

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Le calcul de l'indice d'écoulement de base dans les Oueds du Nord de l'Algérie.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0002-18

APA Citation (APA توثيق):

Mehamedia, Hamida (2018). Le calcul de l'indice d'écoulement de base dans les Oueds du Nord de l'Algérie[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Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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 بثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

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

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

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ALIMENTATION EN EAU POTABLE

THEME

**LE CALCUL DE L'INDICE D'ECOULEMENT DE
BASE DANS LES OUEDS DU NORD DE L'ALGERIE**

Présenté Par :

MEHAMEDIA Hamida

Devant les membres du jury

| Nom et Prénoms | Grade | Qualité |
|-----------------------------------|--------------|----------------|
| M ^r RASSOUL Abdelaziz | M.C.A | Président |
| M ^r KAHLERRAS Djillali | M.C.B | Examinateur |
| M ^{me} AMMOUR Fadhila | M.A.A | Examinatrice |
| M ^{me} SALHI Chahrazed | M.A.A | Examinatrice |
| M ^{me} MEDDI Hind | M.C.A | Promotrice |

Juin 2018

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.

Puis, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à ma promotrice Mme H.MCDDI pour avoir contribué à l'élaboration de la présente étude et à sa veille sur le bon déroulement de travail.

Mes remerciements s'adressent également à Mr M.MCDDI pour ces conseils et orientation pour mener à bien ce travail de recherche.

Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Enfin, j'exprime mes vifs remerciements à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

À mes parents qui ont toujours été les étoiles de mon ciel et ont illuminé mon chemin depuis ma naissance, je ne les remercierai jamais assez, que Dieu tout puissant les bénisse et me les garde en bonne et parfaite santé ;

À la mémoire de ma grand-mère

Je le dédie également à :

Ma sœur Alaa et mes frères : Amin, Abd-Ennacer et Oubaie.

À toute la famille : MEHAMEDIA et TALBI AHMED sans exception.

À toutes mes amies.

En un mot à tous les gens qui ont contribué ma réussite de près ou de loin.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو حساب مؤشر التدفق الأساسي للمنطقة الشمالية للجزائر, بمساحة تقارب 227740 كلم² باستخدام برنامج الكمبيوتر «BFI version 4.1», تكون منطقة الدراسة من 15 حوض مائي في شمال الجزائر. تسمح تقنية IEB بتحديد دون مراعاة تأثير المناخ اي اضطراب من اصل بشري والذي يمكن ان يؤثر على التدفق, و يستخدم في دراسات اصفاء الطابع الاقليمي على الاحواض غير المقاسة لتحديد تأثير الظروف الجيولوجية للحوض على التدفق الاساسي.

يهدف هذا العمل في خطوة اولى الى اجراء بحث بيبيولوجرافي لجميع العناصر التي تشكل عملنا و إعطاء لمحة عامة على المنطقة التي تمت دراستها, الخطوة الثانية هي تقديم المنهجية التي سمحت لنا بحساب هذا المؤشر, من اجل تفسير النتائج التي تم الحصول عليها و التي تقودنا الى تحديد التدفق الاساسي بسبب تفريغ المياه الجوفية

Résumé :

La présente étude a pour objectif le calcul de l'indice d'écoulement de base pour la région Nord de l'Algérie, avec une superficie d'environ 227 740 km², en utilisant le programme informatique «BFI version 4.1». La zone d'étude est constituée de 15 bassins versants du Nord de l'Algérie. La technique de l'IEB permet d'identifier, sans la prise en compte de l'influence du climat, toute perturbation d'origine anthropique qui pourrait affecter l'écoulement, elle est utilisée dans les études de régionalisation des bassins non jaugée, et pour paramétrer l'influence des conditions géologiques d'un bassin sur l'écoulement de base.

Ce travail vise dans une première étape à une recherche bibliographique sur tous les éléments qui forment notre travail et de donner un aperçu de la zone étudiée. La deuxième étape consiste à présenter la méthodologie qui nous a permis d'aboutir au calcul de l'IEB, afin d'interpréter les résultats obtenues qui nous mène à déterminer le débit de base dû aux décharges d'eau souterraine.

Abstract :

The objectif of this study is to caculate the base flow index for the northern region of algeria, with an area of 227 740Km², using the computer program «BFI version 4.1». the study area consists of 15 watersheds in northern Algeria. The IEB technique makes it possible to identify, without taking into account the influence of the climate, any disturbance of anthropogenic origin which could affect the flow, it is used in studies of regionalization of ungauged basins,and to parameterize the influence of the geological conditions of a basic flow. This work aims in the first step to a bibliographical research on all the elements which from our work and give an overview of the zone studied. The second step is to present the methodology that allowed us to calculate the IEB, in order to interpret the results obtained which leads us to determinate the base flow due to groundwater discharges.

SOMMAIRE

| | |
|------------------------------------|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 01 |
|------------------------------------|----|

Chapitre I : recherche bibliographiques

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 03 |
| I.1. Généralités..... | 03 |
| I.1.1. L'écoulement de surface..... | 03 |
| I.1.2. L'écoulement de subsurface..... | 04 |
| I.1.3. L'écoulement souterrain..... | 04 |
| I.1.4. Débit de base | 04 |
| I.2. Méthodes de séparation des écoulements..... | 05 |
| I.2.1. Les méthodes graphiques..... | 06 |
| I.2.2. Les méthodes physico-chimiques et isotopiques de séparation des composantes de l'écoulement | 08 |
| I.2.3. Décomposition de l'hydrogramme de crue à l'aide de la conductivité et des analyses chimiques | 09 |
| I.2.4. Décomposition de l'hydrogramme de crue à l'aide de l'oxygène 18..... | 09 |
| I.3. L'utilité de séparation des écoulements | 11 |
| I.4. Détermination de débit de base | 11 |
| I.5. Facteurs influençant le débit de base | 11 |
| I.6. L'indice d'écoulement de base (IEB) | 12 |
| I.7. Synthèse des travaux sur l'IEB | 13 |
| Conclusion..... | 14 |

Chapitre II : Représentation de la zone d'étude

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 15 |
| II.1. Situation géographique..... | 15 |
| II.2. Principaux reliefs..... | 15 |
| II.3. Caractéristiques hydrographiques..... | 17 |
| II.4. Caractéristiques climatiques..... | 19 |
| II.5. Caractéristiques hydrogéologiques..... | 20 |
| II.6. Géologie..... | 22 |
| Conclusion..... | 23 |

Chapitre III : Présentation de la méthode

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 24 |
| III.1. La méthode UKIH..... | 24 |
| III.2. Détermination du nombre de jours « N » et le facteur d'inflexion « f »..... | 25 |
| III.3. Description de la nouvelle application..... | 26 |
| III.4. Manipulation..... | 27 |
| III.5. Méthodologie de l'estimation de l'IEB..... | 31 |
| III.5.1. Données disponibles..... | 31 |
| III.5.2. Ressources en eau en périodes d'étiages..... | 32 |
| Conclusion | 33 |

Chapitre IV : Résultats et discussions

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 34 |
| IV.1. Séparation de l'écoulement de base | 34 |
| IV.1.1. BASSIN DE CHELLIF | 35 |
| IV.1.2. BASSIN DE COTIERS CONSTANTINOIS | 36 |
| IV.1.3. BASSIN DE COTIERS ORANAIS | 37 |
| IV.1.4. BASSIN DE HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS | 38 |
| IV.1.5. BASSIN D'ISSER | 39 |
| IV.2. Calcul de l'indice d'écoulement de base | 40 |
| IV.3. Variation des débits de base | 45 |
| IV.3.1. Variation annuelle | 45 |
| IV.3.2. Variation saisonnière | 54 |
| IV.3.3. Variation mensuelle | 56 |
| IV.4. Résultats générales | 59 |
| Conclusion..... | 61 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 63 |

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux :

Chapitres II : Représentation de la zone d'étude

| | |
|---|----|
| Tableau II.1 : Liste des 17 bassins hydrographiques de l'Algérie et leur superficie..... | 19 |
| Tableau II.2 : Évaluation des potentialités en eau et des prélèvements des principaux aquifères du Nord de l'Algérie | 21 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | |
|--|----|
| Tableau VI.1 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Oued el Abtal du bassin de CHELLIF..... | 40 |
| Tableau VI.2 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Ain el Assel du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS..... | 41 |
| Tableau VI.3 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de TURGOT NORD du bassin de COTIERS ORANAIS..... | 42 |
| Tableau IV.4 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de CHEMORAH du bassin de HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS..... | 43 |
| Tableau VI.5 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de LAKHDARIA du bassin d'ISSER..... | 44 |
| Tableau VI.6 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Oued el Abtal du bassin de CHELIFF..... | 45 |
| Tableau VI.7 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Ain el Assel du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS..... | 47 |
| Tableau VI.8 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de TURGOT NORD du bassin de COTIERS ORANAIS..... | 49 |
| Tableau VI.9 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de CHEMORAH Du bassin de HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS..... | 50 |
| Tableau VI.10 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de LAKHDARIE du bassin d'ISSER..... | 52 |

Liste des figures :

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

| | |
|---|---|
| Figure I.1 : Méthodes simplifiées de séparation des composantes de l'hydrogramme | 7 |
| Figure I.2 : Décomposition de l'hydrogramme par la méthode de BARNES..... | 7 |

Chapitre II : Représentation de la zone d'étude

| | |
|--|----|
| Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude | 15 |
| Figure II.2 : Relief de la zone d'étude | 16 |
| Figure II.3 : Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques | 18 |
| Figure II.4 : Bassins versants du Nord de l'Algérie | 18 |
| Figure II.5 : Etages bioclimatiques | 20 |
| Figure II.6 : Carte géologique de l'Algérie du Nord..... | 22 |

Chapitre III : Représentation de la méthode

| | |
|--|----|
| Figure III.1: Séparation de débit de base et de débit total dans l'hydrogramme annuel | 24 |
| Figure III.2 : Détermination du paramètre N de la station de TURGO NORD... | 26 |
| Figure III.3 : Feuille des données de débits journaliers | 27 |
| Figure III.4 : Feuille de calcul de l'IEB | 28 |
| Figure III.5 : Feuille de résultats de calcul | 29 |
| Figure III.6 : Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB) | 30 |
| Figure III.7 : Séparation de l'IEB des mois de Février et de Mars 1982 dans la station TURGO NORD | 31 |
| Figure III.8 : Stations hydrométriques dans la région d'étude | 32 |

Chapitre IV : Résultats et discussions

| | |
|---|----|
| Figure VI.1: Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station d'OUED EL ABTAL (013402) pour une année sèche, moyenne et humide | 35 |
| Figure VI.2 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station d'AIN EL ASSEL (031601) pour une année sèche, moyenne et humide..... | 36 |
| Figure VI.3 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station de TURGOT NORD(040220) pour une année sèche, moyenne et humide..... | 37 |
| Figure IV.4 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station de CHEMORAH (070501) pour une année sèche, moyenne et humide..... | 38 |
| Figure VI.5 : Hydrogrammes du débit total observé et du débit de base estimé à la station de LAKHDARIA(090501) pour une année sèche, moyenne et | 39 |

| | |
|--|----|
| humide..... | |
| Figure VI.6 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF..... | 46 |
| Figure VI.7 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS..... | 48 |
| Figure VI.8: Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS..... | 50 |
| Figure VI.9 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS..... | 51 |
| Figure VI.10 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER..... | 53 |
| Figure VI.11: Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF..... | 54 |
| Figure VI.12 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS..... | 54 |
| Figure VI.13 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS..... | 55 |
| Figure VI.14 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS..... | 55 |
| Figure VI.15 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER..... | 56 |
| Figure VI.16 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF..... | 56 |
| Figure VI.17 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS..... | 57 |
| Figure VI.18 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS..... | 57 |
| Figure VI.19 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS..... | 58 |
| Figure VI.20 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER..... | 59 |

Introduction général :

L'Algérie, se caractérise par la rareté des ressources en eau, comme tous pays arides et semi-arides. Ces ressources en eau sont limitées et réparties à travers des régions présentant une grande diversité climatique et géographique. La meilleure gestion de ces eaux à l'échelle du bassin versant nécessite la connaissance des écoulements.

Dans cette étude nous nous sommes intéressé au débit de base qu'est une composante de l'écoulement provenant de la vidange des réserves du bassin, souterraines ou superficielles (barrages, lacs artificiels), et il assure en générale le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage.

La contribution du débit de base à l'écoulement total est souvent mesurée par une grandeur sans dimension, l'indice de débit de base (IEB), qui est le rapport de volume de débit de base au volume total de l'écoulement. Il a été, en fait, introduit la première fois par L'vovich (1972), puis développé par l'Institut d'Hydrologie (1980). La dissociation de l'écoulement de base constitue une étape très importante dans le calcul des volumes d'eau écoulés sous forme de crues à différentes échelles de temps. Cette approche est nécessaire et essentielle dans la gestion des barrages et la protection des agglomérations contre les crues. Donc nous comptons calculés l'indice indiquant la part des volumes d'eau écoulés annuellement pour différents stations hydrométriques se trouvant à l'aval du barrage. C'est dans ce sens que s'inscrit notre travail qui est le calcul de l'indice d'écoulement de base pour les oueds du nord de l'Algérie.

Le présent Travail s'organise en quatre chapitres précédés d'une introduction, suivis de conclusion et d'annexes.

- **Le premier chapitre :** Recherche bibliographique le but de cette partie est de mieux situer le débit de base et l'indice d'écoulement de base (l'IEB) Dans l'hydrologie et de mettre en évidence la spécifié du domaine concerné. Il s'agit d'un rappel bibliographique et d'une tentative pour mieux formaliser les problèmes abordés dans ce travail, avant d'entrer, effectivement, dans le sujet.
- **Le deuxième chapitre :** Représentation de la zone d'étude nous avons donné dans ce chapitre un aperçu sur les différentes les caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude.
- **Le troisième chapitre :** Présentation de la méthode de calcul on a illustré les étapes effectuées afin d'aboutir à un résultat concernant le calcul de l'indice d'écoulement de base (l'IEB).
- **Le quatrième chapitre :** Résultats et discussion, ce chapitre sera consacré aux présentations et l'analyse des graphes et des tableaux choisis pour qu'on puisse

calculer et visualiser la variation de l'indice d'écoulement de base (l'IEB) pour des différentes stations hydrométriques.

Enfin nous terminons par une conclusion générale où sont récapitulés les éléments essentiels et relatant les principaux résultats de cette étude.

**CHAPITRE I : RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Dans ce chapitre nous allons expliquer les différentes notions utilisées pour arriver au calcul de l'indice d'écoulement de base dans la région Nord de l'Algérie.

I.1. Généralités

De par la diversité de ses formes, on ne peut plus aujourd'hui parler d'un seul type d'écoulement mais bien des écoulements. On distingue dans un premier temps deux grands types d'écoulements, à savoir : les **écoulements « rapides »** et par opposition, les **écoulements souterrains** qualifiés de « **lents** » qui représentent la part infiltrée de l'eau de pluie transitant lentement dans les nappes vers les exutoires. Les écoulements qui gagnent rapidement les exutoires pour constituer les crues se subdivisent en écoulement de surface et écoulement de subsurface :

- **L'écoulement de surface** ou ruissellement est constitué par la frange d'eau qui, après une averse, s'écoule plus ou moins librement à la surface des sols. L'importance de l'écoulement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol, avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, soient prépondérantes.
- **L'écoulement de subsurface** ou écoulement hypodermique comprend la contribution des horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau ou celle des nappes perchées temporairement au-dessus des horizons argileux. Ces éléments de subsurface ont une capacité de vidange plus lente que l'écoulement superficiel, mais plus rapide que l'écoulement différé des nappes profondes, (André Musy, CHRISTOPHE Higy, 2004).

I.1.1. L'écoulement de surface

Après interception éventuelle par la végétation, il y a partage de la pluie disponible au niveau de la surface du sol :

- en eau qui s'infiltré et qui contribue, par un écoulement plus lent à travers les couches de sol, à la recharge de la nappe et au débit de base,
- et en ruissellement de surface dès que l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration du sol (elle-même variable, entre autre selon l'humidité du sol). Cet écoulement de surface, où l'excès d'eau s'écoule par gravité le long des pentes, forme l'essentiel de l'écoulement rapide de crue.

L'écoulement par dépassement de la capacité d'infiltration du sol (écoulement Hortonien) est considéré comme pertinent pour expliquer la réponse hydrologique des bassins en climats semi-arides ainsi que lors de conditions de fortes intensités pluviométriques. Il est généralement admis que même des sols naturels présentant une conductivité hydraulique élevée en climats tempérés et humides peuvent avoir une capacité d'infiltration inférieure aux intensités maximales des précipitations enregistrées.

