoisier, pp. 57.

Cette forme de pollution issue de substances chimiques telles que les insecticides ou les désherbants provoque la destruction de la qualité des eaux de surface (cours d'eau, lacs...) et celle des eaux souterraines.

I.2.3 Conséquences de la pollution des milieux aquatiques

La pollution des écosystèmes aquatiques provoque une multitude de conséquences tant au niveau des diverses biocénoses qu'au niveau de leurs habitats.

La pollution de l'eau, quelle que soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,...) peut avoir des conséquences désastreuses, en se traduisant par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques¹³. En effet, les microorganismes aérobies engendrent une autoépuration des eaux qui se traduit par un épuisement de l'oxygène présent dans l'eau, lequel est indispensable pour la faune aquatique. Cette régression du taux d'oxygène conduit à une asphyxie chez les espèces animales aquatiques, ainsi qu'à la disparition de la faune des eaux propres en aval d'un émissaire d'égout¹⁴.

Ainsi, l'accumulation des agents polluants dans un cours d'eau, affecte progressivement son équilibre dynamique naturel et conduit à sa pollution, essentiellement si l'agent polluant n'est pas ou peu biodégradable ; le processus d'autoépuration est alors inopérant, les substances s'accumulent dans l'écosystème, intoxiquant les espèces vivantes qui les intègrent.

Les activités de production agricole sont susceptibles d'affecter la qualité des eaux de diverses façons : par lessivage de nitrates, phosphates, pesticides, herbicides etc., contenus en quantité excessive dans les sols ou par contamination microbiologique. Or, l'enrichissement des eaux superficielles en nitrates et phosphates est à même d'entraîner une multiplication excessive de végétaux aquatiques et de déclencher un phénomène d'eutrophisation de cours d'eau, de lacs ou d'étangs¹⁵.

La pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provoque dans certaines étendues d'eau comme les lacs un phénomène de dystrophisation qui résulte du rejet de matières organiques fermentescibles dans les eaux ou de leur enrichissement par les minéraux nutritifs - nitrates et

¹³ Ramade, François. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. pp. 655.

¹⁴ Nollet, P. Problèmes d'environnement : Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Paris : Lavoisier : 1996. pp. 104.

¹⁵ Rainey, M. [Et. al.]. Mapping inertial estuarine sediment grain size distributions through airborne remote sensing. pp. 484

phosphates - provenant de l'agriculture et des effluents domestiques rejetés. Comme le renouvellement des eaux lacustres est évidemment beaucoup plus lent que celui d'un cours d'eau, ces éléments nutritifs libérés directement ou par l'intermédiaire de la dégradation de matières organiques vont provoquer une prolifération du phytoplancton et des plantes aquatiques, qui va elle-même engendrer un véritable bouleversement des conditions écologiques du lac. Ainsi, la mort de ces masses proliférantes provoquera une désoxygénation progressive, mais permanente des eaux profondes avec pour conséquence la disparition des espèces de poissons nobles. Peu à peu, le fond du lac va être le siège de crises de dystrophie avec dégagement de gaz putrides (H_2S , NH_3) et d'odeurs nauséabondes.

L'eau constitue le solvant dans lequel plusieurs substances chimiques minérales ou organiques peuvent se dissoudre. Elle est capable de mettre en suspension les matières solubles et les déchets solides. Cette mise en suspension de la matière provoque une diminution de la transparence de l'eau et donc de la photosynthèse et de l'oxygénation¹⁶.

I.2.4 Pollution des milieux aquatiques par les éléments traces métalliques

L'eau a depuis longtemps été l'exutoire qui permettait d'évacuer plusieurs types de déchets, entre autres, les métaux lourds ou appelés dernièrement les éléments traces métalliques (ETM).

Dans les écosystèmes aquatiques naturels, les métaux se trouvent à de faibles concentrations, généralement de l'ordre du nanogramme ou du microgramme par litre. Cependant, ces derniers temps, la présence de métaux lourds contaminants, et spécialement des ETM à des concentrations supérieures aux charges naturelles, est devenue un problème de plus en plus préoccupant. Il faut en imputer la rapide croissance démographique, une urbanisation accrue, l'expansion des activités industrielles, de la prospection et de l'exploitation des ressources naturelles, l'extension de l'irrigation et la propagation d'autres pratiques agricoles modernes, ainsi que l'absence de réglementations concernant l'environnement.

I.2.4.1 Définition générale des éléments traces métalliques et leurs caractéristiques physicochimiques

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie, l'orfèvrerie.... On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques

¹⁶ Nollet, P. Problèmes d'environnement : Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Paris : Lavoisier : 1996. pp. 109

naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm³¹⁷.

Les éléments traces sont les 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0.1 %¹⁸. Certains des éléments traces sont des métaux (ETM) (Cd, Cr, Zn, Cu, Pb...), présents en très faibles quantités dans le sol, l'eau, l'air et les êtres vivants. C'est pour cela qu'on les qualifie parfois de métaux à l'état de traces ou d'oligo-éléments. Certains de ces éléments métalliques sont essentiels à l'homme en quantité infime, notamment le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc, le cobalt, l'iode, le molybdène, le sélénium, le chrome et l'étain. Cependant, tous sont toxiques et quelques-uns sont même cancérigènes à hautes concentrations.

A la différence des substances organiques dont l'état chimique est bien défini, les métaux comme tous les éléments présentent un polymorphisme chimique dépendant à la fois de leur forme et du composé minéral ou organique dans lequel ils sont incorporés¹⁹. Certains des éléments en trace font partie des éléments toxiques qui passent des champs vers les eaux des écosystèmes. On les retrouve principalement dans les eaux usées industrielles et municipales (Cd, Cu, Pb, Zn), les précipitations atmosphériques, et les eaux provenant de l'activité agricole (Hg, Cu, Pb).

Le cadmium : est un élément trace qui peut devenir toxique pour la vie aquatique, quand sa concentration dépasse un certain seuil. Il est naturellement présent à de très faibles concentrations dans les écosystèmes aquatiques. Les principaux minerais cadmifères sont les sulfures de zinc, la sphalérite et la wartzite, dans lesquels le cadmium constitue une impureté. Il est extrait essentiellement du minerai de carbonate du zinc. Son numéro atomique est 48 et sa masse atomique est de 112.4 g/mole. Il est ductile (capacité à l'étirement), malléable (capacité à la mise en forme) et résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux. Il est très mobile dans l'eau et dans le sol. Il représente un élément métallique très toxique sous toutes ses formes (solide, vapeur, sels, composés organiques). Le cadmium risquerait soit de passer dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des végétaux, soit de migrer en profondeur pour aller contaminer les nappes phréatiques.

¹⁷ SENAT. La pollution de la Méditerranée: état et perspectives à l'horizon 2030. Rapport N°652 par Roland Courteau. 2009. Sur WWW.Senat.fr/rap/r10-652/html consulté le 16/07/2014.

¹⁸ Baize, M. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Ed.Inra. Versailles. France, 1997. pp. 212.

¹⁹ Ramade, François. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. pp. 845.

Le chrome : est un élément chimique de symbole Cr et de numéro atomique 24, son poids atomique relatif est de 52. Son étymologie vient du grec « Chroma » qui signifie couleur d'où les composés dérivés de cet élément sont diversement colorés²⁰. C'est un métal gris lustré qui résiste extrêmement bien aux agents corrodants ordinaires. Sa teneur dans la croûte terrestre est d'environ 100 ppm²¹. Presque tout le Cr trouvé dans les roches formant la croûte terrestre est trivalent bien que le chrome puisse prendre neuf états d'oxydation différents, de (- II) à (VI). Le Cr est extrait essentiellement de la chromite, minéral qui contient entre 40 à 60 % d'oxyde de chrome. La présence du chrome dans l'environnement peut avoir une origine naturelle (altération des roches, précipitations, retombées atmosphériques..) ou une origine anthropique (mise en décharge, rejets pétroliers, tanneries...) ²².

Le cuivre : est présent dans la nature dans un large éventail de gisements de minéral. Il entre dans la fabrication des tissus, des peintures marines, des conducteurs et fils électriques, des appareils et tuyaux de plomberie, des pièces de monnaie et des ustensiles de cuisine. Il peut être présent dans l'eau à partir du contact avec des minéraux porteurs de cuivre ou de déchets minéraux provenant de la production de cuivre²³. Il peut se concentrer dans les eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1mg/l et ses principales sources anthropiques sont les industries, les traitements agricoles et la corrosion des tuyauteries (0,5 à 1 mg/l)²⁴. Quand le cuivre se trouve dans le sol, il se lie fortement aux matières organiques et aux animaux. Par conséquent, il ne voyage pas très loin et il ne pénètre presque jamais dans les eaux souterraines. Dans les eaux de surface, le cuivre peut parcourir de longue distance, que ce soit suspendue sur des particules de boue ou comme ion libre.

Le plomb : est un élément métallique de nombre atomique 82 et de masse atomique 207.2 g/mole. Sa valence est de (+2) et (+4). Est un métal bleuâtre, blanchissant lentement en s'oxydant, malléable et très ductile. Il est présent sous diverses formes dans tous les compartiments environnementaux (hydrosphère, stratosphère, biosphère, atmosphère mais surtout dans la croûte terrestre et le sol où il représente 0.002%). Il se présente sous forme de composés organiques (plomb tétraméthyle et plomb tétraéthyle) et inorganiques (sels de plomb). Il est sensible à la fatigue

²⁰ Encyclopédie Universalis, 2005. pp. 158.

²¹ Ramade, François. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. 851 p.

²² INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Chrome et ses dérivés. 2005.

²³ Kemmer, F. Manuel de l'eau : Technique et documentation. Paris : Lavoisier, 1984. pp.241.

²⁴ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduelles. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 154.

thermique et possède une faible conductivité électrique. En milieu aqueux, le plomb forme des ions complexes avec les anions organiques (PbOH^+ , PbNO_3^+ , ...). Il donne des alliages avec de nombreux métaux, en particulier avec l'étain, le bismuth, le cadmium, l'antimoine, le fer, le cuivre et l'argent.

Le zinc : de numéro atomique 30 et de masse atomique 65.409 g/mole, est un métal de couleur bleu gris. Son état d'oxydation le plus commun est +II (appelé ion zincique). Il provient des mines, de l'industrie métallurgiques ou d'opérations de traitement des métaux. Il peut réagir avec les éléments ambiants : humidité, oxygène, dioxyde de carbone, etc., pour former une patine. Cette patine se traduit par une diminution progressive de l'éclat métallique de la surface. La couche formée, insoluble, adhérente et protectrice, a comme constituant principal du carbonate basique de zinc. Le degré d'oxydation du zinc est 2, et il peut être monovalent dans des conditions anaérobies. Le Zn^{2+} domine à un pH acide et il commence à s'hydrolyser à pH 7.6-7.5 en formant l'hydroxyde de zinc ($\text{Zn}(\text{OH})_2$). Le zinc divalent peut s'adsorber sur les suspensions minérales et se complexer ainsi avec les matières organiques²⁵.

I.3 Etude des débits d'étiage

Les débits extrêmes, qu'ils soient des inondations ou des étiages, ont des conséquences très néfastes sur les populations. Bien que les domaines d'études liés à ces types d'événements soient nombreux, cette recherche est limitée aux débits minimums.

Le débit d'étiage d'un cours d'eau est la diminution du débit jusqu'à des valeurs très basses, caractérisant ainsi le régime d'écoulement pendant la saison sèche où l'alimentation est garantie seulement par la vidange des nappes souterraines suite à un manque de précipitations. La persistance de ce phénomène et l'accentuation de son impact socio-économique et écologique peut induire de lourdes pertes aux différents secteurs d'utilisations et de consommations.

L'étude des phénomènes d'étiage nécessite l'utilisation de plusieurs techniques d'analyses statistiques, mathématiques et même géographiques afin de caractériser adéquatement les données hydrologiques recueillies périodiquement dans les régions d'intérêt. Ces méthodes sont aussi requises afin d'estimer la récurrence d'événements extrêmes et d'identifier les variables hydrologiques ou physiographiques significatives.

²⁵ Kemmer, F. Manuel de l'eau : Technique et documentation. Paris : Lavoisier, 1984. pp.246.

Ces techniques ont fait l'objet de plusieurs études de comparaison et de mesure d'efficacité. Dans un premier temps, les types de débits d'étiage sont définis, car la sélection du débit à étudier constitue une étape préliminaire à la régionalisation. Dans un deuxième temps on résume les méthodes de détermination des débits d'étiage.

I.3.1 Classification des débits d'étiage

La complexité des méthodes de détermination des débits d'étiage dépend des objectifs de protection demandés. Roy (2000) propose de classer les approches en trois grandes catégories : les méthodes d'habitat préférentiel, les méthodes hydrauliques et hydrologiques.

Les analyses d'habitat préférentiel sont les méthodes les plus complexes de détermination du débit réservé. En plus de considérer des paramètres hydrauliques et hydrologiques, elles comprennent des variables biologiques reliées aux espèces étudiées. Ces méthodes nécessitent une grande quantité de données de terrain. Les méthodes hydrauliques sont plus simples et requièrent moins de relevés des sites. Ces techniques établissent une relation directe entre les caractéristiques hydrauliques d'un cours d'eau, comme l'aire et le périmètre mouillé et l'habitat des poissons. Leur inconvénient est qu'elles ne peuvent établir un lien entre les niveaux de débits et la convenabilité des habitats ou les cycles de vie de différentes espèces de poissons. Enfin, les méthodes hydrologiques sont basées sur l'analyse de séries de débits. Ces méthodes sont les plus utilisées, car elles sont simples, faciles à mettre en application et ne nécessitent pas de relevés de terrain. Ces méthodologies sont donc moins coûteuses à développer et à mettre en application²⁶.

Les méthodes permettant de quantifier les débits de base de l'écoulement total sont évidemment nombreuses. De l'expérimentation lourde à l'emploi de modèles de fonctionnement de bassin, sans oublier les techniques d'analyse statistique de tendance..., l'application de l'une ou l'autre méthode doit être clairement adaptée à l'impact étudié et aux données disponibles.

Par ailleurs, il existe d'autres méthodes d'estimation des débits d'étiage qui sont moins connues au Monde : la méthode de L'Utah, la New England Flow Method, la méthode de Hoppe et les méthodes européennes. La méthode de L'Utah a été conçue pour les rivières à salmonidés de L'Utah et nécessite des données historiques. Elle s'applique en divisant l'année en deux périodes, hivernale et estivale. Pour chaque période, le débit moyen journalier recommandé s'obtient par la moyenne des débits

²⁶ Roy, E. Méthode régionale d'estimation des débits d'étiage pour la province de Québec. Mémoire pour l'obtention du grade de Maîtrise des sciences. Université de Montréal. 2000. pp.32.

mensuels minimums pour chaque mois de la période considérée. La New England Flow Method préconise de laisser dans les rivières aménagées un débit minimum correspondant au débit mensuel du mois d'août, soit le débit réservé de base. Le mois d'août est choisi comme débit réservé de base parce qu'il correspond à la période de faible hydraulité dans la région de la Nouvelle-Angleterre. La méthode de Hoppe est une variante de la méthode Q_{90} où l'on utilise des rangs centiles différents selon le cycle de vie de l'habitat d'intérêt. Ainsi, un rang centile de 80% suffit à assurer des abris et de la nourriture aux poissons alors que 40% de rang centile est nécessaire pour la reproduction²⁷.

Les méthodes européennes sont fondées sur des corrélations mathématiques utilisant des valeurs de débits observés durant les périodes d'étiage. Souvent le débit d'étiage y est défini comme le débit journalier moyen dépassé pendant 355 jours par année (DCE355). Le débit réservé est calculé à partir de DCE355 selon une formule adaptée propre à la région ou l'organisme considéré²⁸

Finalement, en Algérie, signalons également quelques travaux qui se sont intéressés aux problèmes de sécheresses et l'étude des débits d'étiages, citons :

- ❖ Les études de SOGREAH Avril 1969 (Société Générale de la Recherche et Études des Aménagements Hydrauliques) sur des aires d'irrigation ont mis en évidence deux contraintes majeures liées :
 1. D'abord à l'estimation du degré de perméabilité, rapport entre l'écoulement de crue annuel moyen et écoulement de base annuel moyen, l'utilisation de la méthode de séparation des écoulements est sommaire et non justifiée.
 2. Ensuite à la méthode utilisée pour l'homogénéisation des séries d'écoulement à partir des séries pluviométriques non homogènes.

- ❖ Les travaux de KAABI en 1994 sur la régionalisation des étiages dans le Nord-Ouest de l'Algérie et leur prédétermination à l'aide de la formalisation d'une approche QdF (Débit-durée-fréquence) et par la recherche d'un modèle mathématique simple de synthèse exploitant ces mêmes QdF. Ce modèle permet l'estimation régionale des débits (quantiles) d'étiage pour des durées continues allant jusqu'à 30 jours et pour des périodes moyennes de retour de 4 à 20 années.

²⁷ Op. cit. pp.33.

²⁸ Op. cit. pp.34.

❖ REMAOUN en 2007 caractérise et mesure dans ses travaux « Étude des sécheresses et prédétermination des débits minimums probables » dans le bassin du Moyen Cheliff par le calcul des probabilités de basses eaux et l'étude des débits d'étiage comme suit :

- Les calculs de probabilités des basses eaux par la méthode de quantiles nécessitent la succession des opérations suivantes :

1) Classer les débits par ordre de grandeur décroissante.

2) Construire l'histogramme des débits classés.

3) Tracer à vue une courbe des débits classés.

4) Estimer d'après la courbe les débits $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$ fonction des probabilités de chaque un 5%, 50%, 90%.

5) Calculer les paramètres :

a) Calcul des caractéristiques d'asymétries S.

$$S = \frac{Q_{5\%} + 2Q_{50\%} + Q_{95\%}}{Q_{5\%} + Q_{95\%}} \quad (1)$$

b) Détermination de (Cs) l'excès et des valeurs ($\Phi_{5\%}$ - $\Phi_{95\%}$). $\Phi_{50\%}$ d'après les valeurs de l'asymétrie (S).

c) Calcul du coefficient de variation (Cv), de la moyenne (\bar{Q}) et de l'écart type (σ) selon les équations suivantes :

$$\bullet \quad \sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} \quad (2)$$

$$\bullet \quad \bar{Q} = Q_{50\%} - \sigma \cdot \Phi_{50\%} \quad (3)$$

$$\bullet \quad Cv = \frac{\sigma}{\bar{Q}} \quad (4)$$

d) Vérification de validité avec la formule suivante :

$$Cs \geq 2Cv \quad m = \frac{c_s}{c_v} \geq 2.$$

Si la condition est vérifiée, nous pouvons utiliser les tableaux proposés par SERNIT (1970). Pour le calcul de (Φ) et pour les différentes valeurs de probabilités de dépassement (%) de (0.1 ; 1 ; 5 ; 10; 20; 97 ; 98 ; 99.9).

e) Calcul des valeurs de débits de probabilités différentes (Q_p).

$$Q_p = K_p \cdot \bar{Q} \quad (5)$$

$$\text{Et } K_p = \Phi C_v + 1 \quad (6)$$

Q_p : est la valeur du débit de probabilité différente vu que nos cours d'eau sont à sec durant quelques mois de la période considérée, on choisira une nouvelle échelle de probabilité où l'on considérera uniquement la partie non sèche, afin qu'on puisse interpréter correctement les résultats.

- Le tarissement d'un cours d'eau est défini comme la décroissance régulière des débits des basses eaux en fonction du temps. Les courbes qui représentent cette croissance s'appellent des courbes de tarissement.

Il existe plusieurs lois pour décrire le phénomène de tarissement et la capacité d'emmagasiner. Afin d'avoir de bons résultats, il est recommandé de faire l'analyse non seulement de la courbe de tarissement mais aussi de la courbe de décrue pour la prévision des étiages.

➤ Les lois de tarissement

Du point de vue historique, MAILLET en 1902 annonça pour la première fois la loi expérimentale relative à la "prévision des débits minimaux des sources".

BOUSSINESQ reprend la même loi (1904) et poursuit ses recherches sur le tarissement des sources en se basant sur l'hypothèse selon laquelle l'écoulement en provenance d'une nappe libre se règle selon sa hauteur et la pente de sa surface. Naturellement cela est valable aussi pour l'écoulement laminaire.

L'expression proposée peut se mettre sous la forme simplifiée suivante :

$$Q = A \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (7)$$

Avec Q = débit de la source au temps (t).

A = coefficient

α = Coefficient de tarissement (T^{-1}).

t = temps.

Le coefficient de tarissement (α) est la fonction de la géométrie de la nappe et des caractéristiques du milieu.

En 1905, MAILLET propose une formule identique à (7).

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha (t-t_0)} \quad (8).$$

Cette formule est connue sous le nom de BOUSSINESQ - MAILLET.

Q = débit au temps (t).

Q_0 = débit au temps $t = 0$ (t_0).

α = Coefficient de tarissement (T^{-1}).

t = temps.

Pour ce qui est du tarissement des cours d'eau, les études relatives à la variation du débit des sources ont servi de base à celles du tarissement des cours d'eau.

a) la loi de tarissement en régime d'écoulement laminaire.

Le tarissement simple peut s'expliquer par la loi exponentielle simple de BOUSSINESQ et MAILLET.

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (9)$$

Ce concept de tarissement simple désigne tout tarissement de nappes ou de cours d'eau qui se déroule dans des conditions semblables à la décharge d'une nappe captive ou d'une nappe libre en régime non influencé.

La loi exponentielle simple est définie par deux paramètres pour les nappes libres profondes, le débit initial Q_0 est suivant la formule.

$$Q_0 = C \cdot \frac{II.K.D (H_0 - h_0)}{L} \quad (10)$$

Le coefficient de tarissement α , $\alpha = \frac{II^2.K.D}{4.m_e.L^2}$ (11)

Avec: C = constante positive.

H_0 et h_0 = charge de la nappe.

m_e = porosité efficace ou porosité non capillaire (correspond au volume des pores occupés par l'aire).

D = hauteur moyenne de la surface piézométrique au-dessus du substratum imperméable, et de la profondeur de nappe libre.

K = conductivité hydraulique.

L = largeur de la nappe.

b) la loi de tarissement en régime d'écoulement turbulent

Pour l'étude de la courbe de décrue il faut prendre en considération le tarissement à l'écoulement turbulent.

On suppose en accord avec l'opinion de plusieurs auteurs (SHOELLER 1965, MIATOVIC, 1972) et d'autres encore que dans la courbe de décrue, la dépendance exponentielle du débit, exprimée dans le temps par l'équation, $Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$ représente l'écoulement en régime laminaire seulement alors que l'équation $Q_t = Q_0 [1 - \beta(t-t_0)]$ représente les eaux en écoulement turbulent (linéaire) avec $\beta =$ coefficient de tarissement (écoulement turbulent).

c) les lois du tarissement composé.

On désigne par " tarissement composé" tout tarissement de source ou de cours d'eau qui ne peut être défini par la loi simple. Il existe plusieurs lois exponentielles doubles.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t^n} \quad (\text{HORTON, REITZ}) \quad (12)$$

La loi qui donne les résultats les plus proches de la réalité est la superposition des équations simples. C'est la superposition des tarissements en régime d'écoulement laminaire (exponentiel) avec des tarissements en régime d'écoulement turbulent (linéaire).

$$Q_1 = Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + \dots + Q_{0N} \cdot e^{-\alpha_N \cdot t} + Q_{0N+1} [1 - \beta_1 t] + \dots + Q_{0N+n} [1 - \beta_n t] \quad (13)$$

I.3.2 Prévision des étiages

Le problème de prévision des étiages d'un cours d'eau consiste à prévoir le débit minimal de ce cours d'eau à un endroit donné et à un instant donné. Les méthodes de prévision font appel à des informations intéressant une période généralement courte et récente. Nous avons vu dans la partie consacrée à l'étude de tarissement, qu'il est possible de prévoir les débits d'étiages survenant à un instant (t), connaissant le débit au temps (t_0) et la loi régissant le tarissement du cours d'eau intéressé, la méthode de prévision au moyen des courbes de tarissement (ou de décrue) peut se résumer comme suit :

- 1) Reporter la chronique des débits journaliers sur un diagramme semi-logarithmique.
- 2) Rechercher l'existence d'une courbe de tarissement caractéristique pour le bassin versant étudié.
- 3) Extrapoler cette courbe jusqu'au temps (t) intéressé par la prévision.

Il faut noter que cette méthode de prévision n'est valable qu'en période de tarissement (ou de décrue) pure, c'est à dire en absence de toute pluie susceptible de retarder le tarissement ou de le modifier par l'apparition de nouvelles pointes de crues. Il est possible de faire abstraction des pointes pouvant survenir sur l'hydrogramme de décrue et ne considérer que la courbe de tarissement pure tracée au-dessous de la courbe joignant les débits de basses eaux en coordonnées semi-logarithmiques.

Dans cette recherche, des données hydrologiques, soient les débits minimums, seront utilisées considérant le fait qu'une étude à l'échelle de la région devait être effectuée.

Les méthodes hydrologiques peuvent être adaptées pour des études de régionalisation en utilisant des analyses de régressions multiples qui permettent de déterminer un débit à un site non jaugé. Ce type d'approche est généralement nécessaire pour des études à grande échelle.

L'approche suggérée ici se veut simple, rapide et utilisable en routine. Il est donc proposé d'extraire et d'analyser l'information contenue dans le débit journalier (Q_J), et non pas d'étudier Q_J lui-même qui, par définition, est une valeur synthétique pouvant masquer des altérations sous-jacentes. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de disposer d'une procédure objective et rapide pour séparer les écoulements²⁹.

Le débit de base est souvent déterminé à l'aide d'un processus graphique ou mathématique connu sous le nom de séparation du débit de base. Ce processus fait appel à l'information de surveillance du débit comme entrant et divise le débit observé en composants variant rapidement et lentement, ruissellement de surface et débit de base, respectivement. Les données de débit moyen journalier qui sont utilisées dans ces analyses sont recueillies à la grandeur des deux bassins versants à l'aide de réseaux de débitmètres

Dans l'approche graphique, utilisée dans cette étude, les débits moyens journaliers sont utilisés pour déterminer les débits de base. On assume qu'entre deux événements pluvieux, le débit de base est équivalent au débit total. Pour cette étude, la méthode du minimum local appuyée sur la méthode proposée à l'origine par l'Institut d'Hydrologie du Royaume Uni (UKIH), a été utilisée.

Différentes mesures sont utilisées pour l'application de la séparation du débit de base aux valeurs du débit moyen journalier ; par exemple, l'indice de l'écoulement de base (IEB) est une mesure simple et physique de la contribution du débit de base au débit total dont l'usage est approprié par les études à

²⁹ Humbert, J ; Kaden, U. « Détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice de débit de base ». Revue de Géographie Alpine. 1994. N°2. pp.53.

l'échelle régionale. L'indice de l'écoulement de base est défini comme étant le rapport entre le débit de base et le débit total et varie de 0 à 1³⁰.

I.3.2.1 L'indice d'écoulement de base (IEB)

La technique de l'IEB est un procédé automatique de décomposition d'un hydrogramme de débits journaliers. Élaborée par l'Institut d'Hydrologie de Wallingford (Institute of Hydrology, 1980), d'après une idée de Lvovich (1982), elle est traditionnellement utilisée dans les études de régionalisation de l'écoulement³¹. L'IEB permet en effet de paramétrer l'influence des conditions géologiques d'un bassin sur l'écoulement de base. Il s'agit bien d'un indice qui ne prétend pas quantifier avec exactitude la vidange des nappes souterraines, telle qu'elle pourrait l'être avec des méthodes géochimiques ou isotopiques. L'intérêt de cet indice réside surtout dans son caractère automatisable et contrôlable (programme d'informatique), tout en étant capable de traiter très rapidement de longues séries de données.

L'indice permet également l'établissement d'un modèle, en le liant à des caractéristiques morphologiques, météorologiques et lithologiques, des bassins versants.

Un certain nombre d'études dans la littérature scientifique passée (Longobardi et al, 2008 ; Mwakalila et al, 2002; Haberlandt et al, 2001; Lacey et Grayson, 1998; Nathan et al, 1996; Ponce et Shetty, 1995; Vogel et Kroll, 1990) ont toutefois démontré que l'indice de débit de base est d'ailleurs lié à un certain nombre de paramètres topographiques et aux types de végétation et du sol.

Cet indice a été largement utilisé au Canada (Pillon and Conie, 1986) (Roy, 2000), (Green, 1986), au Zimbabwe (Meight, 1987), en Nouvelle Zélande (National Water and Soil Conservation Authority, 1984), en Norvège (Taliaksen, 1986), en Italie (Longobardi, 2008), en France (Humbert et Kaden 1994) et en Algérie, sur le bassin versant de la Mina (Meddi, 1992). Ces études ont montré l'utilité de cet indice dans l'étude des écoulements.

L'approche se fonde sur un algorithme de recherche automatique des points d'inflexion minimale d'un hydrogramme annuel de Q_j , doublé d'une procédure de lissage permettant d'évaluer de proche en proche la part respective de Q_B et de Q_C (voir définition de l'algorithme ci-dessous).

La démarche à suivre afin de calculer l'IEB est la suivante :

³⁰ Piggott, A ; Moin, S ; Southam, C.A revised approach to the UKIH method for the calculation of bas flow. Hydrological Sciences journal. Vol. 50. N°5. pp 911-920.

³¹ Gustard, A. et. al. Flow regimes from experimental and network data (FRIEND). Institute of hydrologie. Wallingford (UK). Vol 2. 1989.

- On regroupe les débits moyens journaliers en groupes de N jours non chevauchants, ensuite, on calcule le minimum de chaque groupe, en lui donnant le nom $(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n)$.
- Scrutation successive des groupes de valeurs minimums de débits moyens journalier tels que : $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots, (Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1})$. Dans chaque segment, si la valeur centrale d'un groupe $Q_n \times PVM$ ($PVM =$ pourcentage de validité des minima, fixé à 0,9) est inférieure aux valeurs qui les encadrent (bornes), alors la valeur de ce produit constitue le point de changement de la courbe d'écoulement de base (retenue comme étant un point pivot (Q_{Bi}) pour la courbe du débit de base). On continue cette procédure jusqu'à la fin des classes. On attribue, aux valeurs qui vérifient la condition précédente, les noms $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bi}$, dont elles ont des intervalles de temps différents.
- On effectue une interpolation linéaire entre les valeurs Q_{Bi} afin d'estimer les valeurs journalières de $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bn}$.
- Si $Q_{Bi} > Q_i$ alors : Q_{Bi} prend la valeur de Q_i .
- Calcul du V_a : volume de l'hydrogramme des débits moyens journaliers Q_n sur la période étudiée.
- Calcul de V_b : volume au-dessous de la courbe de l'écoulement de base entre le premier et le dernier point de changement d'allure de la courbe sur la période étudiée.
- Calcul de l'indice d'écoulement de base ($IEB = V_b/V_a$).

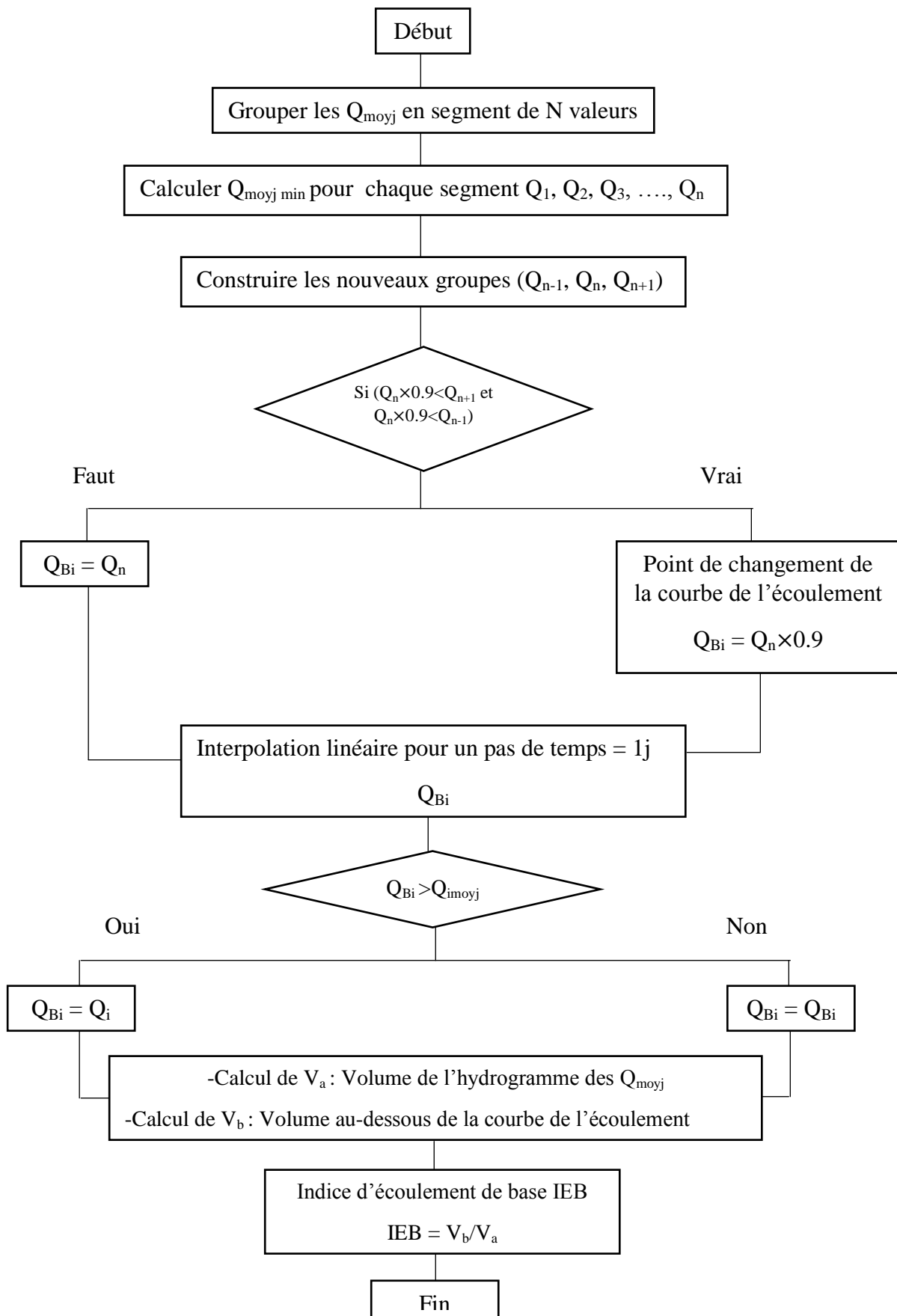


Figure 1 : Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB). (Source : Mémoire doctorat fait par M^r

M.MHIGUEN

Le débit de base ou le tarissement constituent une ressource hydraulique précieuse en période sèche (agriculture,...).

Afin de calculer le débit de base, nous avons utilisé la méthode citée plus haut. Cette méthode nous a permis de tracer la courbe d'écoulement de base. (fig. 2)

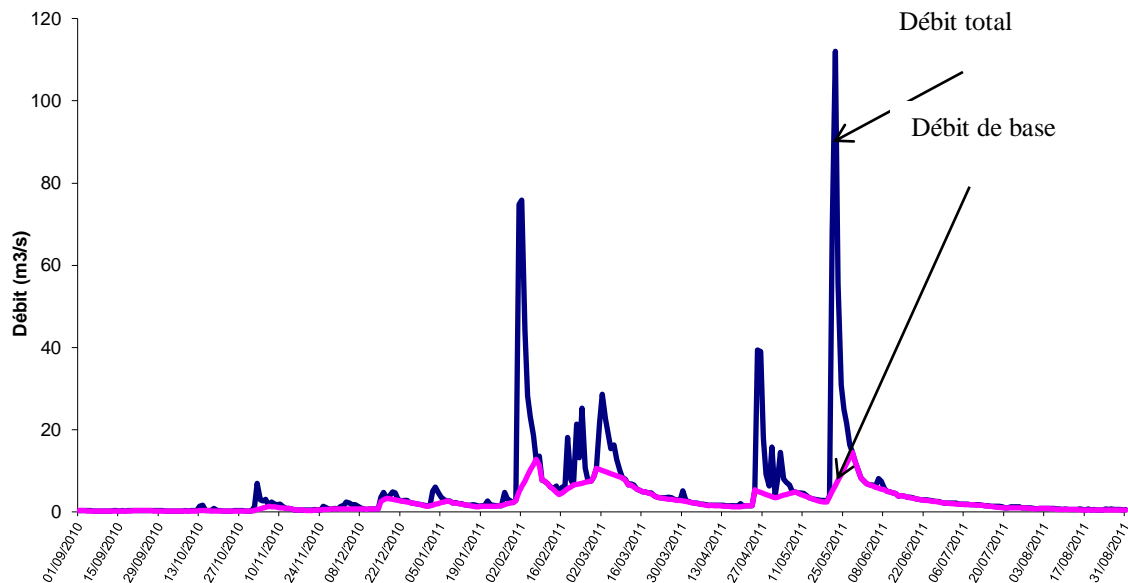


Figure 2 : Séparation de débit de base et de débit total dans l'hydrogramme annuel

I.3.2.2 Description de la méthode UKIH

Dans cette étude, l'hydrogramme de séparation modifiée est obtenu grâce à l'utilisation de la méthode proposée par l'institut d'Hydrologie de Royaume-Uni (UKIH), maintenant le centre d'Hydrologie et d'Écologie de Wallingford. Cette technique de filtrage empirique a été proposée comme la méthode la plus fiable pour la séparation d'hydrogramme dans un domaine du contexte similaire des paramètres climatiques et géologiques de la zone³². Cette méthode a été utilisée pour déterminer les interactions du climat avec les eaux souterraines³³.

La méthode d'UKIH est basée sur l'identification et l'interpolation des points de changement dans une série chronologique de mesure (débit moyen journalier). Les points de changement indiquent l'occurrence des jours où les débits observés sont supposés être entièrement débit de base. Pour

³² Longobardi, A ; Villani, P. Base flow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context : role of the catchment permeability index. Journal of hydrology. 2008. pp. 63-75

³³ Piggott, A ; Moin, S ; Southam, C.A revised approach to the UKIH method for the calculation of bas flow. Hydrological Sciences journal. Vol. 50. N°5. pp 911-920.

calculer les points de changement, les données de débits sont divisées en une séquence de cinq-jours et les segments des valeurs des débits minimum sont calculés à l'intérieur de chaque segment, étant x -te jour d'apparition de la valeur minimale et y correspond à la valeur du débit. De cette façon, un vecteur de couples (x_i, y_i) est indiqué comme le vecteur des points de changement. Chaque paire de vecteurs est ensuite comparée à des minimums des segments précédents et suivants et les points de changement sont définis lorsque la condition suivante est satisfaite :

$$f. y_i < \min (y_{i-1} ; y_{i+1})$$

Où y_i est la valeur minimale du débit moyen journalier dans un segment de 5 jours qui correspond au jour i . La valeur du facteur d'inflexion (f) serait peu sensible, ceci peut rester comme valeur par défaut de 0,9.

La méthode a été modifiée par Piggott et al. (2005), pour résoudre les deux aspects de la procédure initiale qui conduisent à des résultats moins optimaux : le calcul des valeurs de débit de base qui dépassent les valeurs de débit d'écoulement correspondantes et la dépendance des valeurs calculées sur l'origine de la segmentation de cinq jours des données d'entrée de débit. La mise en œuvre de la méthode modifiée UKIH résout cet aspect en limitant les valeurs calculées de débit de base : si la valeur de débit de base déterminée par interpolation est supérieure au débit observé correspondant, la valeur observée est utilisée à la place de la valeur interpolée³⁴.

I.3.2.3 Détermination du nombre de jours « N »

Le nombre de jours (N) se rapporte au nombre de jours là où un écoulement minimum est déterminé. C'est le raccordement de ces points minimums qui détermine l'écoulement de base. Pour déterminer le nombre de jours N , on rapporte sur un graphique les valeurs de l'indice de l'écoulement de base en ordonnées et le nombre de jours N en abscisse (N varie de 1 à 10).

Quand une valeur critique de N est atteinte, tout écoulement direct a été éliminé, et la baisse de l'écoulement de base devient moins prononcée et essentiellement linéaire avec l'augmentation de N . Ainsi, le point de changement de pente indique une valeur appropriée pour le N .

³⁴ Stolo, R. et al. HYSEP. A computer program for stream flow hydrograph separation and analysis. US Geol. Survey water resources investigation report 96-4040. 1998. pp. 24

I.3.2.4 Facteurs influençant le débit de base

Le débit de base est lié à la réponse hydrologique d'un bassin versant (forme de l'hydrogramme) dépend fortement de ses caractéristiques physiographiques. Le temps de concentration (temps maximal de parcours d'une goutte d'eau lors d'une averse pour parvenir par ruissellement à l'exutoire du bassin versant), qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une précipitation, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : la taille du bassin (sa superficie), sa forme et sa pente. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, de faibles débits de pointe, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire (temps de concentration) plus importants. A ces facteurs s'ajoutent encore l'influence des paramètres hydrométéorologiques qui varient en fonction de l'altitude (précipitations, température, vent, rayonnement solaire), du type de sol (propriétés d'infiltration et de rétention, perméabilité) et de son occupation.

Par ailleurs, les facteurs anthropiques tels que les prélèvements en eau, dans la nappe (pompage) ou dans le cours d'eau (irrigation), les ouvrages hydrauliques de régulation de débit (barrage) ou les rejets d'effluents dans les cours d'eau ont également une influence directe sur l'estimation des débits de base. De plus, toutes les méthodes de séparation d'hydrogrammes souffrent d'un manque de connaissance réelle de l'écoulement à travers le bassin versant sur une période incluant plusieurs événements pluvieux et des conditions d'humidité antécédente³⁵.

³⁵ Arnold, J .et al. Automated base flow separation and recession analysis techniques. Ground water. 1995. pp. 1010-1018.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II.1 INTRODUCTION

La présentation de la région d'étude est une étape essentielle dans l'élaboration d'un projet, elle comporte les données géographiques, géologiques et hydrologiques ainsi que climatiques.

Ces différentes données permettent une meilleure connaissance de site d'étude et du comportement de la zone d'étude.

II.2 PRESENTATION DE LA REGION DE HAMMAM MELOUANE

Hammam Melouane se situe à 400 mètres d'altitude au pied des Monts de l'Atlas à 30 km à l'est de Blida et à 43 km au Sud d'Alger. Elle s'étale sur une superficie de 151.93 km².

L'oued El Harrach prend sa source dans le massif blidéen (Atlas tellien). Il est alimenté par deux affluents : oued Lakhra (260 km²) et oued Magtaa (106 km²), coule en direction Nord-Est, dans la plaine de la Mitidja. Les venues hydrothermales de Hammam Melouane émergent au niveau de la rive droite d'Oued El Harrach (deux sources chaudes : 30-40 °C), ces sources thermales classées ferrugineuses, chlorurées-sodiques, très salines, hyperthermales (40°).

Elle comprend trois griffons (Mariée, Marabout, Milieu) dont le débit total est de 20 l/s. Ces eaux sont très chargées : 30 g/l pour la source de Marabout. Au voisinage des sources une grande faille met en contact le Miocène et le Crétacé. Le Trias gypso-salin, pincé dans la faille, est responsable de la forte minéralisation de cette eau.³⁶

L'oued El Harrach est soumis à de fortes perturbations d'origine anthropique. Les rejets urbains et industriels sont les principaux polluants. Dans sa partie amont, la pollution est essentiellement d'origine domestique et thermique (station thermique) ; alors que dans sa partie aval, elle est due à l'implantation de zone industrielle (oued Smar, Baraki, El Harrach) qui est accompagnée d'une atteinte des eaux de surface.

Enfin, le tourisme aidant, les estivants participent à la détérioration des écosystèmes limniques dans le secteur de Magtaa Lazreg.

³⁶ Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. Carte hydrogéologique de la région d'Alger Au 1/200 000. Alger. 1973. Pp. 6. 69 p.

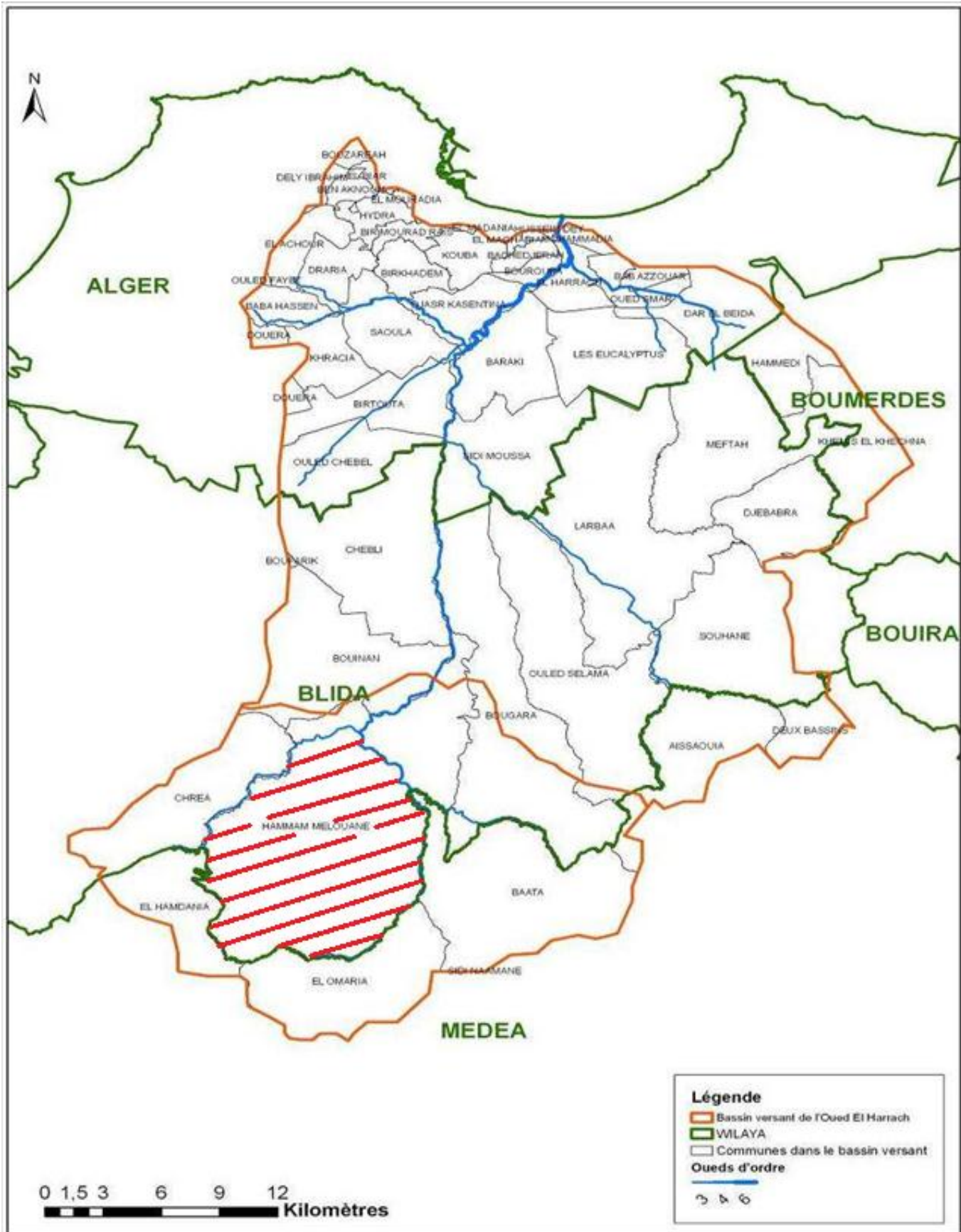


Figure 3 : Localisation géographique de la région de Hammam Melouane (source : ANRH Blida)

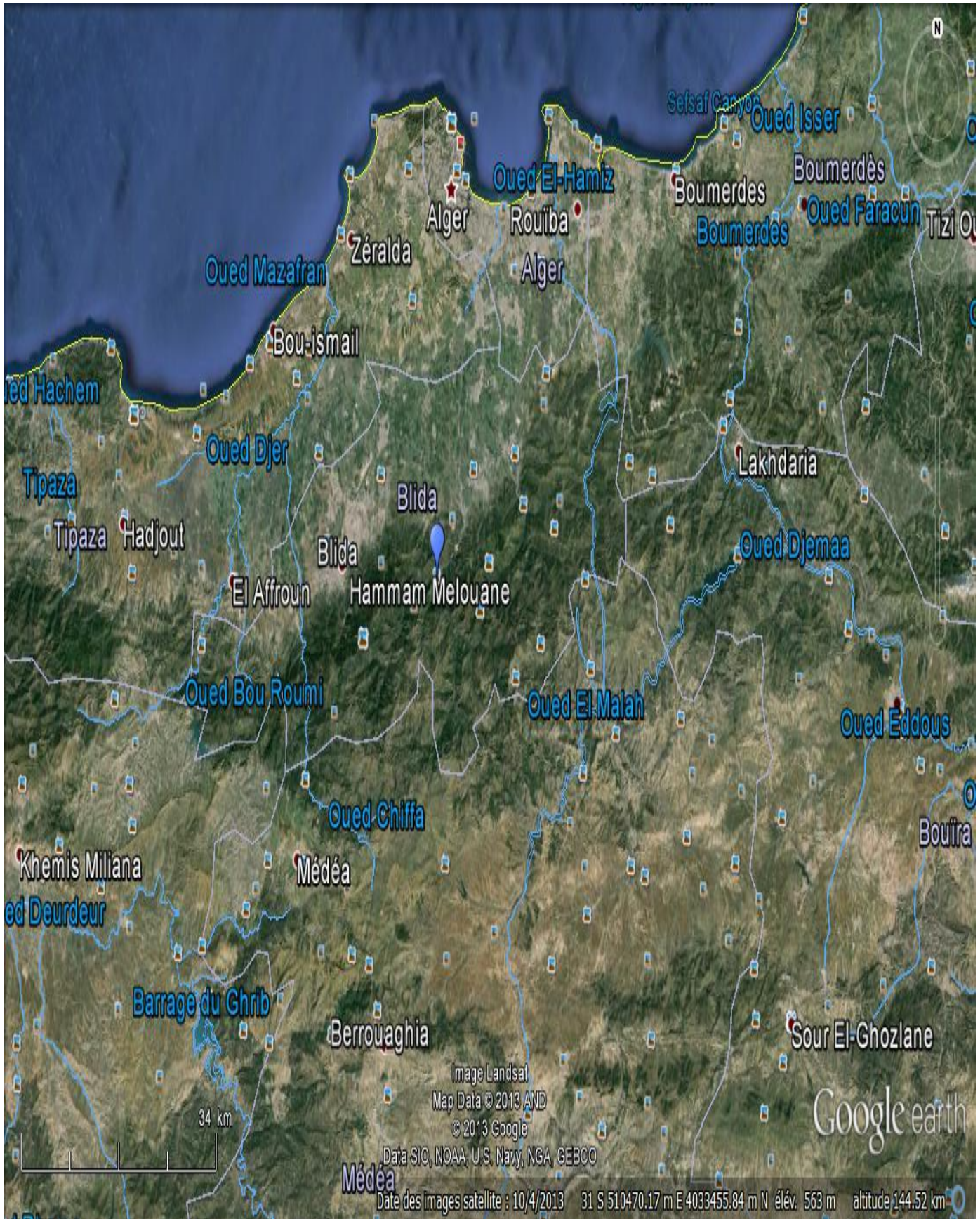


Figure 4 : Image satellitaire de la région de Hammam Melouane (source : Google earth)

II.3 GEOLOGIE

Le nord de l'Algérie est délimité par les éléments environnementaux comme suit :

- Région de sud : l'Atlas saharien est natif des alpes.
- Région de centre : plateau Meseta Oranaise à l'ouest, horst d'Ain Regada à l'est.
- Région de nord : l'atlas Tellien (région constitué de couches de post-miocène).

Les points les plus hauts du bassin versant sont : Kef Takhrina (1478 m), Harn Belek (1952 m), et Chréa (1526 m) au Sud-Ouest du bassin versant tandis que les points hauts se trouvent à l'embouchure de l'oued dans la Méditerranée.

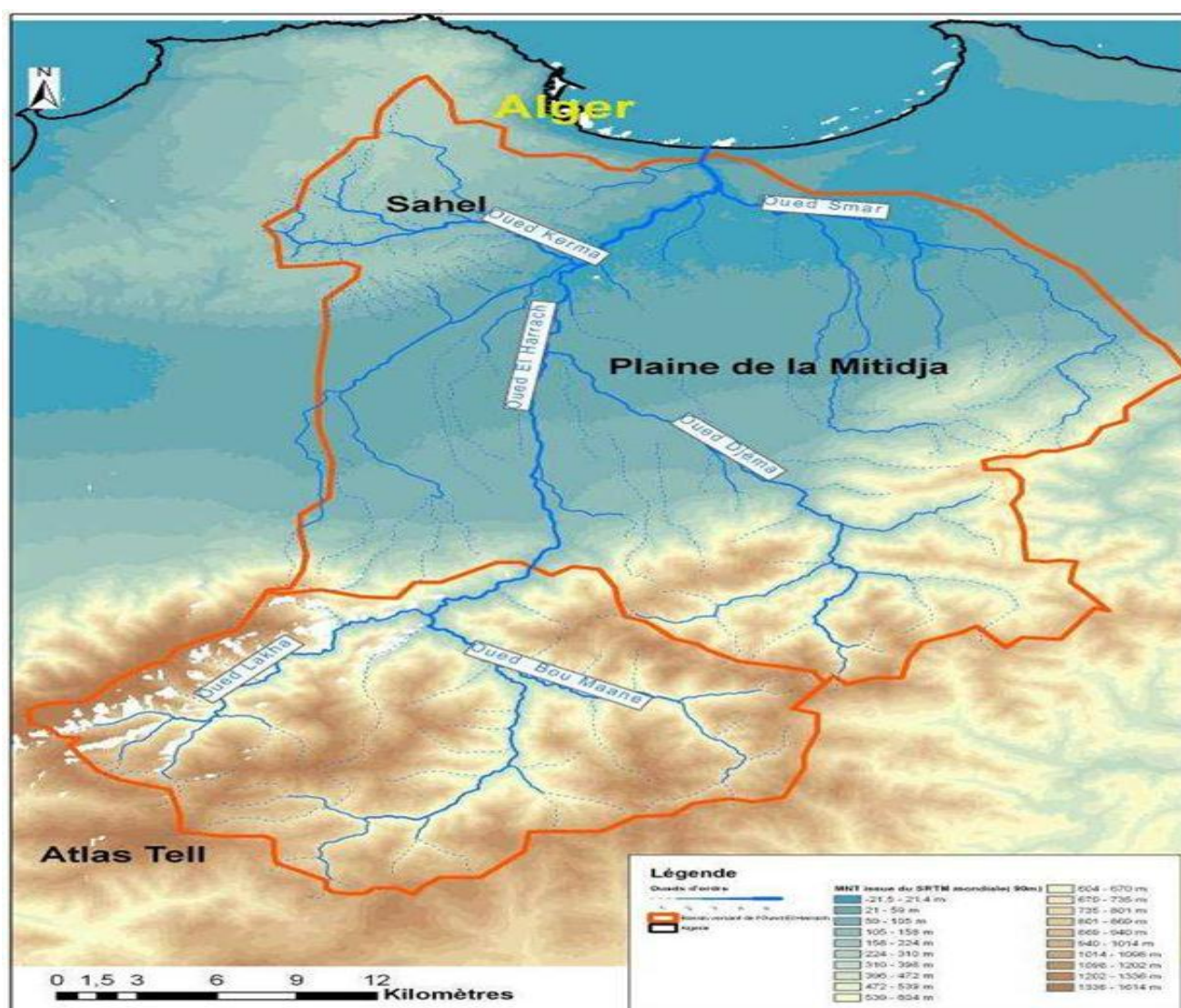


Figure 5 : Topographie de la région de Hammam Melouane (source : ANRH Blida)

Une analyse des pentes du bassin versant a été effectuée à partir de données existantes. Le résultat est présenté sur la figure I.4.

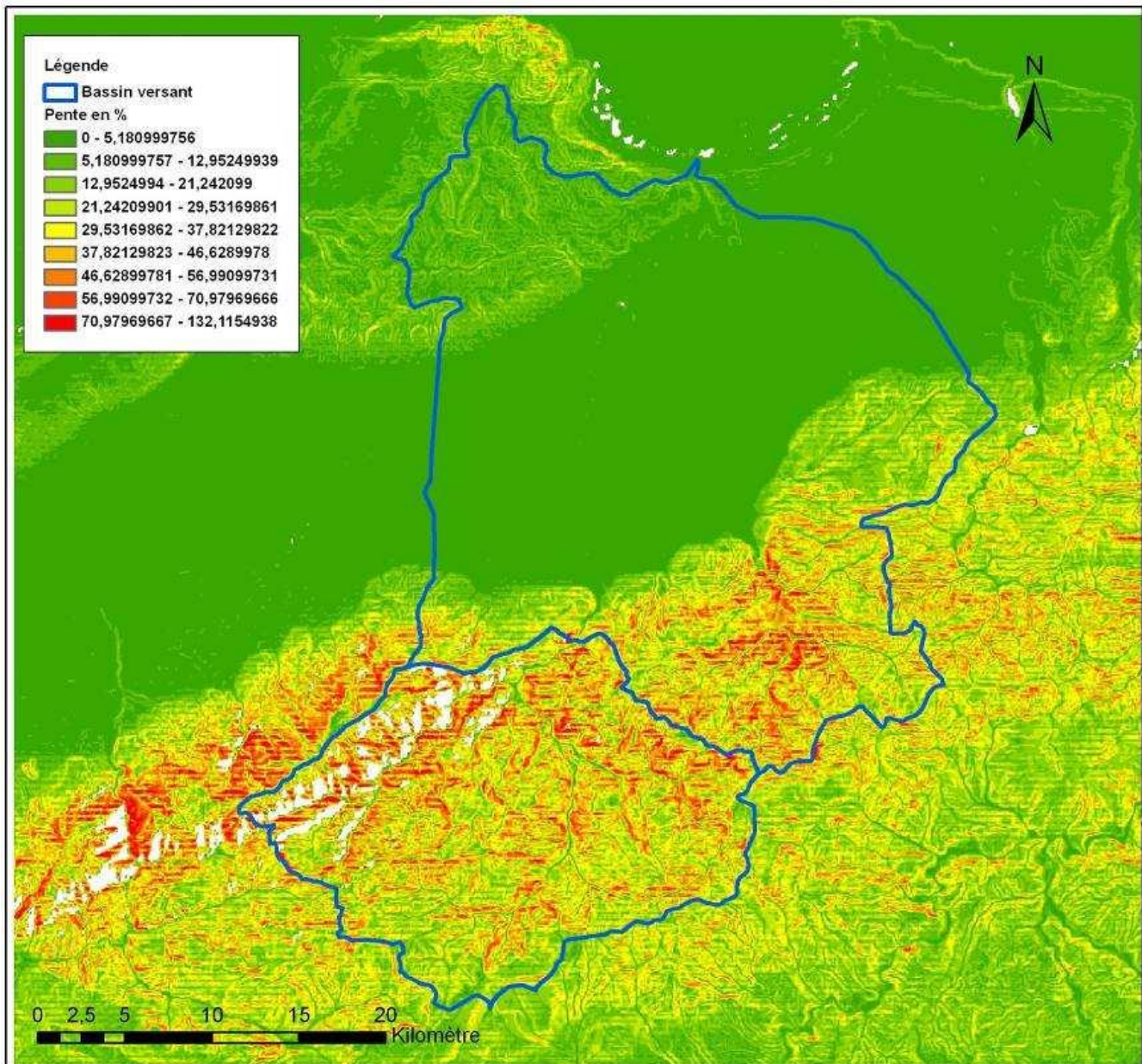


Figure 6 : Carte des pentes de Hammam Melouane (source : ANRH Blida)

La région de Hammam Melouane présente un relief accidenté à deux flancs : rive droite, à terrains marno-calcaires (zone d'émergence de sources thermales) ; rive gauche, à affleurement d'argiles mêlés de gravier, de poudingues (source froide).

Hammam Melouane situé au nord de la chaîne Tellienne. La plupart des couches représente essentiellement des formations Quaternaires et du Pliocène, constituées de sédiments, dépôts de sable

et graviers, toutefois, plus on s'approche du littoral (rives) plus on observe la marne (de la maison carrée), les grès calcaires et les conglomérats provenant de l'oued Ouchaiah.

P²q – P : dépôt pliocène : La Mitidja à cette époque était un lac marécageux où se déposaient des limons et des cailloutis torrentiels provenant de l'atlas ainsi que des collines du nord. Ces marnes et poudingues de Maison Carrée peuvent avoir 200m d'épaisseur et contiennent des empreintes de plantes, des coquilles lacustres et terrestres et des mollusques d'eau saumâtre, ainsi que des débris mammifères.

q₁ Horizon inférieur du pliocène : cela correspond aux terrasses s'étageant entre 15 et 30 m et qui sont assez larges sur les bords des vallées importantes.

a₂ Alluvions récentes ou modernes : elles forment les matériaux de comblement définitif des grandes plaines et les berges de la plupart des rivières ; les alluvions dominent dans leur constitution.

A Dépôts lacustres actuels : ils se situent dans quelques bassins fermés ou dépressions et dans le lit majeur des vallées, où ils sont entraînés par les crues.

II.4 LA MITIDJA

Riche plaine de 1 300 km² de superficie (100 km de long, 8 à 18 km de large) orientée WSW-ENE, son altitude moyenne est de 100 m. Une région de collines lui fait suite à l'Ouest de Hadjout (ex-Marengo). Au-delà, c'est la dépression allongée de Sidi Amar, constituant le sillon Post-Mitidjien de L. Glangeaud.

Elle est limitée au Nord par le bombement du Sahel de 260 m d'altitude, prolongé à l'est par le massif cristallin de la Bouzaréa (407 m) et à l'Ouest par le massif du Chenoua (905 m). Vers le sud, la plaine est brusquement interrompue par l'Atlas.

II.4.1 Les formations aquifères de la plaine de la Mitidja

L'Atlas et le Sahel sont des blocs positifs ascendants, même actuellement. Entre ces deux aires positives, la Mitidja est une zone d'affaissement permanent depuis le Miocène.

Le socle rigide compétant est cassé par un réseau de failles très redressées orientées suivant deux grandes directions qui se retrouvent à l'échelle de l'Atlas (E.W. et N.E-E.W.) le mioplio-quadernaire ancien joue le rôle de couverture souple.

Ces particularités tectoniques sont bien apparentes dans la morphologie :

- L'Atlas forme des reliefs escarpés et rajeunis, (1200 à 1600 m). Il est le siège d'une érosion active et ses oueds sont très encaissés.

- Le piémont de 100 à 150 m d'altitude se superpose à une zone en déséquilibre tectonique, entre le bloc ascendant et une aire de subsidence. L'agent moteur le plus puissant étant l'Atlas, il se transforme en reliefs par rapport à la plaine.

- La plaine (20 à 50 m d'altitude), est située sur l'axe subsident de direction N.E.-S.W. en constant affaissement. Les oueds sont à la recherche d'un niveau de base fuyant, difficilement rattrapé par un alluvionnement à caractère hydromorphe.

L'interférence des facteurs morphotectoniques et des agents morphoclimatiques du quadernaire dirige la nature et la répartition des formations de la plaine.

Pliocène marin (plaisancien – Astien), il constitue l'essentiel du long bourrelet du Sahel et une partie du remplissage de Mitidja.

Le Plaisancien est formé par une forte épaisseur de marnes grises ou bleuâtres parfois sableuse.

L'Astien débute par un niveau à glauconie et se poursuit par :

- De la molasse.
- Marnes jaunes.
- Faciès gréseux.
- Faciès calcaire ou calcaréo-gréseux.

Epaisseur de l'Astien : 130 m à oued El Alleug, 84 m à l'amont de la cluse du Mazafran.

- Pliocène continental

Assimilé au Villafranchien inférieur, il est appelé série de marnes de « Maison Carrée ». C'est une alternance d'argile, de marnes jaunes collantes d'argiles graveleuses, de quelques lits de graviers et de sables. Les éléments argileux dominant.

L'épaisseur est variable : Oued El Alleug 340 m.

Centre bassin de Mazafran 170 m.

Aérodrome Blida-Joinville 200m.

- Quaternaire continental

Quaternaire Ancien : mal représenté dans la Mitidja, voir absent.

Quaternaire Moyen : on rattache à cette période la base des informations grossières qui comblent les chenaux profonds creusés dans les marnes de « Maison Carrée », et qui constituent de bons aquifères (Chiffa Mazafran). La majeure partie du piémont de l'Atlas (Blida) est de cet âge.

Quaternaire Récent : C'est le dernier comblement de la Mitidja (Rharbien) : il s'agit de limon gris, argiles noires ou bleues et d'alluvions grossières à la base. Dans le bas Mazafran l'épaisseur des limons est de 30 à 60 m.

Quaternaire actuel : il est limité aux lits mineurs et majeurs des oueds.³⁷

³⁷ Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique. Carte hydrogéologique de la région d'Alger Au 1/200 000. Alger. 1973. Pp. 18-19. 69 p.

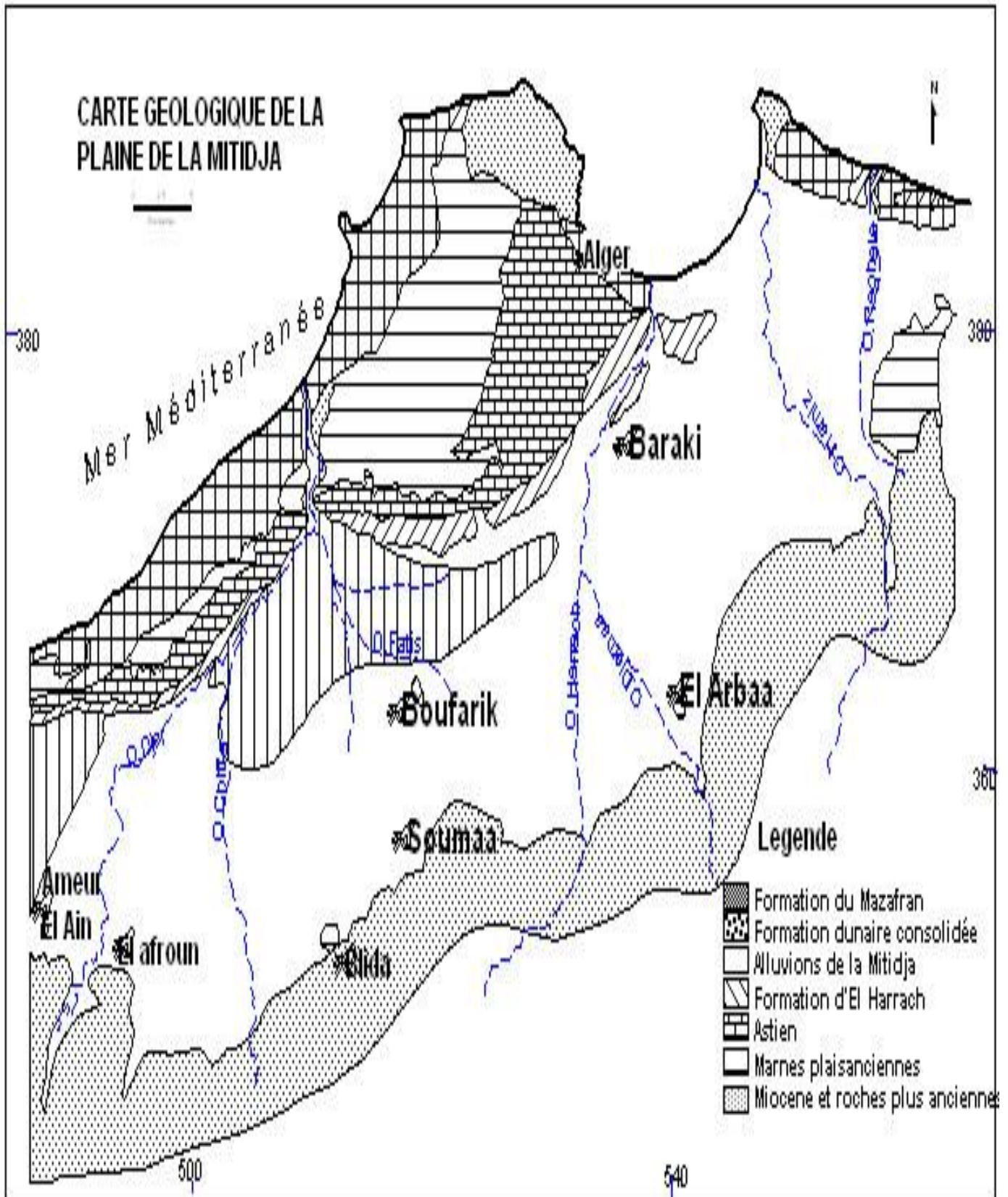


Figure 7 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja (source : ANRH Blida)

II.5 CLIMAT

La région d'étude, étant donné son emplacement stratégique, a un climat qui est connu pour ces longs étés chauds et secs (surtout en mi-juillet, mi-aout) et les hivers doux et humides avec des pluies abondantes et peuvent être diluviennes tandis que la neige est rare.

II.5.1 Pluviométrie

Avec une précipitation moyenne de 64 mm répartie en général en deux saisons (printemps, hivers), la majorité sous forme de pluie et rarement en neige (tableau 1).

Tableau 2 : Précipitations mensuelles moyennes et nombre de jours de pluie.

Mois	Jan	fév	mar	Avr	Mai	jui	Jui	aou	sep	Oct	nov	déc	Moy
Précipitations (mm)	112	84	74	41	46	15	1	5	41	79	130	137	64
Nombre de jours de pluie	12	8	5	6	3	3	2	2	3	2	10	14	5.8

Source : ANRH BLIDA

II.5.2 Température

Pour des causes géologiques et géographiques, Hammam Melouane est confronté à des températures élevées en été avec 30°C au maximum et des basses températures en hiver estimées à environ 6°C minimum (tableau 2).

Tableau 3 : Températures mensuelles moyennes (°C).

Mois	Jan	fév	mar	Avr	Mai	jui	Jui	aou	sep	Oct	nov	déc	Moyenne
Température minimale moyenne (°C)	7	8	9	9	12	15	17	19	14	11	6	7	11,1
Température maximale moyenne (°C)	16	17	18	20	23	26	27	29	26	23	16	16	21,4

Source : ANRH BLIDA

II.5.3 Les vents

Les vents locaux sont prédominants à l'Ouest et au Nord-Ouest avec quelques vents de Nord-Est. Les vitesses maximales sont atteintes à la sortie de l'été (siroco) et aussi en hiver (tableau 3).

Tableau 4 : vitesse mensuelle moyenne (m/s)

Mois	Jan	fév	mar	Avr	Mai	jui	Jui	aou	sep	Oct	nov	déc	Moyenne
Vitesse du vent (m/s)	2,9	3,2	3,1	3,7	2,8	3,5	3,2	3,3	3,3	3	2,9	3	3,16

Source : ANRH BLIDA

II.6 CONCLUSION

Dans cette partie, nous avons défini les données nécessaires concernant notre zone d'étude du point de vue topographie, géologie et climatologie. Ces données vont nous servir de base pour l'élaboration de notre projet.

Chapitre III

Qualité des eaux de Hammam Melouane

III.1 INTRODUCTION

La pollution permanente est liée aux rejets industriels, aux eaux usées d'origine urbaine, à l'emploi dans l'agriculture des pesticides et des engrais ; il s'y ajoute la pollution exceptionnelle liée aux déversements intempestifs ou aux accidents de transport. Pratiquement, plus la qualité de l'eau diminue, plus la nécessité de procéder à des contrôles fréquents et étendus devient impérieuse.

La qualité d'un cours d'eau en un point donné peut être appréciée grâce à des analyses physico-chimiques de l'eau ou des analyses hydrobiologiques.

III.2 LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU

De l'eau est prélevée à un instant donné (date, heure) dans le cours d'eau, de préférence au milieu du courant. Quelques mesures sont effectuées sur place (température de l'eau, conductivité électrique, teneur en oxygène dissous, pH, transparence au disque de Secchi) mais la plupart des analyses sont réalisées sur l'échantillon ramené au laboratoire dans un ou plusieurs flacons.

Chaque grandeur mesurée est un paramètre (par exemple, la température de l'eau, la concentration en nitrates ou la concentration en atrazine sont des paramètres).

Souvent, le prélèvement est accompagné d'une mesure du débit de la rivière, pour connaître les conditions hydrologiques du moment où pour calculer des flux de polluants.

Des prélèvements peuvent aussi être faits dans les sédiments ou dans des végétaux aquatiques qui concentrent les polluants présents en faibles quantités dans l'eau (métaux lourds, pesticides).

III.3 CHOIX ET LOCALISATION DES SITES DE PRELEVEMENT

L'ensemble des prélèvements sont effectués au niveau de deux stations, la première située en amont de Hammam Melouane au niveau de la station de Rocher des Pigeons, la deuxième située en aval de Hammam Melouane au niveau de la station de Baraki.

Tableau 5 : Caractéristiques des points de mesure.