Cependant des crues sont fréquemment observées pour des pluies d'intensité inférieure à la capacité d'infiltration des sols. Dans ce cas, d'autres processus tel que **l'écoulement sur des surfaces saturées** en eau, permettent d'expliquer la formation des écoulements. Des zones de sol peuvent être saturées soit par contribution de l'eau de subsurface restituée par **exfiltration** (d'une nappe perchée par exemple), soit par contribution directe des précipitations tombant sur ces surfaces saturées. (André Musy, CHRISTOPHE Higy, 2004).

I.1.2. L'écoulement de subsurface

Une partie des précipitations infiltrée chemine quasi horizontalement dans les couches supérieures du sol pour réapparaître à l'air libre, à la rencontre d'un chenal d'écoulement. Cette eau qui peut contribuer rapidement au gonflement de la crue est désignée sous le terme d'**écoulement de subsurface** (aussi appelé, dans le passé, écoulement hypodermique ou retardé). L'importance de la fraction du débit total qui emprunte la voie subsuperficielle dépend essentiellement de la structure du sol. La présence d'une couche relativement imperméable à faible profondeur favorise ce genre d'écoulement. Les caractéristiques du sol déterminent l'importance de l'écoulement hypodermique qui peut être important. Cet écoulement tend à ralentir le cheminement de l'eau et à allonger la durée de l'hydrogramme, (André Musy, CHRISTOPHE Higy, 2004).

I.1.3. L'écoulement souterrain

Lorsque la zone d'aération du sol contient une humidité suffisante pour permettre la percolation profonde de l'eau, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique. L'importance de cet apport dépend de la structure et de la géologie du sous-sol ainsi que du volume d'eau précipité. L'eau va transiter à travers l'**aquifère** à une vitesse de quelques mètres par jour à quelques millimètres par an avant de rejoindre le cours d'eau. Cet écoulement, en provenance de la nappe phréatique, est appelé **écoulement de base** ou **écoulement souterrain**. A cause des faibles vitesses de l'eau dans le sous-sol, l'écoulement de base n'intervient que pour une faible part dans l'écoulement de crue. De plus, il ne peut pas être toujours relié au même événement pluvieux que l'écoulement de surface et provient généralement des pluies antécédentes. L'écoulement de base assure en générale le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage (l'écoulement souterrain des régions karstiques fait exception à cette règle). (Glossaire International d'Hydrologie, 1992)

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

I.1.4.Débit de base :

- Le débit de base représente une partie du débit d'un cours d'eau qui provient essentiellement des nappes souterraines, mais aussi de la vidange des lacs et de la fonte des glaciers, durant des périodes suffisamment longues où il ne se produit ni précipitation, ni fonte des neiges (Glossaire International d'Hydrologie, 1992)

Il représente aussi une part de l'écoulement total naturel (composante de l'hydrogramme d'un cours d'eau) qui est différée, par rapport à l'écoulement immédiat, sous l'effet régulateur de divers réservoirs naturels, notamment celui des aquifères à exutoire compris dans le bassin versant. Il compose tout l'écoulement en période de tarissement. Il n'est perturbé par aucune action humaine, à la différence de l'écoulement de base réel observé, et il peut être déterminé par correction de l'écoulement de base observé (Dictionnaire français d'hydrogéologie 1977).

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. (Pierre Davoust, 2012)

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 en l'absence d'influence, 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 (Pierre Davoust, 2012).

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 (Pierre Davoust, 2012).

L'écoulement de base assure en générale le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage.

I.2. Méthodes de séparation des écoulements:

L'hydrogramme de crue d'un cours d'eau, pour un événement donné, est le résultat de trois composantes principales qui sont : le ruissellement direct, le ruissellement hypodermique ou retardé et l'écoulement souterrain. La séparation de ces composantes au niveau de l'hydrogramme ne peut pas se faire sans comprendre les différents processus qui génèrent l'écoulement total d'un cours d'eau. Dans ce qui précède, on a décrit ces différents types d'écoulement.

Les hydrologues ont tenté de décomposer les hydrogrammes de crue selon les différentes contributions de l'écoulement. Ceci a été le plus souvent abordé à travers des bilans hydriques, par l'analyse du rapport entrée-sortie des compartiments hydrologiques ou par l'étude de la variation du volume d'eau des réservoirs impliqués dans ces bilans. Ainsi plusieurs méthodes ont été inventées. Les principales sont présentées ci-après (Gnouma R, 2002).

I.2.1. Les méthodes graphiques

a. Les méthodes simplifiées

Ces méthodes ont été proposées avec l'hypothèse d'une simplification des composantes de l'hydrogramme de crue en supposant qu'au niveau d'un cours d'eau en crue, le débit associé est le résultat de la superposition de deux écoulements : l'écoulement souterrain qui provient de la vidange des aquifères du bassin versant et le ruissellement total engendré par la pluie. Ce dernier regroupe à la fois le ruissellement direct et celui retardé (hypodermique). Ces méthodes font appel essentiellement à l'expérience et au jugement de l'opérateur.

La méthode la plus simple, citée par Blavoux (1978), consiste à tracer une horizontale du point (A) qui marque le début de la courbe de concentration jusqu'à l'intersection (A') avec la courbe de tarissement (**figure I.1**).

Une variante de cette méthode consiste à joindre par une droite le point (A) à un point (B) (point de rupture) choisi arbitrairement sur la courbe de tarissement. Le coté arbitraire de la méthode influence naturellement les proportions de mélange.

Une modification de cette méthode consiste à prolonger la courbe de ruissellement avant l'averse jusqu'au point (C) (**figure I.1**) situé sur la verticale de la pointe de crue. Par la suite, (C) et (B) sont reliés (LLAMAS, 1993).

b. La méthode de BARNES (1939)

C'est une méthode qui permet de séparer l'hydrogramme de crue en trois composantes. Elle consiste à représenter les courbes de décrue de chacune des composantes en coordonnées semi-logarithmiques par des droites de pentes différentes permettant de les séparer (**figure I.2**).

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

En prolongeant la partie terminale de l'hydrogramme jusqu'à la verticale de la pointe (point C), on aura la courbe de décrue souterraine (ACB). En retranchant les ordonnées de cette courbe de celle de l'hydrogramme global, on obtiendra une nouvelle courbe qui sera la somme des hydrogrammes de ruissellement de surface et de l'écoulement hypodermique. Par le même principe que ci-dessus, on obtiendra une droite (DE) qui correspond à la décrue de l'écoulement hypodermique et enfin on obtient l'hydrogramme de ruissellement superficiel. C'est une méthode arbitraire où le tracé de la montée de crue est laissé à l'appréciation de l'opérateur car les hydrogrammes de crues sont rarement simples (Gnouma R, 2002).

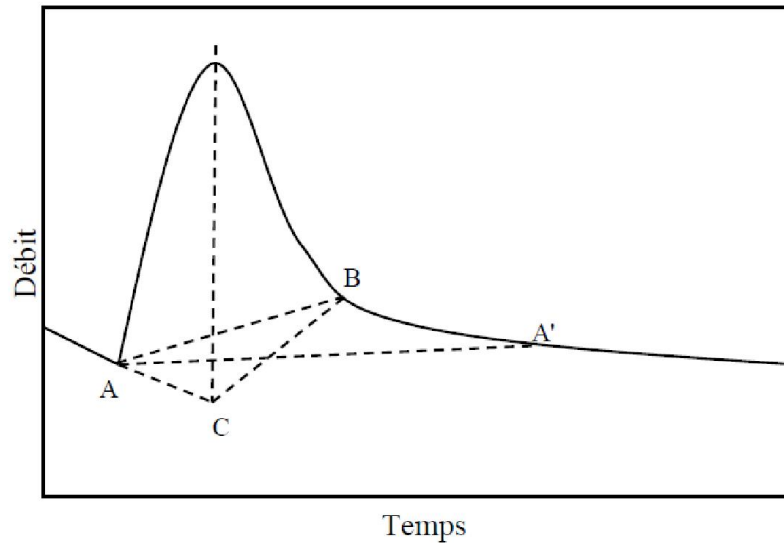


Figure I.1 : Méthodes simplifiées de séparation des composantes de l'hydrogramme
(BLAVOUX, 1978) (Gnouma R, 2002)

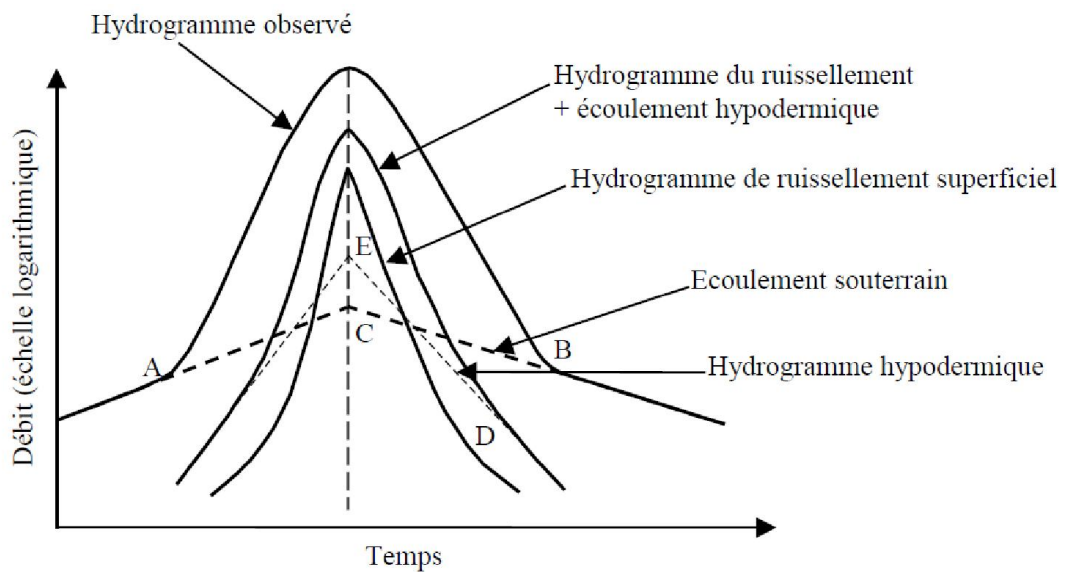


Figure I.2 : Décomposition de l'hydrogramme par la méthode de BARNES (Gnouma R, 2002)

c. La méthode d'évaluation du débit souterrain par corrélation avec le niveau piézométrique de l'aquifère :

Cette méthode, citée par Blavoux (1978), consiste à établir la correspondance entre le niveau piézométrique de l'aquifère et le débit en étiage. En mesurant le niveau de l'aquifère pendant la crue, on connaîtra ainsi l'écoulement souterrain.

Pour établir la courbe de corrélation, on utilise les valeurs du débit en étiage et le niveau moyen de l'aquifère mesuré dans plusieurs puits dispersés sur tout le bassin. Il faut construire deux courbes, une de saison chaude à forte évapotranspiration, une de saison froide pendant laquelle à hauteur égale, le débit sera plus fort. Toutefois, on est souvent obligé d'extrapoler la courbe établie pour trouver les valeurs correspondant aux grandes crues (Gnouma R, 2002).

Les méthodes graphiques sont surtout utilisées pour une estimation grossière de la quantité d'eau ruisselée. La détermination de l'origine de l'eau est, d'après Hubert (1990), un problème relativement secondaire, lorsque l'objectif de l'hydrologue est la reconstitution ou la prévision des débits. Nous partageons cette analyse pour des bassins versants d'occupation homogène. Dans le cas d'un mélange entre flux urbains et ruraux, la contribution des entités hydrologiques contrastées à la formation des crues devient un problème essentiel dès qu'il s'agit de reconstituer ou prévoir la qualité de l'eau d'une rivière (ibid.).

I.2.2. Les méthodes physico-chimiques et isotopiques de séparation des composantes de l'écoulement :

Les méthodes graphiques simples de séparation des écoulements, très subjectives, ont été remplacées ensuite par les méthodes de séparation physico-chimiques et isotopiques ayant pour objectif de cerner la réalité des phénomènes. Au début la variation de la conductivité de l'eau a été utilisée. Cette dernière reflète la charge globale en éléments dissous. Ensuite ces méthodes ont été affinées en étudiant les variations des concentrations de certains éléments majeurs. Enfin, les méthodes isotopiques ont été largement appliquées avec un certain succès. Ces méthodes reposent sur le traçage intrinsèque de la molécule d'eau qui permet une analyse plus rigoureuse des hydrogrammes de crue (Gnouma R, 2002).

Le principe de calcul des méthodes chimique et isotopique de décomposition de l'hydrogramme de crue est le suivant : (ibid.)

En période d'étiage, le débit total de la rivière (Q_t) est uniquement dû à la vidange des aquifères du bassin versant.

$$Q_t = Q_s \dots(1)$$

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

La concentration (C_t) de la rivière correspond alors à la concentration (C_s) de l'écoulement souterrain.

En période de crue, l'écoulement total (Q_t) provient de la superposition de l'écoulement souterrain (Q_s) et du ruissellement total lié à la pluie (Q_p). Le ruissellement retardé sera en effet inclus dans l'une ou l'autre des composantes.

$$Q_t = Q_s + Q_p \dots(2)$$

Avec (t) l'écoulement total de la rivière, (s) l'eau souterraine préexistante et (p) la pluie.

Chaque composante a sa concentration chimique ou isotopique qui reste plus ou moins constante durant la crue, (C_s) pour la composante souterraine et (C_p) pour le ruissellement.

$$Q_t C_t = Q_s C_s + Q_p C_p \dots(3)$$

En éliminant (Q_p) entre les équations 2 et 3, on obtient :

$$Q_s = Q_t \frac{C_t - C_p}{C_s - C_p} \dots(4)$$

Donc la proportion de l'eau souterraine dans l'écoulement de crue est :

$$Q_s/Q_t = (C_t - C_p) / (C_s - C_p) \dots(5)$$

I.2.3. Décomposition de l'hydrogramme de crue à l'aide de la conductivité et des analyses chimiques :

La conductivité de l'eau de la rivière et sa teneur en certains ions sont obtenues par un dispositif de mesure en continu (conductimètre et ionomètre) ou à partir des échantillons prélevés lors de la crue.

D'après Blavoux (1978), les concentrations du ruissellement sont plus difficiles à appréhender.

Pour certains, la minéralisation de la rivière à la pointe de l'hydrogramme d'une grosse crue pourra être prise comme valeur du ruissellement. L'estimation de (C_p) pourra ainsi se faire à partir d'échantillons prélevés dans les ruisseaux temporaires dans les parties hautes des versants pour exclure l'écoulement souterrain et latéral.

La minéralisation de l'écoulement souterrain supposée constante est celle du cours d'eau à l'étiage prolongé. Elle peut aussi être mesurée sur les sources ou puits du bassin pendant la crue, (Gnouma R, 2002).

Conditions d'application :

Comme pour la méthode isotopique, la décomposition de l'hydrogramme par la méthode chimique ne permet de distinguer que deux origines pour l'écoulement total, souterrain et superficiel. Il faut donc assimiler le ruissellement hypodermique à l'une ou à l'autre. Celui-ci comprend en partie un volume d'eau chassé du sol par la chute de pluie et sa minéralisation est proche de celle des eaux souterraines. Toutefois, elle reste intermédiaire et une première incertitude apparaît d'autant plus ce que cet écoulement sera important en volume.

Chaque composante de l'écoulement a une minéralisation supposée constante tout au long de la crue. Pour les eaux souterraines, surtout quand il s'agit d'un aquifère en milieu poreux bien défini, leur variation peut être considérée comme négligeable. Mais la minéralisation des eaux de ruissellement varie sensiblement pendant la crue d'où une erreur supplémentaire.

On suppose aussi pour cette méthode qu'il n'y a pas d'interaction chimique lors du mélange des deux écoulements et que l'ion étudié a une origine naturelle. Donc la méthode est inapplicable à des bassins urbains avec des rejets industriels dans le réseau hydrographique ou à des bassins agricoles avec épandages d'engrais. L'ion choisi doit être présent sur la totalité du bassin versant et il faut éviter un élément seulement présent sur un affleurement. On utilise le plus souvent les éléments majeurs (comme Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_2), (Gnouma R, 2002).

I.2.4. Décomposition de l'hydrogramme de crue à l'aide de l'oxygène 18

Les éléments chimiques possèdent pour la plupart plusieurs isotopes qui diffèrent les uns des autres par leur masse. La molécule d'eau est constituée de deux éléments (O et H) qui possèdent respectivement trois isotopes pour l'hydrogène 1H , 2H (deutérium) et 3H (tritium) et trois isotopes pour l'oxygène ^{16}O , ^{17}O et ^{18}O . L'abondance relative d'un isotope dépend de plusieurs facteurs tels que : le lieu de précipitation de la pluie (altitude, latitude, distance de l'océan), le cycle d'évaporation-condensation, etc (ROCCHICCIOLI-DELTCHEFF, 1971 ; LETOLLE, MARIOTTI et BARIAC, 1991)

Les teneurs en isotopes lourds de l'eau sont exprimés en unité δ (delta) de part pour mille de différence par rapport à l'étalon international "Vienna Standard Mean Ocean Water" (encore noté V-SMOW) qui représente la composition isotopique moyenne des océans (EPSTEIN et MAYEDA, 1953).

Conditions d'application :

La décomposition de l'hydrogramme de crue à l'aide de l'oxygène 18 permet de calculer la part de la pluie dans l'écoulement total à l'exutoire.

D'après Blavoux (1978), l'écoulement hypodermique est constitué en partie par l'eau du sol avant l'averse. Sa teneur isotopique qui résulte du mélange des précipitations antérieures est souvent différente de la pluie, mais aussi des eaux de l'aquifère, à un degré moindre cependant.

Ainsi, la décomposition de l'hydrogramme est approximative. Néanmoins, d'après les expériences menées par Blavoux (1978) sur le ruisseau du Maravant, cette méthode présente l'avantage sur la méthode chimique de montrer (dans certains cas) l'existence du ruissellement retardé : au niveau du bassin versant de ce ruisseau, Blavoux a constaté que la contribution de la pluie à l'écoulement global est extrêmement faible (0,2%) et elle se manifeste longtemps en cours de décrue, ce qui indique la présence d'un ruissellement retardé.

La teneur en ^{18}O des eaux souterraines pendant la crue peut être considérée comme constante sans risque d'erreur (BLAVOUX, 1978).

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

La teneur ponctuelle en ^{18}O pendant la pluie peut varier considérablement. Cette variation constitue un obstacle à l'étude des crues engendrées par des précipitations de longue durée.

Cette méthode nécessite d'avoir une eau de pluie dont la teneur isotopique se différencie nettement de celle des eaux souterraines. D'après Blavoux (1978) une différence d'au moins 3δ est souhaitable (Gnouma R, 2002).

L'approche isotopique peut donc permettre de déterminer l'origine de l'eau qui alimente les réservoirs et d'interpréter ou de reconstituer l'histoire de cette eau dans les réservoirs considérés [Sklash et Forvolden, 1982; Rodlie, 1987; Wels et al., 1990, 1991 ; McDoiznell and Kendall, 1992. En association avec une approche hydrochimique, elle est utilisable à l'échelle du bassin versant dans le cadre de la décomposition de l'hydrogramme de crue. Cependant, l'utilisation de ces deux familles de traceurs ne permet d'identifier que des volumes d'eau à l'exutoire du bassin lors de cheminements simples de l'eau à travers ce bassin.

Lorsque la réalité est plus complexe (cas d'une molécule d'eau de pluie qui a tout d'abord ruisselé sur la surface du sol, puis s'est infiltrée pour participer à l'écoulement hypodermique, avant de percoler et de rejoindre une nappe souterraine, pour enfin atteindre un cours d'eau), on peut raisonnablement douter de la qualité des informations apportées par la méthodologie géochimique, que les traceurs soient conservatifs ou non. La combinaison de différentes approches qui associent des informations hydriques, hydrologiques et géochimiques doit permettre de proposer un schéma unique du fonctionnement du bassin versant considéré, (Gnouma R, 2002).

*Méthode à appliquer : Séparation des écoulements par la méthode graphique

Il s'agit d'identifier le tarissement sur un hydrogramme et le débit de base en procédant à la séparation des écoulements. Cette technique se base sur une représentation logarithmique de la décroissance du débit en fonction du temps. Une telle représentation est censée mettre en évidence les cassures de la courbe de décrue et par conséquent les différents types d'écoulement.

I.3. L'utilité de séparation des écoulements :

La dissociation de l'écoulement de base constitue une étape très importante dans le calcul des volumes d'eau écoulés sous forme de crues à différentes échelles de temps. Cette approche est nécessaire et essentielle dans la gestion des barrages et la protection des agglomérations contre les crues.

I.4. Détermination de débit de base :

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, (MEHAIGUENE M, 2013). Les données de débit moyen journalier qui sont utilisées dans ces analyses sont recueillies à la grandeur des 15 bassins versants à l'aide de réseaux de débitmètres.

I.5. Facteurs influençant le débit de base :

Le débit de base est lié à la réponse hydraulique 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, températures, 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 séparations d'hydrogrammes souffrent d'un manque de connaissance réelle de l'écoulement à travers le bassin versant sur une période incluant plusieurs évènements pluvieux et des conditions d'humidité antécédente, (Arnold et al., 1995).

*Différentes mesures sont utilisées pour l'application de la séparation du débit de base aux valeurs de 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 l'échelle régionale.

I.6. L'indice d'écoulement de base (IEB) :

I.6.1. Définition de l'IEB :

L'IEB est défini comme le rapport entre l'écoulement de base moyen annuel et le débit moyen annuel d'un cours d'eau (Sauquet *et al.* 2009). L'indice donne des valeurs comprises entre 0 et 1 (PIGGOTT A., 2005). Les fortes valeurs sont l'indice d'une forte

composante souterraine (Sauquet *et al.* 2009). Cet indice a été introduit par l'Institute of Hydrology (1980), qui a aussi proposé le premier algorithme pour le calculer. Cet indice permet d'identifier, sans la prise en compte de l'influence du climat, toute perturbation d'origine anthropique qui pourrait affecter l'écoulement (Viramontes et Descroix 2000). Plusieurs auteurs ont proposé, par la suite, d'autres algorithmes et méthodes pour le calculer: p.e. Chapman (1991), Tallaksen et Van Lanen (2004).

I.6.2. L'objectif de la détermination de l'IEB :

La technique de l'IEB est un procédé automatique de décomposition d'un hydrogramme de débits journaliers et la séparation du débit de base aux valeurs de débit moyen journalier. Elaborée par l'Institut d'Hydrologie de Wallinford (Institute of Hydrology, 1980), d'après une idée de L'vovich (1982), elle est traditionnellement utilisée dans les études de régionalisation de l'écoulement (Gustard et al., 1989).

L'intérêt de cet indice réside surtout dans son caractère automatisable et contrôlable, tout en étant capable de traiter très rapidement de longues séries de données. 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 la part respective de Q_B et de Q_C (MEHAIGUENE M, 2005).

I.6.3. Détermination de l'IEB :

Pour notre application, le calcul de l'IEB a été effectué sur la base de l'algorithme de Tallaksen et Van Lanen (2004). Le principe consiste à déterminer le débit de base qui est obtenu après avoir subdivisé la chronique en intervalles de n points qui ne se chevauchent pas. On recherche ensuite les minima locaux (appelés aussi « turning points ») sur chaque intervalle. La courbe des débits de base est finalement obtenue, par interpolation linéaire de ces points d'inflexion.

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 car il y a autres facteurs qui entrent en jeu par exemple la régularisation des débits, le prélèvement direct, les rejets des eaux usées dans les cours d'eau (MEHAIGUENE M, 2005).

I.6.4. Comment l'IEB change pendant les périodes d'étiage et les crues :

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 mensuelle sur plusieurs années met en évidence les grands 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 forte perméabilité du sol. Une valeur faible de l'IEB (grande partie de débit observé représente un écoulement directe de surface) reflète une faible perméabilité (Mehaiguene M, 2013).

I.7. Synthèse des travaux sur l'IEB :

Un certain nombre d'études sont présentées dans la littérature scientifique passée, citant à titre d'exemple:

L'IEB a été introduit la première fois par LVOVICH (1972), puis développé par l'Institut d'Hydrologie (1980) en tant que mesure des contributions des étiages et en tant que caractéristiques des bassins versants. Une relation étroite semble exister entre la géologie du bassin versant et l'IEB; plus la roche et le matériel du sol d'un bassin versant est perméable plus son débit pendant la saison sèche est soutenu, l'IEB est le plus élevé.

Pour l'application de la régionalisation de l'indice de débit de base, l'institut d'hydrologie (1980) suggère de comparer l'IEB des bassins versants jaugés avec leur géologie et utiliser cette comparaison pour estimer l'IEB de la géologie des bassins versants non jaugés. Egalement très récemment et dans de très différentes zones géographiques et hydrogéologiques du bassin versant a été confirmée (Longobardi et Villani, 2008 ; Santhi et al, 2008; Schneider et al, 2007).

Vogel et Kroll, 1990 ; Ponce et Shetty, 1995 ; Nathan et al, 1996 ; Lacey et Grayson, 1998 ; Haberlandt et al, 2001 ; Mwakalila et al, 2002 ont toutefois démontré que l'indice d'écoulement de base est d'ailleurs lié à un certain nombre de paramètres topographiques, les types de végétation et le sol.

Dans les régions semi-arides, tels que les bassins de la méditerranée, une autre source importante d'incertitude dans l'estimation de l'IEB pourrait également provenir de la grande variabilité des précipitations.

Schneider et al, 2007 il a montré que la variabilité de l'IEB s'explique par des classes de sols a tendance à diminuer du nord au sud de l'Europe, probablement en raison de facteurs tels que le climat, la végétation et la géomorphologie, ont une influence dans les bassins versants méditerranées. Dans ces régions donc l'importance du contrôle climatique sur l'IEB doit également être étudiée.

Une application d'une approche régionale simple pour la prévision de l'IEB sur des sites non jaugés, pour une région Nord-Ouest de l'Algérie et une quantification des étiages Mehaiguene M, 2013. Les buts de cet étude sont: la quantification de l'IEB grâce à l'application de la méthode de la décomposition d'un hydrogramme et

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

l'identification des modèles de régression régionaux simples pour prédire l'IEB dans les bassins versants non jaugés.

Conclusion :

Nous comptons calculés l'indice indiquant la part des volumes d'eau écoulés annuellement pour différents stations hydrométriques se trouvant à l'aval de barrages et de villes pour répondre aux objectifs fixés dans les paragraphes précédents.

Dans les chapitres suivants nous présentons la méthodologie et le calcul de l'indice d'écoulement de base pour les bassins versants du Nord de l'Algérie.

CHAPITRE II : REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE II: REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction :

La région d'étude concerne toute la partie Nord de l'Algérie. Une synthèse des caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques sera donnée dans le présent chapitre.

II.1. Situation géographique

Le Nord de l'Algérie est limitée à :

- L'Est par la Tunisie,
- L'Ouest par le Maroc,
- Au Nord par la mer méditerranée,
- Au Sud par l'Atlas saharien,

La surface totale de la zone d'étude est d'environ 227 740 Km². Elle s'étend sur une largeur de 350 Km environ et 1000 Km le long du littoral. Elle est limitée par le parallèle 33° et 37°N et par la longitude 2° Ouest et 10° Est (Figure II.1), (Taibi S, 2016).

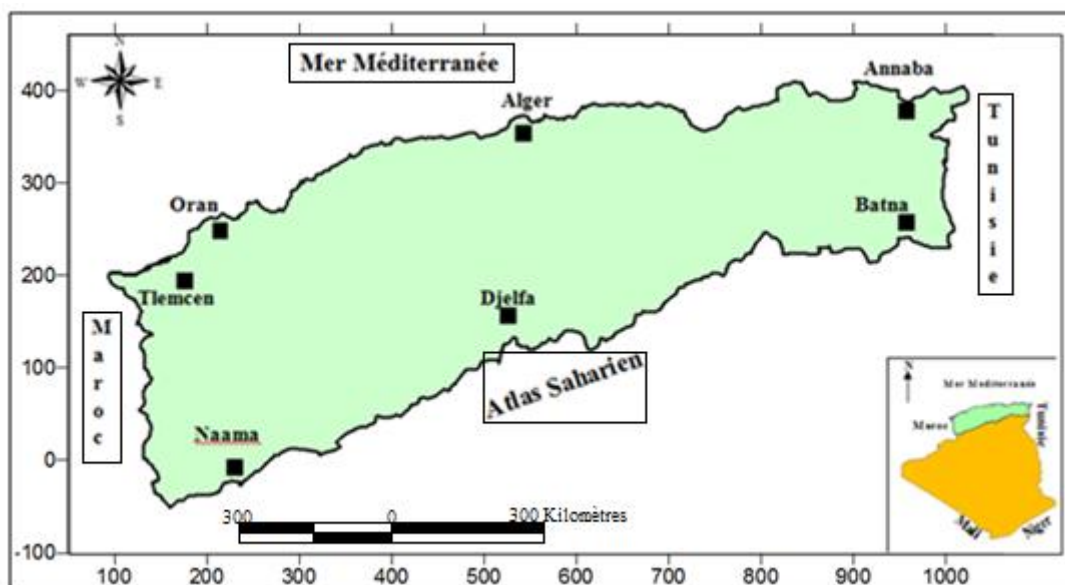


Figure II.1: Situation géographique de la zone d'étude (Taibi S, 2016)

II.2 Principaux reliefs

Notre zone d'étude est caractérisé par différentes formes de relief comme les plaines, les plateaux, les montagnes ...etc.

- L'Atlas tellien

La bande tellienne large de 80 à 190 Km, et environ 1200 Km de long couvrant ainsi la quasi-totalité de la zone littorale. Elle est formée de chaînes de montagnes au Nord, on rencontre le massif du Djurdjura, à l'Est le massif cristallin de l'Edough. Au Sud, les monts du Titteri relayés par le massif de Guergour et les monts de Ferdjioua (Nord-Est de Sétif). L'Ouest tellien, dominé par les massifs du Dahra, Ouarsenis et Trara.

Entre tous ces massifs s'intercalent les plaines du Cheliff et de Sidi Bel Abbes à l'Ouest, la Mitidja au Centre et Seybousse à l'Est. Au Nord de l'Atlas tellien et en bordure de la mer s'étend le Sahel (TAIBI S, 2016).

- les hauts plateaux

Entre les massifs telliens et l'Atlas saharien, s'étend des hauts plateaux, ils se rétrécissent et s'abaissent vers la dépression du Hodna (400 m) avant de disparaître plus à l'Est, d'une altitude variant entre 600 et 1000 m. À l'Ouest du pays, elles s'étirent sur près de 500 Km sur une largeur de 100 à 200 Km. À l'Est, elles s'étendent sur une longueur de 200 Km avec un relief un peu plus élevé qu'à l'Ouest (entre 800 et 1000 m).

Cette partie est caractérisée par des étendues d'eau salée, qu'on appelle « les chotts ». Le point le plus bas d'Algérie, atteint au Chott Melrhir, descend à -40 m (TAIBI S, 2016, TAIBI R, 1993, MEDIRAB, 2005).

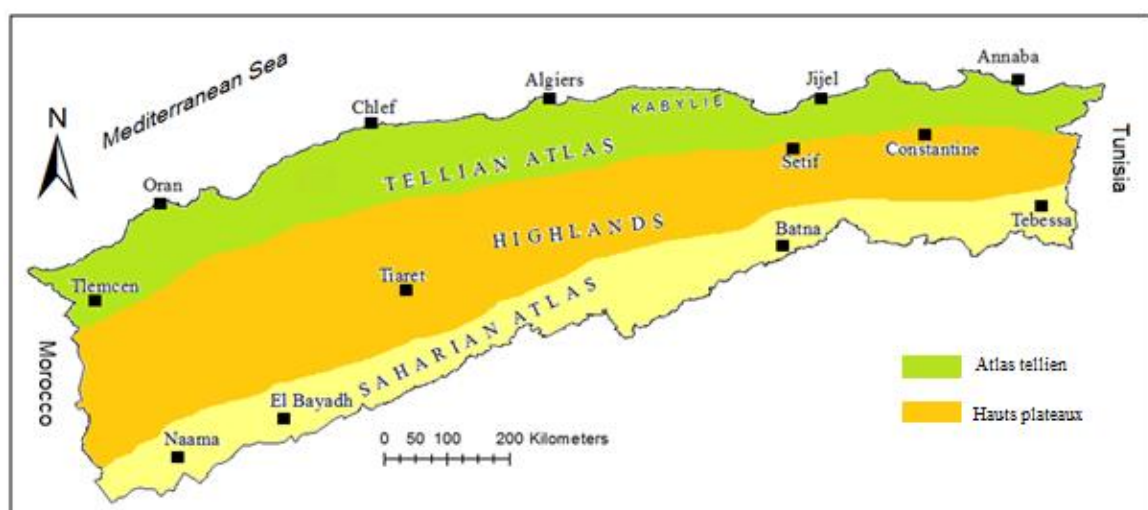


Figure II.2 : Relief de la zone d'étude (ANRH)

II.3 Caractéristiques hydrographiques

Le Nord Algérien, couvre d'Ouest en Est, 4 grandes régions (bassins) hydrographiques (Figure II.3):

- **Région 1** : Oranais-Chott Chergui (bassins hydrographiques 16, 04, 11, 08) ;
- **Région 2** : Chellif-Zahrez (bassins hydrographiques 01, 17 et la côte de Ténès : 02A) ;
- **Région 3** : Algérois-Soummam-Hodna (bassins hydrographiques 02B, 09, 05 et 15)
- **Région 4** : Constantinois-Seybouse-Mellegue (bassins hydrographiques 03, 07, 10, 14 et 12)

Ces 4 régions hydrographiques sont divisées en 15 bassins hydrographiques (Figure II.4) repartis en 2 catégories :

- **Les bassins tributaires de la Méditerranée**, au nombre de 11, des oueds drainant l'Atlas Tellien (les côtiers Algérois-02, côtiers Constantinois-03, et côtiers Orannais-04, le Tafna-16, la Macta-11, l'Isser-09, le Chellif-01, la Soummam-15, le Kebir Rhumel-10, le Seybouse-14 et la Medjerda-12).
- **Les bassins endoréiques**, au nombre de 4, des oueds dont les écoulements se font vers les chotts (chott Chergui-08, chott Zahrez-17, chott Hodna-05, les hauts plateaux Constantinois-07).