Point de mesure	Code	X (m) Lambert	Y (m) Lambert
ROCHER DES PIGEONS	021301	358 000	532 050
TABAINET	021303	358 012	532 074
BARAKI	021418	376300	535000
Sidi Aich	151001	369 650	678 200

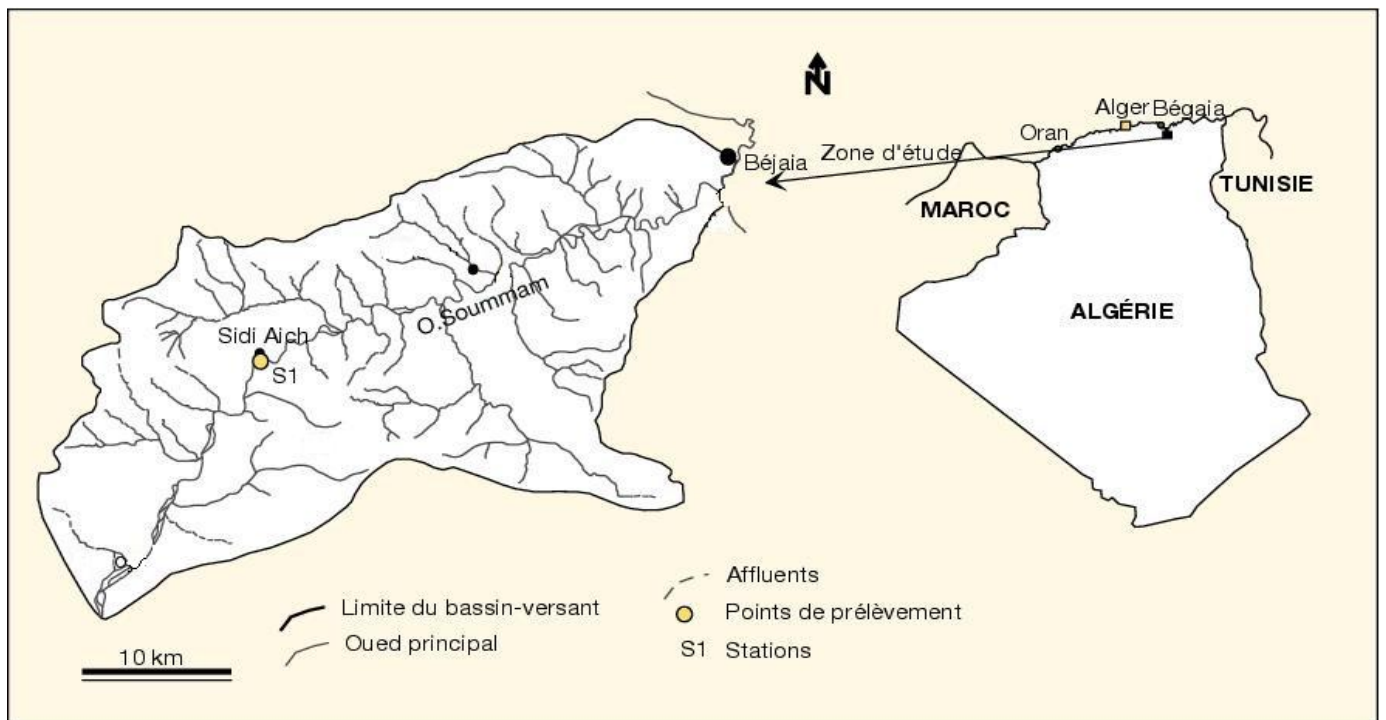
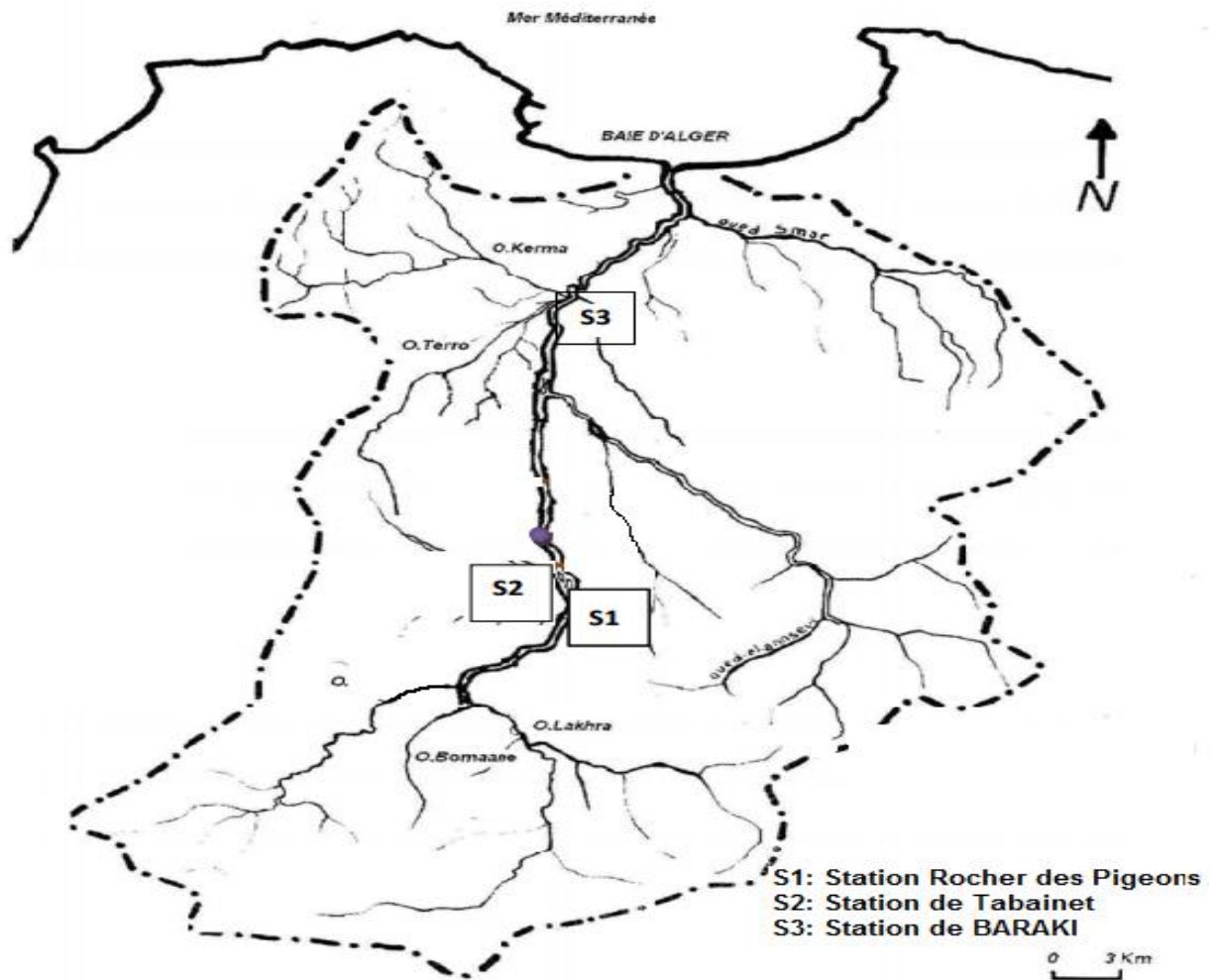


Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement.

III.4 PRELEVEMENT DE L'EAU

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

D'une façon générale, l'échantillon doit être homogène et représentatif, et ne modifie pas les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matière en suspension, etc.).

Le mode de prélèvement variera suivant l'origine de l'eau. Dans le cas d'une rivière, la bouteille sera plongée à une certaine distance du fond (50 cm) et de la surface, assez loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en évitant de mettre en suspension les dépôts et choisir plusieurs points de prélèvement et, en chacun d'eux, de prélever plusieurs échantillons à différentes profondeurs.

Dans le cas d'une pompe, les prélèvements se situeront normalement au terme d'une épreuve de pompage interrompue d'une durée totale de l'ordre de 30 heures ou, tout au moins à la fin de la dernière journée d'une série de trois journées consécutives de pompage de 10 heures.

Dans le cas de prélèvement à un robinet, il sera indispensable de faire couler l'eau pendant un certain temps qui ne sera jamais inférieur à 10 minutes.

De toute façon, les résultats de l'analyse ne seront exploitables que si le prélèvement a un caractère représentatif.

Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises pour que les résultats donnent bien une représentation exacte de la composition de l'eau. Le jugement et l'expérience de l'analyste auront donc une très grande importance pour l'identification des différentes origines de la turbidité et pour les opérations ultérieures à pratiquer.³⁸

³⁸ RODIER, Jean. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris : Dunod, 1975, pp. 3-5.

Tableau 6 : Conservation des prélèvements

Caractéristique ou élément analysé	Conservateur à utiliser	Température de conservation (°C)	Effectuer la mesure avant
Acidité, alcalinité	-	4	24 h
Ammoniaque	Acide sulfurique (0.8 ml/l) ou chlorure mercurique (40 mg/l)	4	6 jours
Azote total	chlorure mercurique (40 mg/l)	4	48 h
Conductivité	Mesure in situ de préférence		48 h
D.B.O	-	4	6 h
D.C.O	Acide sulfurique (q. s. p. pH 2-3)		6 jours
Détergents	chlorure mercurique (20 mg/l)		1 jour
Huiles et graisses	Acide chlorhydrique (2 ml/l)	4	48 h
Nitrites, nitrates	chlorure mercurique (40 mg/l)	4	6 jours
Odeur, couleur, saveur	-	4	24 h
Oxygène dissous	Mesure in situ		
pH	Mesure in situ de préférence		
Phosphore	chlorure mercurique (40 mg/l) ou chloroforme (5 ml/l)	4	6 jours
Plomb, argent	Acide nitrique (2 ml/l)		2 mois
Sulfates	-	4	6 jours
Sulfures, sulfites	Prélèvement avec flacon spécial	4	6 jours
Turbidité	-		24 h

Source : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer

III.5 MESURES PHYSICO – CHIMIQUES

Les différentes mesures physico-chimiques sont :

III.5.1 Mesure du pH

La méthode potentiométrique avec électrode de verre plus précise est celle qui est la plus couramment utilisée.

Matériel spécial

– Dispositif potentiométrique amplificateur spécialement construit pour la mesure du pH (pH-mètre).

Mesures

Le pH est pris avec un pH mètre électrométrique modèle (HI9024 micro computer pH mètre), en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Le pH mètre est étalonné avec des solutions étalons pH 4, 7 et pH 10 à 20°C (NF t 90-008).

Les mesures sont exprimées en unités de pH, à la température de 20 °C.³⁹

III.5.2 Mesure de la Conductivité électrique

Définition et principe

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

γ : conductivité (en $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ou S. m⁻¹).

ρ : résistivité (en $\Omega. m$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m²).

³⁹ RODIER, Jean. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris : Dunod, 1975, pp. 46-47.

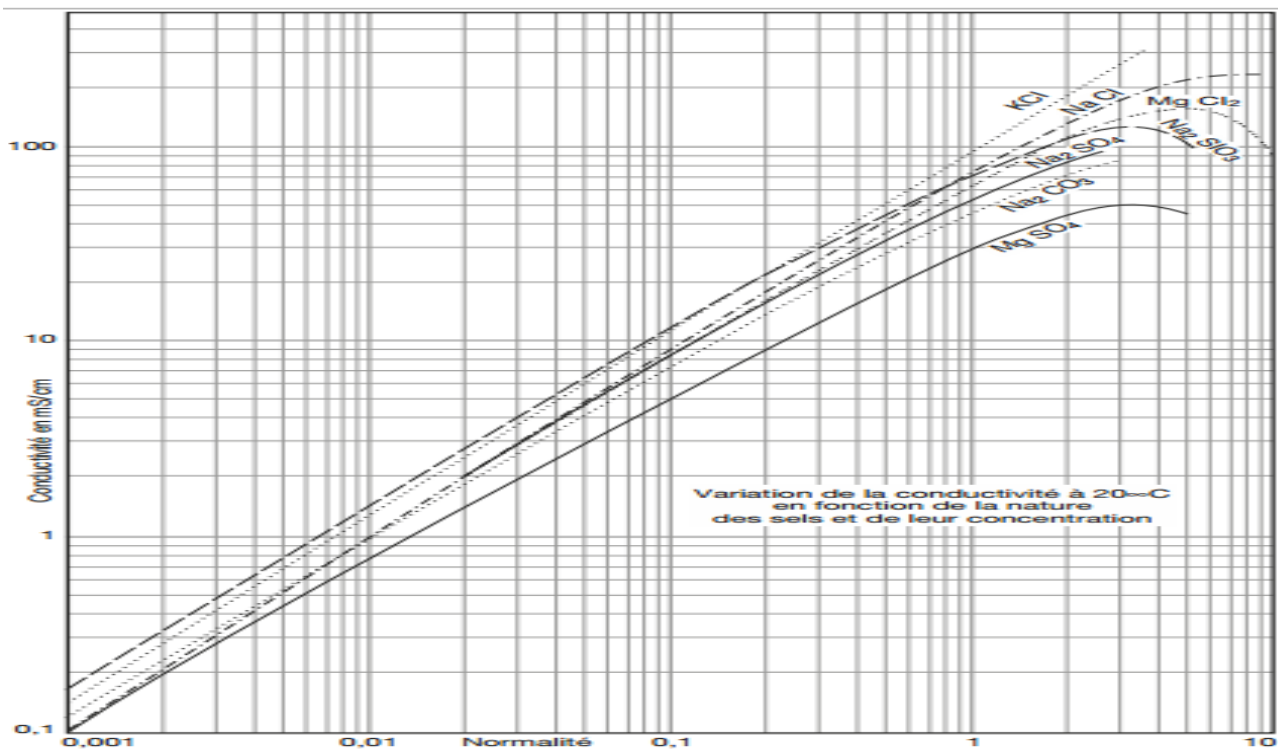


Figure 9 : Variation de la conductivité à 20 °C en fonction de la nature des sels et de leur concentration.⁴⁰

III.5.3 Résidu sec

Principe

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

III.5.4 Détermination des matières en suspension

La détermination des matières en suspension dans l'eau se fait par filtration.

Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Matériel spécial

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (1 à 2 bars).
- Disques filtrants en fibres de verre.

Expression des résultats

La teneur de l'eau en matières en suspension est donnée par l'expression :

⁴⁰ RODIER, Jean ; LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole et coll. 9^{ème} Edition. Paris : Dunod, 2009. pp. 78.

$$\frac{M_1 - M_0}{V} \times 1000$$

M_0 : masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

M_1 : masse du disque filtrant après utilisation (mg)

V : volume d'eau utilisé (ml).

III.6 ELEMENTS MINERAUX MAJEURS

Les éléments minéraux majeurs sont

III.6.1 Cations

III.6.1.1 Calcium, sodium et potassium

Le dosage de ces 3 éléments est effectué par photométrie de flamme.

Principe

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme. Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre. (Source ANRH Blida)

Réactifs

- SOLUTION MERE DE SODIUM ET DE POTASSIUM

Dissoudre dans de l'eau distillée 25,434g de chlorure de sodium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Dissoudre simultanément 3,823g de chlorure de potassium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Compléter le tout à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtient une solution contenant 10 000mg/l en Na^+ et 2 000mg/l en K^+ .

- SOLUTIONS ETALONS EN Na^+ et K^+

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000ml:

50, 40, 30, 20, 15, 10, 5 et 2ml de la solution mère en Na^+ et K^+ compléter à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement:

500, 400, 300, 150, 100, 50 et 20mg/l de Na⁺.

100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4mg/l de K⁺.

- SOLUTION MERE DE CALCIUM

Dissoudre dans de l'eau distillée 36,663g de chlorure de calcium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Compléter à 1000ml par de l'eau distillée.

- SOLUTIONS ETALONS EN Ca⁺⁺

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000ml:

50, 40, 30, 20, 10 et 5 ml de la solution mère en Ca⁺⁺ compléter à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement:

500, 400, 300, 200, 100 et 50mg/l en Ca⁺⁺

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l. (Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage du Sodium

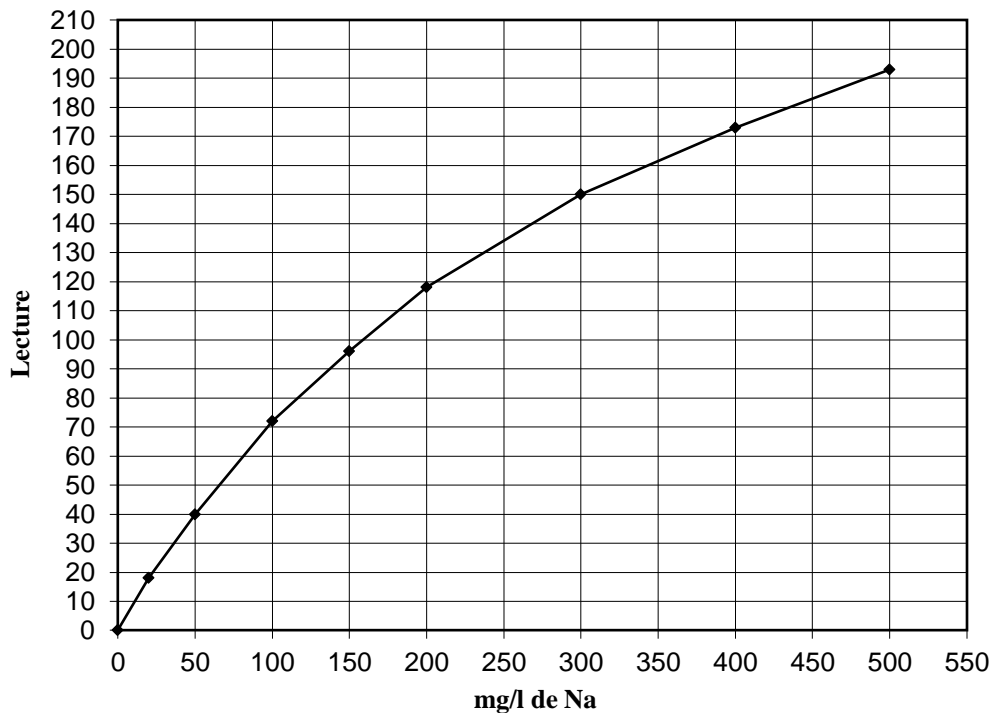


Figure 10 : Courbe d'étalonnage du Sodium (Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage du Potassium

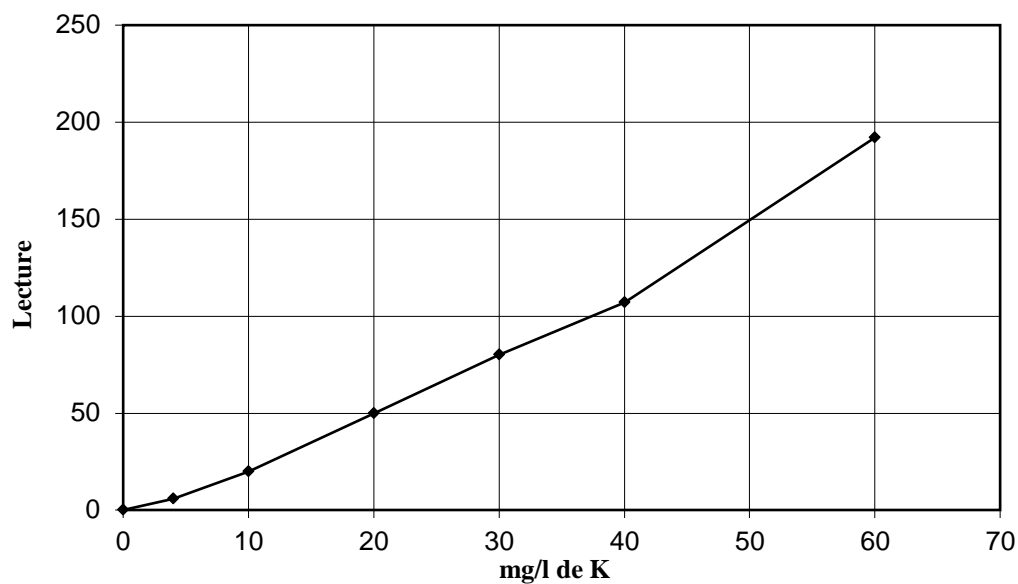


Figure 11 : Courbe d'étalonnage du Potassium (Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage du Calcium

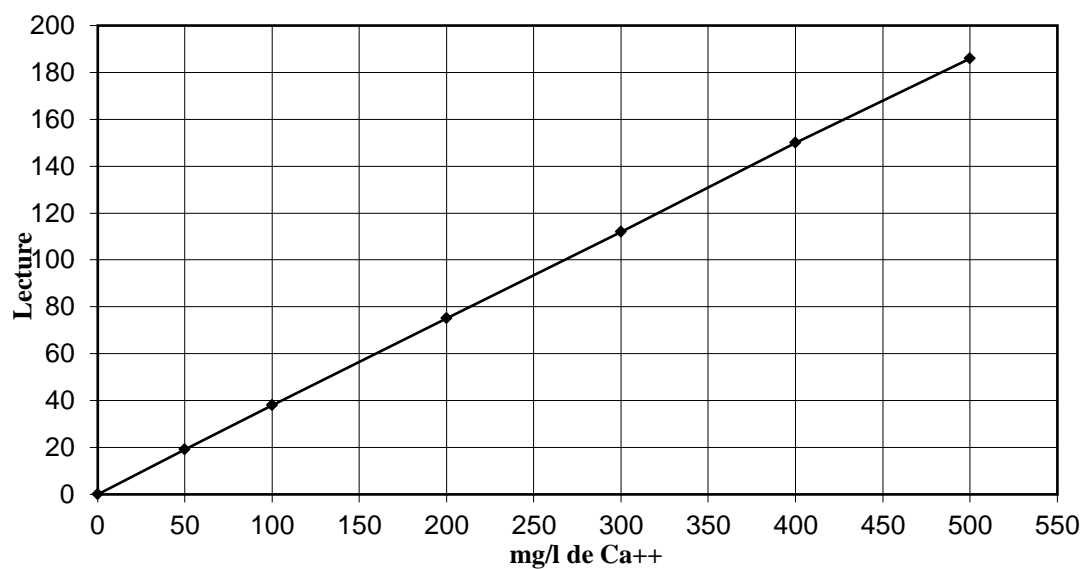


Figure 12 : Courbe d'étalonnage du Calcium (Source ANRH Blida)

III. 6.1.2 Dosage du magnésium

Principe

Le magnésium est précipité dans l'eau, après élimination du calcium sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien qui après calcination, permet le dosage des ions Mg^{++} sous forme de pyrophosphate $P_2O_7Mg_2$.

Réactifs

- acide chlorhydrique concentré.
- solution de phosphate d'ammonium à 25 %.
- ammoniaque pure.
- solution d'ammoniaque diluée au 1/2.

Expression des résultats

- $P \times 5$ donne la teneur de un litre d'eau en milligrammes de pyrophosphate de magnésium ;
- $P \times 5 \times 0,3621$ donne la teneur de un litre d'eau en milligrammes de MgO ;
- $P \times 1,086$ donne la teneur de un litre d'eau en milligrammes de Mg^{++} .⁴¹

III.6.2 Anions

III.6.2.1 Chlorures (Cl^-)

Principe

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

Réactifs

- *SOLUTION SATURÉE DE THIOCYANATE MERCURIQUE*

Dissoudre 2g $Hg(SCN)_2$ dans 2 litres d'eau bidistillée.

- *SOLUTION D'ALUN FERRIQUE*

67g d'Alun ferrique $Fe_2(SO_4)_3 \cdot NH_4 24H_2O$

430ml d'acide nitrique concentré

H_2O Q.S.P 1000ml

- *SOLUTION MÈRE DE CHLORURES A 10g/l*

⁴¹ RODIER, Jean. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau : eaux naturelles, eaux usées. 2^{ème} Edition. Paris : Dunod, 1960.pp. 152-153.

Dissoudre 20,984g de Chlorure de potassium pur préalablement desséché 12 heures à l'étuve à 100°C dans de l'eau distillée, ajuster à 1000ml.

- SOLUTIONS ETALONS

- Prendre successivement :

100, 80, 65, 50, 35, 20, 10 et 5ml de la solution mère de Cl^- compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement :

1000, 800, 650, 500, 350, 200, 100 et 50mg/l en chlorures. Les stocker dans des flacons étiquetés.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l. (Source ANRH Blida)

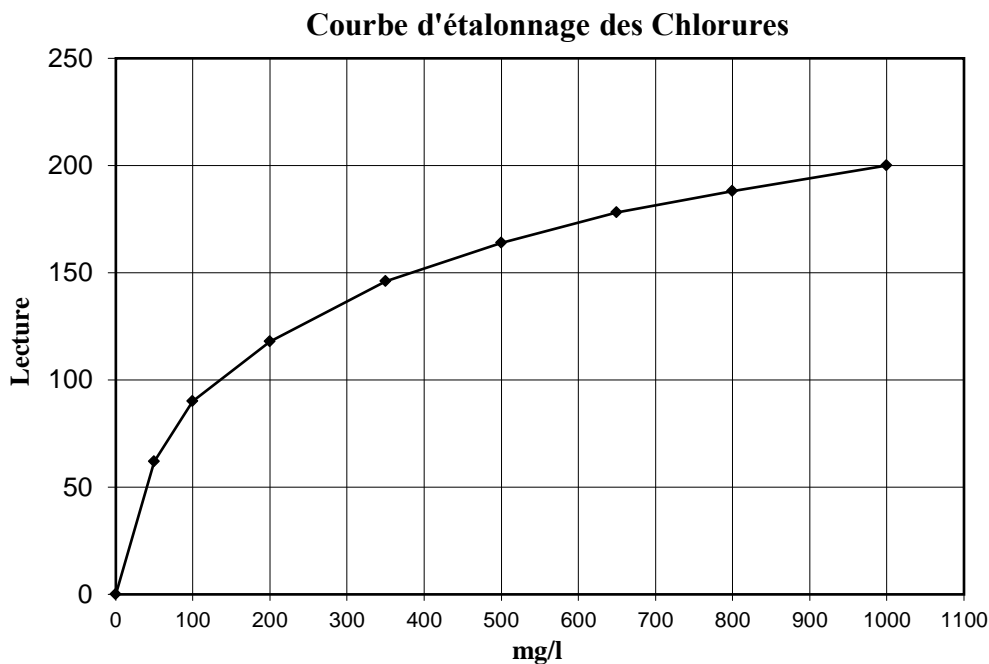


Figure 13 : Courbe d'étalonnage des Chlorures (Source ANRH Blida)

III.6.2.2 Sulfates (SO_4^{-2})

Principe

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495nm.

Réactifs

- SOLUTION DE CHLORURE DE BARYUM ET DE GELATINE

40g de gélatine

200g de Chlorure de baryum (dissoudre à part)

3g de Phénol (pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine)

H₂O Q.S.P 2000ml

Remarque: dans le cas où la gélatine contient des sulfates apparait un trouble de BaSO₄ que l'on élimine par centrifugation.

- *SOLUTION MERE DE SULFATE A 10g/l*

Dissoudre 13.755g de (NH₄)₂ SO₄ préalablement desséché à l'étuve à 100°C puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée, ajuster à 1000ml.

- SOLUTIONS ETALONS

Prendre successivement:

50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5ml de la solution mère de SO₄²⁻, compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50mg/l en SO₄²⁻.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

(Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage des Sulfates

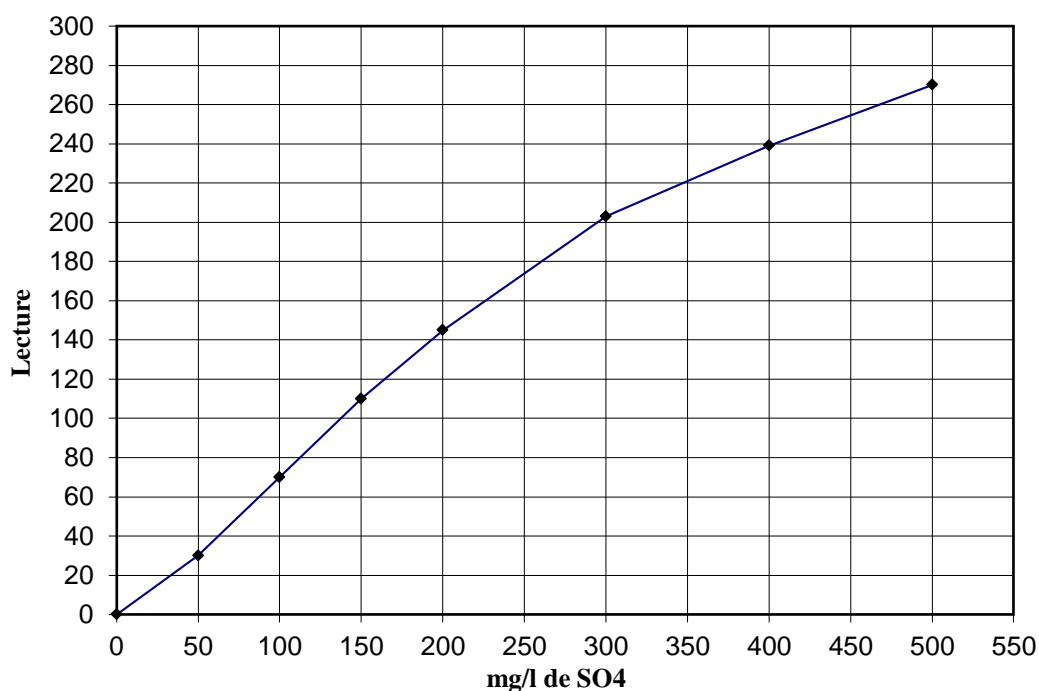


Figure 14 : Courbe d'étalonnage des Sulfates (Source ANRH Blida)

III.7 PARAMETRES DE POLLUTION

Les paramètres de pollution sont :

III.7.1 Composés azotés

III.7.1.1 Ammonium (NH_4^+)

Le dosage de l'ammonium est réalisé selon la méthode au bleu d'indophénol en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur. Les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.⁴²

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en ammonium exprimée en mg/l.
(Source ANRH Blida)

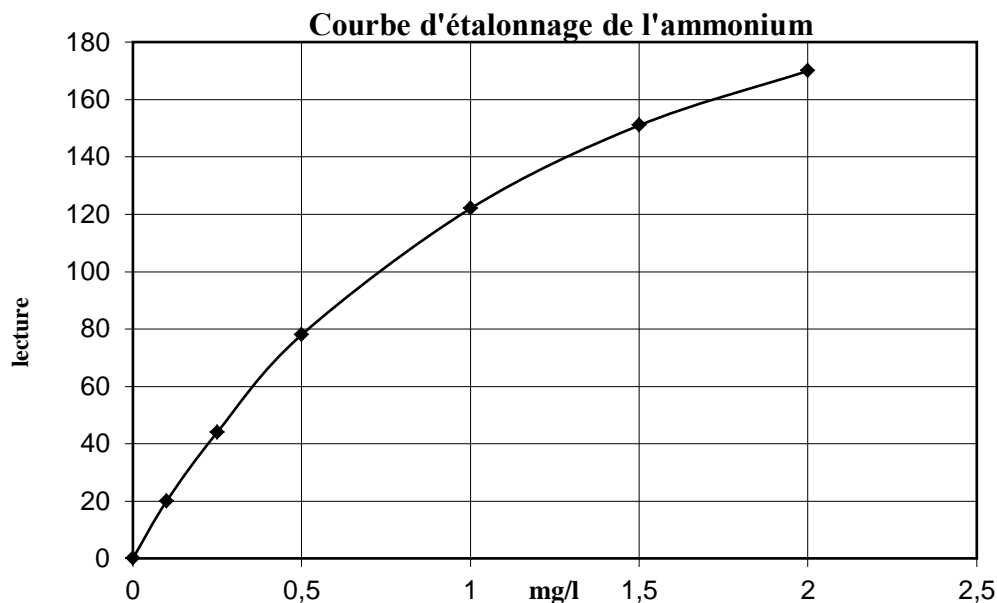


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de l'ammonium (Source ANRH Blida)

III.7.1.2 Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont dosés par spectrophotométrie d'absorption moléculaire. La diazotation du sulfanilamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le α -Naphthyl éthylène diamine dihydrochloride donne un complexe pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique à 540 nm.

⁴² RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 138.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en nitrites exprimée en mg/l.
(Source ANRH Blida)

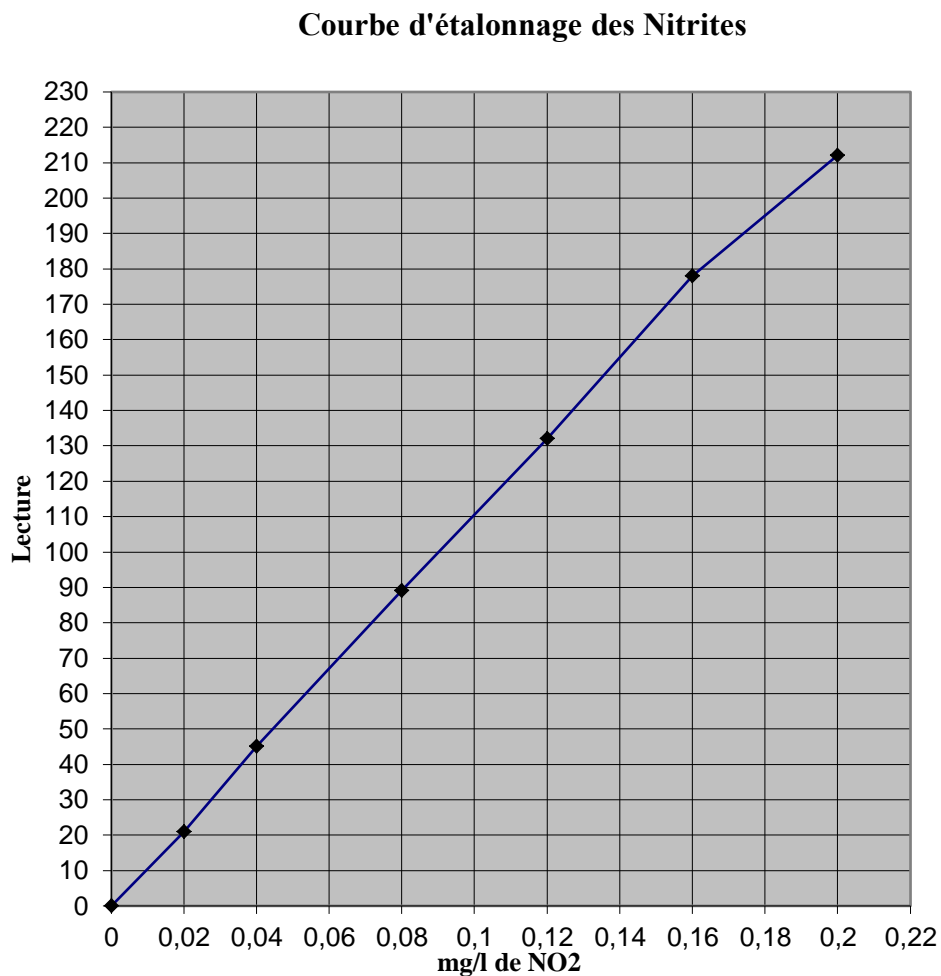


Figure 16 : Courbe d'étalonnage des Nitrites (Source ANRH Blida)

III.7.1.3 Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec le Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520nm.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en nitrates exprimée en mg/l.
(Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage des Nitrates

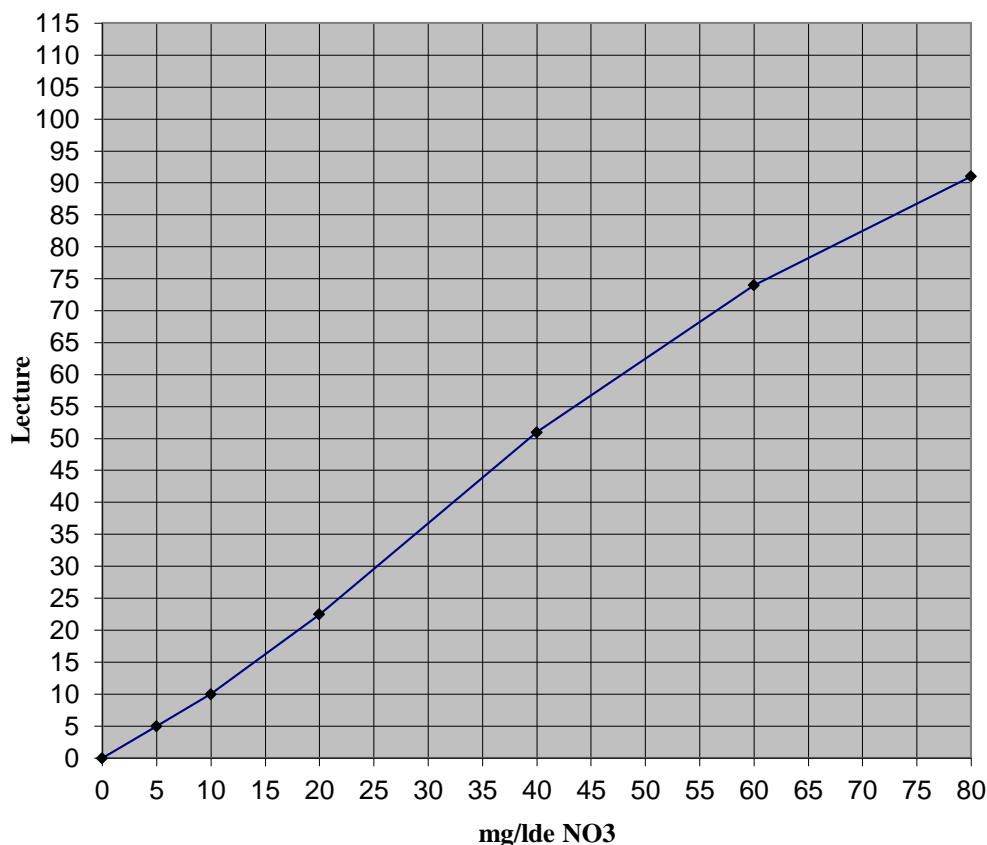


Figure 17 : Courbe d'étalonnage des Nitrates (Source ANRH Blida)

III.7.1.4 Phosphates (PO₄⁻²)

Principe

Le molybdate d'ammonium Mo₇(NH₄)₄H₂O réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue (bleu de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs

- SOLUTION D'ACIDE ASCORBIQUE A 10g/l

10g d'acide ascorbique

Eau distillée Q.S.P 1000ml

- SOLUTION DE MOLYBDATE D'AMMONIUM

Solution A

Dissoudre 25g de molybdate d'ammonium dans 100ml d'eau distillée

Solution B

Ajouter à 400ml d'eau distillée 280ml d'acide sulfurique concentré

Après refroidissement, mélanger les solutions A et B puis compléter par de l'eau distillée à 1000ml

- SOLUTION MERE DE PHOSPHATE (PO_4^{-3}) A 1g/l

Mettre dans une fiole jaugée de 1000ml 1,432g de phosphate dihydrogénopotassique (KH_2PO_4) et ajuster à 1000ml

- SOLUTION DE PO_4^{-3} A 10mg/l

Mettre dans une fiole jaugée de 1000ml 10ml de la solution mère et compléter par de l'eau distillée à 1000ml

- SOLUTIONS ETALONS

Prendre successivement 2,5, 5, 7,5, 10, 15 et 20ml de la solution à 10mg puis compléter à 50ml par de l'eau distillée. On obtient 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4 et 5mg/l de PO_4^{-3}

Remarques

- La sensibilité de méthode est augmentée en extrayant la coloration bleue par un solvant organique.

- Le nettoyage de la verrerie est important. Les détergents du commerce renfermant des phosphates ne doivent pas être utilisés.

- Laver la verrerie à l'acide chlorhydrique dilué et rincer soigneusement à l'eau distillée.

- La coloration bleue est très stable.

- L'interférence due à la silice est négligeable en utilisant 4ml de réactif sulfomolybdique.