Le flanc Sud de l'Atlas fait partie de la région 5 : le bassin du Chott Melrhir-06 et le bassin du Sahara-13 (TAIBI S, 2016).

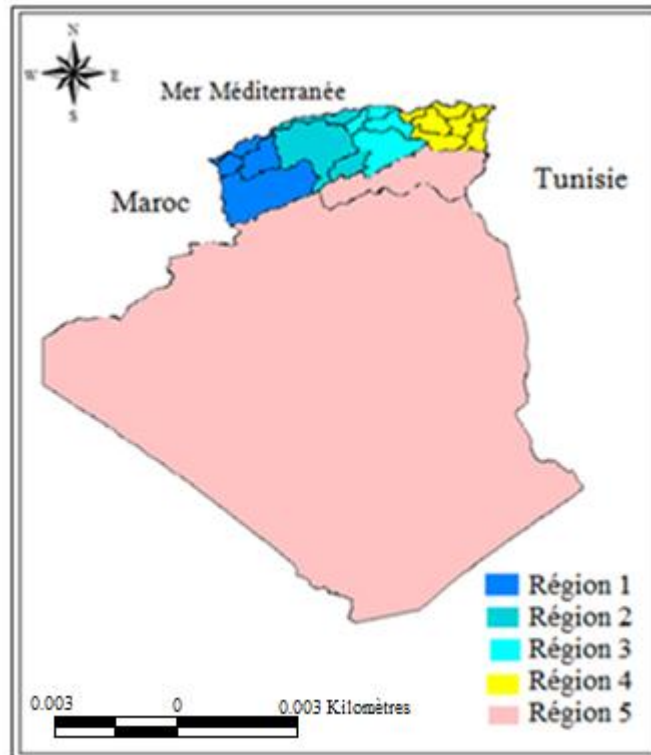


Figure II.3 : Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (source : ANRH)

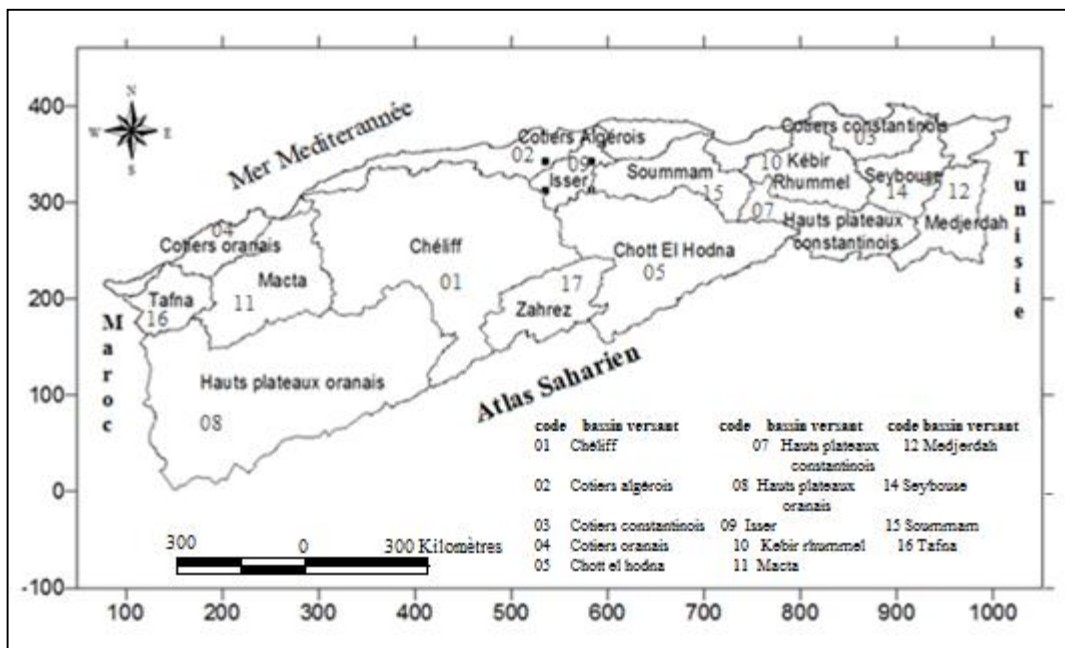


Figure II.4 : Bassins versants du Nord de l'Algérie (source : ANRH)

Au total l'Algérie couvre 17 grands bassins hydrographiques (tableau 1.1). Ce découpage fut initié lors de l'étude générale intitulée Plan National de l'Eau (PNE) lancée en 1993.

Tableau II.1 : Liste des 17 bassins hydrographiques de l'Algérie et leur superficie

| Bassins | Nom | Superficie en Km ² |
|---------|--|-------------------------------|
| 01 | Chélif | 43 750 |
| 02 | Côtiers Algérois | 11 958 |
| 03 | Côtiers Constantinois | 11 566 |
| 04 | Côtiers Oranais | 5 831 |
| 05 | Chott Hodna | 25 843 |
| 06 | Chott Melrhir | 68 750 |
| 07 | Hauts plateaux Constantinois | 9 578 |
| 08 | Chott Chergui (hauts plateaux Oranais) | 52 090 |
| 09 | Isser | 4 149 |
| 10 | Kebir Rhumel | 8 815 |
| 11 | Macta | 14 389 |
| 12 | Medjerda | 7 785 |
| 13 | Sahara | 2 087 995 |
| 14 | Seybouse | 6 475 |
| 15 | Soummam | 9 125 |
| 16 | Tafna | 7 245 |
| 17 | Zahrez | 9 141 |

(Source : ANRH)

II.4 Caractéristiques climatiques

La zone d'étude connaît un climat très varié selon un axe Nord-Sud :

- un climat de type méditerranéen qui caractérise le Tell;
- un climat semi-aride domine les hauts plateaux. Il est plus froid et neigeux pendant l'hiver et plus chaud et sec pendant l'été.

Les trois étages bioclimatiques qui constituent le climat méditerranéen (Figure II.5) de l'Algérie sont :

1. **Un étage bioclimatique subhumide** sur la côte et dans l'Atlas Tellien : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs, tempéré par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 - 400 mm) et du Nord au Sud (1000 à moins de 130 mm). Dans cette zone, les températures moyennes minimales et maximales respectivement oscillent entre 5 et 15°C en hiver et de 25 à 35°C en été ; les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest ; cependant, l'influence du désert se fait sentir jusque sur la côte par l'action du «sirocco», vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord. Ce vent chargé de sable élève la température et dessèche la végétation.

2. **Un étage bioclimatique aride** sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien, avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an ; les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines d'Oranie ; la température descend souvent au-dessous de zéro degré en hiver. En été elle dépasse 30 et voire même 40 degrés ;

3. **Un étage bioclimatique désertique (hyper-aride)** dans la région saharienne: les pluies sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations. Les précipitations sont inférieures à 150 mm par an ; le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde: les températures de jour atteignent en été 45 et même 50 °C. La température moyenne saisonnière est de 15 à 28°C en hiver et atteint 40 à 45°C en été. Le sirocco est un vent du sud chaud et sec (TAIBI S, 2016, HAMZAOUI S, 2016).

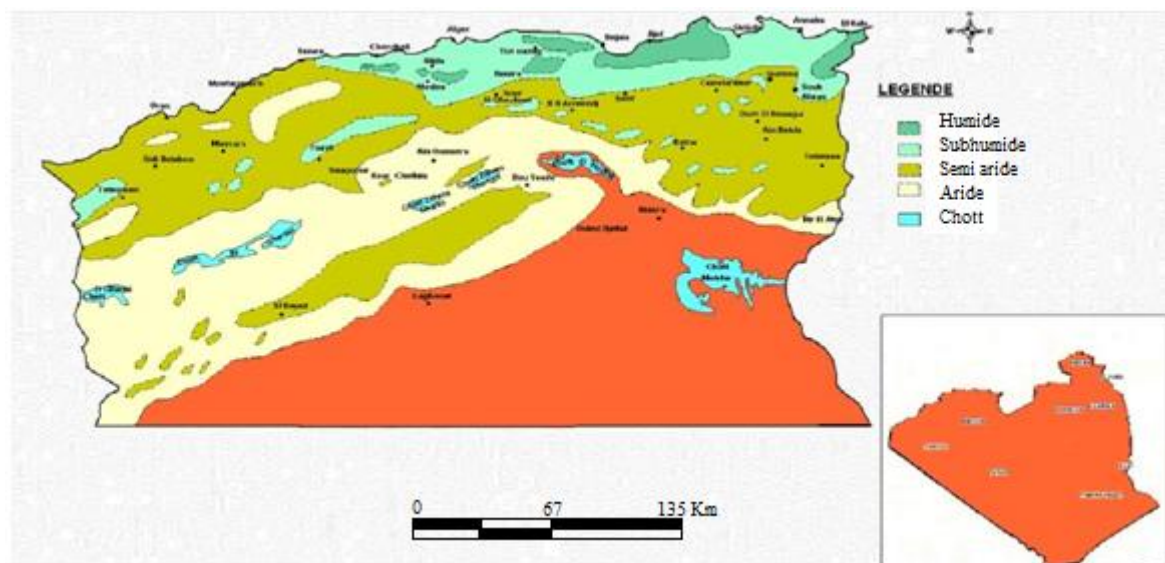


Figure II.5 : Etages bioclimatiques (Source : ANAT 2004)

II.5 Caractéristiques hydrogéologiques

Du point de vue hydrogéologique, on retrouve généralement dans le Nord de l'Algérie des entités hydrogéologiques d'ampleur relativement limitée et en nombre important (tableau II.2).

Les ressources en eau souterraines contenues dans les nappes du Nord du pays sont estimées à environ 2 milliards de m³/an (Taibi S, 2016). Ces nappes sont alimentées par les pluies : soit directement par l'infiltration directe, soit indirectement par l'infiltration des oueds.

CHAPITRE II : REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'alimentation en eau est donc conditionnée par la pluviométrie qui est caractérisée par une grande variabilité à la fois dans l'espace et dans le temps (Taibi S, 2016).

Tableau II.2 : Évaluation des potentialités en eau et des prélèvements des principaux aquifères du Nord de l'Algérie

| Région hydrographique | Nappes | Potentialités (Hm ³ /an) |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|
| Oranie-Chott Chergui | Plaine de Maghnia | 15 |
| | Monts de Tlemcen | 40 |
| | Plaine de Sidi Bel Abbès | 30 |
| | Djbel Murdjadjou-Brédéah | 12 |
| | Chott Chergui | 54 |
| | Plateau de Saida | 50 |
| | Plaine Ghriss | 70 |
| Cheliff-Zahrez | Plateau Sersou | 12 |
| | Plaine de la Mina | 17 |
| | Plaine de Ain Oussera | 27 |
| | Zahrez | 50 |
| | Plateau Kser Chellala | 14 |
| | Chéllif | 80 |
| Algerois-Hodna-Soummam | Plaine de Bouira | 15 |
| | Plaine côtière Bejaïa | 35 |
| | Vallée de la Soummam | 100 |
| | Plaine alluviale de l'oued Djer | 20 |
| | Mitidja | 328 |
| | Sahel | 28 |
| | Boudouaou | 12 |
| | Calcaire de Toudja | 15 |
| | Calcaire de Bejaïa | 17 |
| Constantinois-Seybouse-Mellegue | Sebaou | 53 |
| | Chott El Hodna | 133 |
| | Synclinal de Dekhla | 14 |
| | Plaine de Tebessa Morsot | 18 |
| | Plateau de Cherea | 18 |
| | Plaine de Biskra Tolga | 60 |
| | Oued Nil | 20 |
| | Oued Djendjen | 10 |
| | Plaine de Ain M'lila | 22 |
| | Vallée de l'oued Safsaf | 12 |
| | Plaine de oued Kebir | 15 |
| | Plaine de Gualma | 17 |
| | Plaine d'Annaba | 45 |
| | Plaine alluviale Isser | 35 |
| | Oued M'zi | 223 |
| Chott Gharbi | 40 | |
| | Total | 1776 |

(Source : ministère des ressources en eau, 2007)

II.6 Géologie :

Vu l'étendue de l'Algérie et la variation lithologique d'une région à l'autre au sein du même âge géologique, il est difficile de donner une description assez fidèle de la lithologie constituant les grands bassins sédimentaires. Du point de vue de la géographie physique, on peut diviser l'Algérie en deux parties ; le nord, qui est une haute terre bordant le rivage sud de la méditerranée et orientée comme celui-ci, dans le sens de sa longueur, du sud –ouest au nord-est et le sud, très largement désertique, et qui appartient au Sahara (ASSABA M, 2004).

A cet effet, nous nous contentons de donner juste une classification des principaux complexes lithologiques

Au Tell, nous avons du nord au sud :

Les dépôts tertiaires et quaternaires qui reposent sur un socle métamorphique.

L'atlas tellien qui est un domaine de nappes constitué des séries sédimentaires allant du Jurassique au Miocène.

Le Hodna qui est un bassin de remplissage, constitué de dépôts provenant des continents d'âge Eocène et Oligocène.

Les hauts plateaux constitués d'une couverture sédimentaire réduite.

L'atlas Saharien qui est un bassin de comblement constitué d'une puissante série sédimentaire de Tertiaire.

Bassin du Chott Melhir qui est situé au sud-est du bassin Constantinois à remplissage créacé (OULHACI D, 2016).

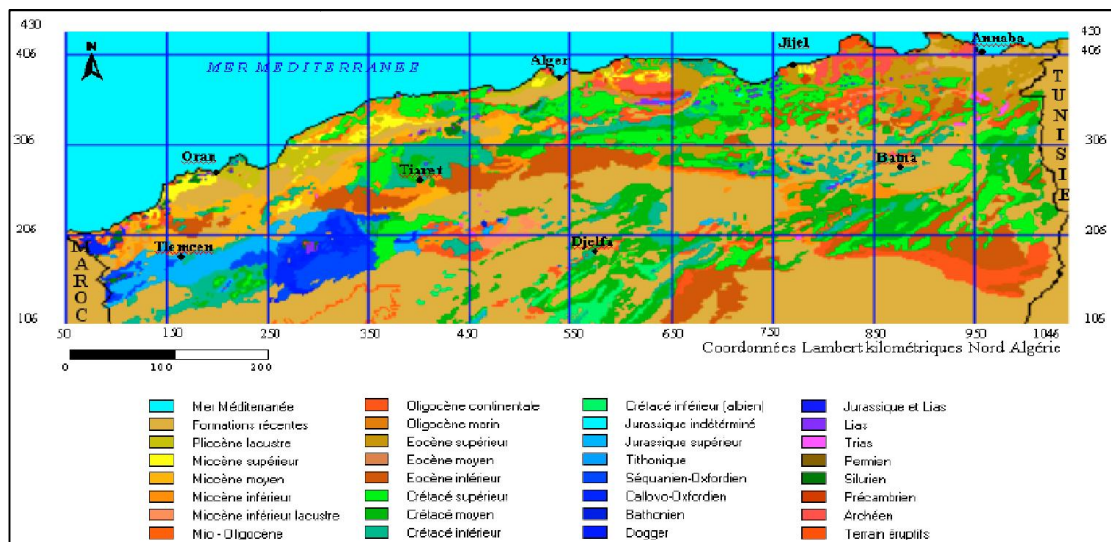


Figure II.6 : Carte géologique de l'Algérie du Nord (Touazi,2001).