- Le fer à une teneur supérieure à 0,4mg/l gêne le dosage.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en phosphate exprimée en mg/l. (Source ANRH Blida)

Courbe d'étalonnage des Phosphates

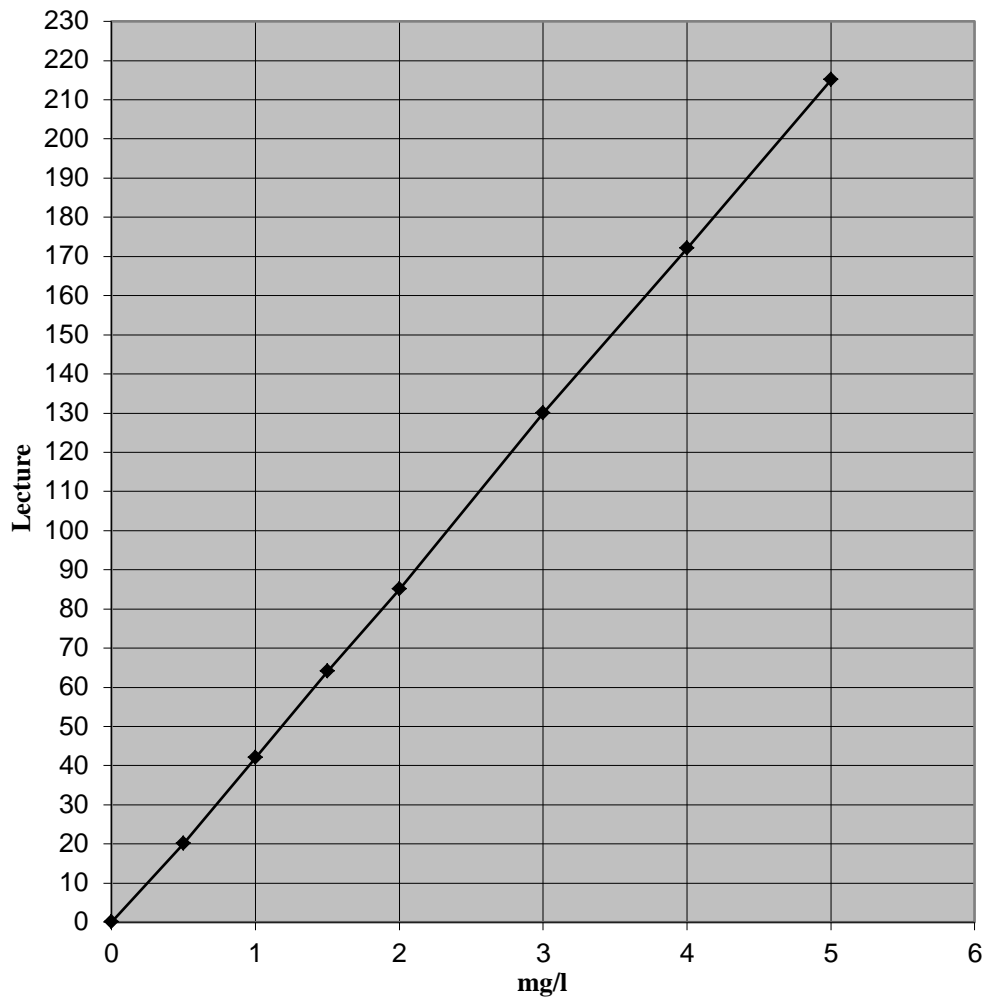


Figure 18 : Courbe d'étalonnage des Phosphates (Source ANRH Blida)

III.8 ACIDITE – ALCALINITE

III.8.1 Détermination de l'acidité

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles.

L'eau à analyser doit être conservée de préférence dans des récipients en polyéthylène ou en verre borosilicaté et l'analyse doit être pratiquée dans les 24 heures après le prélèvement qui sera conservé à 4°C.

Principe

L'acidité totale et l'acidité en acides minéraux ou T_{AF} (titre en acide fort) se mesure par titration avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence d'indicateurs colorés, phénolphtaléine pour la première, méthylorange pour la seconde.

Réactifs

- Solution saturée d'hydroxyde de sodium exempte de carbonate :

-Hydroxyde de sodium	550 g
-Eau déionisée	500 cm ³

Laisser au repos dans un flacon hermétiquement clos, ceci afin que le carbonate se décante complètement. Siphonner la partie surnageante et titrer avec un acide minéral de normalité connue.

- Solution d'hydroxyde de sodium 0,02 N :

Un volume calculé de la solution précédente est amené à 1 litre à l'aide d'eau déionisée fraîchement bouillie et exempte d'anhydride carbonique.

Cette solution se conserve en flacon de polyéthylène à l'abri de l'anhydride carbonique de l'air et doit être renouvelée chaque semaine.

- Solution alcoolique de phénolphtaléine à 0,5 % :

-phénolphtaléine	5 g
-alcool éthylique	500 cm ³
-eau déionisée	500 cm ³

-solution d'hydroxyde de sodium 0,02 N q.s.p.

L'apparition d'une faible coloration rose.

- Solution de méthylorange à 0,5 % :

-méthylorange	0,5 g
-eau déionisée	q.s.p. 100 cm ³

- Solution de bromothymol à 0,5 % :

-bleu de bromothymol	0,5 g
-eau déionisée	q.s.p. 100 cm ³

Expression des résultats

-Acidité totale

$X_{1/5}$ exprime l'acidité totale en milliéquivalents par litre.

-Acidité en acides minéraux (T_{AF})

$X_{2/5}$ exprime l'acidité en acides minéraux en milliéquivalents par litre.

X_2 exprime l'acidité en acides forts en degrés français.⁴³

III.8.2 Détermination de l'alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence des carbonates et hydroxydes.

- Le titre alcalimétrique ou T_A mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins caustiques.

- Le titre alcalimétrique complet ou T_{AC} correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et bicarbonates.

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique N/10.
- Indicateurs colorés.
- Solution à 1 % de phénolphtaléine dans l'alcool.
- Solution à 1 % méthylorange.

Expressions des résultats

❖ T_A :

-V exprime l'alcalinité à la phénolphtaléine en milliéquivalents.

⁴³ RODIER, Jean ; LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole et coll. 9^{ème} Edition. Paris : Dunod, 2009. pp. 101-102.

- Le titre alcalimétrique exprimé en degré français est donné par la relation :

$$T_A = V \times 5$$

(En effet, 1°f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0.2 me/l)

❖ T_{AC} :

Il est donné en milliéquivalents par le chiffre $V' - 0,1$ et par la relation :

$$T_{AC} = (V' - 0,1) \times 5 \text{ en degré français.}^{44}$$

III.9 DURETE OU TITRE HYDROTOMETRIQUE (T_H)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium.

La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en

$CaCO_3$. Elle est aussi très souvent donnée en degrés français.

Dans l'eau sont déterminés :

- la dureté totale ou titre hydrotimétrique T_H qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- la dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium. Elle est égale au T_{AC} si le T_H est supérieur au T_{AC} et au T_H , si le T_{AC} est supérieur au T_H ;
- le titre alcalimétrique T_A qui correspond aux alcalis libres et aux carbonates alcalins caustiques ;
- la teneur en anhydride carbonique libre ;
- la dureté permanente ou non carbonatée P correspond à la dureté qui persiste après ébullition de l'eau. Elle représente la teneur en sulfates et chlorures de calcium et de magnésium. Elle est égale à

⁴⁴ RODIER, Jean ; LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole et coll. 9^{ème} Edition. Paris : Dunod, 2009. pp. 107-110.

$T_H - T_{AC}$ à condition que l'eau ne renferme pas de bicarbonate de sodium. Dans le cas contraire, le T_{AC} est majoré de 1° pour 16,8 mg de NaHCO_3 par litre d'eau.

– la dureté temporaire qui n'est autre que la différence entre la dureté totale et la dureté permanente $T_H - P$.

Si la dureté totale est égale ou inférieure à la dureté carbonatée, elle est entièrement due aux hydrogénocarbonates et aux carbonates ; si elle est plus élevée, il existe une dureté non carbonatée qui, en fait, correspond à la dureté permanente (sulfate de calcium et de magnésium et accessoirement chlorures et nitrates).

– Le degré hydrotimétrique ou degré français ($^\circ\text{H}$ ou $^\circ\text{f}$) représente la dureté d'une solution contenant 10 mg de carbonate de calcium au litre, soit 4 mg de calcium, c'est-à-dire 1/5 de milliéquivalent ou 0,1 mmol/L.

Inversement, 1 mEq de Ca = 5 $^\circ\text{H}$ ou 5 $^\circ\text{f}$.⁴⁵

III.10 DOSAGE DES CARBONATES, BICARBONATES ET OH^-

L'utilisation de la méthode potentiométrique pour le dosage des carbonates, bicarbonates et les OH^- offre de nombreux avantages. Elle évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés. En outre elle est particulièrement intéressante dans le cas d'eaux troubles ou colorées.

Principe

Les carbonates n'existent qu'à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage acimétrique doublé d'une mesure de pH , à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

Réactifs

- SOLUTION TAMPON $\text{pH}/10$ ET $\text{pH}/4$

- SOLUTION H_2SO_4 à 0,01N

Calculs

Si $\text{pH} > 8,3$

1) $V_2 > 2V_1$ il y a des bicarbonates dans l'échantillon ce qui implique une teneur négligeable en OH^- .

$\text{OH}^- = 0$

⁴⁵ RODIER, Jean ; LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole et coll. 9^{ème} Edition. Paris : Dunod, 2009. pp. 118-119.

$$\text{CO}_3^{--} \text{ mé/l} = \frac{2V_1 \times 0,01 \times 1000}{\text{PE ml}}$$

$$\text{CO}_3^{--} \text{ mg/l} = \text{CO}_3^{--} \text{ mé/l} \times 30$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mé/l} = \frac{(V_2 - 2V_1) \times 0,01 \times 1000}{\text{PE ml}}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61$$

2) $V_2 < 2V_1$ il y a des OH^- dans l'échantillon donc une teneur en bicarbonates négligeable.

$$\text{HCO}_3^- = 0$$

$$\text{OH}^- \text{ mé/l} = \frac{(2V_1 - V_2) \text{ ml} \times 0,01 \times 1000}{\text{PE ml}}$$

$$\text{OH}^- \text{ mg/l} = \text{OH}^- \text{ mé/l} \times 17$$

$$\text{CO}_3^{--} \text{ mé/l} = \frac{2(V_2 - V_1) \text{ ml} \times 0,01 \times 1000}{\text{PE ml}}$$

$$\text{CO}_3^{--} \text{ mg/l} = \text{CO}_3^{--} \text{ mé/l} \times 30$$

Si pH est compris entre 4,4 et 8,3

Il n'y a ni carbonates ni OH^- dans l'échantillon.

$$\text{HCO}_3^- \text{ mé/l} = \frac{V_2 \text{ ml} \times 0,01 \times 1000}{\text{PE}}$$

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/l} = \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61$$

III.11 DOSAGE DE LA SILICE

Principe

La silice est insolubilisée à l'état partiellement déshydraté en présence d'acide chlorhydrique. Une calcination complète la déshydratation. Par action de l'acide fluorhydrique, la silice est volatilisée sous forme d'acide fluosilicique. Après une nouvelle calcination, la perte de poids correspond à la quantité de silice pure contenue dans l'eau.

Réactifs

- acide chlorhydrique pur d : 1,19.
- solution d'acide chlorhydrique au 1/20.
- acide fluorhydrique d : 1,14.
- solution d'acide sulfurique au 1/2.

Expression des résultats

Soit P_1 le poids en grammes du creuset avec la silice ; P_2 le poids en grammes du creuset après traitement fluorhydrique ; V le volume en millilitres de la prise d'essai. La teneur de l'eau en gramme de silice ‰ est donnée par l'expression :

$$\frac{P_1 - P_2}{V} \times 1000$$

III.12 Qualités d'une eau potable selon l'OMS

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. L'OMS la définit comme une eau ayant les caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'OMS ou aux normes nationales relatives à la qualité de l'eau de boisson. En clair, une eau potable est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques à des concentrations pouvant nuire à la santé. Le respect des normes de potabilité de l'eau garantit une eau de qualité aux populations.

Dans notre travail, nous avons comparé les résultats d'analyses des eaux à la norme de la qualité de l'eau selon l'OMS et elle est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 7 : La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (O.M.S)

Elément	Calcium (mg/l)	Magnésium (mg/l)	Sodium (mg/l)	Potassium (mg/l)	Chlorures (mg/l)	Sulfates (mg/l)	Bicarbonates (mg/l)	Nitrates (mg/l)	pH	CE μ/cm	Résidu Sec (mg/l)	TH °F	TAC °F	SiO ₂ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	M.Org (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
[] admissible	200	150	200	20	500	400	400	50	6,5- 8,5	2800	2000	50	50	20	0,1	0,5	3	1,5

(ANRH Blida)

III.13 LES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO – CHIMIQUE DE L'EAU SUPERFICIELLE D'OUED EL HARRACH A LA STATION DE HAMMAM MELOUANE

Les résultats d'analyses physico-chimiques faites par l'ANRH durant les années 2010, 2011 et 2012 sont faits dans des conditions normales (température ambiante et a pression atmosphérique).

III.13.1 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et Baraki pour l'année 2010

Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station Rocher des Pigeons (Hammam Melouane) et à la station de BARAKI sont représentés dans les tableaux 8, 9, 10 et 11 dans l'annexe.

III.13.2 Discussion des résultats

-Le calcium est un élément de la dureté. C'est le constituant cationique le plus dominant des eaux superficielles, il se présente généralement sous forme de bicarbonate, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, soluble.⁴⁶ Les eaux de Hammam Melouane présentent des teneurs assez élevées en calcium. Elles présentent un taux de calcium largement élevé au mois de septembre. Ceci peut être dû à la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin. La teneur en ion calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau. La teneur faible en calcium enregistrée au mois de décembre indique une faible dissolution du calcium qui pourrait être due au phénomène de dilution causée par les pluies d'hiver. Elles présentent une concentration moyenne en calcium égale à 88.67 mg/l. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI on a trouvé presque les mêmes résultats. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [Ca] qui est inférieur à 200 mg/l, que l'eau est demi-dure et la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-Le magnésium est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium). Il provient également de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales (basalte, magnésites, argiles, etc.). Les eaux magnésiques se forment lorsqu'elles circulent sur des substrats dont les roches sont riches en cet élément⁴⁷.

⁴⁶ Brémond, R ; Vuichard, R. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973.pp.65.

⁴⁷ Ramade, F. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. pp.451

Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur élevée en magnésium, au mois de novembre. Un tel résultat peut être dû à la nature géologique des terrains traversés dont l'origine est semblable à celle du calcium : calcite magnésienne et dolomite, silicates et alumino-silicates, sulfates et chlorures magnésiens. La teneur faible relevée au mois de décembre peut être due au phénomène de dilution causé par les précipitations enregistrées durant ce mois ainsi que l'effet des eaux de ruissellement. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI on a trouvé des teneurs en Mg supérieures. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [Mg] qui est inférieur à 150 mg/l, que l'eau est demi-dure et la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2.83 %). Il existe dans la totalité des eaux car sa solubilité est très élevée⁴⁸.

Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur assez élevée en sodium, au mois d'octobre. Ceci peut être attribué à la nature du substrat du bassin. En effet, le sodium des eaux du Hammam Melouane peut avoir une origine dans la dissolution des minéraux argileux (illite et montmorillonite) et des évaporites (halite) contenues dans les formations du Mio-Pliocène et du Trias. Ces évaporites constituent une source importante de Na⁺. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI on a trouvé des teneurs en Na⁺ supérieures. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [Na] qui est égale à 200 mg/l, que l'eau est demi dure et la qualité des eaux de Hammam Melouane est plus au moins normale.

- le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leurs abondances relatives terrestres soient comparables (sodium 2.83 % - potassium 2.59 %).⁴⁹. La concentration en K⁺ la plus élevée a été enregistrée au mois de décembre. Ceci peut être attribué au lessivage des terrains traversés. La diminution de la teneur en potassium ne pourrait probablement être due qu'à un phénomène de dilution par les pluies.

La toxicité du potassium vis-à-vis des organismes aquatiques est réduite par le calcium et le magnésium. Il est plus toxique pour les poissons et les mollusques que le calcium, le magnésium et le sodium. Ainsi, sa toxicité dépend beaucoup des anions avec lesquels il est lié⁵⁰. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI on a trouvé des teneurs en K⁺ inférieures. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [K⁺] qui est égale à 2.4 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

⁴⁸ Brémond, R ; Vuichard, R. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973.pp.74.

⁴⁹ Brémond, R ; Vuichard, R. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973.pp.79.

⁵⁰ Brémond, R ; Vuichard, R. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973.pp.81.

-Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. La teneur en ion chlore des eaux naturelles est inférieure à 50 mg/l, mais peut subir des variations.⁵¹

Les eaux de Hammam Melouane présentent des teneurs en chlorures variant dans le temps, dont la teneur la plus élevée a été enregistrée au mois d'octobre. La majeure part des chlorures viendrait de la dissolution des roches salées du Trias et du Mio-Pliocène. En comparant ces résultats avec celles trouvés à la station de BARAKI on a trouvé des teneurs en Cl assez élevées. la grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [Cl] qui est égale à la moyenne à 307 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-Les sulfates, composés naturels des eaux, sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium⁵². Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur largement élevée enregistrée au mois d'octobre. Ceci, peut être dû à un phénomène de lessivage des terrains traversés. Ainsi, une telle teneur élevée enregistrée peut être due aux facteurs humains comme le lavage des voitures (c'est une zone touristique).

La faible teneur en sulfates des eaux de Hammam Melouane est enregistrée au mois de décembre. Un tel résultat peut probablement être dû au phénomène de dilution. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI on a trouvé des teneurs en SO₄ supérieures. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [SO₄] qui est égale à la moyenne à 222 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-Les nitrates existent à l'état naturel, dans les sols, les eaux tant de surface que souterraines et toutes les matières végétales. Ils proviennent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matières organiques azotées telles que les protéines des végétaux, des animaux et des excréta d'animaux. Ils parviennent ainsi aux rivières par les nappes d'eau souterraines et par le ruissellement des terres agricoles en hivers. Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'auto-épuration a déjà joué.

La valeur maximale en nitrates est enregistrée aux mois de mars et septembre. Ceci peut être dû au lessivage des sols. Ainsi, les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes

⁵¹ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8ème Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 92.

⁵² Brémond, R ; Vuichard, R. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973.pp.65.

d'azote et de l'ammoniac présents dans l'atmosphère⁵³, et surtout les nitrates peuvent avoir comme origine les engrais azotés utilisés en agriculture. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en NO₃ assez faibles. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [NO₃] qui est égale à la moyenne à 2.96 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

- Les valeurs des concentrations des bicarbonates sont entre [122 et 281] mg/l et elles ne dépassent pas 400mg/l, ce qui a abouti à des valeurs conformes aux normes des eaux potables. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en bicarbonates faibles.

-Les valeurs d'hydroxyde (OH) sont nulles pour les deux stations.

-Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu aquatique. Le pH de l'eau résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques ainsi que de l'origine des eaux, la nature géologique du milieu traversé, les rejets des eaux usées, etc.⁵⁴

Les eaux de Hammam Melouane se caractérisent par une alcalinité faible. Ceci est attribué à la géologie calcaire du lit du bassin. Il peut être aussi influencé par d'autres facteurs tels que la température élevée qui conduit au déplacement de l'équilibre calco-carbonique vers la formation de carbonates sous l'effet de la photosynthèse qui provoque une élévation du pH. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on remarque que les résultats sont proches. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour le pH, que la qualité de l'eau de Hammam Melouane est normale.

- La conductivité électrique dépend de la quantité des sels ionisables. Elle constitue une bonne appréciation des concentrations globales des matières en solution dans l'eau. Elle est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous⁵⁵. Les eaux de Hammam Melouane présente une conductivité électrique moyenne égale à 1944 µS/cm. Au-delà de 1000µS/cm l'eau est fortement minéralisée. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une

⁵³ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduelles. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 102.

⁵⁴ Dussart, B. Limnologie: étude des eaux continentales. Paris, 1992. pp. 201

⁵⁵ Nisbet, M ; Verneaux, J. Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Tome 6, n°2. Paris, 1970. pp 164.

salinité élevée.⁵⁶ En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des valeurs élevées. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la Ce, que la qualité de l'eau de Hammam Melouane est normale.

-Le résidu sec est la quantité de la matière solide dans l'eau⁵⁷. Cette dernière profère à l'eau sa couleur brunâtre et parfois sombre, ce qui conditionne la pénétration de la lumière dans le milieu et qui influence ainsi la faune et la flore aquatique. La valeur la plus élevée a été enregistrée au mois de septembre et octobre. Un tel résultat pourrait être dû au lessivage des terrains traversés. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs importantes. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour le résidu sec, que la qualité de l'eau de Hammam Melouane est normale.

- Le titre hydrométrique (TH) est entre [12-90] mg/l et la dureté carbonate (TAC) sont entre [11 et 23] mg/l, on déduit que l'eau est demi dure en comparaison avec les normes.

- Le titre alcalimétrique (TA) est nul.

III.13.3 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et BARAKI pour l'année 2011

Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station Rocher des Pigeons (Hammam Melouane) et à la station de BARAKI sont représentés dans les tableaux 12, 13, 14 et 15 dans l'annexe.

III.13.4 Discussion des résultats

-Les eaux de Hammam Melouane présentent un taux de calcium largement élevé au mois de juin. Ceci peut être dû à la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin. La teneur en ion calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau. La teneur faible en calcium enregistrée au mois de février indique une faible dissolution du calcium qui pourrait être due au phénomène de dilution causée par les pluies d'hiver. Elles présentent une concentration moyenne en calcium égale à 81.6 mg/l. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve une faible augmentation. La teneur en calcium a diminué par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur élevée en magnésium, au mois de janvier. Un tel résultat peut être dû à la nature géologique des terrains traversés dont l'origine est semblable à

⁵⁶ Brémond, R ; Perrodon, C. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed. 1979. pp. 59.

⁵⁷ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduelles. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 119.

celle du calcium : calcite magnésienne et dolomite, silicates et alumino-silicates, sulfates et chlorures magnésiens. La teneur faible relevée au mois de février peut être due au phénomène de dilution causé par les précipitations enregistrées durant ce mois ainsi que l'effet des eaux de ruissellement. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en Mg inférieures. La teneur en magnésium a diminué par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur assez élevée en sodium, au mois de juin. Ceci peut être attribué à la nature du substrat du bassin. En effet, le sodium des eaux du Hammam Melouane peut avoir une origine dans la dissolution des minéraux argileux (illite et montmorillonite) et des évaporites (halite) contenues dans les formations du Mio-Pliocène et du Trias. Ces évaporites constituent une source importante de Na^+ . En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en Na^+ supérieures. La teneur en sodium a diminué par rapport à l'année 2010.

- La concentration en K^+ la plus élevée a été enregistrée au mois de juin et juillet. Ceci peut être attribué au lessivage des terrains traversés. La diminution de la teneur en potassium ne pourrait probablement être due qu'à un phénomène de dilution par les pluies.

En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en K^+ assez faibles. La teneur en potassium a diminué par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent des teneurs en chlorures variant dans le temps, dont la teneur la plus élevée a été enregistrée au mois de juin. La majeure part des chlorures viendrait de la dissolution des roches salées du Trias et du Mio-Pliocène. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en Cl supérieures. La teneur en chlorures a diminué d'une façon importante par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur élevée en sulfates enregistrée au mois de janvier. Ceci peut être dû à un phénomène de lessivage des terrains traversés. Ainsi, une telle teneur élevée enregistrée peut être due aux facteurs humains comme le lavage des voitures (c'est une zone touristique).

La faible teneur en sulfates des eaux de Hammam Melouane est enregistrée au mois de février. Un tel résultat peut probablement être dû au phénomène de dilution. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en SO_4 supérieures. La teneur en sulfates est la même par rapport à l'année 2010.

-La valeur maximale en nitrates est enregistrée aux mois de juin. Ceci peut être dû au lessivage des sols. Ainsi, les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et de

l'ammoniac présents dans l'atmosphère⁵⁸, et surtout les nitrates peuvent avoir comme origine les engrais azotés utilisés en agriculture. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en NO₃ assez faibles. La teneur en nitrates a augmenté par rapport à l'année 2010. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la [NO₃] qui est égale à la moyenne à 11.3 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

- Les valeurs des concentrations des bicarbonates sont entre [153-244] mg/l et elles ne dépassent pas 200g/l, ce qui aboutit à des valeurs conformes aux normes des eaux potables. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des teneurs en bicarbonates faibles. La teneur en bicarbonates a diminué par rapport à l'année 2010.

-Les valeurs d'hydroxyde (OH) sont nulles pour les deux stations.

- Le pH de la station Rocher des Pigeon (Hammam Melouane) et la station de BARAKI sont proches. Le pH a connu une faible diminution par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présente une conductivité électrique moyenne égale à 1332 µS/cm. Au-delà de 1000µS/cm l'eau est fortement minéralisée. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée.⁵⁹ En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve une faible variation. La conductivité électrique a diminué par rapport à l'année 2010.

-La valeur la plus élevée en résidus sec a été enregistrée au mois de juillet. Un tel résultat pourrait être dû au lessivage des terrains traversés. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de BARAKI, on trouve des valeurs proches. La teneur en résidus sec a diminué par rapport à l'année 2010.

-Le titre hydrométrique (TH) est entre [20-49] mg/l et la dureté carbonatée (TAC) est entre [14-21] mg/l, on conclut que l'eau est demi dure en comparaison avec les normes. Le (TH) a connu une diminution par rapport à l'année 2010, et la (TAC) est presque la même.

-Le titre alcalimétrique (TA) est nul.

⁵⁸ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 102.

⁵⁹ Brémond, R ; Perrodon, C. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2^{ème} ed. 1979. pp. 59.

III.13.5 Les résultats d'analyse des eaux d'oued El Harrach aux stations de Hammam Melouane et Tabainat pour l'année 2012

Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station Rocher des Pigeons (Hammam Melouane) et à la station de Tabainat sont représentés dans les tableaux 16, 17, 18 et 19 dans l'annexe.

III.13.6 Discussion des résultats

-Le pH de la station Rocher des Pigeon (Hammam Melouane) et la station de Tabainet sont très proches. Le pH a connu une faible diminution par rapport à l'année 2011.

-Les eaux de Hammam Melouane présente une conductivité électrique moyenne égale à 1105 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Au-delà de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ l'eau est fortement minéralisée. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée.⁶⁰ En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve une faible variation. La conductivité électrique a diminué par rapport à l'année 2011.

-La valeur la plus élevée en résidus sec a été enregistrée au mois de septembre. Un tel résultat pourrait être dû au lessivage des terrains traversés. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des valeurs supérieures. La teneur en résidus sec a diminué par rapport à l'année 2011.

-Dans les eaux superficielles, les MES peuvent provenir soit des effets de l'érosion naturelle du bassin versant suite à de violentes précipitations, soit des rejets d'eaux résiduaires urbaines ou industrielles. Leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la transparence, de la lumière donc de la photosynthèse...)⁶¹. Selon la grille d'appréciation de la qualité générale des eaux superficielles en France (Si MES <30mg/l la qualité des eaux est normale. Si MES est entre 31 à 70 mg/l la qualité des eaux est médiocre. Si MES >70 mg/l la qualité des eaux est mauvaise), les eaux de Hammam Melouane [25-1517] mg/l sont en qualité mauvaise. Une telle situation pourrait être due aux eaux de pluie ruisselant sur des sols nus. Ainsi, de tel résultat pourrait être lié aux variations saisonnières très importantes marquées au niveau de ces stations. Aussi, lors d'événements de pluie, le transport par ruissellement, de particules de terre vers les cours d'eau occasionne une augmentation des matières en suspension.

⁶⁰ Brémond, R ; Perrodon, C. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed. 1979. pp. 59.

⁶¹ El Morhit, M. Hydrochimie : éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lukkos). 260p. Thèse de Doctorat en Toxicologie. Université Mohammed V. Maroc, 2009.

- C'est un constituant cationique le plus dominant des eaux superficielles, il se présente généralement sous forme de bicarbonate, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, soluble. Les concentrations de Ca sont inférieures à 200 mg/l, on conclut que l'eau est demi-dure.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent un taux de calcium élevé au mois de septembre. Ceci peut être dû à la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques sur le bassin. La teneur en ion calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau. La teneur faible en calcium enregistrée au mois de juillet indique une faible dissolution du calcium qui pourrait être due au phénomène de dilution causée par les pluies d'hiver. Elles présentent une concentration moyenne en calcium égale à 73.5 mg/l. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve une faible augmentation. La teneur en calcium a diminué par rapport à l'année 2011.

- Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur élevée en magnésium, au mois de juillet. Un tel résultat peut être dû à la nature géologique des terrains traversés dont l'origine est semblable à celle du calcium : calcite magnésienne et dolomite, silicates et alumino-silicates, sulfates et chlorures magnésiens. La teneur faible relevée au mois d'avril peut être due au phénomène de dilution causé par les précipitations enregistrées durant ce mois ainsi que l'effet des eaux de ruissellement. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en Mg inférieures. La teneur en magnésium a augmenté par rapport à l'année 2011 et a diminué par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur assez élevée en sodium, au mois de juin. Ceci peut être attribué à la nature du substrat du bassin. En effet, le sodium des eaux du Hammam Melouane peut avoir une origine dans la dissolution des minéraux argileux (illite et montmorillonite) et des évaporites (halite) contenues dans les formations du Mio-Pliocène et du Trias. Ces évaporites constituent une source importante de Na^+ . En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en Na^+ supérieures. La teneur en sodium a diminué d'une façon importante par rapport aux années 2010 et 2011.

-La concentration en potassium la plus élevée a été enregistrée au mois de février. Ceci peut être attribué au lessivage des terrains traversés. La diminution de la teneur en potassium ne pourrait probablement être due qu'à un phénomène de dilution par les pluies.

En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en K^+ très proches. La teneur en potassium a augmenté par rapport à l'année 2011 et elle est presque la même par rapport à l'année 2010.

-Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur maximale en chlorures enregistrée au mois de septembre. La majeure part des chlorures viendrait de la dissolution des roches salées du Trias et du Mio-Pliocène. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en Cl supérieures. La teneur en chlorures a diminué d'une façon importante par rapport à l'année 2010.

- Les eaux de Hammam Melouane présentent une teneur élevée en sulfates enregistrée au mois de septembre. Ceci peut être dû à un phénomène de lessivage des terrains traversés. Ainsi, une telle teneur élevée enregistrée peut être due aux facteurs humains comme le lavage des voitures (c'est une zone touristique).

La faible teneur en sulfates des eaux de Hammam Melouane est enregistrée au mois d'avril. Un tel résultat peut probablement être dû au phénomène de dilution. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en SO₄ proches. La teneur en sulfates a diminué par rapport aux années 2010 et 2011.

-La valeur maximale en nitrates est enregistrée au mois de mars. Ceci peut être dû au lessivage des sols. Ainsi, les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et de l'ammoniac présents dans l'atmosphère⁶², et surtout les nitrates peuvent avoir comme origine les engrais azotés utilisés en agriculture. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en NO₃ inférieures. La teneur en nitrates a diminué d'une façon importante par rapport à l'année 2011.

-Les teneurs maximales en bicarbonates sont entre [159-275] mg/l et elles ne dépassent pas 400mg/l, ce qui aboutit à des valeurs conformes aux normes des eaux potables. En comparant ces résultats avec ceux trouvés à la station de Tabainet, on trouve des teneurs en bicarbonates très proches. La teneur en bicarbonates a augmenté par rapport aux années 2010 et 2011. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la concentration en bicarbonates qui est égale à la moyenne à 238.8 mg/l, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-La matière organique ou encore l'oxydabilité au permanganate, permet d'apprécier les teneurs en substances oxydables. Les eaux de surface renferment naturellement des matières organiques constituées de produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborées sous l'influence des micro-organismes. La teneur maximale en matière organique est enregistrée au mois d'avril, traduisant une forte charge organique qui peut être due à un enrichissement des eaux en matières organiques à la suite de fortes pluies ou crues. La teneur la plus faible enregistrée au même mois,

⁶² RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 102.

cette situation se traduit par une bonne biodégradation des substances organiques déversées au niveau de l'oued. De plus, l'effet de dilution peut s'y ajouter. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la teneur en matière organique, que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

-Les valeurs d'hydroxyde (OH) sont nulles.

- Le titre hydrométrique (TH) est entre [32-59] mg/l et la dureté carbonate (TAC) est entre [13-23] mg/l, on conclut que l'eau est demi dure en comparaison avec les normes.

- Le titre alcalimétrique (TA) est nul.

- L'azote ammoniacal, rencontré dans les eaux et dont la présence est anormale traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation.

Dans les eaux superficielles, il peut avoir pour origine : la matière organique végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels (engrais, textiles...) ⁶³. En général, la teneur la plus élevée est enregistrée au mois de mars et provient des eaux de ruissellement qui amènent des quantités importantes de matières organiques. La nette diminution de l'ammonium au mois de mars traduit une auto épuration efficace des eaux, due à la fois à une bonne minéralisation et aux dilutions successives par le biais des pluies. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la teneur en NH_4 , que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

- Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates peu stable en rivière, on ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxydation ou de la flore bactérienne de la rivière. Les valeurs obtenues dans notre cas très faibles (trace). On déduit que la qualité des eaux de Hammam Melouane est normale.

- Les valeurs d'oxydes de silicium sont entre [0.2-8.3] pas d'effets secondaires sur l'environnement.

- Les ortho phosphates (PO_4^{-3}) sont d'origine urbaine (composant des détergents) et agricole (lessivages d'engrais). Les ortho phosphates sont comme les nitrates un nutriment majeur des végétaux et peuvent entraîner leur prolifération à partir de 0,2mg/l, on considère généralement que les phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation. La grille d'appréciation de la qualité de l'eau utilisée en Algérie (ANRH) nous permet de conclure, pour la teneur en PO_4 , que la qualité des eaux de Hammam Melouane est conforme aux normes.

⁶³ RODIER, Jean [et al.]. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. pp 165.

III.13.7 Comparaison des résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane avec les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) pour l'année 2012

Les résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane et les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) pour l'année 2012 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane et les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) pour l'année 2012

	Elément	Calcium (mg/l)	Magnésium (mg/l)	Sodium (mg/l)	Potassium (mg/l)	Chlorures (mg/l)	Sulfates (mg/l)	Bicarbonates (mg/l)	Carbonates (mg/l)	OH (mg/l)	Nitrates (mg/l)	pH	CE μ/cm	Résidu Sec (mg/l)	TH °F	TAC °F	TA °F	NH4 (mg/l)	M.Org (mg/l)	PO ₄ (mg/l)
Hammam Melouane	Max	106	99	298	4	580	332	275	0	0	3,4	8,3	2690	1875	59	23	0	0,41	6,5	2,286
	Min	53	34	24	1	10	105	159	0	0	0	7,4	700	442	32	13	0	0	0,1	0,116
	Moyenne	74	50	65	2	117	184	239	0	0	1	8	1105	717	39	20	0	0	2	0
d'oued Sidi Aich	Max	404	309	1610	192	3300	580	519	0	0	10	8	12500	7880	222	43	0	15	204	60
	Min	60	39	108	2	146	44	214	0	0	0	8	1293	809	38	18	0	2	19	9
	Moyenne	251	148	714	42	1885	369	327	0	0	3	8	6979	4481	124	27	0	7	77	30

Source : ANRH Blida

Le bassin de sidi aich a été pris comme repère afin de montrer la bonne qualité des eaux de celui de Hammam Melouane.

En comparant les résultats d'analyse des eaux de Hammam Melouane et les eaux d'oued Sidi Aich (amont d'oued Soummam BEDJAIA) avec la grille d'appréciation de la qualité des eaux, on remarque que les eaux d'oued Sidi Aich sont très polluées à cause des rejets industriels et domestiques. Les eaux de Hammam Melouane sont de qualité normale.

III.14 TRANSPORT SOLIDE

La présence de particules en suspension dans l'eau rechargée est responsable directement ou indirectement d'une réduction de la perméabilité de la surface à travers laquelle s'infiltrent les eaux rechargées.

L'étude du transport solide se base sur un suivi mensuel de mesures continues à la station du rocher des pigeons pour les deux années 2011 et 2012.

➤ Année 2011

La figure 19 résume les données concernant les apports solides mensuels mesurés durant l'année 2011. Nous constatons que les maxima ont été enregistrés entre janvier et juin.

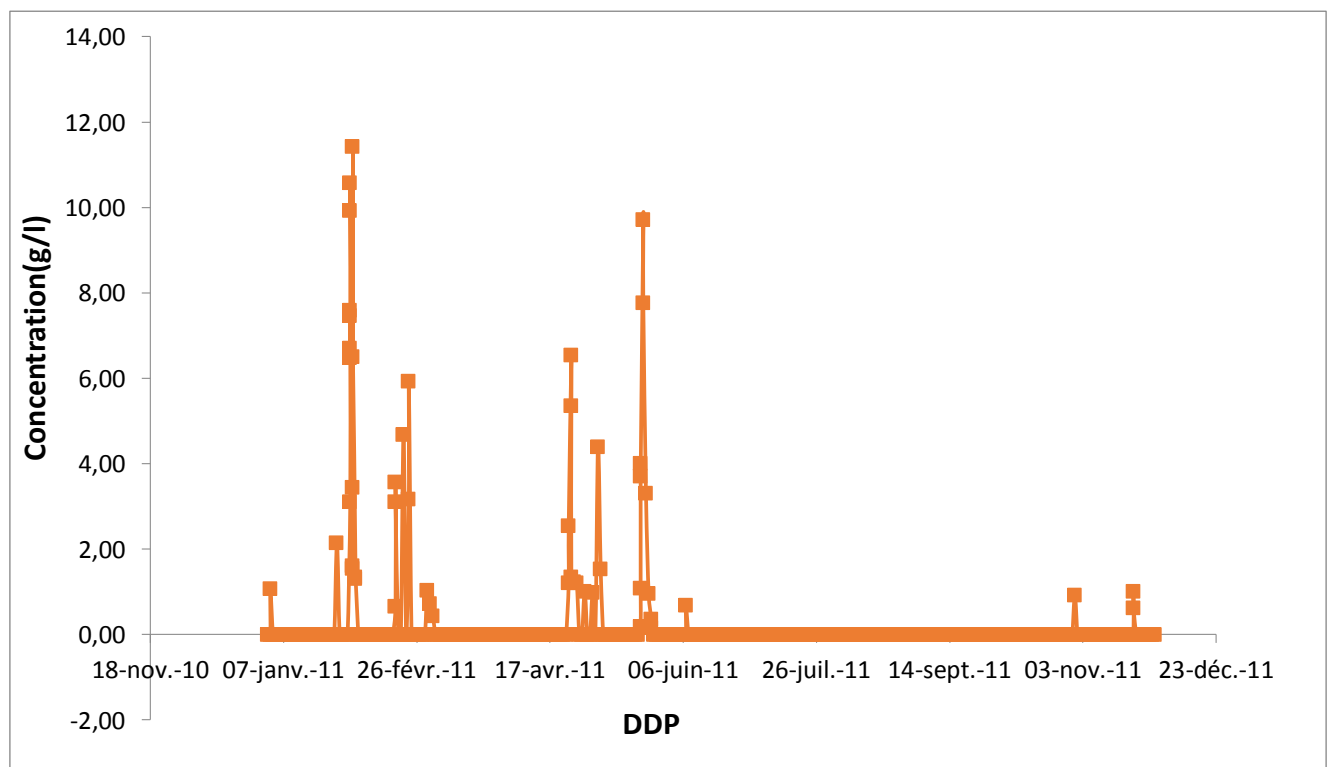


Figure 19 : Variation de la concentration (mg/l) en matière solide pour l'année 2011

➤ Années 2012

La figure 13 illustre la variation des apports solides mensuels de l'année 2012.