Conclusion :

Dans ce présent chapitre on a présenté la région d'étude dans son contexte général. On a donné un aperçu sur les différentes caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques. On a constaté que le climat est très varié dans le Nord de l'Algérie, les disparités des formations géographiques sont classées selon leurs intérêts hydrographiques, le relief est très contrasté et diversifié d'une région à l'autre, et on note la présence de nombreux massifs montagneux.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

Introduction :

Dans le présent chapitre on montrera la méthodologie qui nous a permis d'aboutir au calcul de l'IEB.

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.

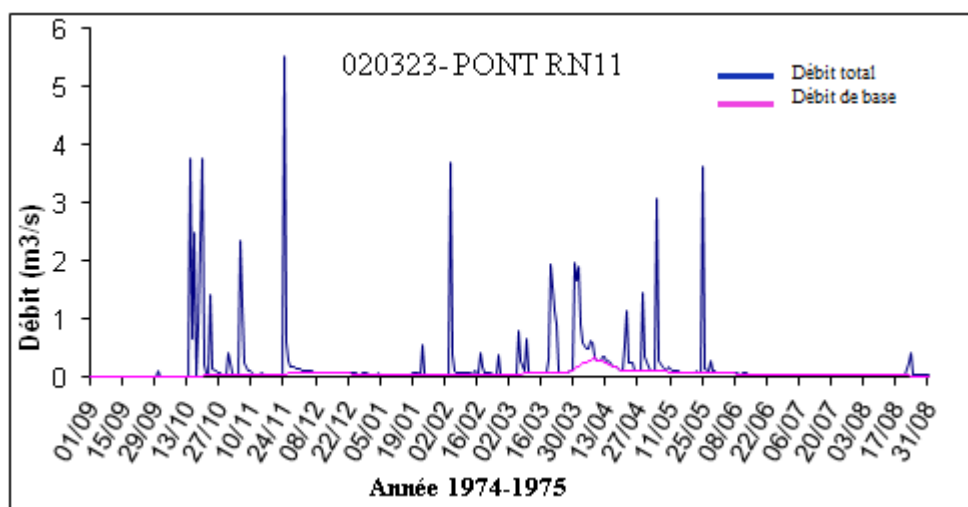


Figure III.1: Séparation de débit de base et de débit total dans l'hydrogramme annuel

Dans cette étude, on a utilisé les débits moyens journaliers pour déterminer les débits de base à l'aide de l'approche graphique. 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 (Mehaiguene, 2013).

III.1. La méthode UKIH :

Cette méthode 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 les jours et les valeurs correspondantes du débit total où on suppose que l'écoulement observé est entièrement un débit de base. Pour calculer ces points, les débits de l'écoulement total sont divisés dans un ordre des segments de 5 jours et le minimum du débit dans chaque segment, cette valeur correspond au jour, où la

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

valeur minimum de l'écoulement s'est produite, ces points sont choisis et définis comme point de retour. Chaque valeur minimale est alors comparée aux minimums pour les segments précédents et suivants.

Les points de retours sont déterminés à partir de la condition suivante :

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

Où y_i est la valeur minimale du débit moyen journalier dans un segment de 5 jours qui correspond au jour i .

Ce processus a comme conséquence un ordre irrégulier des points de retours. La variation temporelle du débit de base est estimée par l'interpolation par des segments linéaires encadrés par des paires successives de point de retour. Une série chronologique journalière de débit de base peut être calculée en appliquant cette interpolation à la synchronisation des données principales de débit total et des volumes totaux de débit de base pouvant être calculés par l'intégration de l'interpolation.

Dans cette méthode, la durée de ruissellement est calculée à partir de la relation empirique $N=A^{0.2}$, où N est le nombre de jours après lequel le ruissellement de surface cesse et A est la superficie du bassin versant en Km^2 . Le principe de la méthode consiste à parcourir la série des débits observés pour déterminer le minimum sur l'intervalle N et à connecter entre eux tous les points ainsi trouvés. Le débit de base journalier estimé correspond donc à une interpolation entre les minimums locaux

La valeur de 0.2 est une constante (valeur empirique) exponentielle utilisée dans l'équation « $A^{0.2}$ ». L'application d'une constante universelle à travers tous les bassins présente assurément une certaine erreur dans les évaluations du débit de base produites par la méthode UKIH. La définition de l'erreur absolue présentée au moyen d'une constante générique exige la connaissance détaillée au sujet des caractéristiques de chaque bassin étant évalué et est au-delà de la portée de cette étude (Pigott A., Syed M., et Chuck S., 2005). Les algorithmes, comme ceux employés par la méthode UKIH, ne peuvent pas, dans beaucoup de situations, expliquer les facteurs externes qui peuvent modifier un hydrogramme de crue et qui mènent à la surestimation du débit de base.

La valeur du facteur d'inflexion (f) serait peu possible, ceci peut rester comme valeur par défaut 0,9 (Mehaiguene, 2013).

III.2. Détermination du nombre de jours « N » et le facteur d'inflexion « f » :

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.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

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 p10) (Mehaiguene, 2013).

Quand une valeur critique de N est atteinte, $N=5$ pour la station Turgo nord (figure III.2), tout écoulement direct a été éliminé, et la baisse de l'écoulement de base prévu devient moins prononcée et essentiellement linéaire avec l'augmentation de N. ainsi, le point de changement de pente indique une valeur approprié pour le N.

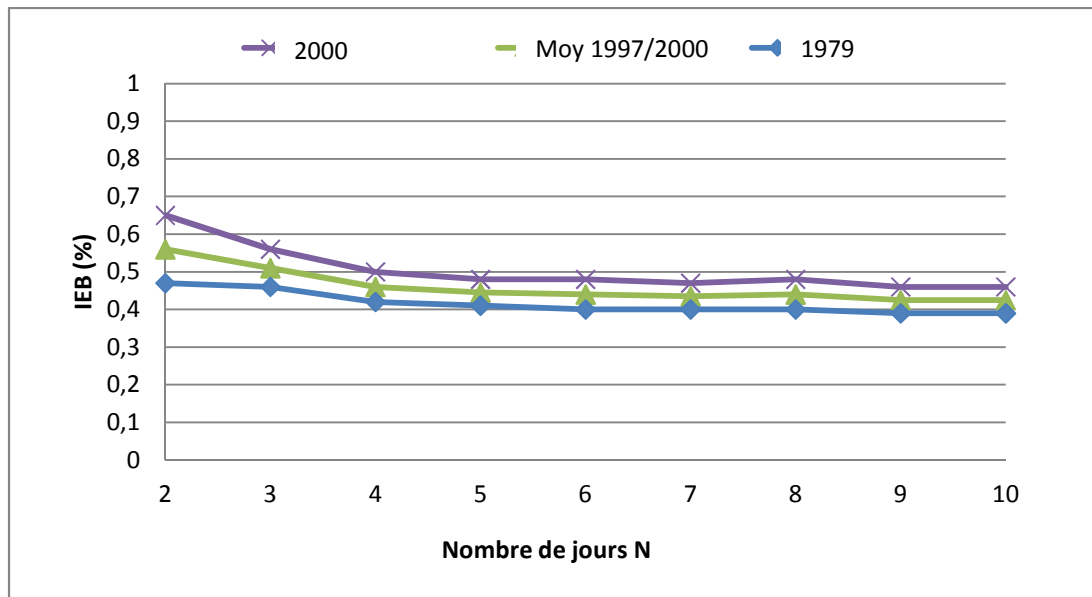


Figure III.2 : Détermination du paramètre N de la station de TURGO NORD

Le programme informatique, «BFI version 4.1» en Fortran, nécessite un format spécifique d'entrée, or les données brutes en format Excel ne peuvent pas être utilisées directement avec le programme initial. Vu le nombre important des stations, on a modifié le software de manière à ce que l'opérateur puisse entièrement contrôler la valeur des deux paramètres qui déterminent le procédé de lissage (sont imposés dans le modèle initial), (Mehaiguene, 2013).

III.3. Description de la nouvelle application :

Vu la facilité de manipulation du logiciel Microsoft Office Excel, il 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 :

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

On détermine le nombre de jour N par le tracé de la courbe IEB en fonction de N pour $N=2, \dots, 10$. 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 le quel on détermine la valeur critique de N où la courbe va être linéaire, (Mehaiguene M, 2013).

La valeur critique de N est donc le nombre de jour de segmentation et les calculs (figure III.4).

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|-------------------|------------|-------|------------|-------|-------------|-------|-------|------------|
| 1 | 040220 | Qmj | | Qbi | | date | Va | Vb | date |
| 2 | TURGO NORD | 0,128 | 0,128 | 0,128 | 0,000 | 01/09/1982 | 11059 | 11059 | 01/09/1982 |
| 3 | Année | 0,128 | 0,125 | 0,125 | 0,003 | 02/09/1982 | 11059 | 10638 | 02/09/1982 |
| 4 | 1982 | 0,128 | 0,123 | 0,123 | 0,005 | 03/09/1982 | 11059 | 10617 | 03/09/1982 |
| 5 | | 0,128 | 0,120 | 0,120 | 0,008 | 04/09/1982 | 11059 | 10396 | 04/09/1982 |
| 6 | N = | 0,128 | 0,118 | 0,118 | 0,010 | 05/09/1982 | 11059 | 10174 | 05/09/1982 |
| 7 | 5 | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 06/09/1982 | 11059 | 9953 | 06/09/1982 |
| 8 | f = | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 07/09/1982 | 11059 | 9953 | 07/09/1982 |
| 9 | 0,90 | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 08/09/1982 | 11059 | 9953 | 08/09/1982 |
| 10 | | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 09/09/1982 | 11059 | 9953 | 09/09/1982 |
| 11 | | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 10/09/1982 | 11059 | 9953 | 10/09/1982 |
| 12 | IEB = 48 % | 0,128 | 0,115 | 0,115 | 0,013 | 11/09/1982 | 11059 | 9953 | 11/09/1982 |
| 13 | | 0,136 | 0,121 | 0,121 | 0,015 | 12/09/1982 | 11750 | 10451 | 12/09/1982 |
| 14 | | 0,144 | 0,127 | 0,127 | 0,017 | 13/09/1982 | 12442 | 10949 | 13/09/1982 |
| 15 | | 0,144 | 0,132 | 0,132 | 0,012 | 14/09/1982 | 12442 | 11446 | 14/09/1982 |
| 16 | | 0,144 | 0,138 | 0,138 | 0,006 | 15/09/1982 | 12442 | 11944 | 15/09/1982 |
| 17 | | 0,144 | 0,144 | 0,144 | 0,000 | 16/09/1982 | 12442 | 12442 | 16/09/1982 |
| 18 | | 0,144 | 0,140 | 0,140 | 0,004 | 17/09/1982 | 12442 | 12068 | 17/09/1982 |
| 19 | | 0,144 | 0,135 | 0,135 | 0,009 | 18/09/1982 | 12442 | 11695 | 18/09/1982 |
| 20 | | 0,144 | 0,131 | 0,131 | 0,013 | 19/09/1982 | 12442 | 11322 | 19/09/1982 |
| 21 | | 0,152 | 0,127 | 0,127 | 0,025 | 20/09/1982 | 13133 | 10949 | 20/09/1982 |
| 22 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 21/09/1982 | 11750 | 10575 | 21/09/1982 |
| 23 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 22/09/1982 | 11750 | 10575 | 22/09/1982 |
| 24 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 23/09/1982 | 11750 | 10575 | 23/09/1982 |
| 25 | | 0,144 | 0,122 | 0,122 | 0,022 | 24/09/1982 | 12442 | 10575 | 24/09/1982 |
| 26 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 25/09/1982 | 11750 | 10575 | 25/09/1982 |
| 27 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 26/09/1982 | 11750 | 10575 | 26/09/1982 |
| 28 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 27/09/1982 | 11750 | 10575 | 27/09/1982 |
| 29 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 28/09/1982 | 11750 | 10575 | 28/09/1982 |
| 30 | | 0,136 | 0,122 | 0,122 | 0,014 | 29/09/1982 | 11750 | 10575 | 29/09/1982 |

Figure III.4 : Feuille de calcul de l'IEB

Afin de faciliter la requête des données par l'utilisateur, un module d'extraction, représenté sur la figure III.4, 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 termine, 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.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

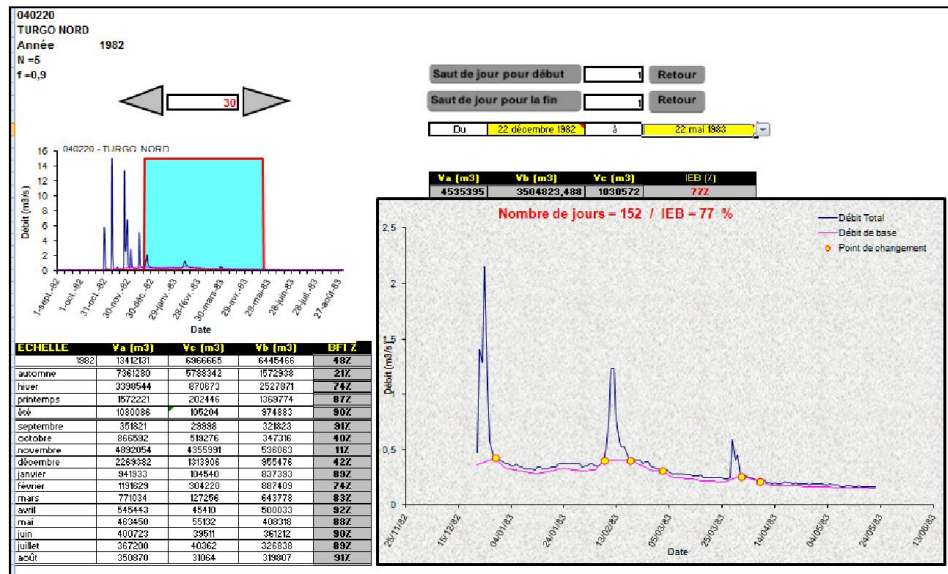


Figure III.5 : Feuille de résultats de calcul

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

-on regroupe les débits moyens journaliers en groupes de N jours non chevauchants ensuite, on calcule le minimum de chaque groupe, et lui donnant le nom (Q1, Q2,, Qn).

-Scrutation successive des groupes de valeurs minimums de débits moyens journaliers tels que : (Q1, Q2, Q3), (Q2, Q3, Q4), (Qn-1, Qn, Qn+1). Dans chaque segment, si la valeur centrale d'un groupe $Q_n \cdot PVM$ ($PVM = \text{pourcentage de validité des minima}$, 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 étudié.