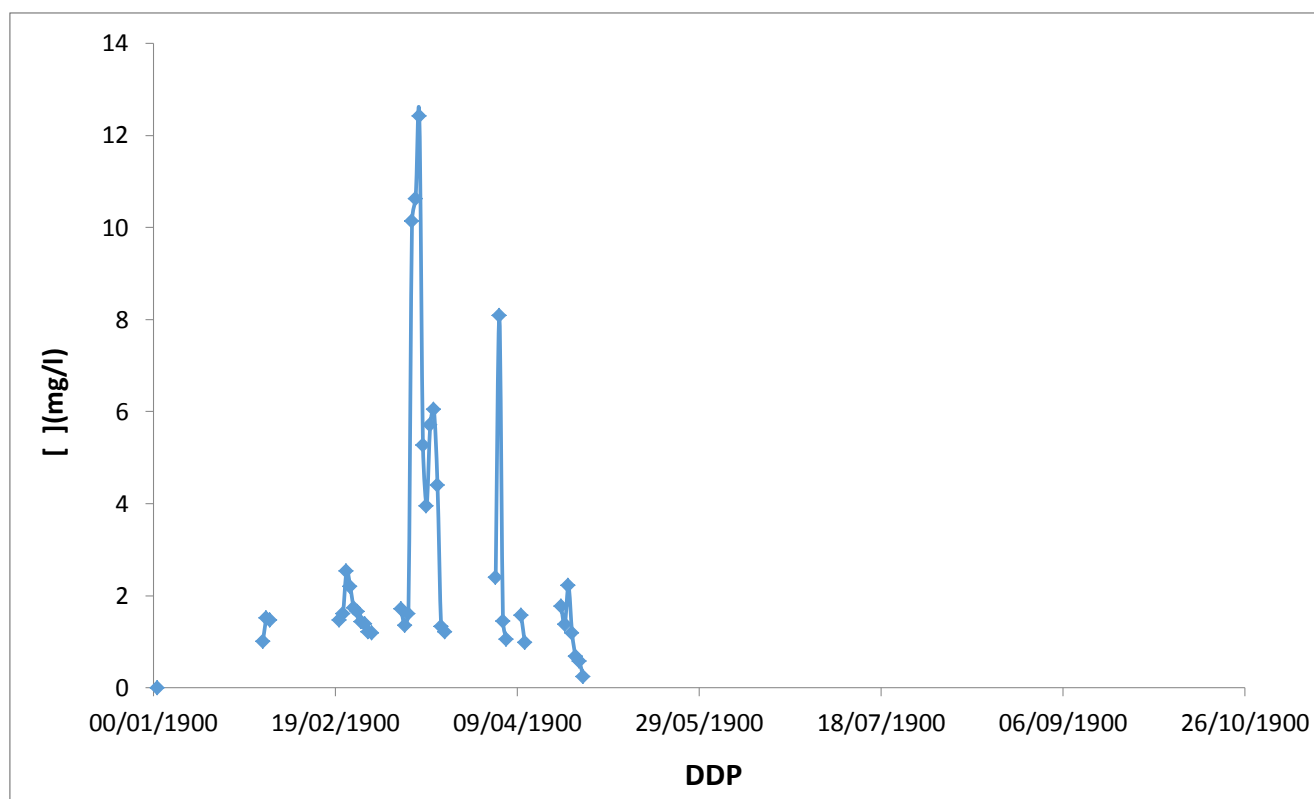


Figure 20 : Variation de la concentration (mg/l) en matière solide pour l'année 2012

Discussion

Les figures 19 et 20 montrent que les valeurs du transport solide sont importantes en période des crues où il y a une forte turbidité. Durant cette période, l'eau est très chargée. Donc l'utilisation de ces eaux risque de provoquer le colmatage des fonds des bassins d'infiltrations. Alors, il faut prendre les mesures nécessaires pour éviter cette problématique.

III.15 CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a pu avoir les différentes méthodes ou les dosages et les différents matériels utilisés pour la détermination des divers paramètres (pH, T°C, ...) et divers substances peuvent exister dans les eaux de surface et cela pour déterminer la qualité des eaux de Hammam Melouane dans le but de l'alimentation artificielle de la nappe de la Mitidja.

Les eaux de Hammam Melouane pour l'année 2012 sont devenues de qualité de plus en plus normale en les comparants avec les années 2010 et 2011.

En comparant les eaux de Hammam Melouane aux eaux d'oued Sidi Aich ((BEDJAIA), les eaux de Hammam Melouane se trouvent dans une bonne qualité chimique et permettent l'alimentation artificielle de la nappe de la Mitidja.

Chapitre IV

Etude des composantes de l'écoulement superficiel

IV.1 INTRODUCTION

Le débit de base est une composante de l'écoulement provenant de la vidange des réserves du bassin, souterraines ou superficielles (barrages, lacs artificiels)

Il existe classiquement deux usages de ce terme :

- Le débit de base est assimilable à l'écoulement qui se produit dans un cours d'eau pendant les périodes sans précipitations, c'est donc l'eau qui vient du tarissement des nappes, La plupart des écoulements d'été, en régions tempérées, sont assimilables au débit de base.

- Par ailleurs, lors d'un épisode de crue l'écoulement de base a été classiquement défini comme l'écoulement qui se serait produit en l'absence de précipitation. En effet, dans la conception ancienne de l'hydrologie, l'intumescence de l'hydrogramme était exclusivement attribuée au ruissellement. L'écoulement de crue était alors considéré comme résultant de la somme de l'écoulement de base, correspondant à la vidange simple de la nappe, et du ruissellement.

Mais les travaux récents, utilisant la composition chimique ou isotopique des eaux, ont montré que la part des eaux souterraines dans l'écoulement de crue était beaucoup plus importante qu'on ne le pensait auparavant, et constituait souvent l'essentiel du débit de crue ; dans ce cas, s'il s'agit bien d'écoulement souterrain, il ne s'agit plus d'écoulement non influencé,

- Le terme d'écoulement de base sera réservé à l'écoulement résultant du tarissement des réserves en l'absence d'influence, et celui d' " écoulement souterrain " à l'écoulement provenant d'aquifères ou transitant par eux lors des épisodes de crues.

- Le débit de base se réfère à l'analyse des variations dans le temps des composantes de l'écoulement total d'un cours d'eau, l'écoulement souterrain se réfère à l'analyse dans l'espace des milieux parcourus par l'eau.

IV.2 DESCRIPTION DU PROGRAMME DU CALCUL BFI

Le logiciel Microsoft Office Excel a été utilisé comme plateforme des fonctions, outils de génération de graphiques, des outils d'analyse croisée dynamique et un module de programmation par macro ou en développement direct avec le langage Visual Basic pour Application (VBA). Il permet aussi de tracer automatiquement des graphiques de visualisation des données chiffrées.

Un classeur Excel nommé BFI composé de six feuilles de calcul :

- Feuille « Données », pour l'acquisition des données brutes avec une simple opération Copie/Coller.
- Feuille « SEGMENTATION », pour la segmentation d'une colonne de données par classe de N valeurs.
- Feuille « CALCUL », dans cette feuille on peut calculer le débit de base et l'IEB grâce à un bouton « CALCULER » en fixant la valeur de N souhaitée.
- Feuille « DETERMINATION de N », les procédures de calcul faites sur la feuille« CALCUL » sont refaites automatiquement en cliquant sur le bouton « CALCUL AUTOMATIQUE » pour N=2 à N=10 les résultats sont visualisés dans un graphe IEB en fonction de N.
- Feuille « HYDROGRAMME », pour la visualisation l'hydrogramme de débit total et de débit de base.
- Feuille « RESULTAT » : les valeurs de l'IEB annuelles, saisonnières et mensuelles sont regroupées dans un tableau et à l'aide des listes déroulantes, on peut sélectionner le début et la fin d'une période dans un cycle annuel pour le visualiser directement sur un graphique.

IV.2.1 Manipulations

- En cliquant sur le bouton « coller », les données ont été ensuite compilées dans une base de données (sur la feuille « Données » du classeur IEB).
- On détermine le nombre de jour N par le tracé de la courbe IEB en fonction de N pour N =2..... 10. Une Macro est programmée pour calculer automatiquement les valeurs de l'IEB pour les différentes valeurs de N et les structurer dans un tableau d'après lequel on détermine la valeur critique de N où la courbe va être linéaire.

La valeur critique de N est donc le Nombre de jours utilisés pour la segmentation et les calculs.

- Un module d'extraction a été conçu pour être en mesure d'interroger la base de données de manière interactive. Ce module permet à l'utilisateur de bâtir sa requête et de sélectionner une période à l'aide d'une liste « déroulante ». Une fois la requête terminée, les résultats peuvent être exportés en format Excel afin de les représenter graphiquement tels que le débit total, débit de base et les points de changement.

IV.3 METHODOLOGIE DE L'ESTIMATION DE L'IEB

Cette section décrit les principales étapes utilisées pour développer la base de données destinée au calcul du débit de base à partir des hydrogrammes.

La connaissance des débits de surface passe par l'analyse hydrologique des données aux stations hydrométriques.

La démarche à suivre afin de calculer l'IEB est la suivante :

- On regroupe les débits moyens journaliers en groupes de N jours non chevauchants, ensuite, on calcule le minimum de chaque groupe, en lui donnant le nom ($Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$).
- Scrutation successive des groupes de valeurs minimums de débits moyens journaliers tels que : (Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), ..., (Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1}). Dans chaque segment, si la valeur centrale d'un groupe $Q_n \times PVM$ ($PVM =$ pourcentage de validité des minima, fixé à 0,9) est inférieure aux valeurs qui les encadrent (bornes), alors la valeur de ce produit constitue le point de changement de la courbe d'écoulement de base (retenue comme étant un point pivot (Q_{Bi}) pour la courbe du débit de base). On continue cette procédure jusqu'à la fin des classes. On attribue, aux valeurs qui vérifient la condition précédente, les noms $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bi}$, dont elles ont des intervalles de temps différents.
- On effectue une interpolation linéaire entre les valeurs Q_{Bi} afin d'estimer les valeurs journalières de $Q_{B1}, Q_{B2}, \dots, Q_{Bn}$.
- Si $Q_{Bi} > Q_i$ alors : Q_{Bi} prend la valeur de Q_i .
- Calcul du V_a : volume de l'hydrogramme des débits moyens journaliers Q_n sur la période étudiée.
- Calcul de V_b : volume au-dessous de la courbe de l'écoulement de base entre le premier et le dernier point de changement d'allure de la courbe sur la période étudiée.
- Calcul de l'indice d'écoulement de base ($IEB = V_b/V_a$).

La figure ci-dessous montre le résultat de l'application aux données de débits moyens journaliers ; durant deux mois de l'année 2013 pour la station Rocher des Pigeon (N=5). Les lignes verticales en rouge indiquent que l'ordre des segments de cinq jours des données et les points jaunes indiquent le minimum pour chaque segment. Un point des minimums qui se produisent au cours de la période est défini comme point de changement et représenté par un cercle ouvert. L'interpolation linéaire qui relie les points de changement indique la variation du débit base.

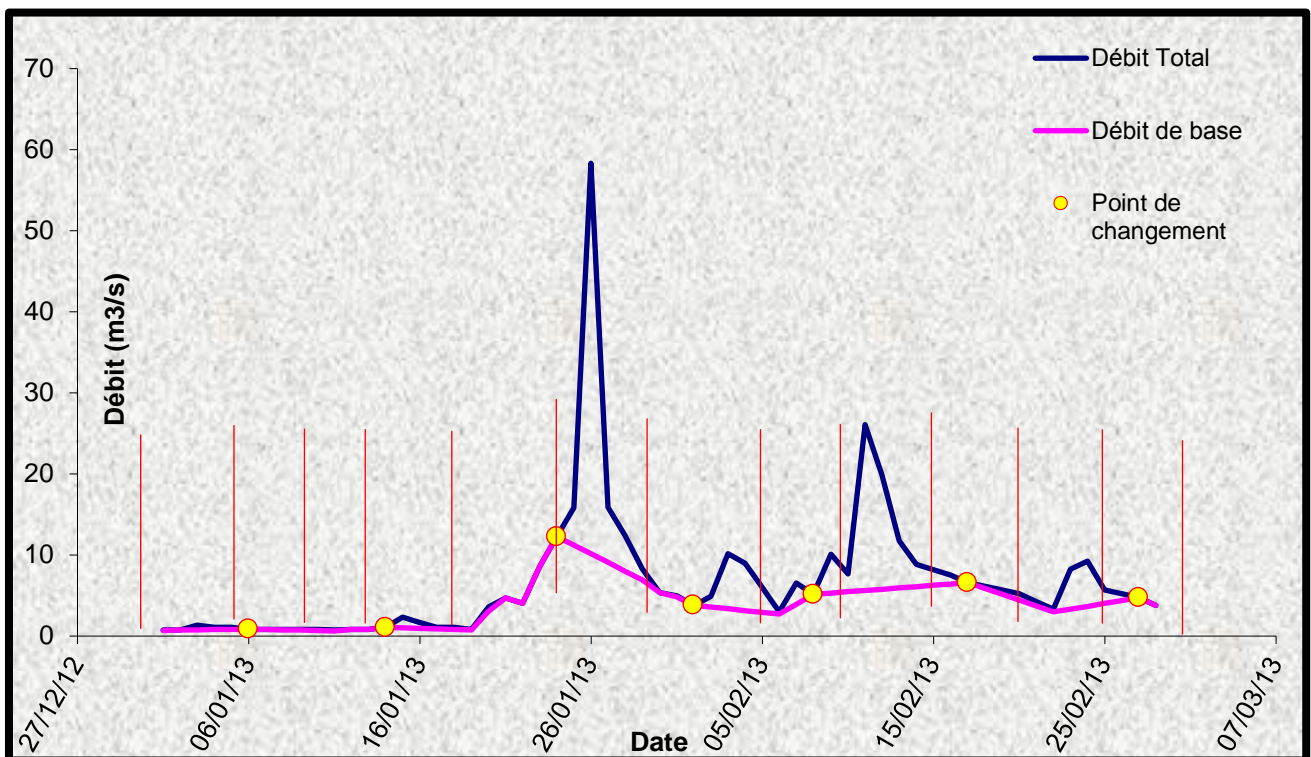


Figure 66 : Séparation de l'IEB des mois de janvier et de février 2013.

IV.3.1 Données disponibles

Les données sont fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH BLIDA). Ces données sont des débits hydrométriques journaliers qui ont été prélevés à la station Rocher des Pigeons.

Cette station se situe en aval de la ville d'Hammam Melouane, à l'endroit où l'oued El Harrach forme une percée dans le Rocher des Pigeons. La station a beaucoup évolué au fil des années. En 2010, une carrière a été installée en rive gauche en aval immédiat de l'ancienne station.

La station actuellement en service est située environ 1 km en amont de l'emplacement de l'ancienne, dans un coude marqué qui semble instable.

Elle est dotée depuis février 2009 d'un capteur (radar) de niveau d'eau par-dessus et est reliée à un système d'alerte aux crues.

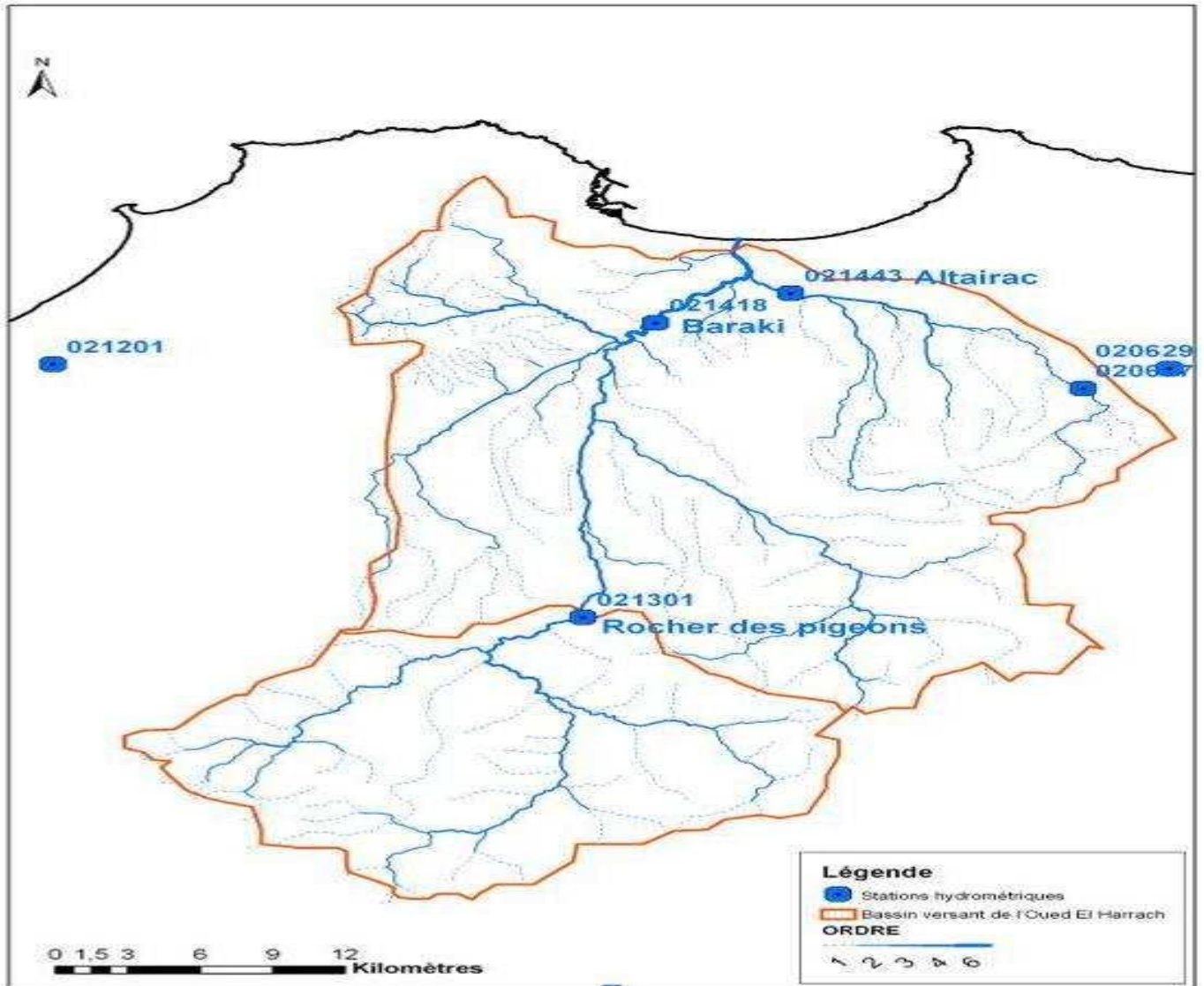


Figure 67 : Stations hydrométriques du Bassin versant de l'oued El Harrach.

Les photos suivantes montrent l'emplacement de l'ancienne et l'actuelle station de Rocher des Pigeons.



Figure 68 : l'ancienne station de Rocher de Pigeon (1979-2001)



Figure 69 : L'actuelle station de Rocher de Pigeon.

IV.3.2 Ressources en eau en période d'étiage

L'apport en période d'étiage mérite d'être connu, car il témoigne des caractéristiques du régime d'un cours d'eau. Sur le plan économique, il est primordial de connaître le volume d'eau écoulé en période estivale où la demande en eau est grande. Par ailleurs, les durées d'étiage accroissent les risques de pollution (les eaux usées rejetées des agglomérations et de certaines unités industrielles).

L'IEB est sensible aux événements climatiques et notamment pluviométriques ; il diminue au moment des crues et augmente lors des périodes d'étiage. Son évolution mensuelle sur plusieurs années met en évidence les grandes tendances du climat.

L'IEB peut être employé comme mesure des caractéristiques géologiques d'un bassin. Une valeur importante de l'IEB c'est-à-dire une partie importante de débit observé est attribuée au débit de base, indique une perméabilité élevée du sol. Une valeur faible de l'IEB (grande partie de débit observé représente un écoulement directe de surface) reflète une perméabilité faible.

IV.3.3 Séparation de l'hydrogramme d'écoulement

❖ Année 2012-2013

Le graphique suivant représente la séparation de l'hydrogramme de crue en hydrogramme de débit total et de débit de base de la station Rocher des Pigeons pour l'année 2013.

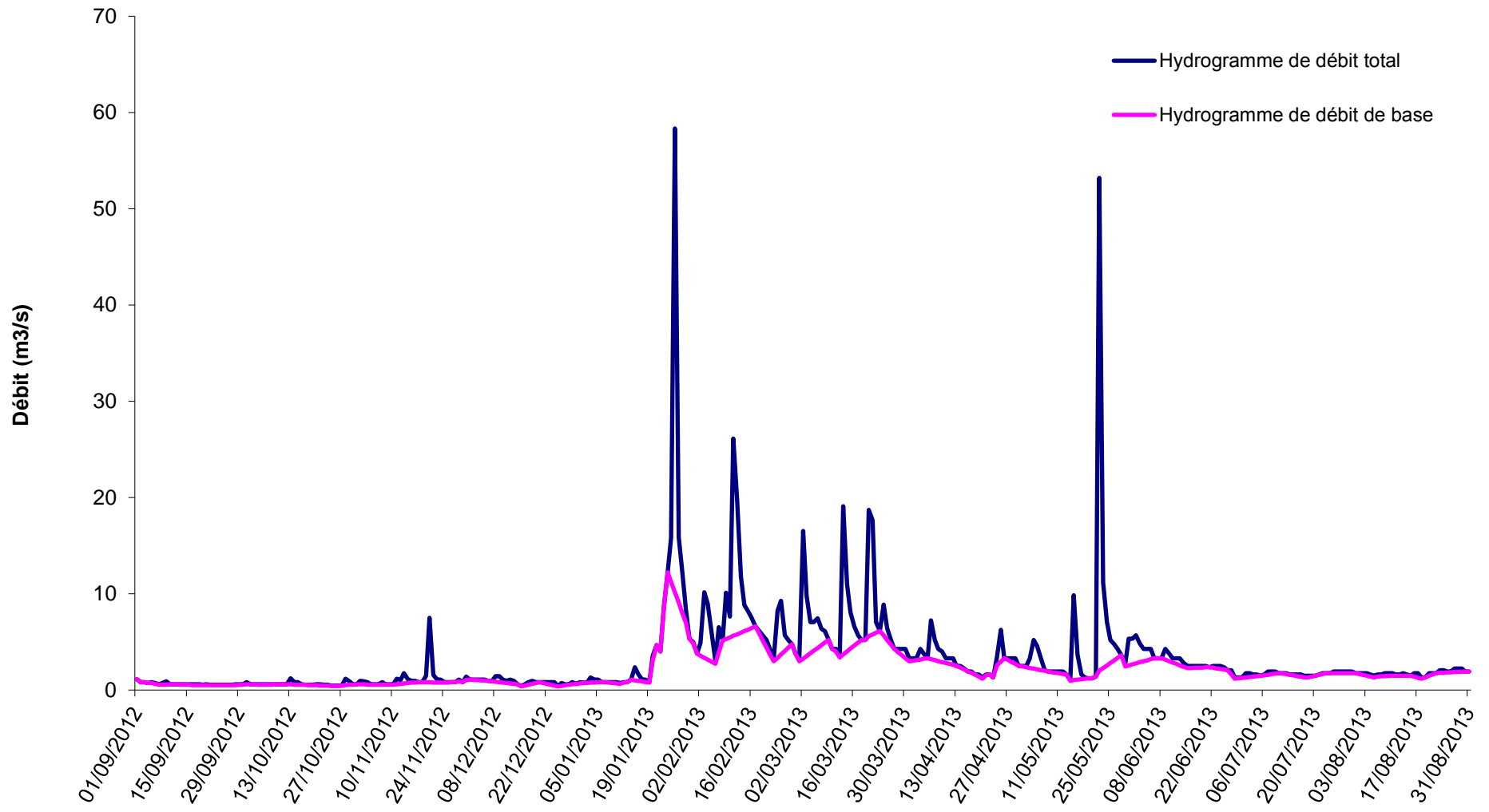


Figure 70 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2012

Tableau 21 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2012-2013.

ECHELLE	V_a (Mm³)	V_c (Mm³)	V_b (Mm³)	BFI %
automne	6,78	1,86	4,92	73%
hiver	48,18	20,33	27,85	58%
printemps	33,87	12,82	21,04	62%
été	12,18	1,16	11,01	90%
annuel	101,01	36,17	64,83	64%

D'après les résultats, on constate qu'au niveau de la station Rocher des Pigeon le volume total écoulé varie de 6,78 millions de m³, en automne caractérisé par une faible hydraulicité à 48,18 millions de m³ en hiver. Durant l'année, l'écoulement de base a varié de 58% à 90% de l'écoulement total. Une valeur importante de l'IEB a été estimée à 90 % en été. La valeur importante de l'IEB en été avec un faible débit comparé à l'hiver, indique que le débit dans l'oued est parfaitement soutenu par les eaux souterraines.

❖ **Année 2011-2012**

Le graphique suivant représente la séparation de l'hydrogramme de crue en hydrogramme de débit total et de débit de base de la station Rocher des Pigeons pour l'année 2012.

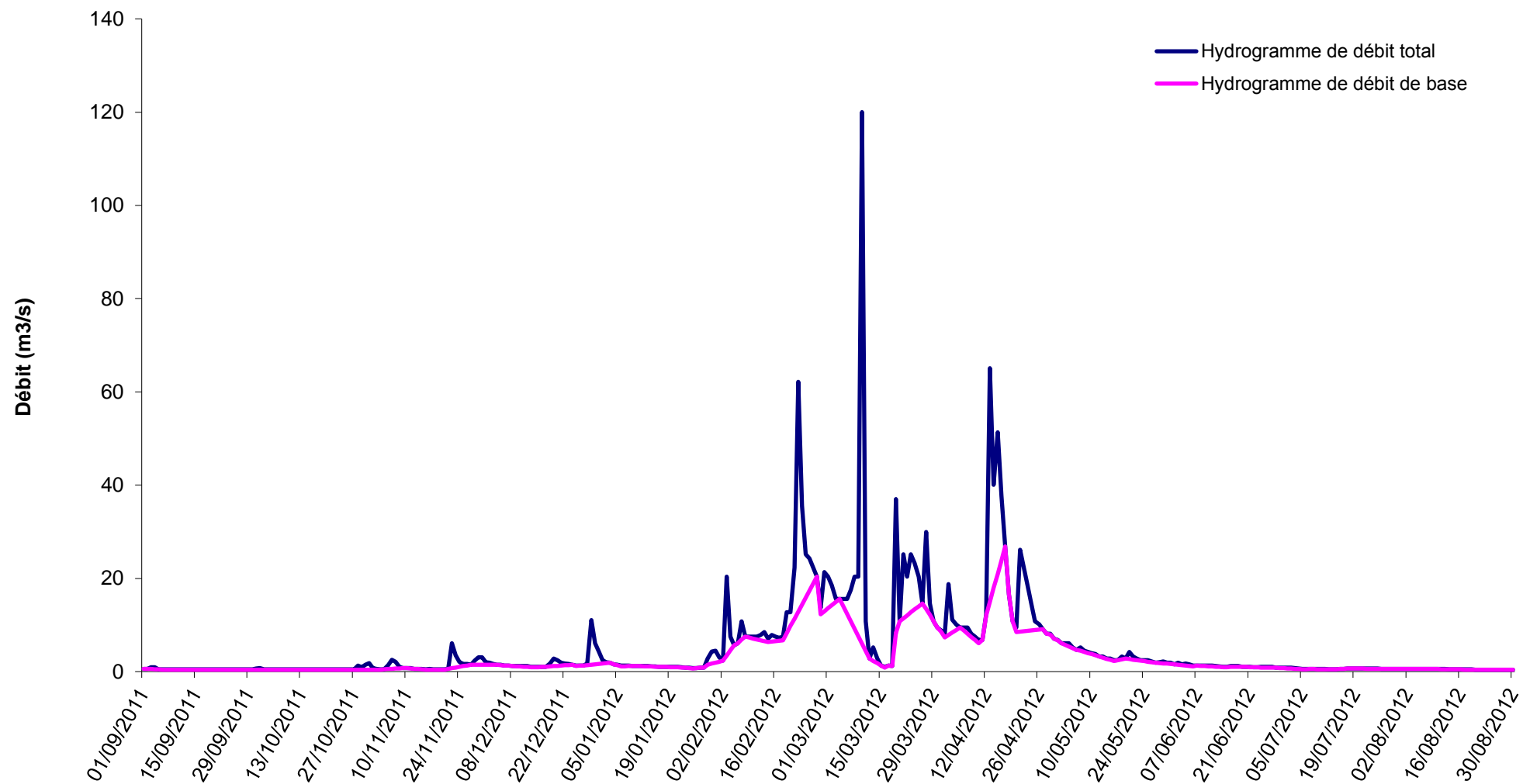


Figure 71 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2012

Tableau 22 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2011-2012.

ECHELLE	V_a (Mm³)	V_c (Mm³)	V_b (Mm³)	BFI %
automne	8,27	2,73	5,54	67%
hiver	72,09	32,74	39,35	55%
printemps	74,29	23,24	51,05	69%
été	4,97	0,46	4,50	91%
annuel	159,62	59,17	100,44	63%

D'après les résultats, on constate qu'au niveau de la station Rocher des Pigeon le volume total écoulé varie de 4,97 millions de m³, en été caractérisé par une faible précipitation à 74,29 millions de m³ en printemps. Une valeur importante de l'IEB a été estimée à 91 % en été. La valeur importante de l'IEB en été avec un faible débit comparé à l'hiver, indique que le débit dans l'oued est parfaitement soutenu par les eaux souterraines.

❖ **Année 2010-2011**

Le graphique suivant représente la séparation de l'hydrogramme de crue en hydrogramme de débit total et de débit de base de la station Rocher des Pigeons pour l'année 2011.

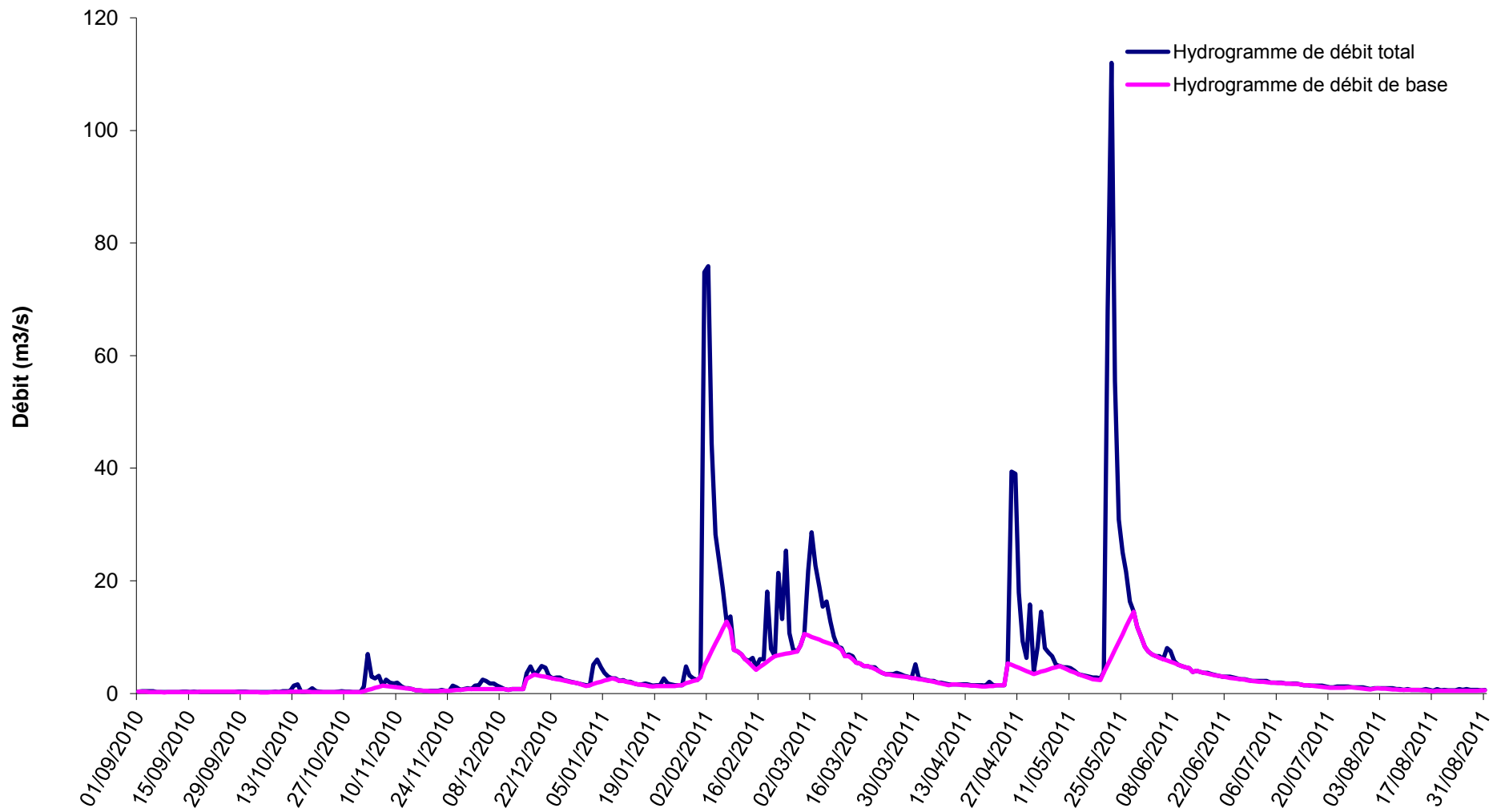


Figure 72 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2011

Tableau 23 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2010-2011.

ECHELLE	V_a (Mm³)	V_c (Mm³)	V_b (Mm³)	BFI %
automne	8,50	3,26	5,25	62%
hiver	69,50	32,36	37,14	53%
printemps	68,10	35,13	32,97	48%
été	8,54	0,75	7,79	91%
annuel	154,65	71,50	83,15	54%

D'après les résultats on constate qu'au niveau de la station Rocher des Pigeon le volume total écoulé varie de 8.50 millions de m³, en automne caractérisé par une faible hydraulicité à 69.50 millions de m³ en hiver. Durant l'année, l'écoulement de base a varié de 48% à 91% de l'écoulement total. La valeur importante de l'IEB en été avec un faible débit comparé à l'hiver, indique que le débit dans l'oued est parfaitement soutenu par les eaux souterraines.

❖ **Année 2009-2010**

Le graphique suivant représente la séparation de l'hydrogramme de crue en hydrogramme de débit total et de débit de base de la station Rocher des Pigeons pour l'année 2010.

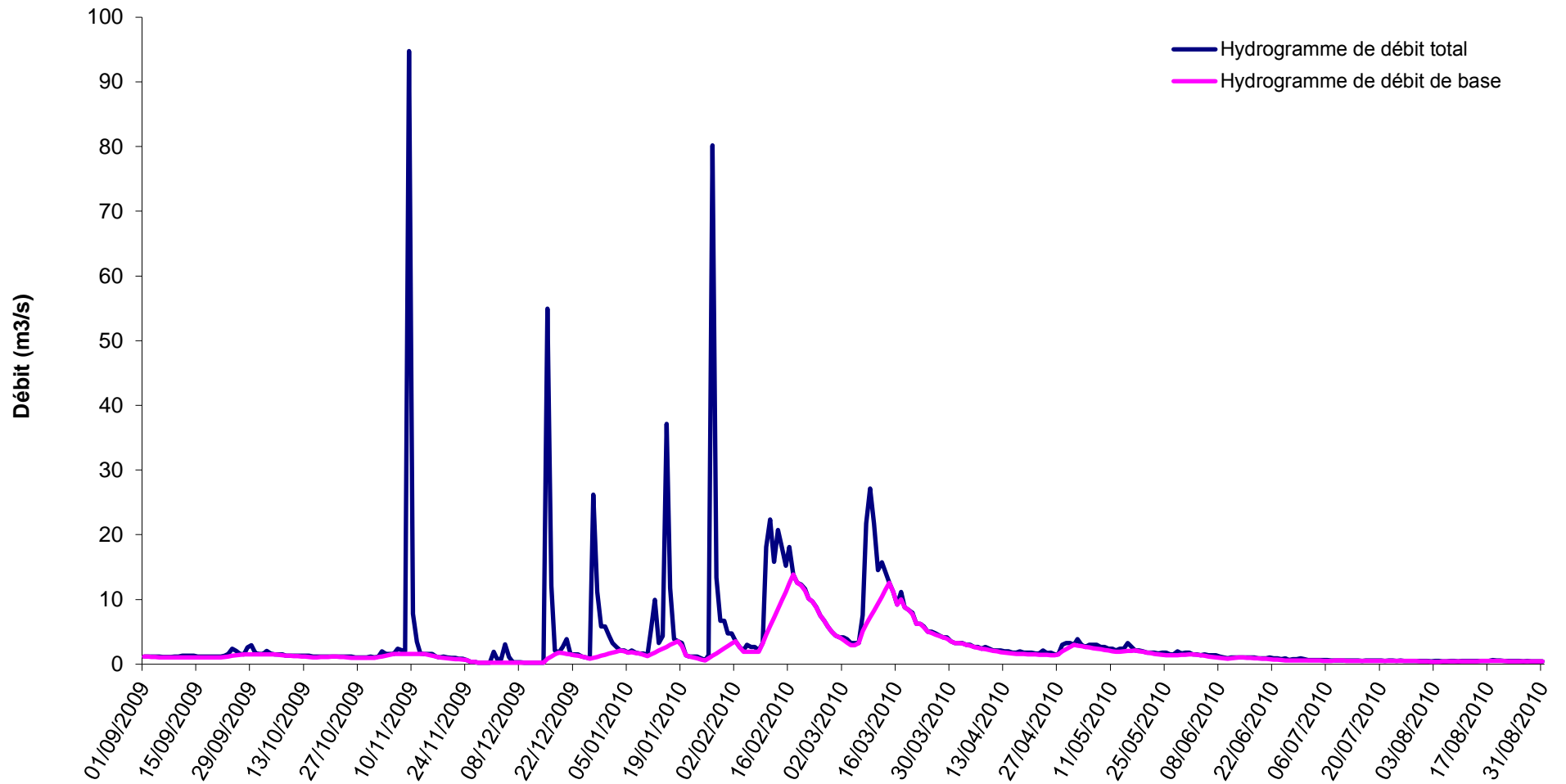


Figure 73 : Séparation de l'hydrogramme d'écoulement pour l'année 2010

Tableau 24 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons pour l'année 2009-2010.

ECHELLE	V_a (Mm³)	V_c (Mm³)	V_b (Mm³)	BFI %
automne	24,46	16,44	8,02	33%
hiver	65,69	30,55	35,15	54%
printemps	18,56	1,82	16,74	90%
été	5,56	0,73	4,83	87%
annuel	114,27	49,55	64,73	57%

D'après les résultats on constate qu'au niveau de la station Rocher des Pigeon le volume total écoulé varie de 5.56 millions de m³, en été caractérisé par une faible hydraulicité à 65.69 millions de m³ en hiver. Durant l'année, l'écoulement de base a varié de 33% à 90% de l'écoulement total.

Remarques

D'après les résultats de calcul, on remarque que les quatre dernières années sont des années humides vue l'importance de débit écoulé.

On remarque aussi que le débit total écoulé est en diminution en comparant les débits écoulés de l'année 2013 avec les autres années et cela à cause des changements climatiques qui influencent le débit de base.

IV.4 VARIATION DES DEBITS DE BASE

Afin d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur les débits de base dans la région d'étude, des séries chronologiques de débits observés et de précipitations ont été utilisées pour étudier la relation existant entre le climat et l'indice de l'écoulement de base au cours du temps. La base de données développée pour les besoins de cette étude rassemble des informations provenant de la station hydrométrique Rocher des Pigeon.

Le tableau IV.5 représente les valeurs du volume annuel total (V_a), du volume de débit de base, et le rapport entre les deux qui représente l'indice de l'écoulement de base (IEB). Ainsi que les débits de base moyens annuels (Q_{ba}) et les débits moyens annuels totaux (Q_{ma}), pour les années où les mesures sont disponibles.

Tableau 25 : Volume d'eau écoulé annuel, de base et l'indice d'écoulement de base à la station Rocher des Pigeons.

Année	Va (m ³)	Vb (m ³)	IEB	Q _{ma} (m ³ /s)	Q _{ba} (m ³ /s)
1973	274840998	157379659	0,573	8,72	4,993
1974	226560383	95825622,1	0,423	7,18	3,037
1975	79813243,1	57582771,6	0,721	2,53	1,825
1976	136834981	94751024,9	0,692	4,33	2,998
1977	52494537,5	35954849,5	0,685	1,66	1,137
1978	52745035,9	33426565,6	0,634	1,67	1,058
1979	72166182,7	49700842,4	0,689	2,29	1,577
1980	120844169	88376917,4	0,731	3,82	2,794
1981	105722857	61905371,7	0,623	3,35	2,086
1982	58376541,7	43725653,3	0,749	1,85	1,386
1983	63228835,2	45479648	0,719	2	1,439
1984	57122713,6	41853956,2	0,733	1,81	1,326
1985	131812439	93732747,1	0,711	4,18	2,972
1986	104418336	73973412,3	0,708	3,31	2,345
1987	173149554	102059937	0,589	5,49	3,236
1988	29098154,5	16969642	0,583	0,92	0,537
1989	104711279	40263965,9	0,385	3,32	1,277
1990	46507621,1	29816490,9	0,641	1,47	0,942
1991	122766774	73542322,7	0,599	3,89	2,330
1992	209934238	68724765,1	0,327	6,64	2,174
1993	38328100,2	28154265,2	0,735	1,22	0,896
1994	64425879,1	28717746,9	0,446	2,04	0,909

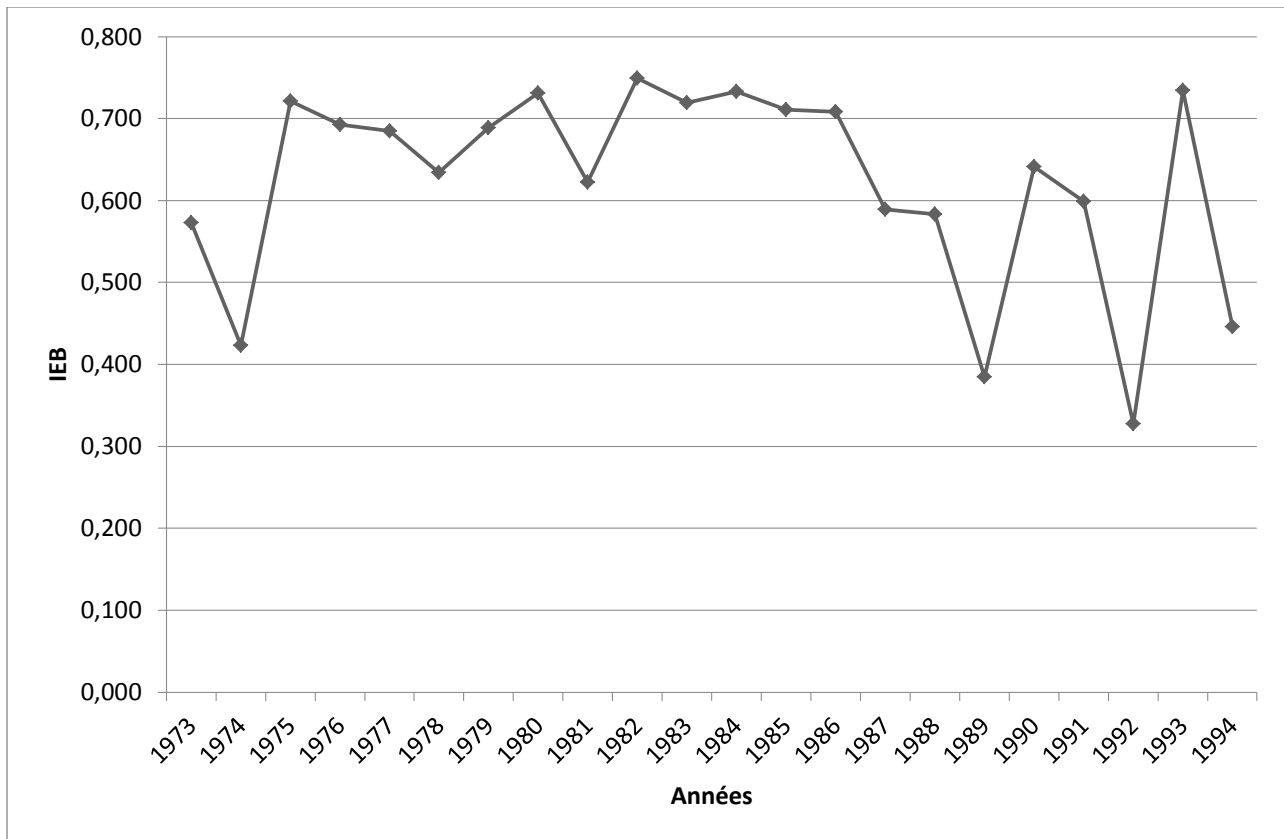


Figure 74 : Variation annuelle des IEB à la station Rocher des Pigeons.

Les valeurs annuelles de l'indice du débit de base calculées à partir des débits moyens journaliers à la station Rocher des Pigeons, sont en général au-dessus de la moyenne.

IV.5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'indice de l'écoulement de base (IEB) est employé comme mesure des caractéristiques d'écoulement de base dans les bassins. Il fournit d'une manière systématique l'évaluation de la proportion de l'écoulement bas dans l'écoulement total d'un Oued.

Ce chapitre a ainsi permis de structurer les données et de les intégrer dans une base de données, à laquelle un module d'extraction a été ajouté pour faciliter leur accès et leur gestion.

Sur un plan chronologique, l'IEB est évidemment sensible aux événements climatiques et notamment pluviométriques ; il diminue au moment des crues et augmente lors des périodes d'étiage. Son évolution annuelle et mensuelle sur plusieurs années met en évidence les grandes tendances du climat.

Dans un premier temps, on a essayé d'évaluer l'apport en période d'étiage (pour des années à hydraulicité forte, faible et moyenne), qui mérite d'être connu, car il témoigne des caractéristiques du régime d'un cours d'eau.

Deuxièmement, des graphiques de précipitations annuelles et de l'IEB moyen annuel ont été tracés pour essayer de voir si une forte relation existait entre ces deux paramètres, de manière à pouvoir visualiser l'impact du changement de paramètre climatique (précipitation) au cours des longues périodes sur l'indice de l'écoulement de base. Dans tous les cas, l'hypothèse nulle (impliquant qu'aucune relation n'est présente) peut être rejetée, impliquant une relation indéniable entre les deux paramètres. Nous avons constaté qu'il y a une diminution de l'IEB par rapport à la moyenne suite à une diminution de la précipitation totale au cours de la même période.

Les résultats montrent que les valeurs de l'IEB d'un mois ou d'une année donnée sont intimement liées à la quantité de précipitations tombée durant le mois ou l'année. Mais, ce paramètre à lui seul ne suffit pas pour prédire adéquatement la valeur du débit de base d'un oued ou sa proportion par rapport au débit total. On peut attribuer la diminution de l'IEB au cours de ces dernières années à plusieurs facteurs. Les activités humaines qui peuvent également avoir un impact important sur l'infiltration et la capacité d'augmenter ou diminuer, de manière intentionnelle ou non, la décharge d'eau souterraine et donc l'IEB.

D'après les résultats de calcul, la quantité des eaux d'oued Hammam Melounae est largement suffisante pour alimenter la nappe de la Mitidja artificiellement.

Conclusion générale

Conclusion générale et perspectives

L'impact de ces résultats est d'ordre économique et social. Nous avons montré la nécessité d'une recharge de la nappe pour accroître les volumes d'eau emmagasinée. Cette opération est pratiquée dans de nombreux pays du monde même dans les régions humides. Les premiers résultats sont très encourageants. Aussi, vu la positivité de ces résultats, Il sera utile d'engager un travail avec l'ANRH d'Alger sur la dynamique de l'intrusion des eaux salées dans la nappe de la côte Est d'Alger. Egaleme nt, il sera question de l'impact de la recharge de la nappe, dans cette région, par les eaux traitées par la future station de BARAKI rentrant dans le cadre de l'aménagement et la réhabilitation d'Oued El Harrach. Cette deuxième partie complètera la première. Nous souhaitons continuer ce travail dans le cadre d'un travail plus poussé à savoir la faisabilité de la recharge artificielle à l'amont de la future station d'épuration de BARAKI.

Référence bibliographique

- **Arnold, J .et al.** Automated base flow separation and recession analysis techniques. Ground water. 1995. pp. 1010-1018.
- **Baize, M.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Ed.Inra. Versailles. France, 1997. 408 p.
- **Brémond, R ; Perrodon, C.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed. 1979. 259 p.
- **Brémond, R ; Vuichard, R.** Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris, 1973. 179 p.
- **Dobbs, A ; Zabel T.** Water quality control in Rivers. 1994. Vol. II, 321-336.
- **Dussart, B.** Limnologie: étude des eaux continentales. Paris, 1992. 565 p.
- **El Morhit, M.** Hydrochimie : éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lakkos). 260p. Thèse de Doctorat en Toxicologie. Université Mohammed V. Maroc, 2009.
- **Gaujous, Didier.** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2^{ème} Edition. Paris : Lavoisier, 1995. 220 p.
- **Gustard, A. et. al.** Flow regimes from experimental and network data (FRIEND). Institute of hydrology. Wallingford (UK). Vol 2. 1989.
- **Humbert, J ; Kaden, U.** « Détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'indice de débit de base ». Revue de Géographie Alpine. 1994. N°2. 120p.
- **INERIS.** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Chrome et ses dérivés. 2005.
- **Kemmer, F.** Manuel de l'eau : Technique et documentation. Paris : Lavoisier, 1984. 930 p.
- **Longobardi, A ; Villani, P.** Base flow index regionalization analysis in a Mediterranean area and data scarcity context : role of the catchement permeability index. Journal of hydrology. 2008. pp. 63-75.

-
- **Monod, Jérôme.** Mémento technique de l'eau. 9^{ème} Edition. France : Rueil-Malmaison : Degrémont, 1989. 592 p.
 - **Nisbet, M ; Verneaux, J.** Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Tome 6, n°2. Paris, 1970. 190 p.
 - **Nollet, P.** Problèmes d'environnement : Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Paris : Lavoisier : 1996. 288 p.
 - **Piggott, A ; Moin, S ; Southam, C.**A revised approach to the UKIH method for the calculation of bas flow. Hydrological Sciences journal. Vol. 50. N°5. pp 911-920.
 - **Rainey, M. [Et. al.].** Mapping inertidal estuarine sediment grain size distributions through airborne remote sensing. 490p.
 - **Ramade, François.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. Paris : DUNOD, 2002. 1075 p.
 - **RODIER, Jean.** L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau : eaux naturelles, eaux usées. 2^{ème} Edition. Paris : Dunod, 1960. 412 p.
 - **RODIER, Jean.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 5^{ème} Edition. Paris : Dunod, 1975. 627 p.
 - **RODIER, Jean [et al.].** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Edition. Paris : DUNOD, 2005. 1383 p.
 - **RODIER, Jean ; LEGUBE, Bernard, MERLET, Nicole et coll.** 9^{ème} Edition. Paris : Dunod, 2009. 1600 p.
 - **Rodolph, P.** Le grand livre de l'eau. Paris : Cité des sciences, 1990. 370 p.
 - **Roy, E.** Méthode régionale d'estimation des débits d'étiage pour la province de Québec. Mémoire pour l'obtention du grade de Maitrise des sciences. Université de Montréal.2000. 149p.
 - **SENAT.** La pollution de la Méditerranée: état et perspectives à l'horizon 2030. Rapport N°652 par Roland Courteau. 2009. Sur WWW.Senat.fr/rap/r10-652/html consulté le 16/07/2014.
 - **Stolo, R. et al. HYSEP.** A computer program for stream flow hydrograph separation and analysis. US Geol. Survey water ressources investigation report 96-4040. 1998. 53p.

Annexe

ANNEXE

Tableau 8 : Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station Rocher des Pigeons (Hammam Melouane)

DDP	Calcium	Magnésium	Sodium	pH	Nitrates	OH	Carbonates	Potassium	Chlorures
15/12/09	31	10	47	8,3	0,0	0	137	3	30
23/03/10	61	28	39	7,7	4,0	0	168	1	46
23/03/10	53	20	38	6,8	0,0	0	122	1	45
04/03/10	108	35	28	7,4	8,0	0	246	1	58
08/03/10	80	40	53	7,9	3,0	0	265	1	107
02/05/10	60	38	81	8,6	1,0	0	244	5	78
07/04/10	50	38	119	8,3	3,0	0	220	3	124
16/05/10	104	41	167	8,2	0,0	0	233	5	309
04/06/10	104	42	174	8,2	0,0	0	265	3	293
06/06/10	80	34	198	8,5	0,0	0	193	2	293
24/06/10	80	36	172	8,4	1,0	0	195	2	286
03/07/10	87	41	183	8,3	2,0	0	228	3	335
01/07/10	84	45	142	8,6	0,0	0	203	3	254
16/09/10	140	82	520	8,3	8,0	0	214	4	775
03/09/10	116	72	400	8,2	7,0	0	195	3	643
04/10/10	100	77	650	8,3	7,0	0	220	4	748
10/10/10	124	72	485	8,3	6,0	0	281	3	530
14/10/10	76	38	35	8,0	4,0	0	214	0	120
30/10/10	116	146	130	8,3	5,0	0	244	1	498
02/11/10	76	36	35	8,1	3,0	0	207	0	123
21/11/10	102	56	380	8,2	1,0	0	214	3	475
31/11/10	108	151	156	8,1	4,0	0	250	1	490
03/12/10	106	54	380	8,1	4,0	0	214	3	475
16/12/10	82	73	165	8,0	0,0	0	214	2	240

Tableau 9 : Suite du tableau 7.

DDP	Résidu Sec	TH	TAC	TA	CE μ/cm	Sulfates	Bicarbonates
15/12/09	313	12	11	0	560	83	137
23/03/10	539	27	14	0	810	140	168
23/03/10	412	22	10	0	700	141	122
04/03/10	709	42	20	0	1 050	192	246
08/03/10	633	37	21	0	1 100	152	265
02/05/10	615	31	21	1	1 100	192	244
07/04/10	832	28	18	0	1 200	173	220
16/05/10	1091	43	19	0	1 950	225	233
04/06/10	1249	44	21	0	1 950	232	265
06/06/10	1154	34	17	1	1 920	222	193
24/06/10	1092	35	17	2	1 805	191	195
03/07/10	1074	39	18	0	1 828	215	228
01/07/10	977	40	17	1	1 588	220	203
16/09/10	2841	69	17	0	4 030	330	214
03/09/10	2391	59	16	0	3 220	288	195
04/10/10	2587	57	18	0	3 530	349	220
10/10/10	2140	61	23	0	2 910	276	281
14/10/10	707	35	18	0	1 093	116	214
30/10/10	1 847	90	20	0	2 830	304	244
02/11/10	600	34	17	0	946	100	207
21/11/10	1294	49	18	0	3000	340	214
31/11/10	1966	90	21	0	3090	324	250
03/12/10	1115	49	18	0	3000	340	214
16/12/10	744	51	18	0	1438	200	214

Tableau 10 : Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station de BARAKI

DDP	Calcium	Magnésium	Sodium	pH	Nitrates	O H	Carbonates	Potassium	Chlorures
19/01/10	67	27	100	7,8	0,3	0	366	10	81
23/02/10	69	41	56	7,9	0,0	0	326	4	57
16/03/10	72	40	39	7,5	26,0	0	209	3	72
23/03/10	59	30	64	7,1	1,5	0	214	4	72
04/04/10	74	45	31	7,5	15,0	0	255	2	63
27/04/10	47	30	163	7,8	11,5	0	406	12	164
26/05/10	73	39	148	7,7	0,2	0	445	8	198
03/06/10	35	29	148	8,0	38,0	0	417	16	207
22/06/10	60	32	240	7,8	0,1	0	503	18	160
23/06/10	50	29	158	8,0	31,0	0	427	18	220
04/07/10	99	47	144	8,0	67,0	0	363	17	225

22/07/10	113	28	141	8,3	50,0	0	422	17	189
28/07/10	82	83	148	8,1	0,0	0	701	18	183
18/08/10	76	21	67	8,2	1,1	0	284	15	96
21/09/10	108	53	140	8,3	95,0	0	250	15	186
27/09/10	148	55	91	8,3	72,0	0	189	11	136
29/09/10	108	41	89	8,2	0,0	0	488	12	302
27/10/10	112	46	222	8,0	1,5	0	337	16	235
01/12/10	171	5	111	7,9	4,4	0	397	9	179
27/12/10	106	41	66	8,3	32,0	0	305	5	161

Source : ANRH Blida

Tableau 11 : Suite du tableau 9.

DDP	Résidu Sec	TH	TAC	TA	CE μ /cm	Sulfates
19/01/10	734	28	30	0	1 000	127
23/02/10	573	34	26	0	1 000	118
16/03/10	691	35	17	0	1 000	154
23/03/10	685	27	17	0	900	138
04/04/10	658	37	21	0	1 000	151
27/04/10	881	24	33	0	1 400	178
26/05/10	1082	35	36	0	1 456	189
03/06/10	860	21	34	0	1 555	178
22/06/10	1023	28	41	0	1 795	149
23/06/10	845	25	34	0	1 500	160
04/07/10	945	45	29	0	1 699	138
22/07/10	913	40	34	0	1 615	142
28/07/10	951	55	57	0	1 734	158
18/08/10	625	28	23	0	865	120
21/09/10	1084	49	20	0	1 700	149
27/09/10	1211	60	15	0	1 600	179
29/09/10	1023	44	39	0	1 740	101
27/10/10	1086	47	27	0	1 727	238
01/12/10	889	45	32	0	1 567	223
27/12/10	574	43	25	0	1 304	196

Source : ANRH Blida

Tableau 12 : Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station Rocher des Pigeons

DDP	HDP	Ca	Mg	Na	pH	Nitrates	OH	Carbonate	Potassium	Chlorure
02/01/11		69	56	78	7,7	0,0	0	0	1	106
18/01/11	13:00	82	47	200	7,8	6,0	0	0	2	251
27/02/11	8:00	62	48	71	7,8	6,0	0	0	1	69
08/02/11	13:00	68	44	104	7,9	5,0	0	0	1	115
01/02/11	16:00	46	20	13	7,5	3,0	0	0	1	27
13/02/11	13:00	94	37	34	7,8	7,0	0	0	1	63
03/03/11	13:00	82	47	73	8,0	6,0	0	0	1	111
17/05/11	13:00	68	38	87	8,4	8,0	0	6	1	99
22/05/11	8:00	68	37	200	8,2	6,0	0	0	2	190
30/06/11	13:00	119	31	130	8,1	66,0	0	0	2	139
07/06/11	13:00	111	38	250	8,0	13,0	0	0	4	332
03/07/11	13:00	98	43	200	8,1	11,0	0	0	4	332
31/07/11	13:00	94	20	130	8,2	10,0	0	0	3	139

Source : ANRH Blida

Tableau 13 : Suite du tableau 11.

Résidu Sec	TH	TAC	TA	CE μcm	Sulfates	Bicarbonates
1 115	49	18	0	3 000	340	214
1 014	40	20	0	1 572	216	244
610	36	18	0	900	190	214
643	36	19	0	1 100	191	232
279	20	14	0	477	69	165
550	39	18	0	830	193	220
704	42	18	0	1 100	204	217
650	40	17	0	994	182	207
604	33	21	1	1 019	149	238
780	43	13	0	1400	264	153
1 186	44	18	0	1 900	296	214
1 200	43	15	0	1 820	296	177
763	32	15	0	1 200	261	183

Source : ANRH Blida

Tableau 14 : Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station de BARAKI.

DDP	HDP	Ca	Mg	Na	pH	Nitrates	OH	Carbonate	Potassium	Chlorure
01/11/10		64	34	12	8,0	20,0	0	0	2	39
12/10/10		120	48	44	8,2	83,0	0	0	7	153
07/11/10		72	77	40	8,3	5,0	0	0	5	168
22/11/10		120	53	48	8,3	88,0	0	0	8	138
13/12/10		114	12	178	7,6	31,0	0	0	16	190
01/12/10		122	5	97	7,6	7,0	0	0	11	156
26/01/11	10:00	114	54	140	7,6	0,5	0	0	13	189
23/02/11	9:25	71	36	27	7,8	1,4	0	0	2	37
24/01/11	13:00	88	38	104	7,1	34,0	0	0	8	118
20/01/11	18:00	100	42	148	7,6	58,0	0	0	12	161
15/02/11	13:00	94	43	91	7,4	8,0	0	0	6	104
01/02/11	13:00	70	29	67	7,2	32,0	0	0	6	64
21/03/11		88	50	90	7,7	4,9	0	0	4	120
16/02/11	13:00	90	32	25	7,9	15,0	0	0	3	58
01/02/11	15:00	96	45	67	8,0	13,0	0	0	4	96
29/03/11	13:00	100	44	64	7,6	39,0	0	0	6	90
01/03/11	0:00	98	65	63	7,4	45,0	0	0	6	89
27/04/11	11:40	81	31	60	8,0	2,5	0	0	3	53
30/05/11	11:20	55	69	60	7,0	2,8	0	0	3	45
27/06/11	11:30	65	61	159	7,6	0,0	0	0	10	119
22/05/11	10:15	84	46	115	8,3	61,0	0	0	9	110
15/05/11	13:00	56	38	7	8,3	13,0	0	0	2	31
27/07/11	11:35	96	41	228	7,9	1,8	0	0	17	212
24/08/11	12:16	100	39	171	7,8	3,6	0	0	25	239
06/06/11	13:00	89	43	50	8,2	37,0	0	0	7	103
30/06/11	13:00	98	41	70	8,2	62,0	0	0	10	160
29/07/11	13:00	89	43	75	8,2	79,0	0	0	11	161
06/07/11	13:00	89	43	56	8,0	47,0	0	0	7	157
28/09/11		102	28	169	7,8	0,0	0	0	18	186
24/10/11	10:20	84	130	166	7,6	0,1	0	0	18	312

Source : ANRH Blida

Tableau 15 : Suite du tableau 13.

Résidu Sec	TH	TAC	TA	CE μ/cm	Sulfates	Bicarbonates
406	30	18	0	576	60	214
933	50	20	0	1 295	164	244
925	50	18	0	1 400	216	220
1 013	52	15	0	1 369	211	177
930	34	24	0	1 566	238	287
644	33	20	0	1 119	143	244
823	51	33	0	1 522	217	397
487	33	26	0	800	93	320
705	38	20	0	1 100	168	244
897	43	22	0	1 500	209	262
722	42	25	0	1 200	189	299
571	30	18	0	900	125	214
683	43	25	0	1 200	200	308
430	36	18	0	731	160	217
650	43	19	0	986	180	235
850	43	17	0	1 200	270	207
842	52	13	0	992	113	153
292	33	35	0	850	53	427
628	43	25	0	866	191	305
787	42	30	0	1 344	221	366
772	40	20	0	1 213	202	244
372	30	14	0	573	112	171
985	41	39	0	1 733	227	473
1 142	41	38	0	1 782	161	458
758	40	18	0	1 149	217	214
863	41	15	0	1 323	200	183
858	40	13	0	1 303	213	153
803	40	11	0	1 215	200	137
909	37	36	0	1 500	202	442
1 160	75	43	0	2 100	184	519

Source : ANRH Blida

Tableau 16 : Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station Rocher des Pigeons.

DDP	HDP	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Carbonates	OH	Nitrates	pH	CE μ/cm
08/02/12	10:30	87	64	67	2	174	181	275	0	0	0,9	7,7	1 300
13/02/12	10h20	81	54	64	2	112	158	275	0	0	2,4	7,8	1 100
21/02/12	09h51	61	40	50	2	45	130	253	0	0	1,0	7,6	800
26/02/12	10h45	67	41	51	4	47	161	275	0	0	1,0	7,4	900
07/03/12	10:55	72	37	27	2	80	132	214	0	0	3,4	7,8	777
11/03/12	11h05	78	43	26	2	45	128	275	0	0	2,7	7,5	800
20/03/12	10h50	63	40	26	2	28	133	259	0	0	1,2	7,8	700
26/03/12	15:10	65	44	24	1	45	163	244	0	0	3,1	8,0	800
01/04/12	11h51	62	45	24	3	34	160	244	0	0	0,8	8,0	800
08/04/12	10h35	67	46	38	3	39	105	275	0	0	1,5	7,9	846
16/04/12	10h21	61	42	38	2	10	205	244	0	0	1,7	7,9	800
24/04/12	10h20	74	34	31	3	14	167	223	0	0	1,4	8,1	840
30/04/12	10h17	73	48	32	3	30	221	244	0	0	0,5	8,2	848
08/05/12	10:00	84	45	47	2	116	212	183	0	0	2,8	8,1	1 100
20/05/12	11h00	91	43	45	2	93	243	214	0	0	1,2	8,2	1 080
12/06/12	11h30	78	60	111	2	243	201	214	0	0	0,0	8,2	1 500
04/07/12	10h30	53	99	172	2	378	282	229	0	0	0,0	8,3	2 200
20/09/12	11h50	106	77	298	3	580	332	159	0	0	0,0	8,2	2 690

Source : ANRH Blida

Tableau 17 : Suite de tableau 15.

DDP	Résidu Sec	TH	TAC	TA	SiO ₂	NO ₂	NH ₄	M.Org	PO ₄	MES à 105°C
08/02/12	756	48	23	0	2,1	0,000	0,251	2,9	0,278	57
13/02/12	634	43	23	0	2,8	0,034	0,152	1,9	0,324	52
21/02/12	546	32	21	0	8,3	0,048	0,167	3,5	0,324	1 517
26/02/12	661	34	23	0	1,9	0,000	0,094	1,9	0,208	191
07/03/12	473	33	18	0	0,2	0,041	0,107	3,1	0,239	
11/03/12	458	38	23	0	0,4	0,000	0,410	4,7	0,309	780
20/03/12	442	33	21	0	4,5	0,000	0,000	-	0,288	180
26/03/12	499	35	20	0	5,4	0,127	0,100	0,4	2,286	25
01/04/12	611	34	20	0	3,0	0,000	0,027	0,8	0,226	-
08/04/12	545	36	23	0	4,1	0,000	0,064	2,2	0,159	-
16/04/12	450	33	20	0	4,9	0,058	0,002	6,5	0,236	770
24/04/12	554	33	18	0	3,6	0,000	0,042	2,0	0,181	-
30/04/12	560	38	20	0	7,1	0,000	0,056	0,1	0,116	-
08/05/12	762	40	15	0	-	0,000	0,267	0,2	0,162	-
20/05/12	715	41	18	0	-	0,003	0,160	1,9	0,141	-
12/06/12	976	45	18	0	-	-	-	-	-	-
04/07/12	1 387	54	19	0	-	-	-	-	-	-
20/09/12	1 875	59	13	0	-	-	-	-	-	-

Source : ANRH Blida

Tableau 18 : Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station de Tabainat.

DDP	HDP	Ca	Mg	Na	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Carbonates	OH	Nitrates	pH	CE µs/cm
08/02/2012	HDP	70	74	45	2	102	232	244	0	0	1	7,8	1 100
13/02/2012	10:05	77	56	45	2	100	142	275	0	0	1,3	8	1 000
21/02/2012	11h00	59	42	48	2	45	142	259	0	0	1,4	7,7	800
26/02/2012	10h14	65	41	45	3	37	149	275	0	0	0	7,5	900
07/03/2012	11h30	70	34	20	2	61	100	244	0	0	1,1	7,9	700
11/03/2012	11:30	76	46	20	2	33	134	244	0	0	1	7,7	800
20/03/2012	10h35	72	38	20	2	32	146	244	0	0	1,3	7,4	722
26/03/2012	11h00	67	47	48	1	75	187	214	0	0	2,3	8,3	900
01/04/2012	14:35	62	57	26	2	41	180	275	0	0	4	8,1	900
08/04/2012	10h35	59	48	27	2	38	118	259	0	0	1,1	8	784
16/04/2012	10h15	70	38	27	2	11	187	244	0	0	1,4	8,2	800
30/04/2012	10h10	67	53	36	3	29	198	244	0	0	0,7	8,1	899
08/05/2012	11h54	82	48	43	2	112	200	153	0	0	0,4	8,1	988
20/05/2012	11:00	100	39	42	2	90	239	214	0	0	1,4	8,2	1 020
12/06/2012	10h42	78	57	67	5	134	220	214	0	0	0	8,2	1 150
04/07/2012	10h20	51	73	99	2	198	236	214	0	0	0	8,3	1 379
20/09/2012	10h45	64	153	196	3	500	400	122	0	0	0	8,2	2 450

Source : ANRH Blida

Tableau 19 : Suite de tableau 17.

DDP	Résidu Sec	TH	TAC	TA	SiO2	NO2	NH4	M.Org	PO4	MES à 105°C
08/02/2012	689	48	20	0	1,9	0	0,052	0	0,278	158
13/02/2012	573	43	23	0	2,1	0,041	0,096	2	0,349	130
21/02/2012	553	32	21	0	9,4	0,051	0,243	2,6	0,343	1 958
26/02/2012	674	33	23	0	2,6	0,024	0,104	1,7	0,392	281
07/03/2012	446	32	20	0	0,4	0	0,144	2,4	0,251	
11/03/2012	533	38	20	0	0,6	0	0,284	4,5	0,324	1 270
20/03/2012	477	34	20	0	3,9	0	0,018	2,9	0,263	190
26/03/2012	583	36	18	0	4,5	0	0,121	2,1	0,359	39
01/04/2012	525	39	23	0	2,6	0	0,046	0,7	0,205	-
08/04/2012	545	35	21	0	2,4	0	0,071	2,6	0,15	-
16/04/2012	450	33	20	0	6,8	0,031	0,078	6	0,012	890
30/04/2012	549	39	20	0	6,8	0	0,076	0,6	0,092	-
08/05/2012	752	40	13	0	-	0	0,134	2,5	0,168	-
20/05/2012	673	41	18	0	-	0,017	0	3	0,15	-
12/06/2012	680	43	18	0	-	-	-	-	-	-
04/07/2012	889	43	18	0	-	-	-	-	-	-
20/09/2012	1 492	80	10	0	-	-	-	-	-	-

Source : ANRH Blida

ANNEXE

Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station Rocher des Pigeons.