-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 ($IEB = V_b / V_a$). (GUSTARD et al, 1989)

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

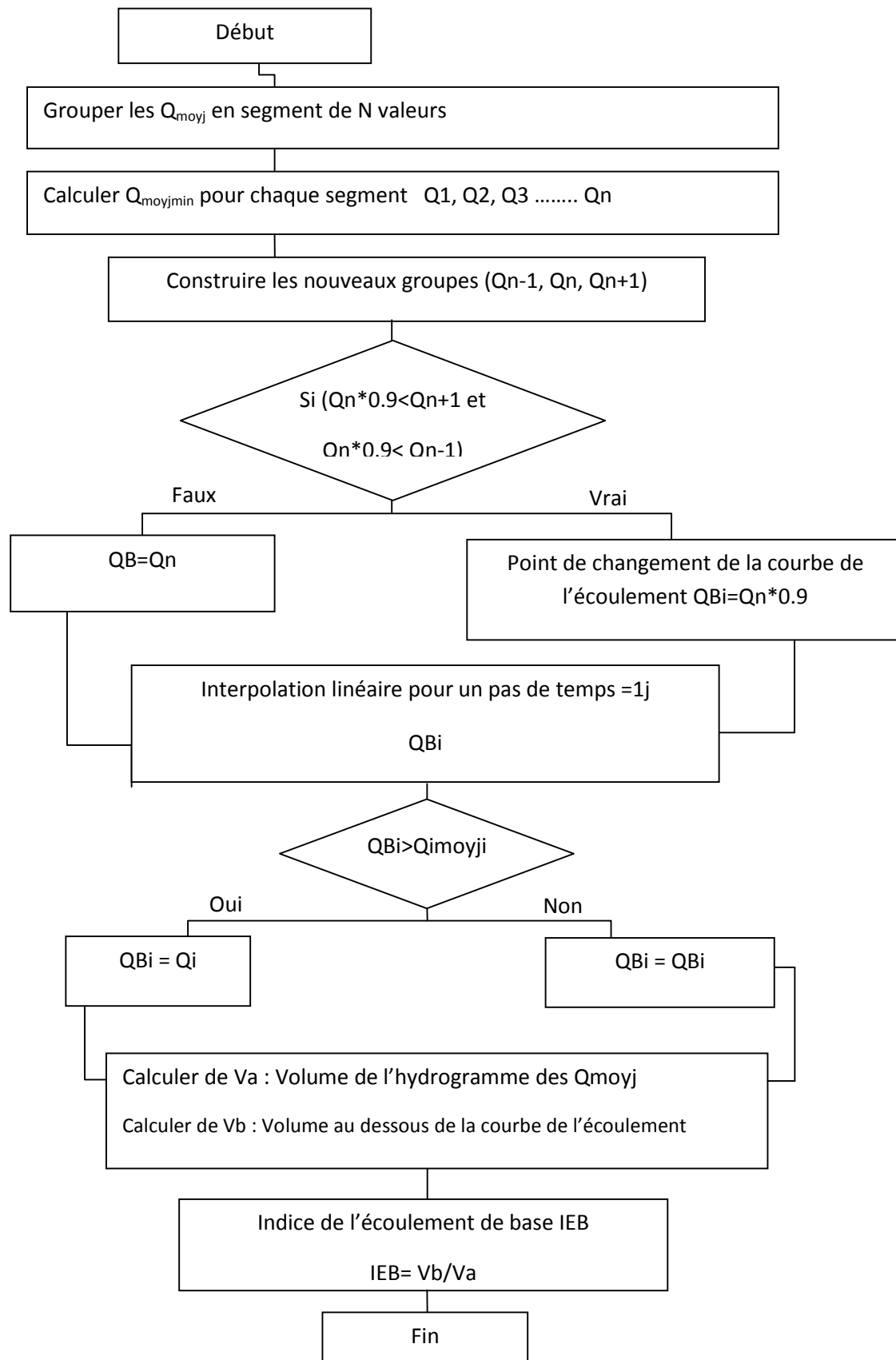


Figure III.6 : Organigramme de l'indice d'écoulement de base (IEB), (Mehaiguene M, 2013)

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

La figure III.7 montre le résultat de l'application aux données de débits moyens journaliers observés durant deux mois de l'année 1982 pour la station TURGO NORD (N= 5). Les lignes en tirets indiquent que l'ordre des segments de cinq jours de données des données et grands points noirs pleins indiquent le minimum pour chaque segment. Un point des minimums qui se produisent au cours de la période satisfaisant l'équation « $f.y_i < \min (y_{i-1} ; y_{i+1})$ » 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 de base, (Mehaiguene M, 2013).

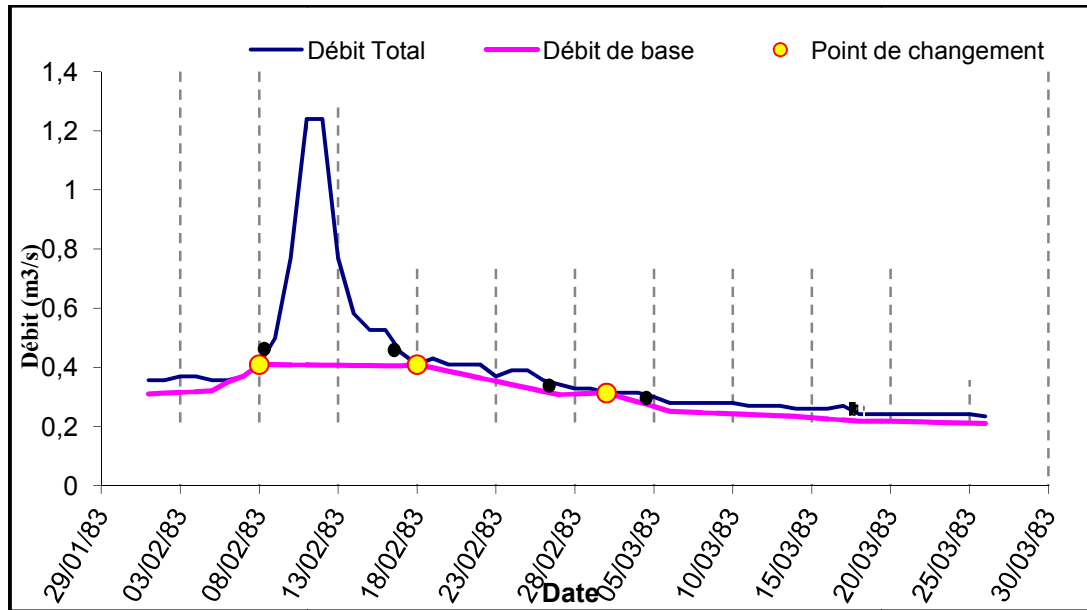


Figure III.7 : Séparation de l'IEB des mois de Février et de Mars 1982 dans la station TURGO NORD

III.5. Méthodologie 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.

III.5.1. Données disponibles :

Cette étude couvre 15 bassins hydrographiques du Nord de l'Algérie. En **annexe 01** un tableau résumant les stations avec leur paramètre, la superficie du bassin versant et la période durant laquelle les données ont été mesurées.

Les données utilisées concernant les débits journaliers sont fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Elles sont structurées suivant l'année hydrologique allant de 1^{er} septembre au 31 août. Les données de débit moyen journalier qui sont utilisées dans ces analyses sont recueillies à la grandeur des 15 bassins versants à l'aide de réseaux de débitmètres. Cependant, la majorité des oueds de cette région sont

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA METHODE

régularisés par des barrages, pour cette raison, un grand nombre de stations est donc rejeté, en particulier les stations situées à l'aval des structures de régularisation.

On dispose de l'information fournie pour cinq stations représentatives des différentes régions du Nord de l'Algérie, avec des superficies varient de 680 à 5400 km². Ces stations ont été sélectionnées en fonction de la qualité et de la longueur des séries hydrologiques, dont la localisation est donnée sur la figure III.8, cette figure montre la répartition des cinq stations hydrométriques sur la région d'étude.

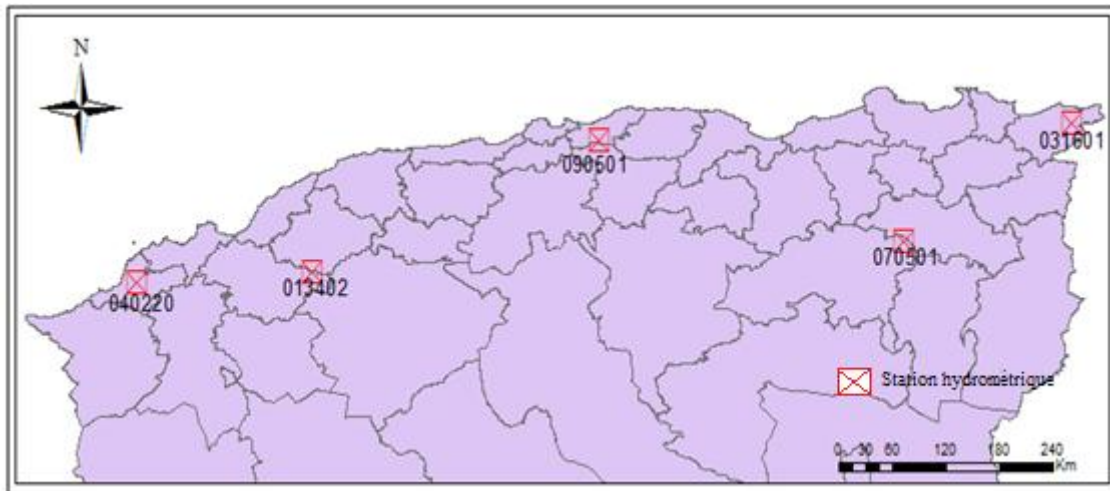


Figure III.8 : Stations hydrométriques dans la région d'étude

III.5.2. 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 accroissant 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 forte perméabilité du sol. Une valeur faible de l'IEB (grande partie de débit observé représente un écoulement directe de surface) reflète une faible perméabilité.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a illustré les étapes effectuées afin d'aboutir à un résultat concernant le calcul de l'indice d'écoulement de base (l'IEB) pour le Nord de l'Algérie. On a rassemblé l'information requise pour évaluer le débit de base dû aux décharges d'eau souterraine à l'échelle de la région étudiée qui comprend 15 bassins hydrographiques. Ce travail résume l'importance et la répartition spatiale et temporelle (tendance) de l'IEB. Les résultats obtenus et leur interprétation vont être exposés dans le quatrième chapitre.

**CHAPITRE IV : RESULTATS ET
DISCUSSION**

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction :

Ce chapitre sera consacré aux présentations et l'analyse des graphes et des tableaux choisis pour qu'on puisse calculer et visualiser la variation de l'indice d'écoulement de base (l'IEB) pour les cinq stations hydrométriques station d'OUED EL ABTAL et TURGOT NORD à l'Ouest, station de LAKHDARIA au centre, station de CHEMORAH et d'AIN EL ASSEL à l'Est.

IV.1. Séparation de l'écoulement de base :

La méthode graphique a pour objectif la simplification des composantes de l'hydrogramme de crue en supposant qu'au niveau d'un cours d'eau en crue, le débit associé est le résultat de la superposition de deux écoulements : l'écoulement souterrain qui provient de la vidange des aquifères du bassin versant et le ruissellement total engendré par la pluie. Ce dernier regroupe à la fois le ruissellement direct et celui retardé (hypodermique).

Les figures IV.1 IV.2 IV.3 IV.4 IV.5 représentent la séparation de l'hydrogramme pour des années humides, moyennes et sèches pour toutes les stations étudiées données par le programme BFI.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1.1. BASSIN DE CHELLIF :

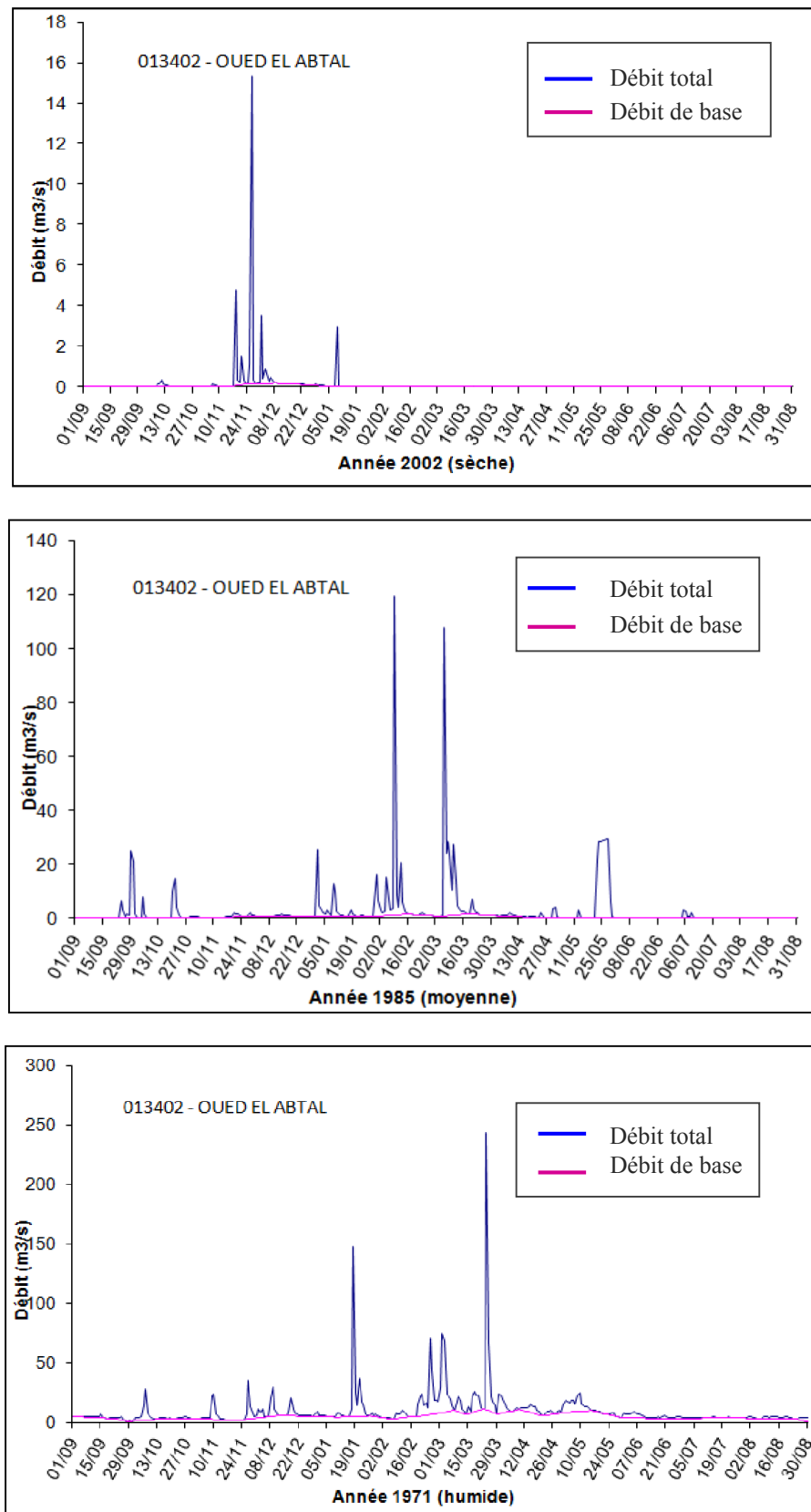


Figure VI.1: Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station d'OUED EL ABTAL (013402) pour une année sèche, moyenne et humide.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1.2. BASSIN DE COTIERS CONSTANTINOIS :

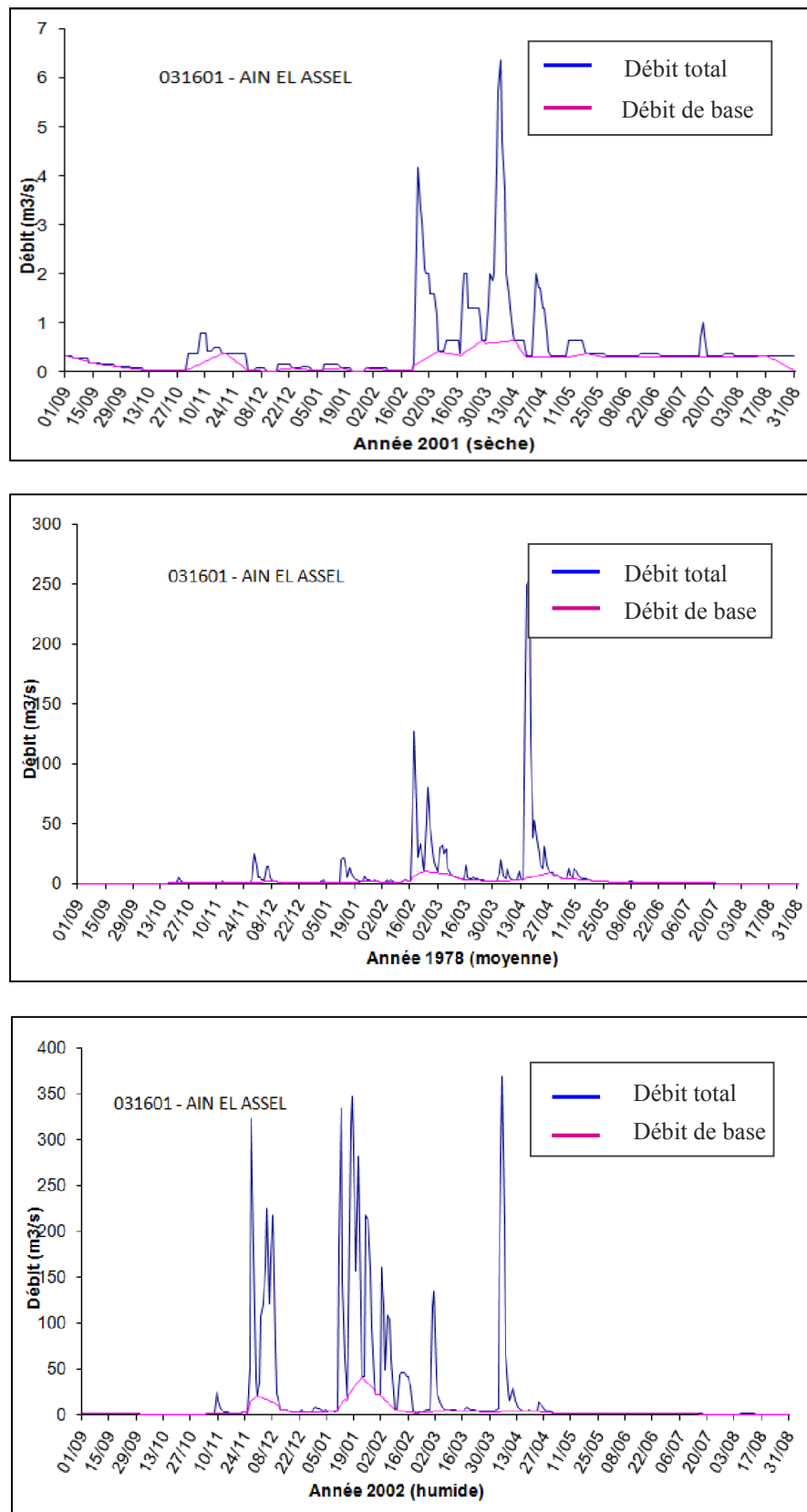


Figure VI.2 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station d'AIN EL ASSEL (031601) pour une année sèche, moyenne et humide.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1.3. BASSIN DE COTIERS ORANAIS :