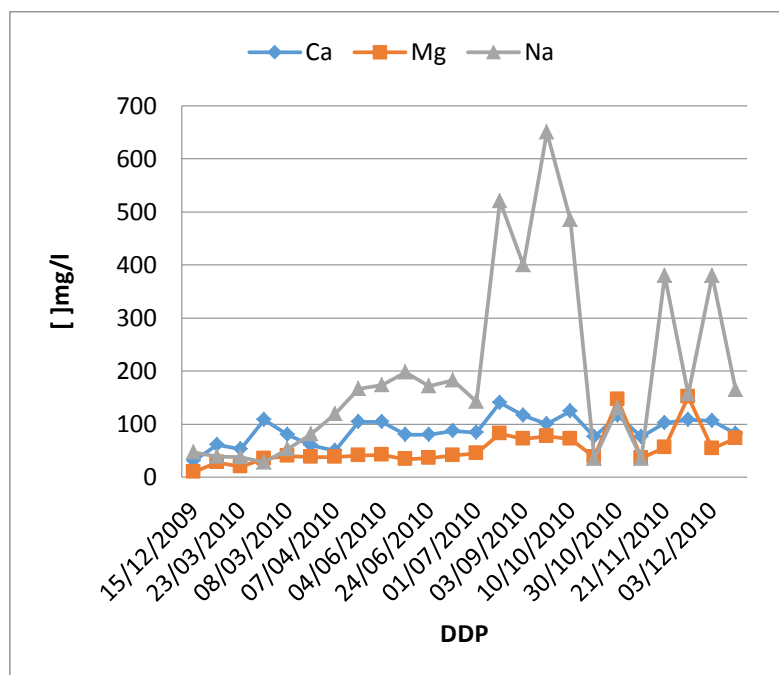


Figure 22 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

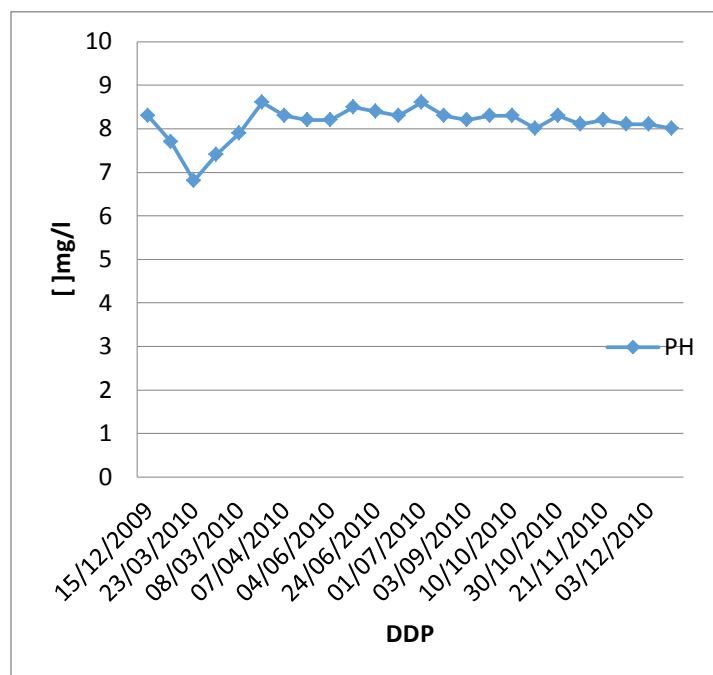


Figure 23 : Variation de pH dans le temps

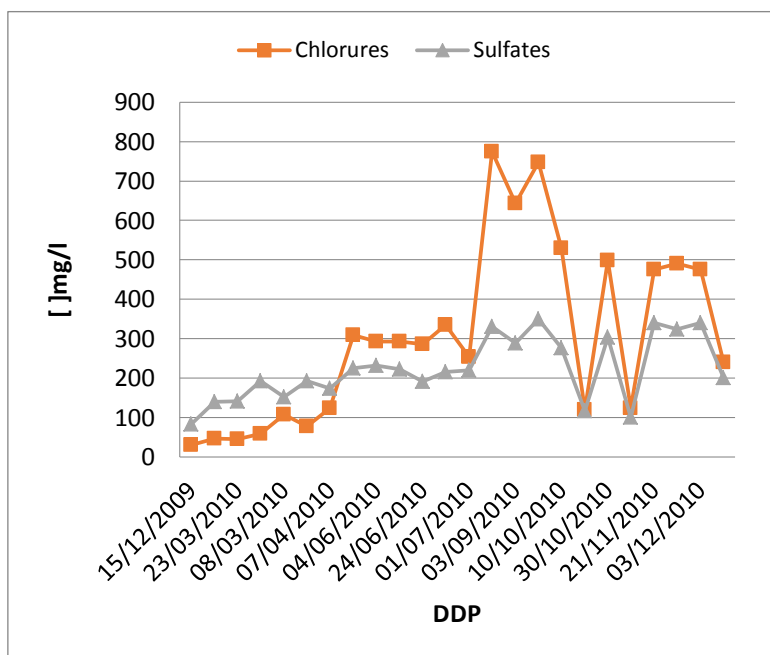


Figure 24 : Variation de la concentration de Cl et SO₄ dans le temps

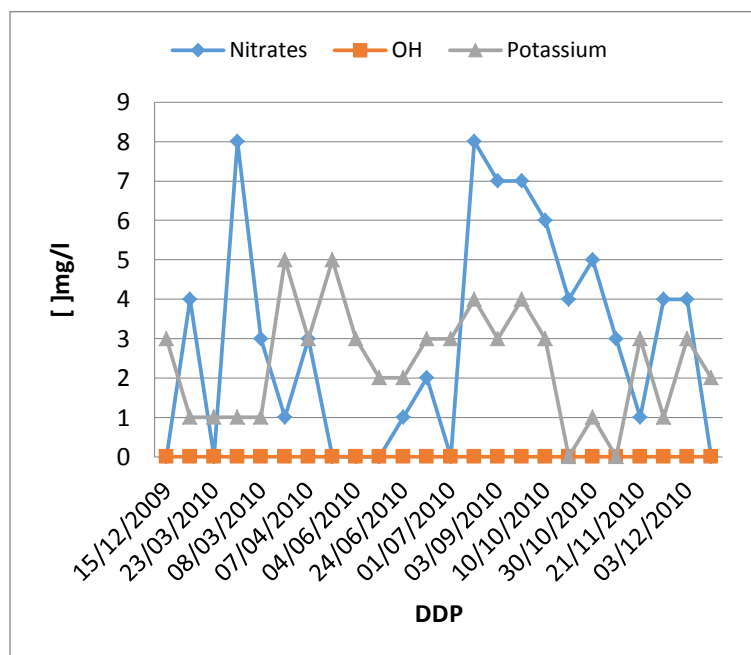


Figure 25 : Variation de la concentration de K, NO₃ et OH dans le temps

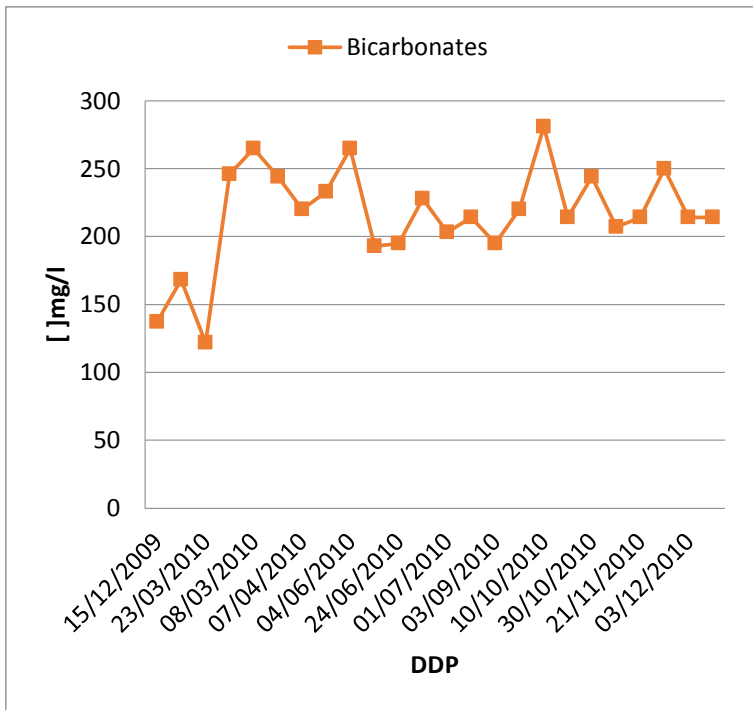


Figure 26 : Variation de la concentration de bicarbonates dans le temps

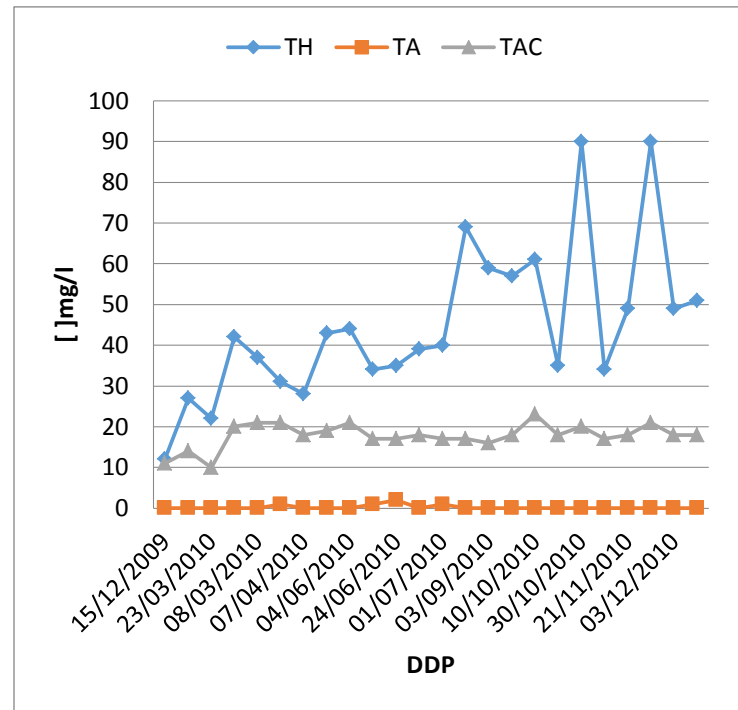


Figure 27 : Variation de TH, TAC et TA dans le temps

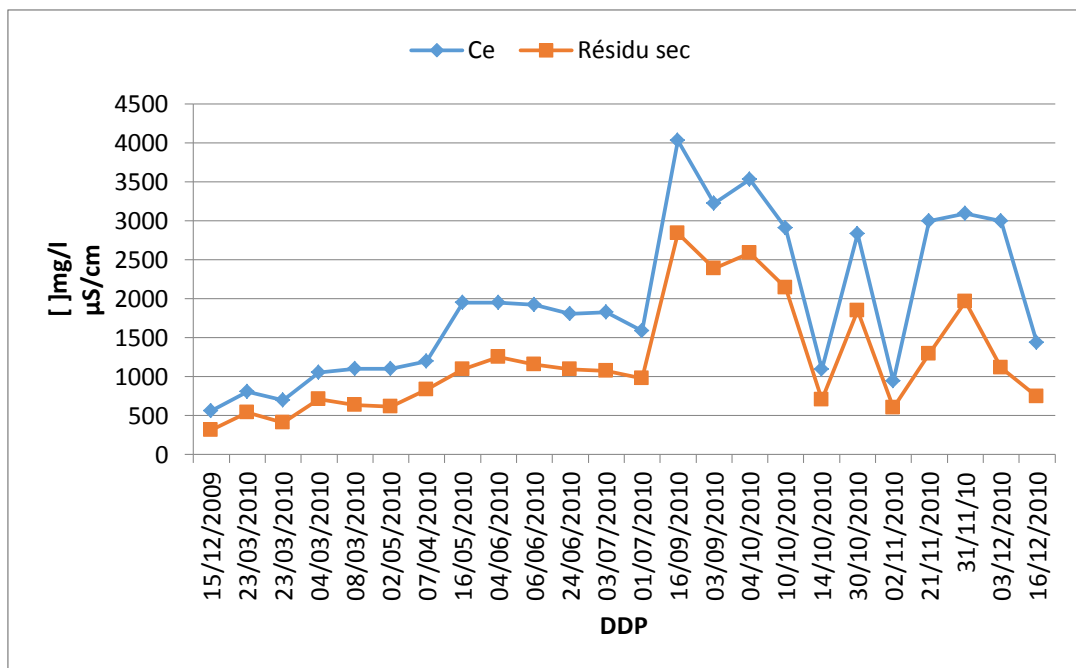


Figure 28 : Variation de la Ce et le résidu sec dans le temps

Les résultats d'analyse pour l'année 2010 à la station de BARAKI.

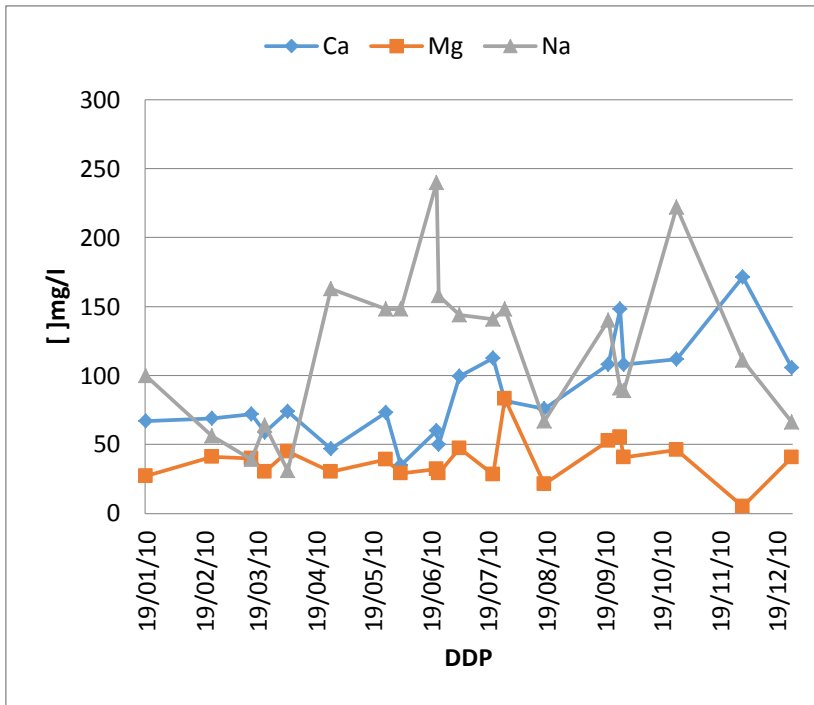


Figure 29 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

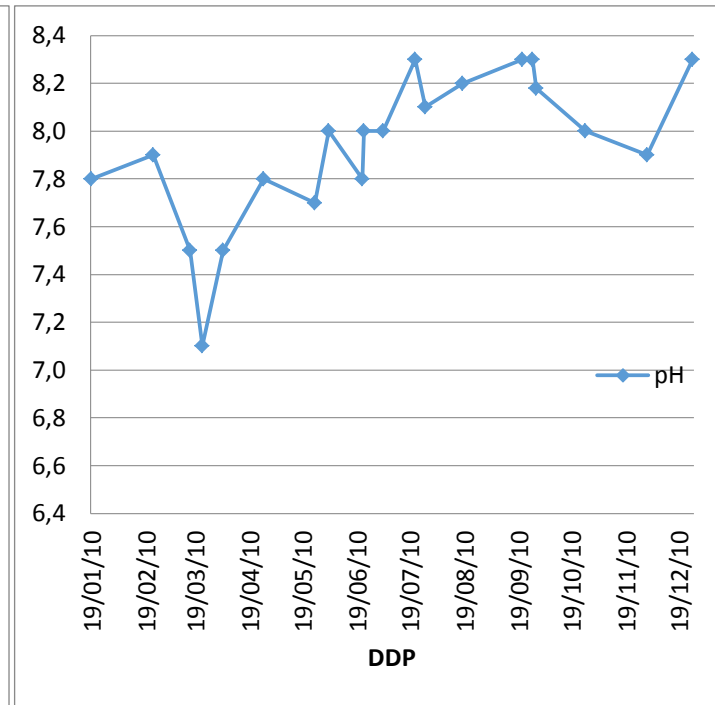


Figure 30 : Variation de la concentration de pH dans le temps

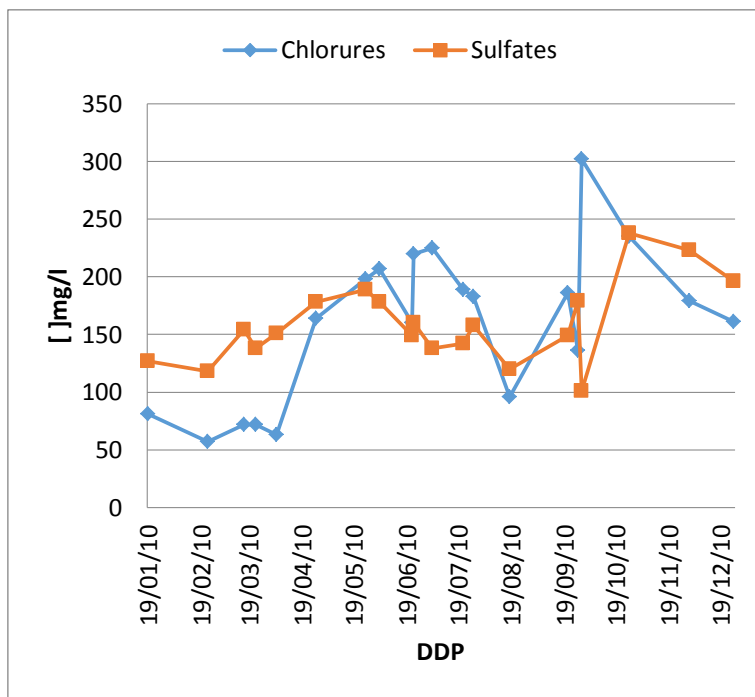


Figure 31 : Variation de la concentration de Cl et SO4 dans le temps

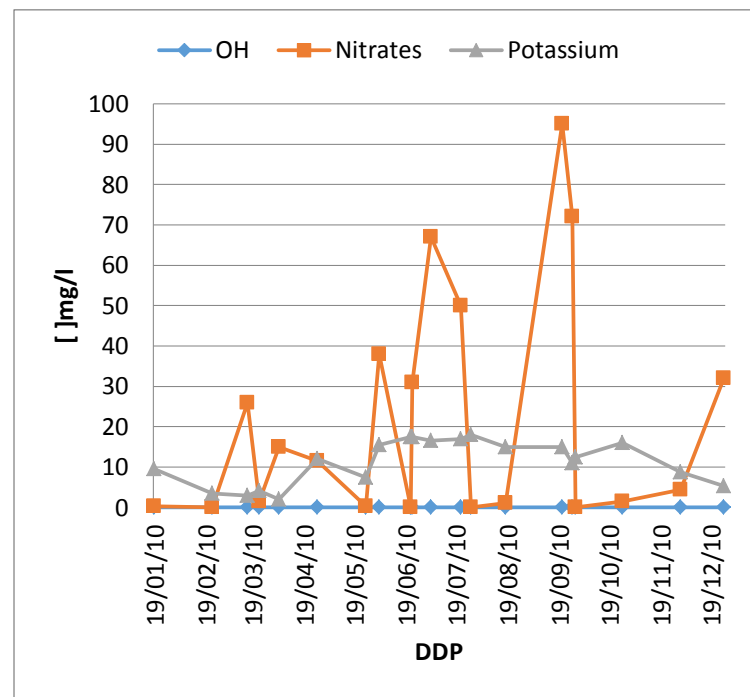


Figure 32 : Variation de la concentration d'OH, NO3 et K dans le temps

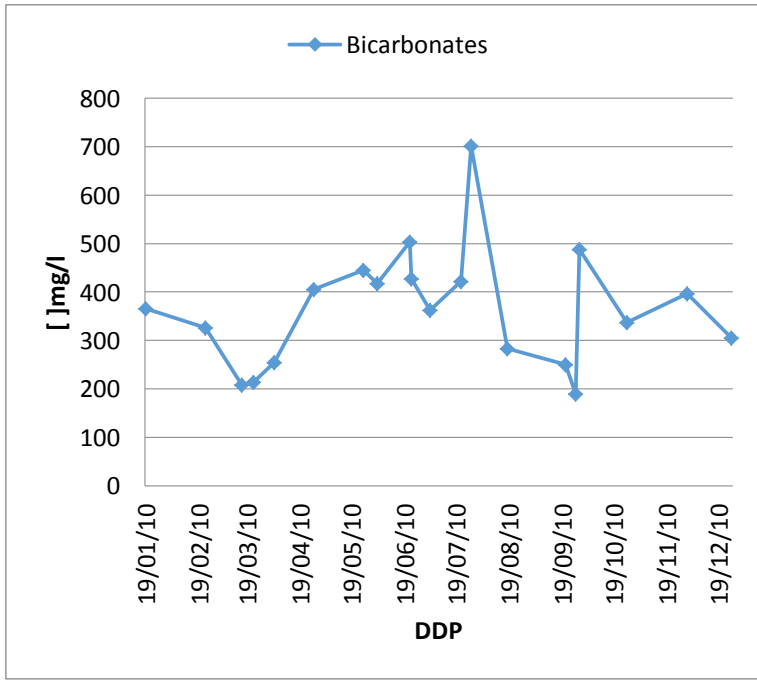


Figure 33 : Variation de la concentration des bicarbonates dans le temps

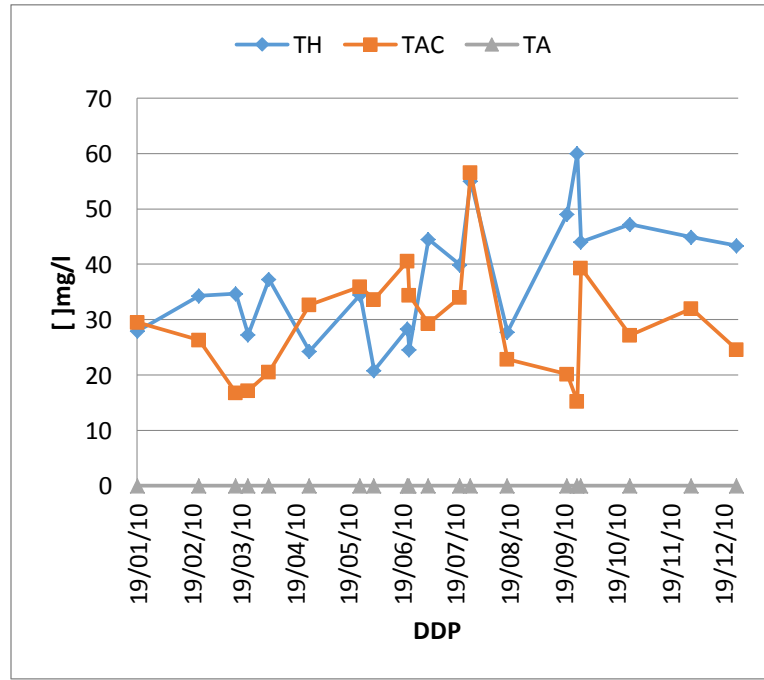


Figure 34 : Variation de TH, TAC et TA dans le temps

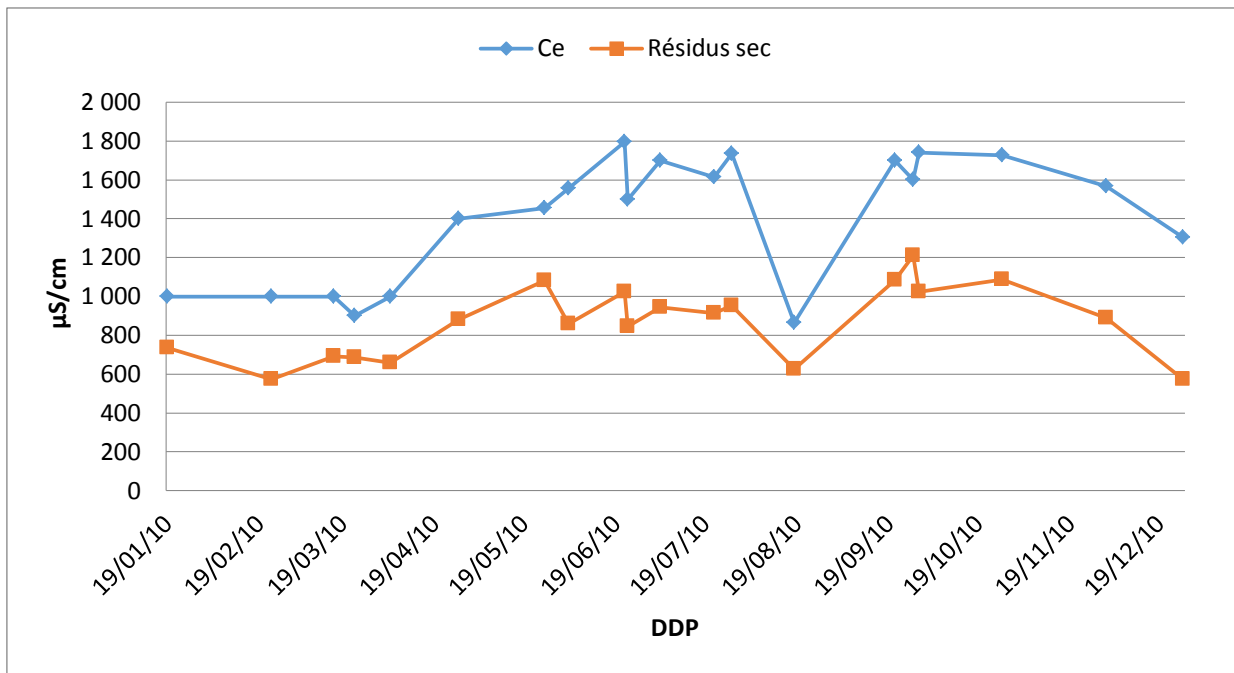


Figure 35 : Variation de la Ce et le résidu sec dans le temps

Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station Rocher des Pigeons.

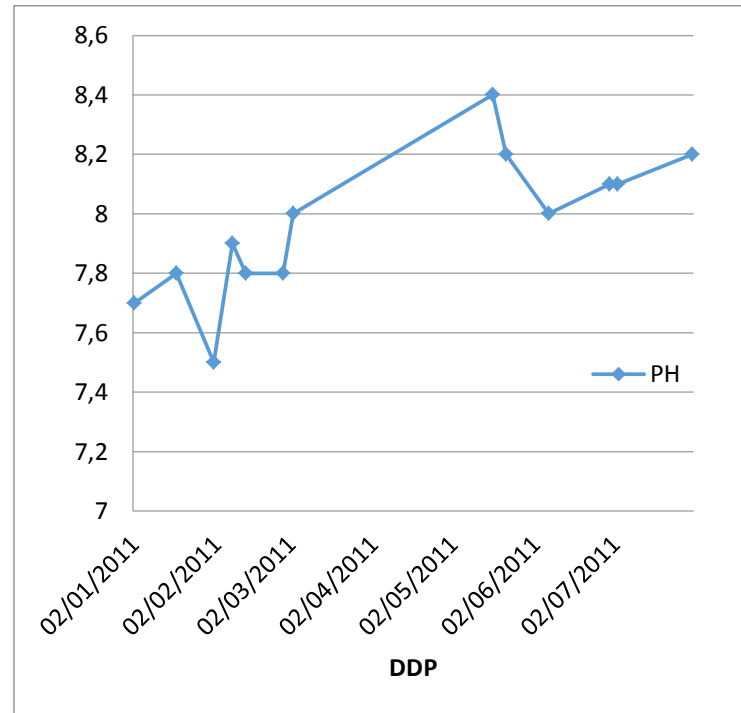
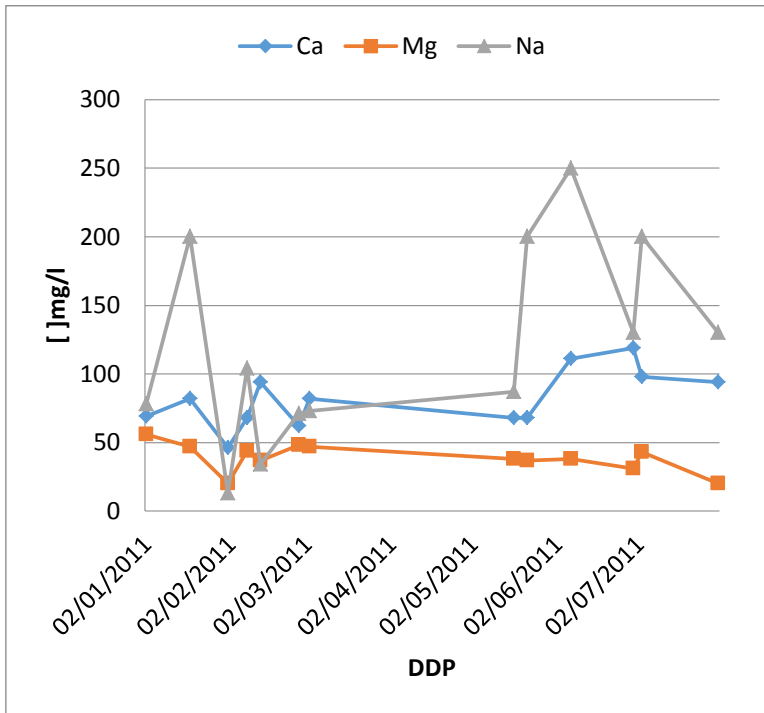


Figure 36 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

Figure 37 : Variation de pH dans le temps

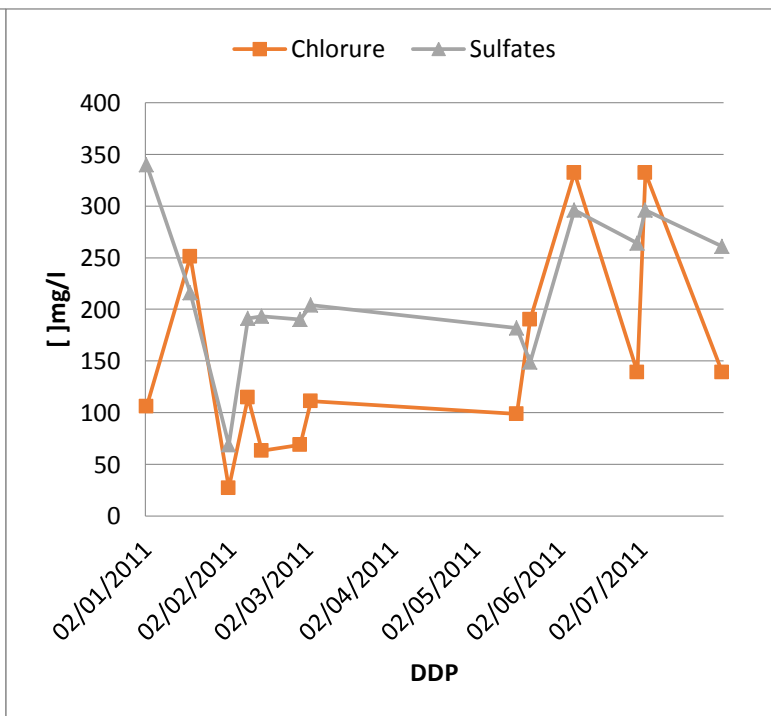
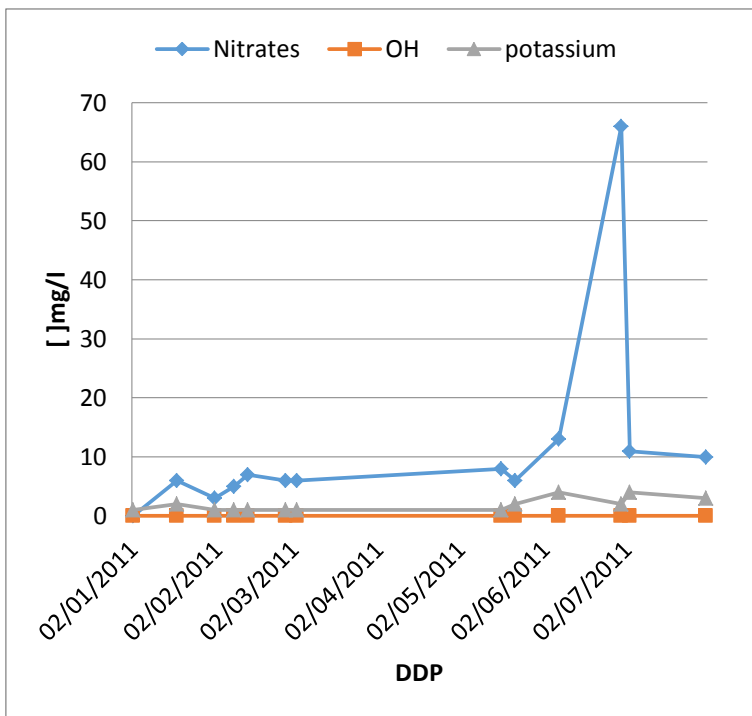


Figure 38 : Variation de la concentration d'OH, NO₃ et K dans le temps

Figure 39 : Variation de la concentration de Cl et SO₄ dans le temps

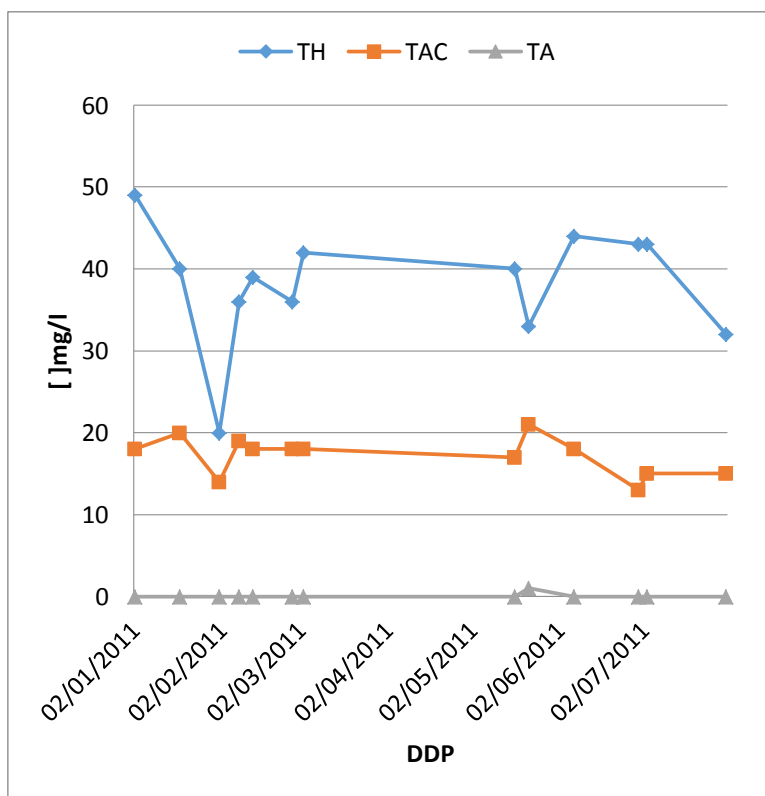


Figure 40 : Variation de TH, TAC et TA dans le temps

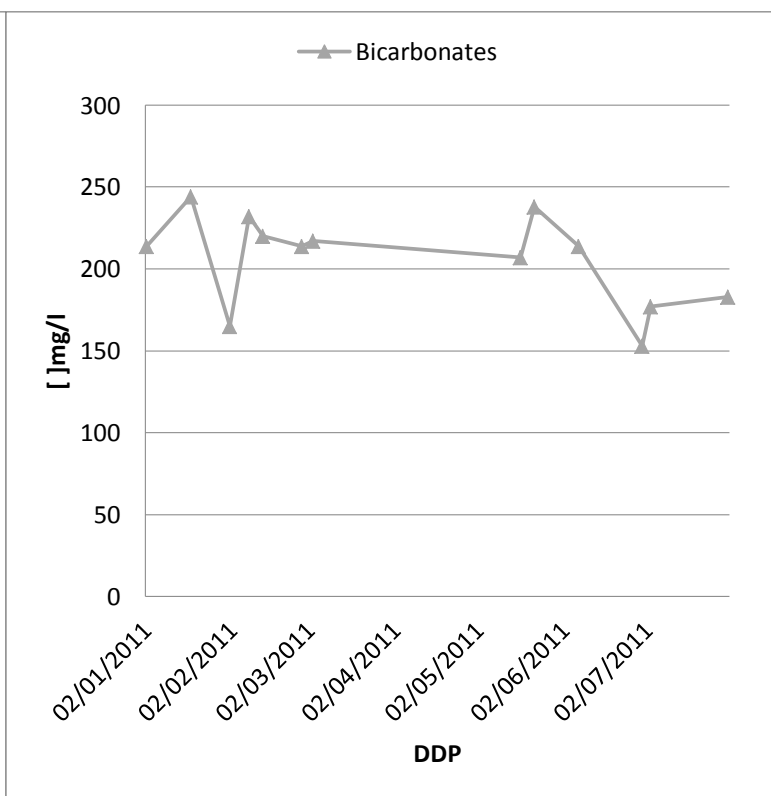


Figure 41 : Variation de bicarbonates dans le temps

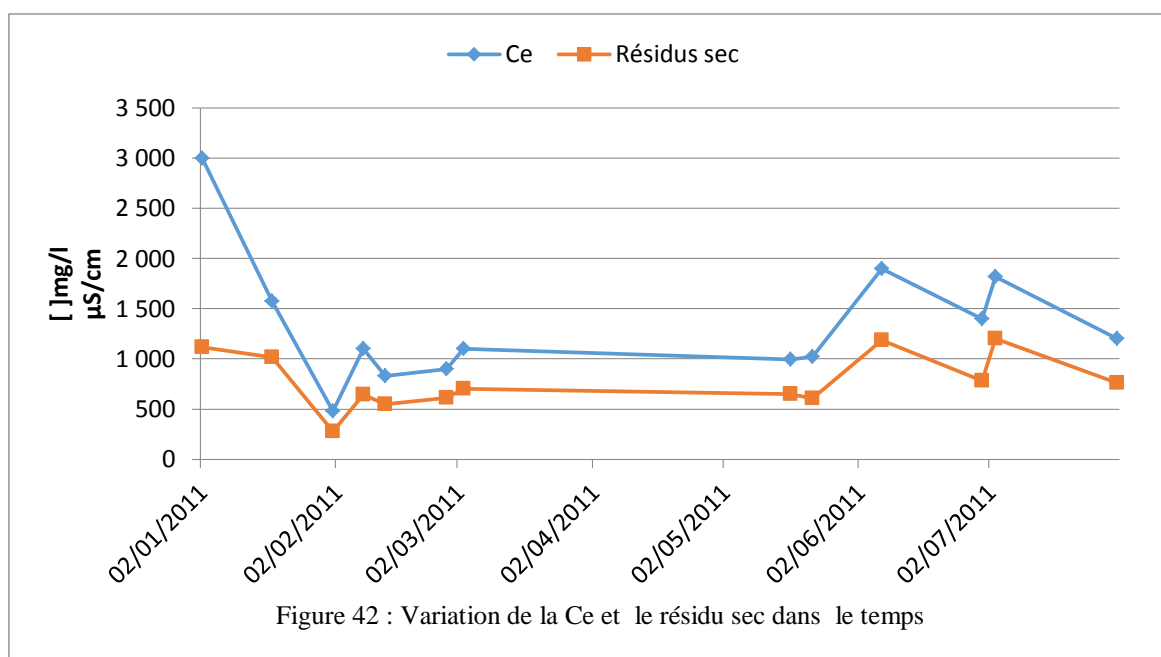


Figure 42 : Variation de la Ce et le résidu sec dans le temps

Les résultats d'analyse pour l'année 2011 à la station Rocher de BARAKI.