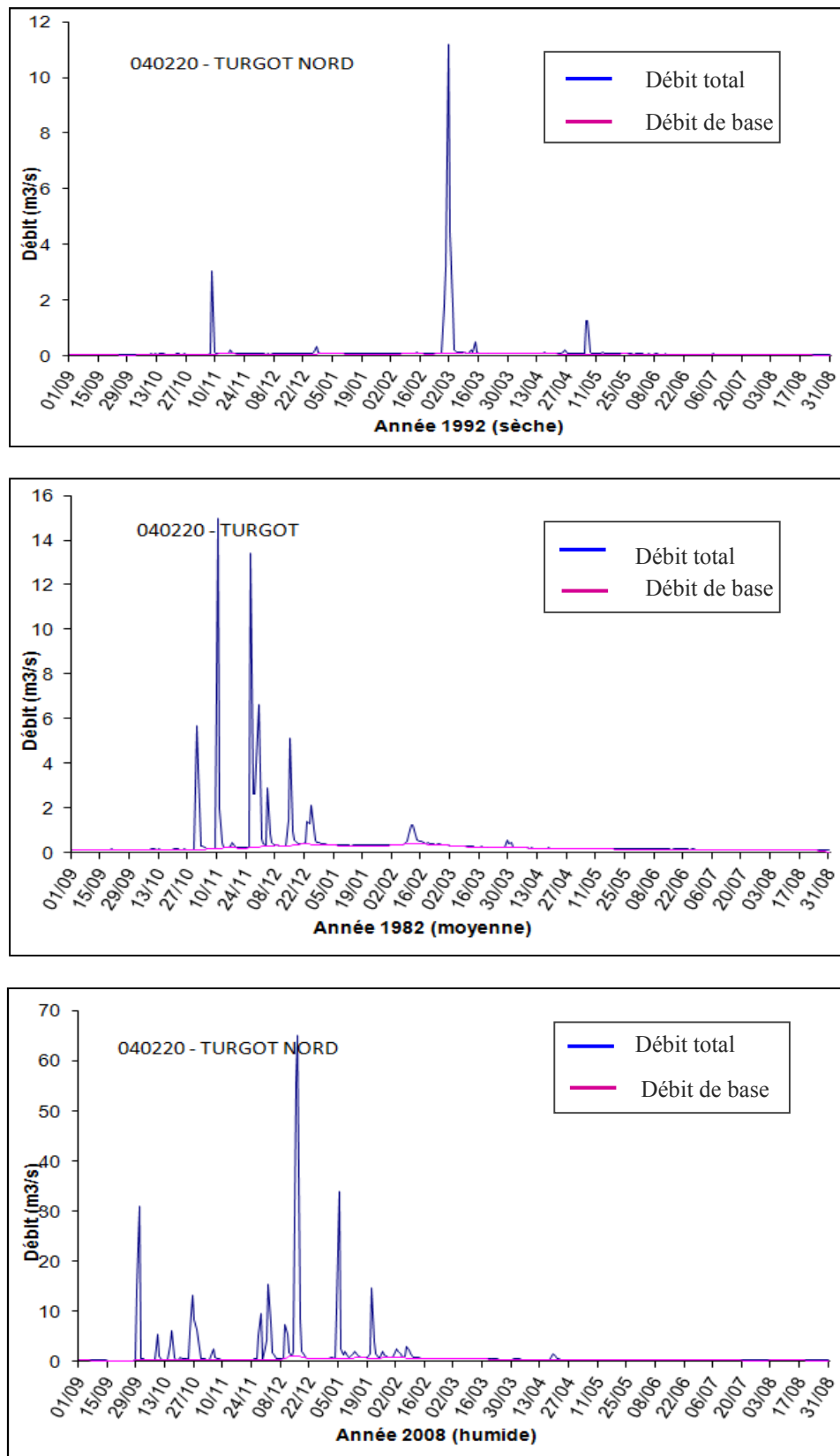


Figure VI.3 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station de TURGOT NORD(040220) pour une année sèche, moyenne et humide.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1.4. BASSIN DE HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS :

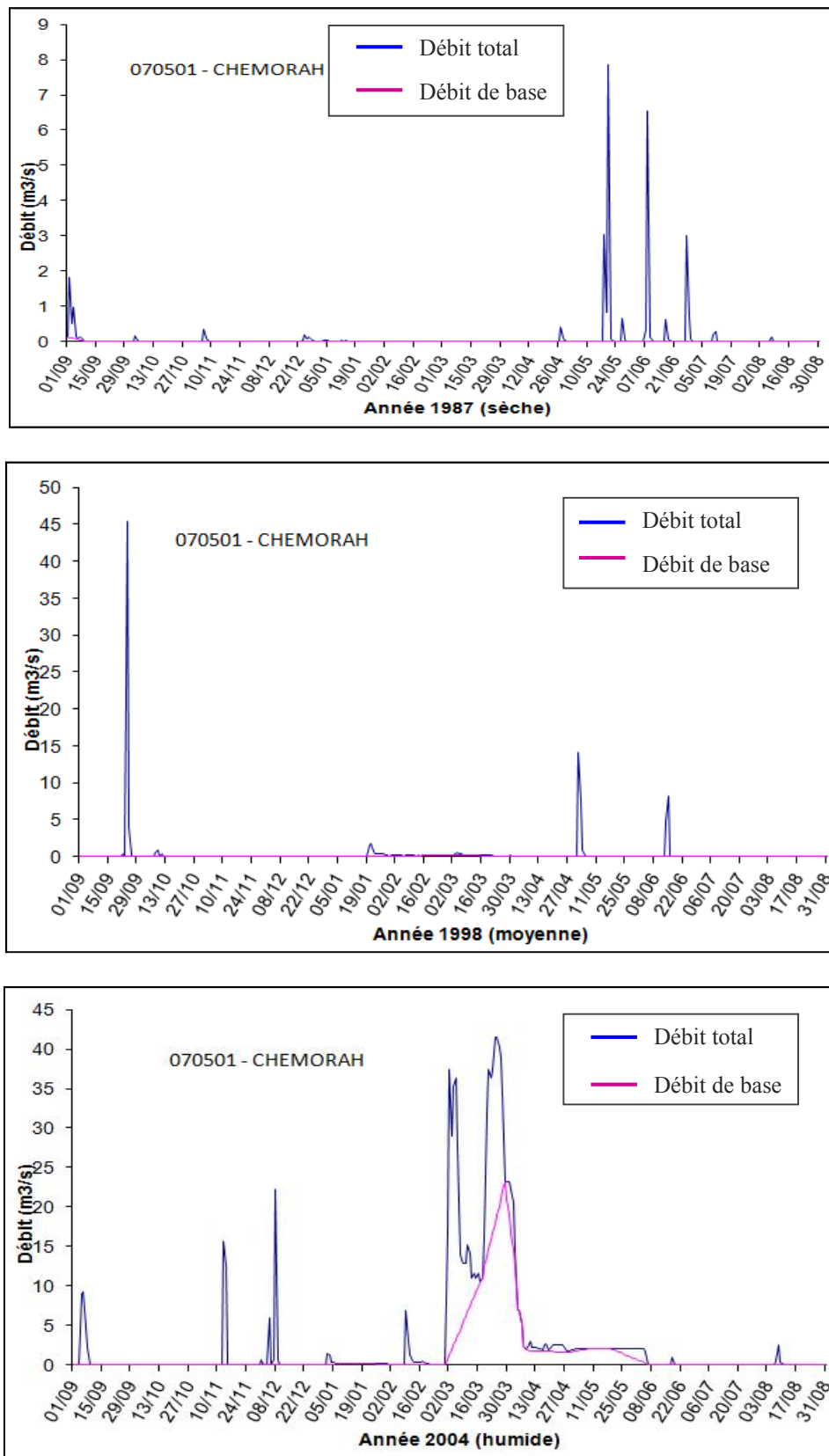


Figure IV.4 : Hydrogramme du débit total observé et du débit de base estimé à la station de CHEMORAH (070501) pour une année sèche, moyenne et humide.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1.5. BASSIN D'ISSER :

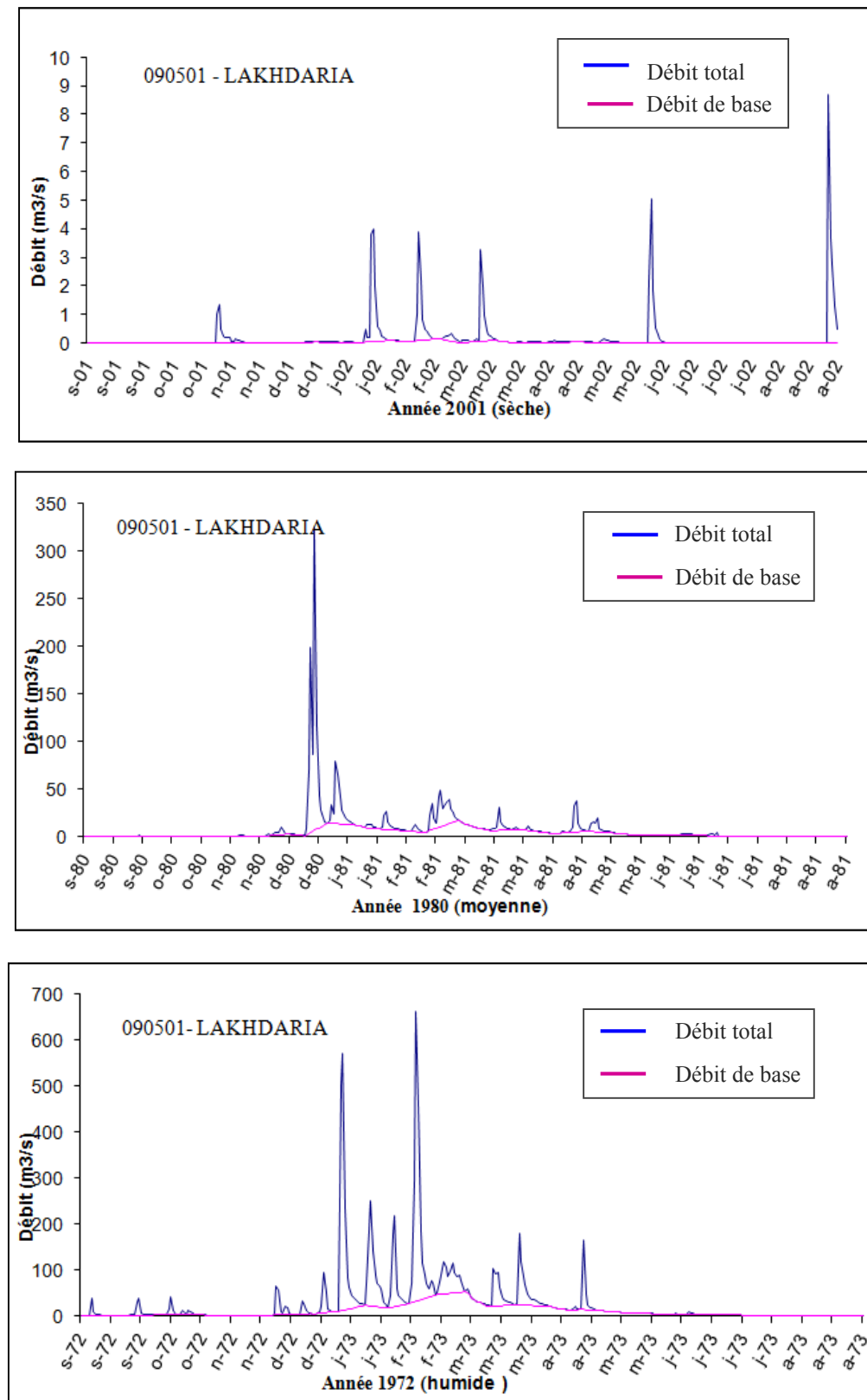


Figure VI.5 : Hydrogrammes du débit total observé et du débit de base estimé à la station de LAKHDARIA(090501) pour une année sèche, moyenne et humide.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.2. Calcul de l'indice d'écoulement de base :

Les tableaux IV.1 IV.2 IV.3 IV.4 IV.5 résument les résultats obtenus par la séparation de l'hydrogramme pour des années humides, moyennes et sèches ainsi que les médianes pour toutes les stations. Les tableaux sont représentés ci-après.

Le volume total (V_a) est intégration de l'hydrogramme annuel du débit observé, il est partagé en deux parties suite à une séparation graphique, un volume de base (V_b) et le volume de l'écoulement de surface (V_c).

Tableau VI.1 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Oued el Abtal du bassin de CHELLIF.

| Station hydrométrique | Echelle | Année | V_a (hm ³) | V_b (hm ³) | V_c (hm ³) | IEB | IEB% |
|------------------------|-----------|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|------|
| OUED EL ABTAL (013402) | Automne | Humide 1971 | 37,835 | 19,709 | 18,125 | 0,52 | 52% |
| | Hiver | | 89,300 | 41,779 | 47,522 | 0,47 | 47% |
| | Printemps | | 136,585 | 70,661 | 65,924 | 0,52 | 52% |
| | Eté | | 33,462 | 25,373 | 8,089 | 0,76 | 76% |
| | Automne | Moyenne 1985 | 10,246 | 0,777 | 9,469 | 0,08 | 8% |
| | Hiver | | 30,625 | 7,729 | 22,896 | 0,25 | 25% |
| | Printemps | | 44,400 | 4,807 | 39,594 | 0,11 | 11% |
| | Eté | | 0,943 | 0,155 | 0,788 | 0,16 | 16% |
| | Automne | Sèche 2002 | 2,230 | 0,138 | 2,092 | 0,06 | 6% |
| | Hiver | | 1,090 | 0,348 | 0,743 | 0,32 | 32% |
| | Printemps | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0% |
| | Eté | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0% |
| | Automne | Médiane 1986 | 21,011 | 4,483 | 16,528 | 0,21 | 21% |
| | Hiver | | 30,438 | 9,218 | 21,220 | 0,30 | 30% |
| | Printemps | | 12,620 | 5,086 | 7,534 | 0,40 | 40% |
| | Eté | | 10,716 | 0,932 | 9,784 | 0,09 | 9% |
| | Annuelle | Humide | 297,182 | 157,522 | 139,660 | 0,53 | 53% |
| | | Moyenne | 86,214 | 13,468 | 72,746 | 0,16 | 16% |
| | | Sèche | 3,320 | 0,485 | 2,835 | 0,15 | 15% |
| | | Médiane | 74,784 | 19,719 | 55,066 | 0,26 | 26% |

On constate d'après les résultats obtenus par l'application du programme BFI au niveau du bassin versant de CHELLIF (OUED EL ABTAL), que le volume total écoulé (V_a) varie de 3.32 à 297.18 Hm³. Pour l'année sèche la valeur du volume total est faible ce qui indique une faible hydraulicité et on remarque que le volume d'écoulement de surface

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

(Vc) est important donc on a une faible perméabilité ce qui explique la valeur faible de l'IEB (15%). Durant l'année humide, on a une valeur forte du volume total ce qui indique une forte hydraulicité. L'IEB est de 0.53 c'est-à-dire que durant cette année l'écoulement de base présente 53% de l'écoulement total.

Le faible pourcentage de l'IEB en année sèche, peut être expliqué par la surexploitation des réserves souterraines durant cette période.