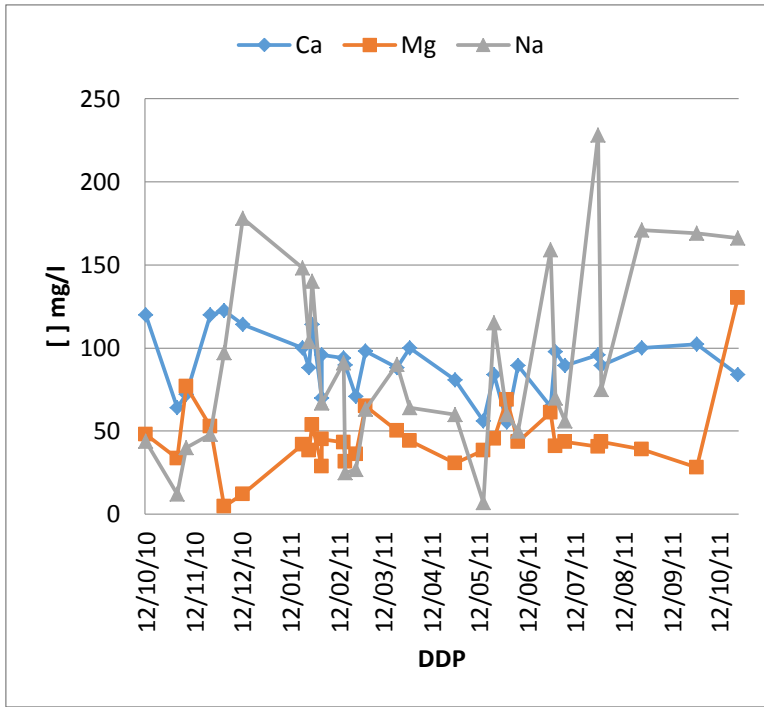


Figure 43 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

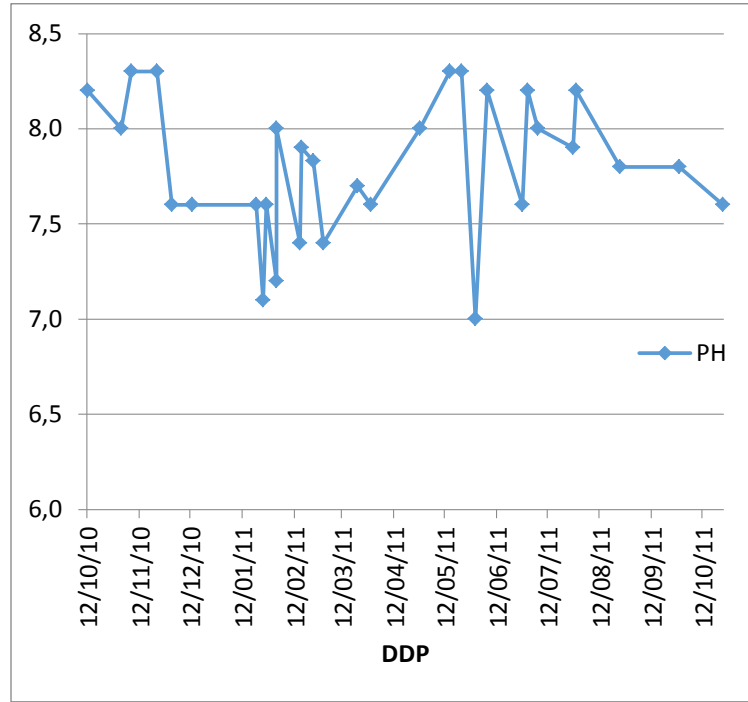


Figure 44 : Variation de pH dans le temps

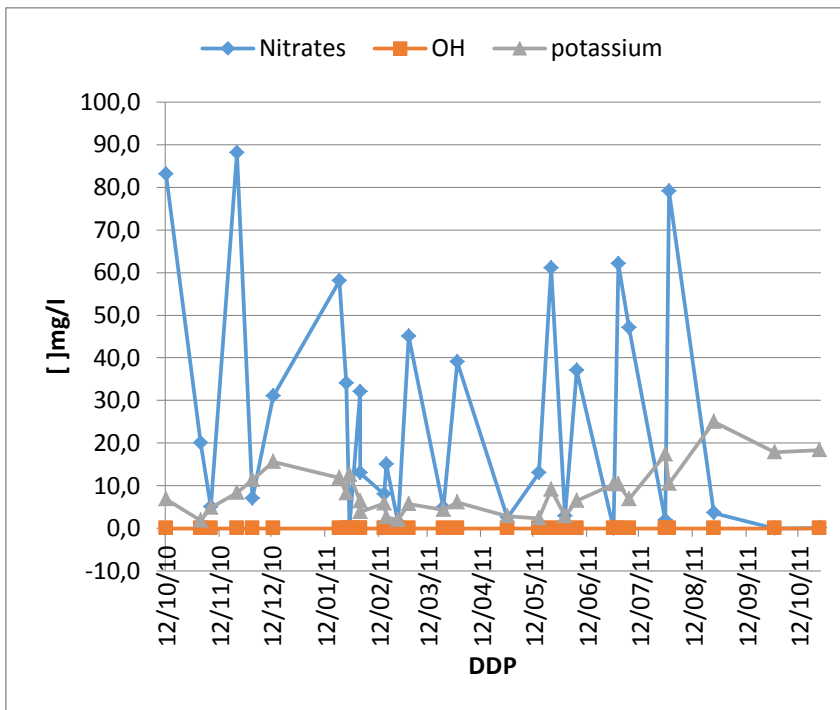


Figure 45 : Variation de la concentration d'OH, NO₃ et K dans le temps

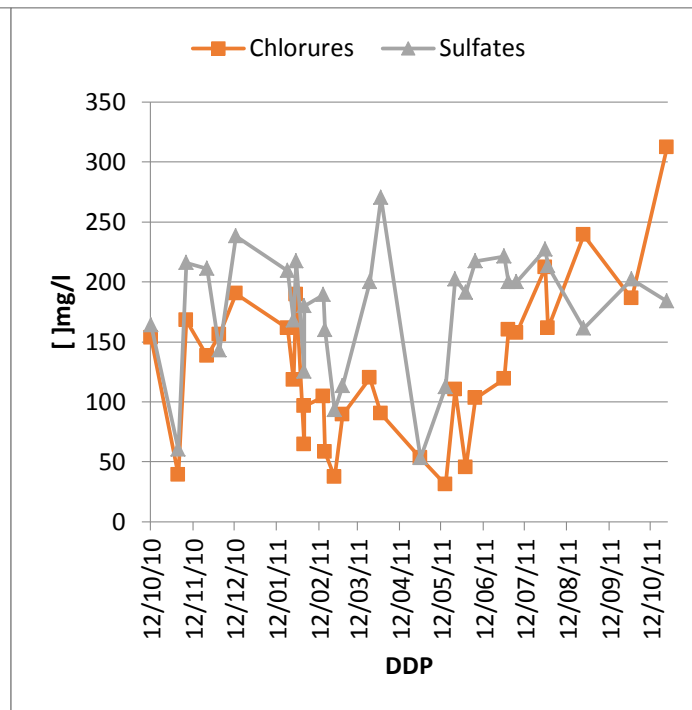


Figure 46 : Variation de la concentration de Cl et SO₄ dans le temps

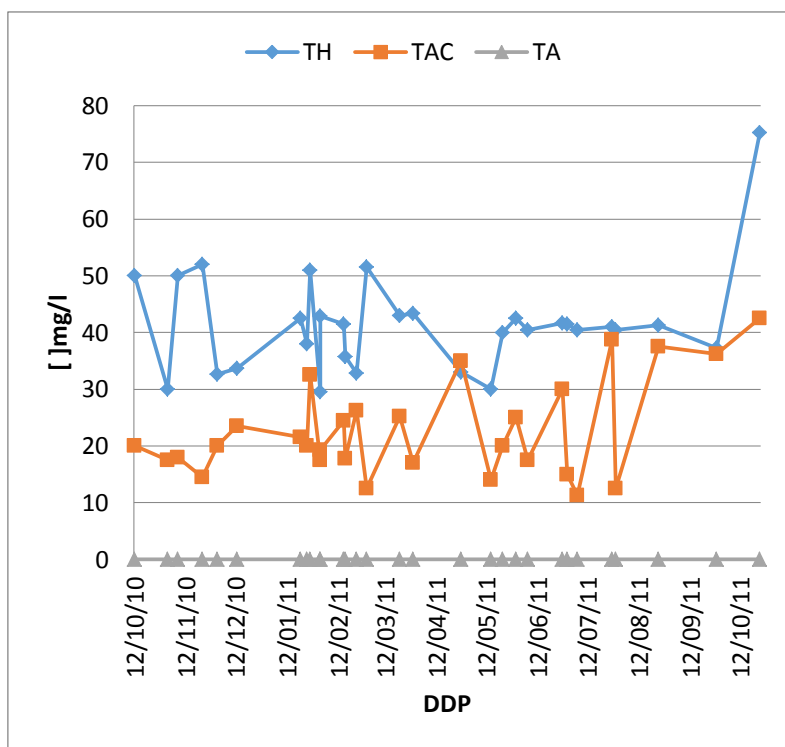


Figure 47 : Variation de TH, TAC et TA dans le temps

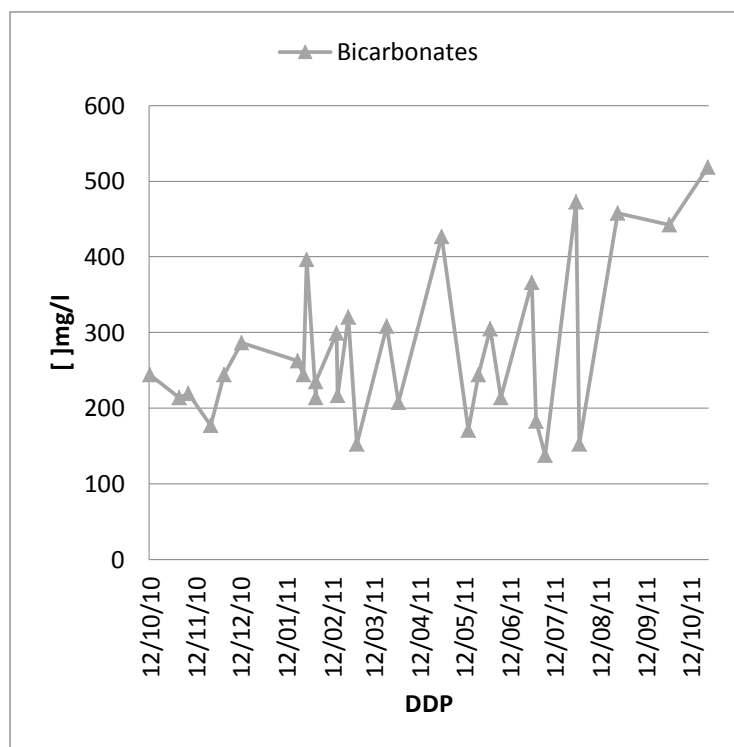


Figure 48 : Variation de bicarbonates dans le temps

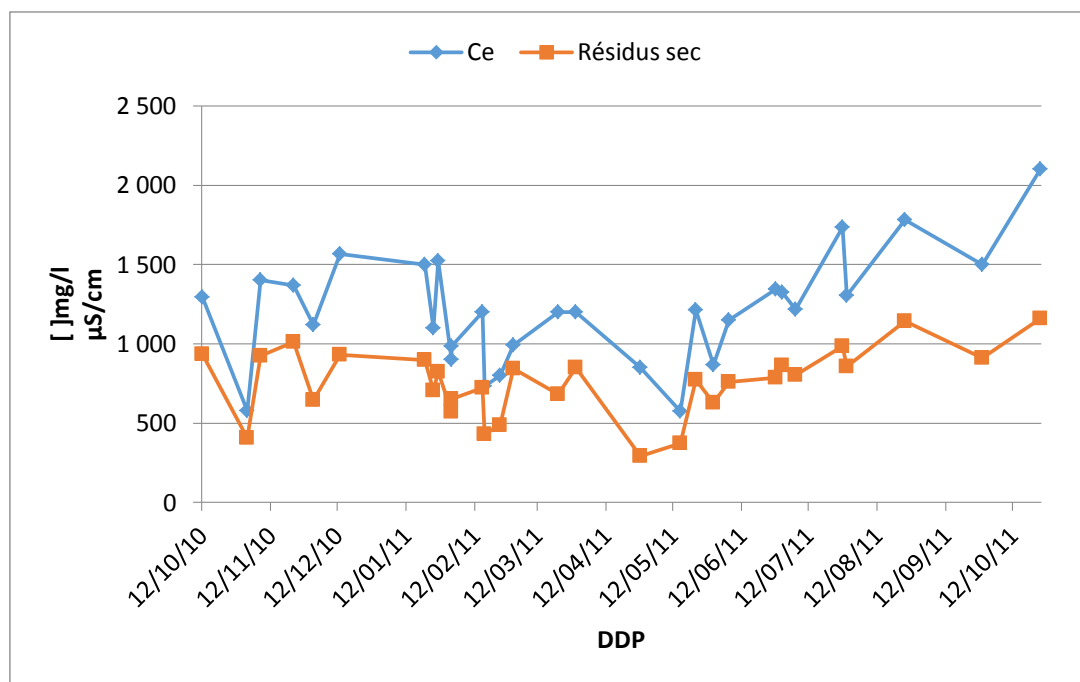


Figure 49 : Variation de la Ce et résidus sec dans le temps

Les résultats d'analyse pour l'année 2012 à la station Rocher des Pigeons.

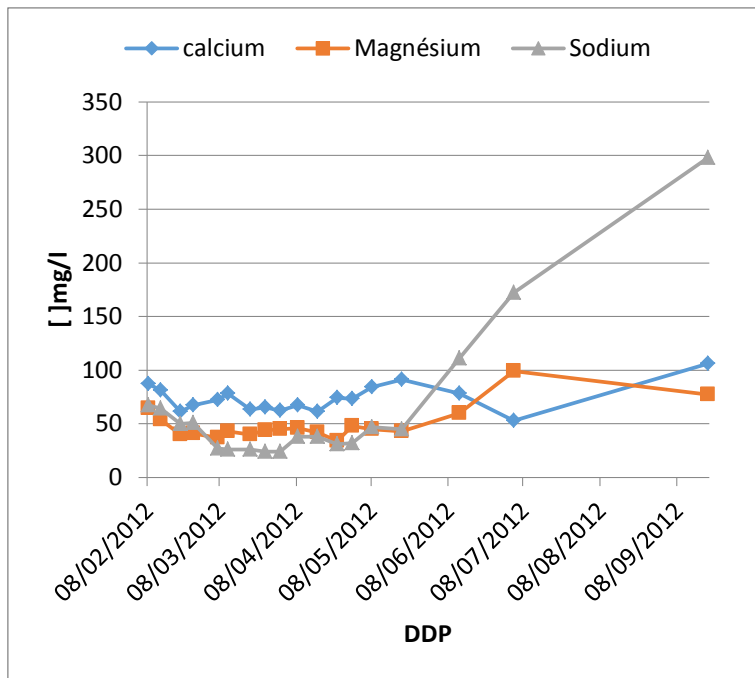


Figure 50 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

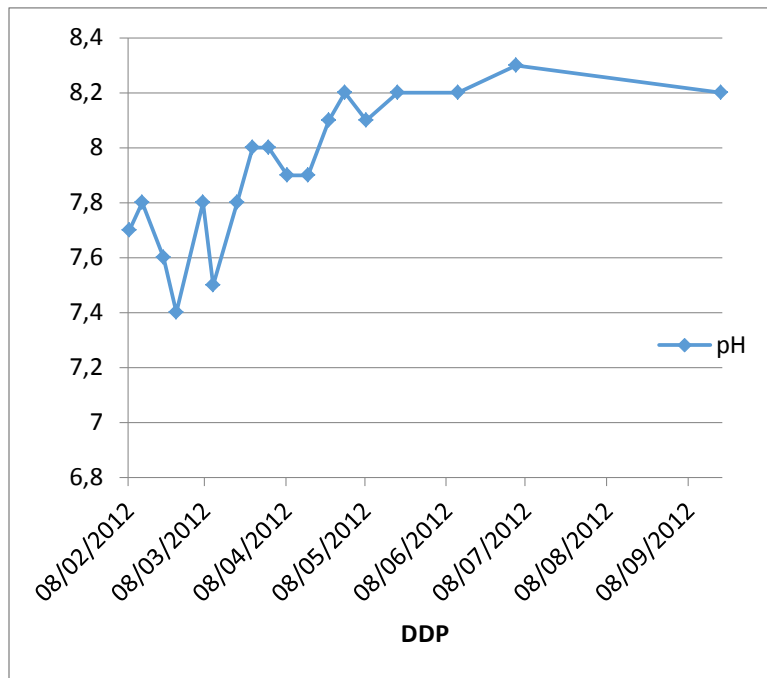


Figure 51 : Variation de pH dans le temps

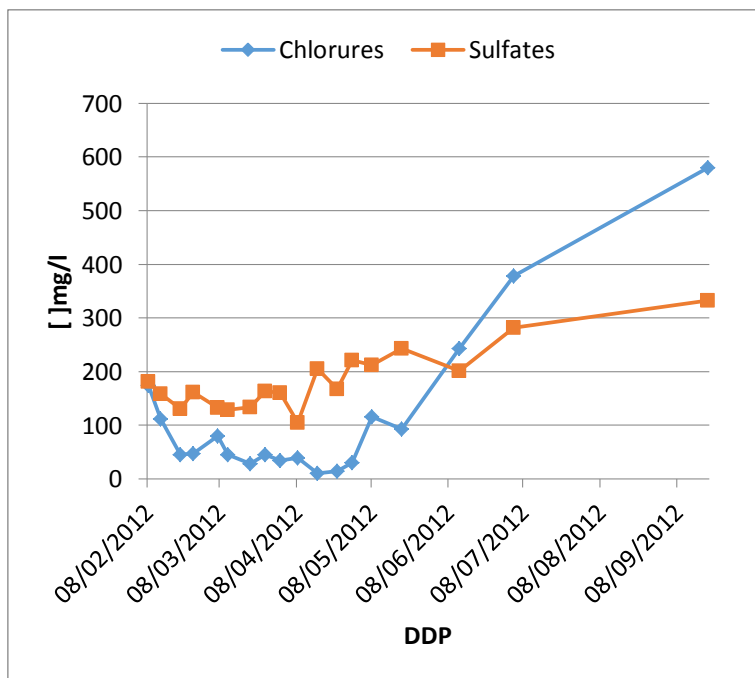


Figure 52 : Variation de la concentration de Cl et SO4 dans le temps

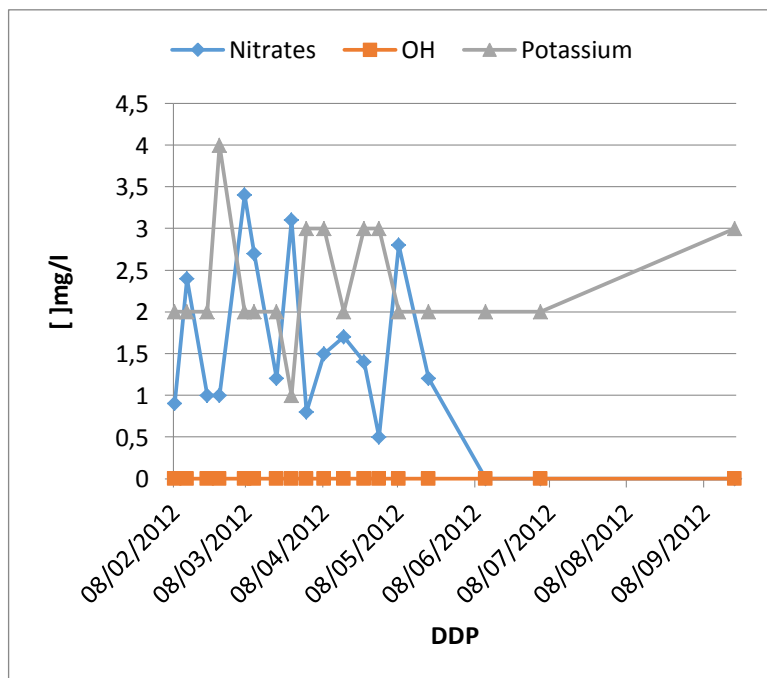


Figure 53 : Variation de la concentration d'OH, NO3 et K dans le temps

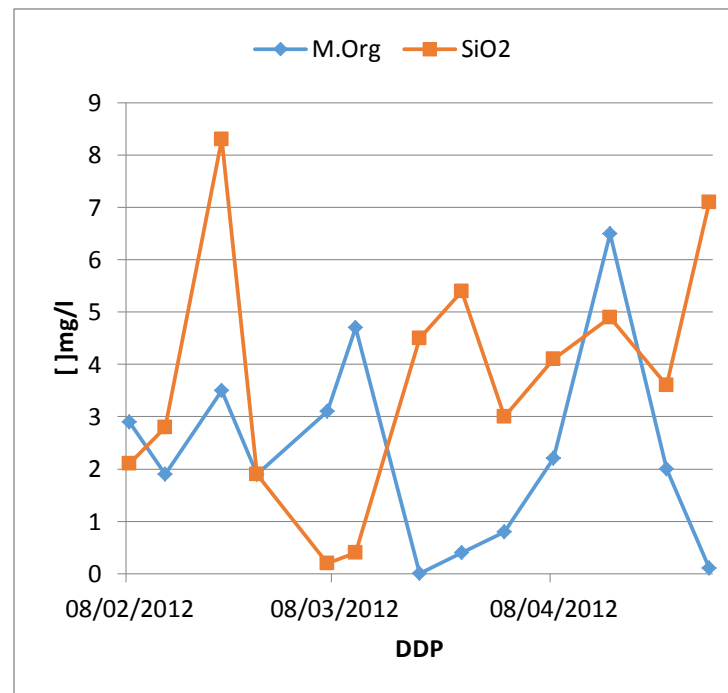
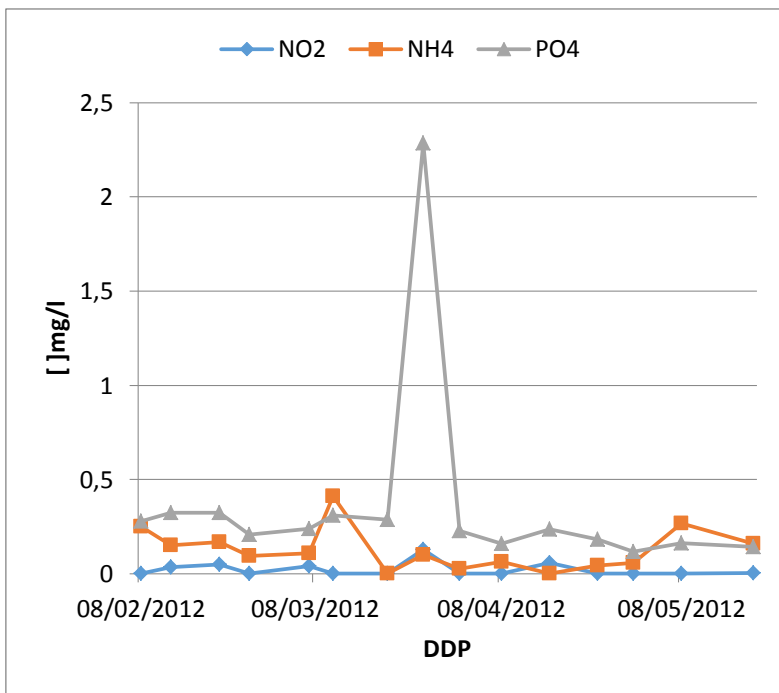
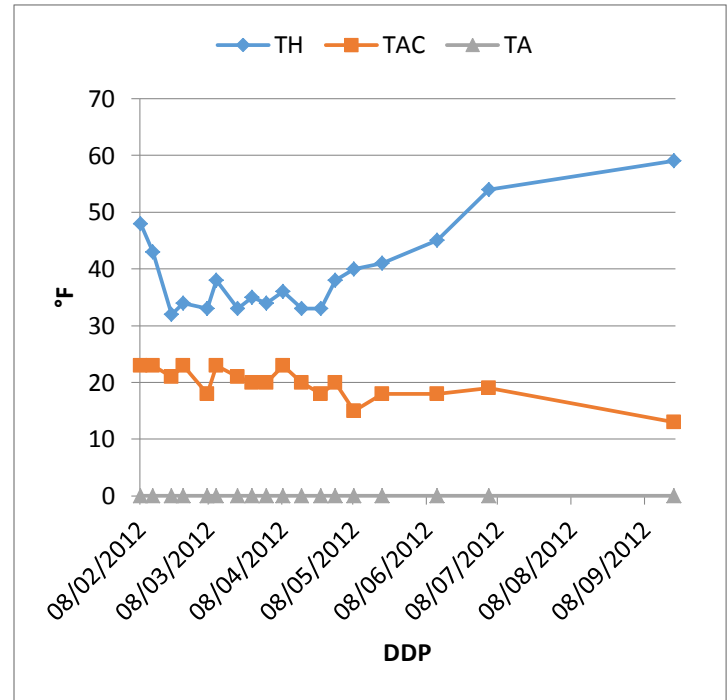
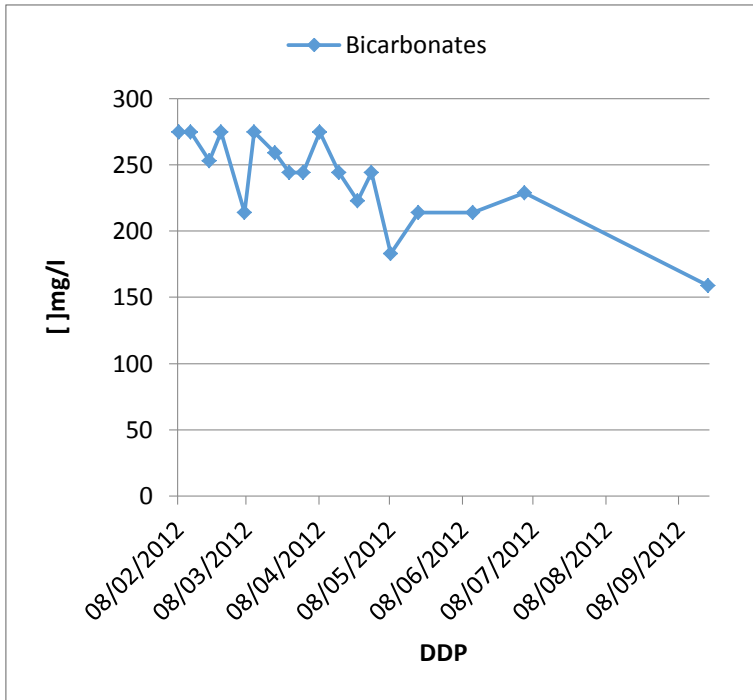


Figure 56 : Variation de concentration des nitrites, ammonium et polyphosphates dans le temps

Figure 57 : Variation de concentration de la matière organique et silicium dans le temps

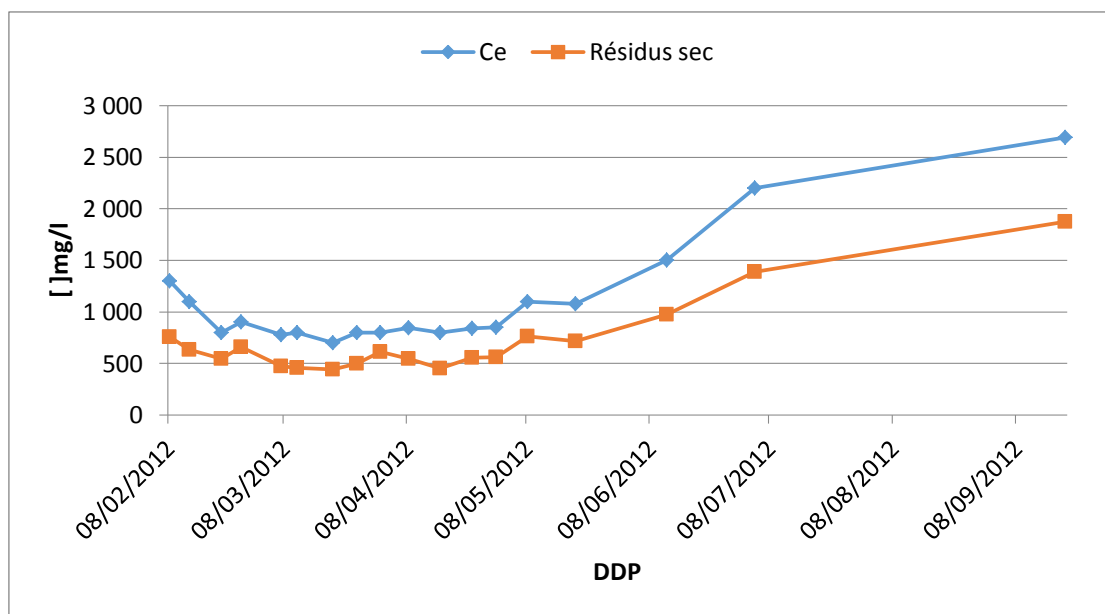


Figure 58 : Variation de la Ce et résidus sec dans le temps

Les résultats d'analyse pour l'année 2012 pour l'oued de SIDI AICH (BEDJAIA)

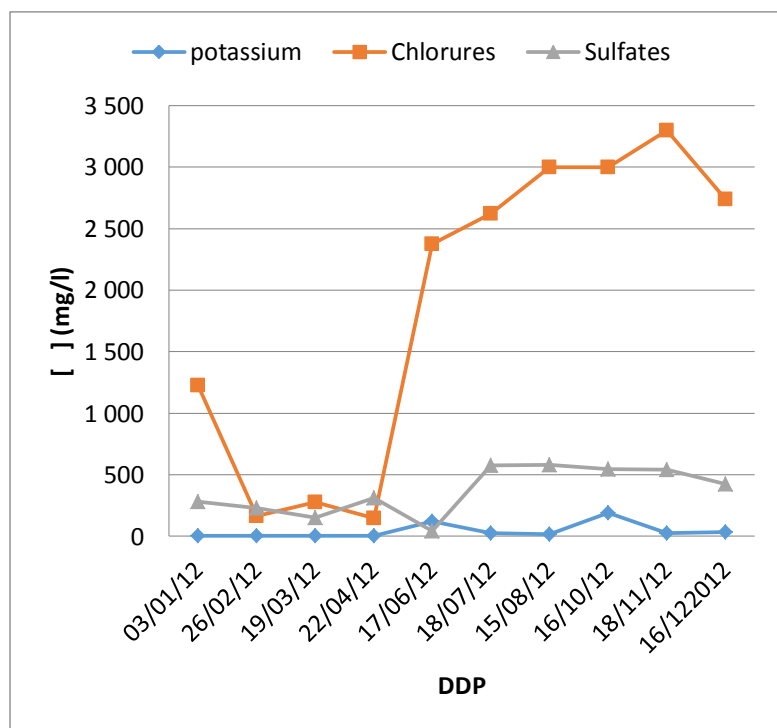
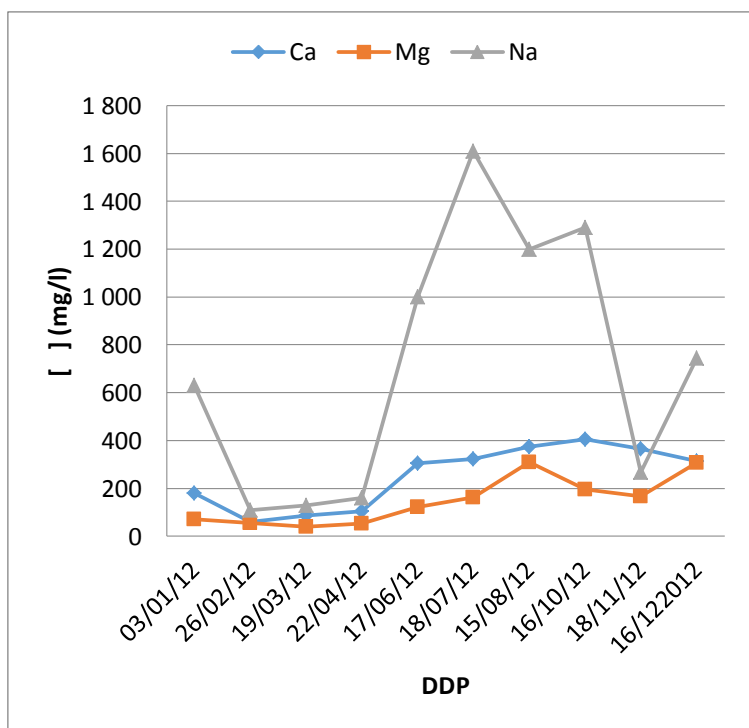


Figure 59 : Variation de la concentration de Ca ; Mg et Na dans le temps

Figure 60 : Variation de concentration de K, Cl et SO4 dans le temps

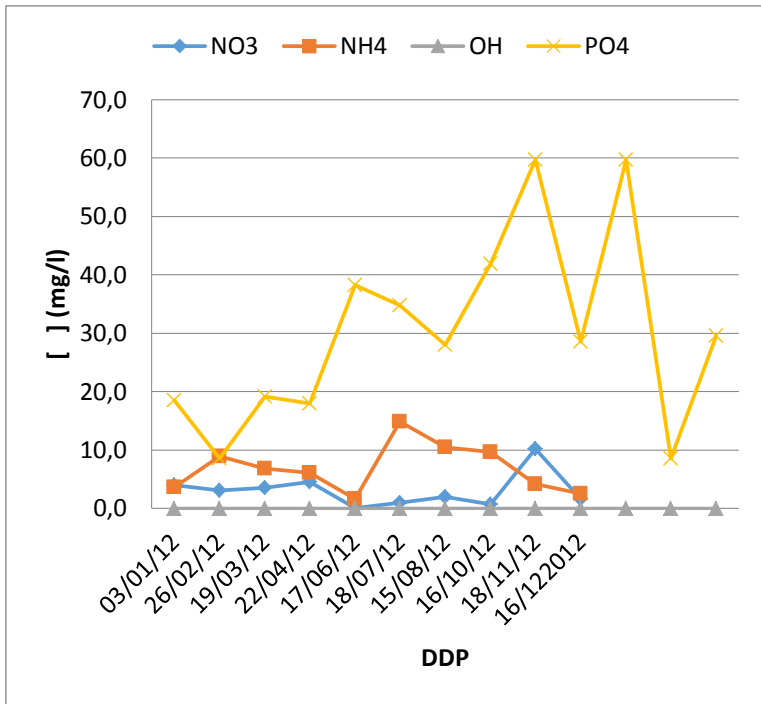


Figure 61 : Variation de concentration des nitrates, ammonium, l'hydroxyde et polyphosphates dans le temps

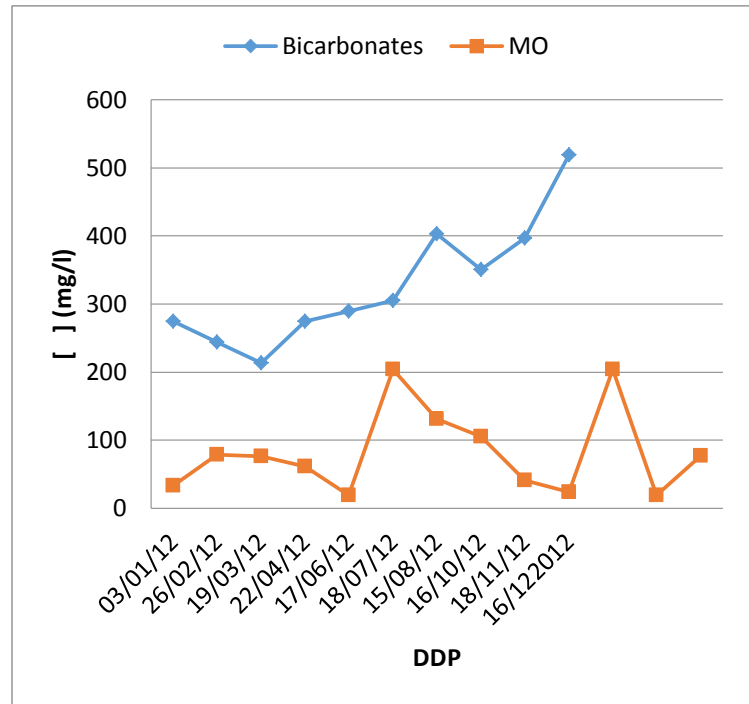


Figure 62 : Variation de concentration des bicarbonates et la matière organique dans le temps

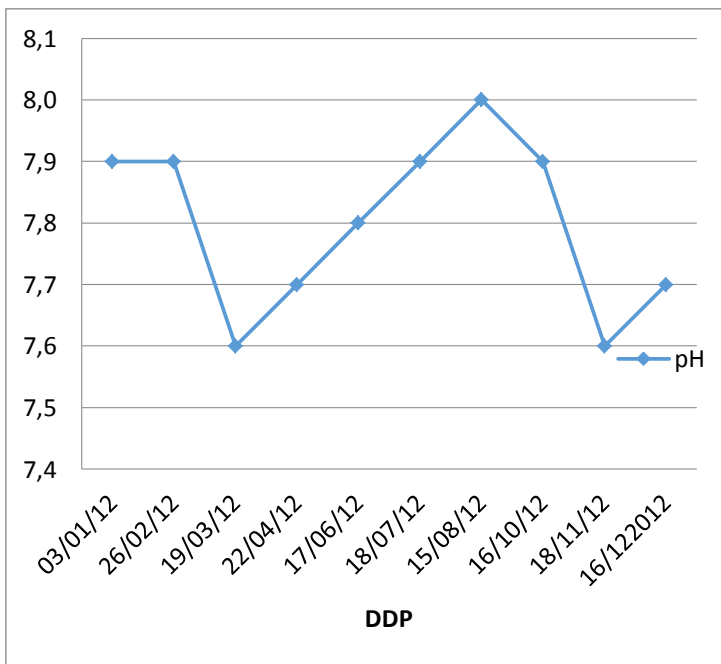


Figure 63 : Variation de pH dans le temps

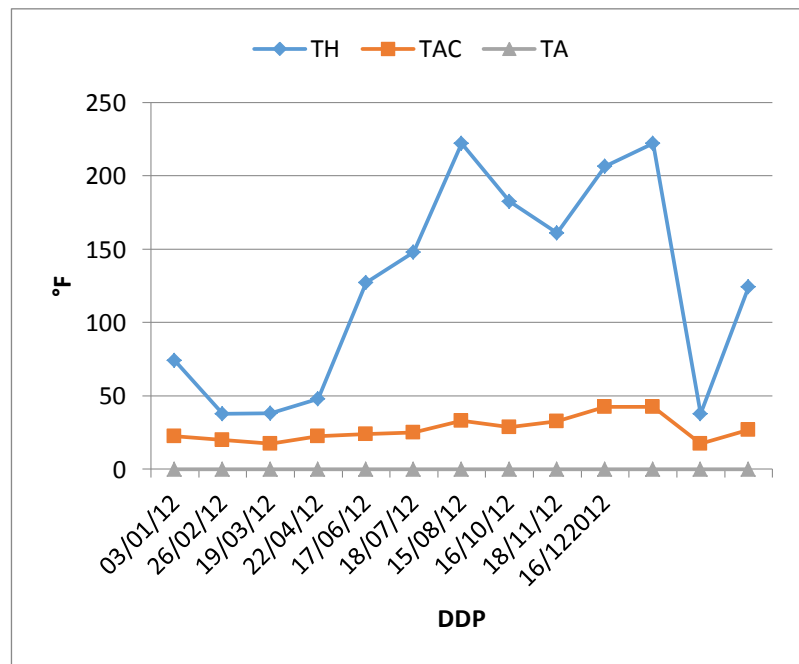


Figure 64 : Variation de TAC et TA dans le temps

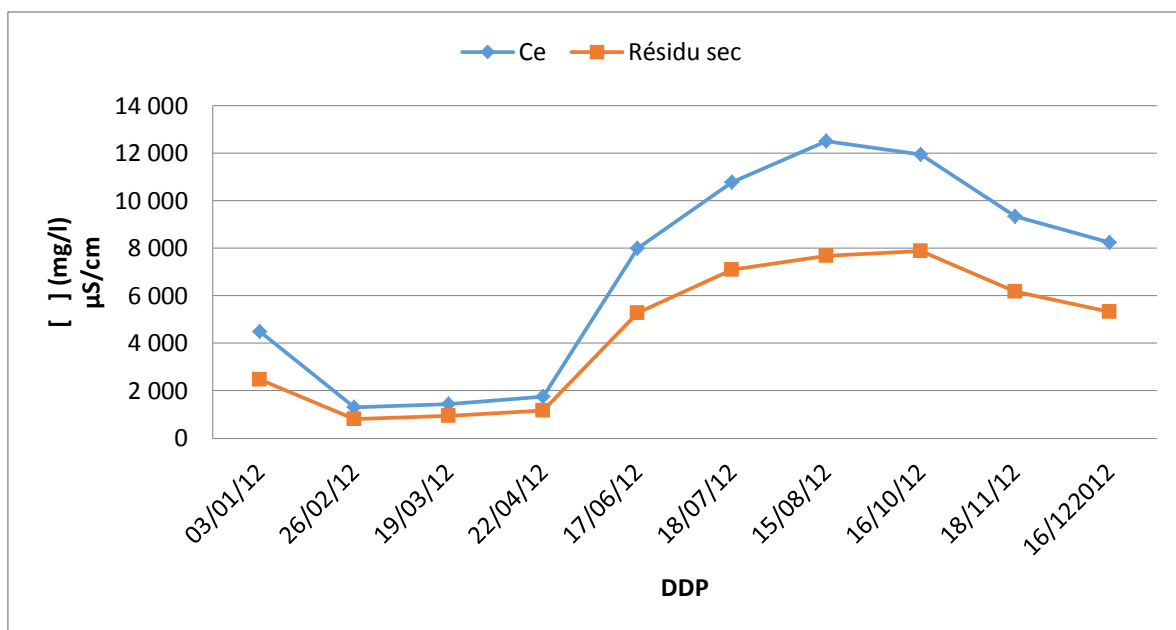


Figure 65 : Variation de la Ce et résidus sec dans le temps