Tableau VI.2 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Ain el Assel du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS

| Station hydrométrique | Echelle | Année | Va(hm3) | Vb(hm3) | Vc(hm3) | IEB | IEB% |
|------------------------------|------------------|---------------------|---------|---------|---------|------|------|
| AIN EL ASSEL (031601) | Automne | Humide 2002 | 60,008 | 9,680 | 50,328 | 0,16 | 16% |
| | Hiver | | 484,431 | 65,281 | 419,150 | 0,13 | 13% |
| | Printemps | | 122,251 | 26,185 | 96,066 | 0,21 | 21% |
| | Eté | | 1,162 | 0,988 | 0,173 | 0,85 | 85% |
| | Automne | Moyenne 1978 | 5,317 | 1,064 | 4,253 | 0,20 | 20% |
| | Hiver | | 68,307 | 16,073 | 52,234 | 0,24 | 24% |
| | Printemps | | 130,162 | 33,012 | 97,150 | 0,25 | 25% |
| | Eté | | 1,428 | 1,116 | 0,312 | 0,78 | 78% |
| | Automne | Sèche 2001 | 1,788 | 1,333 | 0,455 | 0,75 | 75% |
| | Hiver | | 1,978 | 0,324 | 1,654 | 0,16 | 16% |
| | Printemps | | 8,382 | 3,593 | 4,789 | 0,43 | 43% |
| | Eté | | 2,741 | 2,227 | 0,514 | 0,81 | 81% |
| | Automne | Médiane 1982 | 50,195 | 3,140 | 47,056 | 0,06 | 6% |
| | Hiver | | 98,465 | 23,356 | 75,110 | 0,24 | 24% |
| | Printemps | | 39,653 | 11,722 | 27,931 | 0,30 | 30% |
| | Eté | | 0,323 | 0,297 | 0,027 | 0,92 | 92% |
| | Annuelle | Humide | 667,852 | 102,134 | 565,717 | 0,15 | 15% |
| | | Moyenne | 205,214 | 51,265 | 153,949 | 0,25 | 25% |
| | | Sèche | 14,889 | 7,477 | 7,412 | 0,50 | 50% |
| | | Médiane | 188,637 | 38,514 | 150,123 | 0,20 | 20% |

Au niveau du bassin versant de COTIERS CONSTANTINOIS (AIN EL ASSEL), le volume total écoulé varie de 14,89 à 667,85 Hm³. Durant l'année humide, on a une forte hydraulicité ce qui explique la forte valeur du volume total (Va), on remarque que le volume d'écoulement de surface (Vc) est important donc on a une faible perméabilité ce qui explique la valeur faible de l'IEB (15%). Pour l'année sèche, on a une faible

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

hydraulicité ce qui indique la valeur faible du volume total, la valeur de l'IEB est 0.50 c'est-à-dire que durant cette année l'écoulement de base présente 50% de l'écoulement total.

Les résultats de cette station montre une certaine stabilité de l'écoulement de base par rapport à l'écoulement total, et cela pour les trois années considérées (de l'ordre de 70%).

Tableau VI.3 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de TURGOT NORD du bassin de COTIERS ORANAIS.

| Station hydrométrique | Echelle | Année | Va(hm3) | Vb(hm3) | Vc(hm3) | IEB | IEB% |
|-----------------------|-----------|--------------|---------|---------|---------|------|------|
| TURGO NORD (040220) | Automne | Humide 2008 | 12,480 | 2,179 | 10,302 | 0,17 | 17% |
| | Hiver | | 26,663 | 5,437 | 21,226 | 0,20 | 20% |
| | Printemps | | 3,167 | 2,581 | 0,586 | 0,82 | 82% |
| | Eté | | 1,858 | 1,651 | 0,206 | 0,89 | 89% |
| | Automne | Moyenne 1982 | 6,110 | 1,205 | 4,905 | 0,20 | 20% |
| | Hiver | | 4,403 | 2,680 | 1,723 | 0,61 | 61% |
| | Printemps | | 1,780 | 1,552 | 0,228 | 0,87 | 87% |
| | Eté | | 1,119 | 1,008 | 0,111 | 0,90 | 90% |
| | Automne | Sèche 1992 | 0,722 | 0,375 | 0,347 | 0,52 | 52% |
| | Hiver | | 1,088 | 0,575 | 0,513 | 0,53 | 53% |
| | Printemps | | 2,495 | 0,689 | 1,806 | 0,28 | 28% |
| | Eté | | 0,426 | 0,365 | 0,061 | 0,86 | 86% |
| | Automne | Médiane 1988 | 1,929 | 1,406 | 0,523 | 0,73 | 73% |
| | Hiver | | 2,083 | 1,813 | 0,270 | 0,87 | 87% |
| | Printemps | | 6,813 | 2,153 | 4,660 | 0,32 | 32% |
| | Eté | | 1,978 | 1,749 | 0,230 | 0,88 | 88% |
| Annuelle | Humide | 44,168 | 11,848 | 32,320 | 0,27 | 27% | |
| | Moyenne | 13,412 | 6,445 | 6,967 | 0,48 | 48% | |
| | Sèche | 4,731 | 2,005 | 2,727 | 0,42 | 42% | |
| | Médiane | 12,804 | 7,121 | 5,683 | 0,56 | 56% | |

Au niveau du bassin versant de COTIERS ORANAIS (TURGOT NORD), le volume total écoulé varie de 4,73 à 44,17 Hm³ en année humide. Durant l'année humide, on a une forte hydraulicité ce qui explique la forte valeur du volume total (Va), on remarque que le volume d'écoulement de surface (Vc) est important donc on a une faible perméabilité ce qui explique la valeur faible de l'IEB (27%). Pour l'année sèche, on a une faible hydraulicité ce qui indique la valeur faible du volume total, la valeur de l'IEB est 0.42

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

c'est-à-dire que durant cette année l'écoulement de base présente 42% de l'écoulement total.

Pour la station de TURGOT NORD, des valeurs importantes de l'IEB sont estimées durant la saison estivale pour toutes les années considérées (de l'ordre de 88%).

Tableau IV.4 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de CHEMORAH du bassin de HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS.

| Station hydrométrique | Echelle | Année | Va(hm3) | Vb(hm3) | Vc(hm3) | IEB | IEB% |
|------------------------------|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|------|------|
| CHEMORAH (070501) | Automne | Humide 2004 | 4,620 | 0,000 | 4,620 | 0 | 0% |
| | Hiver | | 4,652 | 0,664 | 3,988 | 0,14 | 14% |
| | Printemps | | 82,137 | 31,206 | 50,931 | 0,38 | 38% |
| | Été | | 1,290 | 0,196 | 1,094 | 0,15 | 15% |
| | Automne | Moyenne 1998 | 4,493 | 0,000 | 4,493 | 0 | 0% |
| | Hiver | | 0,918 | 0,425 | 0,493 | 0,46 | 46% |
| | Printemps | | 2,484 | 0,326 | 2,158 | 0,13 | 13% |
| | Été | | 1,113 | 0,000 | 1,113 | 0 | 0% |
| | Automne | Sèche 1987 | 0,394 | 0,070 | 0,324 | 0,18 | 18% |
| | Hiver | | 0,064 | 0,019 | 0,044 | 0,30 | 30% |
| | Printemps | | 1,131 | 0,016 | 1,115 | 0,01 | 1% |
| | Été | | 1,051 | 0,013 | 1,038 | 0,01 | 1% |
| | Automne | Médiane 1994 | 3,990 | 0,073 | 3,917 | 0,02 | 2% |
| | Hiver | | 0,134 | 0,059 | 0,075 | 0,44 | 44% |
| | Printemps | | 3,242 | 0,425 | 2,817 | 0,13 | 13% |
| | Été | | 5,774 | 0,003 | 5,771 | 0 | 0% |
| Annuelle | Humide | 92,700 | 32,067 | 60,634 | 0,35 | 35% | |
| | Moyenne | 9,008 | 0,751 | 8,257 | 0,32 | 32% | |
| | Sèche | 2,639 | 0,118 | 2,521 | 0,25 | 25% | |
| | Médiane | 13,140 | 0,560 | 12,580 | 0,35 | 35% | |

Au niveau du bassin versant de HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS(CHEMORAH), le volume total écoulé varie de 2,64 à 92,70 Hm³ en année humide. Durant l'année humide, on a une forte hydraulicité ce qui explique la forte valeur du volume total (Va), on remarque que le volume d'écoulement de surface (Vc) est important donc on a une faible perméabilité ce qui explique la valeur faible de l'IEB (35%). Pour l'année sèche, on a une faible hydraulicité ce qui indique une faible valeur

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

du volume total, la valeur de l'IEB est 0.25 c'est-à-dire que durant cette année l'écoulement de base présente 25% de l'écoulement total.

Pour la station de CHEMORAH (année humide), l'écoulement de base représente 15% de l'écoulement total durant l'été. Par contre, en année sèche ce pourcentage est très faible, et cela peut être expliqué par la surexploitation des réserves souterraines durant cette période sèche

Tableau VI.5 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de LAKHDARIA du bassin d'ISSER.

| Station hydrométrique | Echelle | Année | Va(hm3) | Vb(hm3) | Vc(hm3) | IEB | IEB% |
|-------------------------------|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|------|------|
| LAKHDARIA (090501) | Automne | Humide 1972 | 34,855 | 13,573 | 21,281 | 0,39 | 39% |
| | Hiver | | 639,094 | 174,706 | 464,388 | 0,27 | 27% |
| | Printemps | | 217,118 | 132,629 | 84,489 | 0,61 | 61% |
| | Eté | | 19,181 | 16,349 | 2,832 | 0,85 | 85% |
| | Automne | Moyenne 1980 | 3,670 | 2,009 | 1,662 | 0,55 | 55% |
| | Hiver | | 189,942 | 67,076 | 122,866 | 0,35 | 35% |
| | Printemps | | 64,104 | 44,942 | 19,162 | 0,70 | 70% |
| | Eté | | 6,930 | 4,454 | 2,476 | 0,64 | 64% |
| | Automne | Sèche 2001 | 0,371 | 0,104 | 0,267 | 0,28 | 28% |
| | Hiver | | 2,223 | 0,402 | 1,822 | 0,18 | 18% |
| | Printemps | | 0,926 | 0,230 | 0,696 | 0,25 | 25% |
| | Eté | | 2,375 | 0,067 | 2,307 | 0,03 | 3% |
| | Automne | Médiane 1986 | 15,527 | 4,266 | 11,261 | 0,27 | 27% |
| | Hiver | | 283,665 | 109,391 | 174,274 | 0,39 | 39% |
| | Printemps | | 66,360 | 61,347 | 5,013 | 0,92 | 92% |
| | Eté | | 3,843 | 2,065 | 1,778 | 0,54 | 54% |
| Annuelle | Humide | 910,247 | 337,258 | 572,990 | 0,37 | 37% | |
| | Moyenne | 264,647 | 118,481 | 146,166 | 0,45 | 45% | |
| | Sèche | 5,895 | 0,803 | 5,091 | 0,14 | 14% | |
| | Médiane | 369,394 | 177,069 | 192,326 | 0,47 | 47% | |

Au niveau du bassin versant d'ISSER (LAKHDARIA), le volume total écoulé varie de 5,89Hm³ à 910,25 Hm³. Pour l'année sèche la valeur du volume total est faible ce qui indique une faible hydraulicité et on remarque que le volume d'écoulement de surface (Vc) est important donc on a une faible perméabilité ce qui explique la valeur faible de l'IEB (14%). Durant l'année humide, on a une valeur forte du volume total ce qui indique

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

une forte hydraulicité. L'IEB est de 0.37 c'est-à-dire que durant cette année l'écoulement de base présente 37% de l'écoulement total.

IV.3. Variation des débits de base :

Les tableaux IV.6 IV.7 IV.8 IV.9 et IV.10 représentent les valeurs du volume annuel total (V_a), du volume apporté par le débit de base, et le rapport entre les deux qui représente l'indice de l'écoulement (IEB). Ainsi les débits de base moyens annuels (Q_{ba}), les débits moyens annuels (Q_{ma}), pour les années où les mesures sont disponibles.

IV.3.1. Variation annuelle :

Tableau VI.6 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Oued el Abtal du bassin de CHELIFF.

| 013402 | Année | Va (m3) | Vb (m3) | IEB | Q _{ma} (m ³ /s) | Q _{ba} (m ³ /s) |
|--------|-------|------------|------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| f=0,90 | 1959 | 202986432 | 91997050,9 | 0,453 | 2,728 | 1,237 |
| | 1960 | 193708800 | 94462307 | 0,488 | 6,118 | 2,984 |
| | 1961 | 89507808 | 62773156,6 | 0,701 | 2,858 | 2,005 |
| | 1962 | 129051360 | 75506570 | 0,585 | 7,034 | 4,116 |
| | 1963 | 151393536 | 109264591 | 0,722 | 4,801 | 3,465 |
| | 1964 | 275672160 | 139327203 | 0,505 | 8,769 | 4,432 |
| | 1965 | 101961504 | 72338071,9 | 0,709 | 3,233 | 2,293 |
| | 1966 | 3610656 | 1937520 | 0,537 | 0,266 | 0,143 |
| | 1968 | 96874272 | 61159545,2 | 0,631 | 3,068 | 1,937 |
| | 1969 | 273122496 | 146577733 | 0,537 | 8,663 | 4,649 |
| | 1970 | 107366688 | 76695962,1 | 0,714 | 3,387 | 2,419 |
| | 1971 | 297182304 | 157522180 | 0,530 | 9,393 | 4,979 |
| | 1972 | 187043040 | 108823679 | 0,582 | 5,966 | 3,471 |
| | 1973 | 122021856 | 83587070,5 | 0,685 | 3,864 | 2,647 |
| | 1974 | 96148512 | 65530424,9 | 0,682 | 3,047 | 2,076 |
| | 1975 | 89311680 | 63616992,8 | 0,712 | 2,846 | 2,027 |
| | 1976 | 95783904 | 54593219,9 | 0,570 | 3,025 | 1,724 |
| | 1977 | 71343072 | 39952469,7 | 0,560 | 2,276 | 1,274 |
| | 1978 | 76339584 | 31537803,3 | 0,413 | 2,328 | 0,962 |
| | 1979 | 89830080 | 43816449 | 0,488 | 2,823 | 1,377 |
| | 1980 | 99728314,6 | 58551136,3 | 0,587 | 3,177 | 1,865 |
| | 1981 | 47138440,3 | 18352733,6 | 0,389 | 1,520 | 0,592 |
| | 1982 | 77265221,8 | 20882478,3 | 0,270 | 2,440 | 0,659 |
| | 1983 | 25838239,7 | 10314319,9 | 0,399 | 0,818 | 0,327 |
| | 1984 | 20742817 | 8314106,48 | 0,401 | 0,658 | 0,264 |
| | 1985 | 86214162,2 | 13467759,7 | 0,156 | 2,756 | 0,430 |
| | 1986 | 74784461,8 | 19718772,8 | 0,264 | 2,409 | 0,635 |

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

| | | | | | |
|------|------------|------------|-------|-------|-------|
| 1987 | 49833420,5 | 9452446,64 | 0,190 | 1,574 | 0,298 |
| 1988 | 39922200 | 3591124,57 | 0,090 | 1,255 | 0,113 |
| 1989 | 71105713,9 | 19207098,7 | 0,270 | 2,231 | 0,603 |
| 1990 | 45816364,8 | 5049325,02 | 0,110 | 1,442 | 0,159 |
| 1991 | 24932724,5 | 7058848,28 | 0,283 | 0,786 | 0,223 |
| 1992 | 28565576,6 | 7748564,91 | 0,271 | 0,927 | 0,251 |
| 1993 | 43652200,3 | 6295512,36 | 0,144 | 1,406 | 0,203 |
| 1994 | 107019066 | 5089371,98 | 0,048 | 3,385 | 0,161 |
| 1995 | 98532270,7 | 8083759,74 | 0,082 | 3,149 | 0,258 |
| 1996 | 78405892,2 | 5083612,37 | 0,065 | 2,477 | 0,161 |
| 1997 | 43412311,9 | 2151255,28 | 0,050 | 1,384 | 0,069 |
| 1998 | 88628124,9 | 29649034 | 0,335 | 2,808 | 0,939 |
| 1999 | 40059634,3 | 3964192,05 | 0,099 | 1,257 | 0,124 |
| 2000 | 67105798,1 | 2121989,41 | 0,032 | 2,134 | 0,067 |
| 2001 | 45564142,6 | 1380613,2 | 0,030 | 1,442 | 0,044 |
| 2002 | 3320154,13 | 485426,889 | 0,146 | 0,106 | 0,015 |
| 2003 | 34256873,4 | 1115599,69 | 0,033 | 1,072 | 0,035 |
| 2004 | 4297890,5 | 1498561,68 | 0,349 | 0,136 | 0,047 |
| 2005 | 28354721,9 | 282689,873 | 0,010 | 0,895 | 0,009 |
| 2006 | 3371111,33 | 482572,635 | 0,143 | 0,107 | 0,015 |
| 2007 | 75575925,2 | 1700731,73 | 0,023 | 2,354 | 0,053 |
| 2008 | 95151152,8 | 3776834,98 | 0,040 | 3,019 | 0,120 |
| 2009 | 44588319,1 | 1913958,37 | 0,043 | 1,445 | 0,062 |
| 2010 | 14219944,3 | 695394,608 | 0,049 | 0,444 | 0,022 |

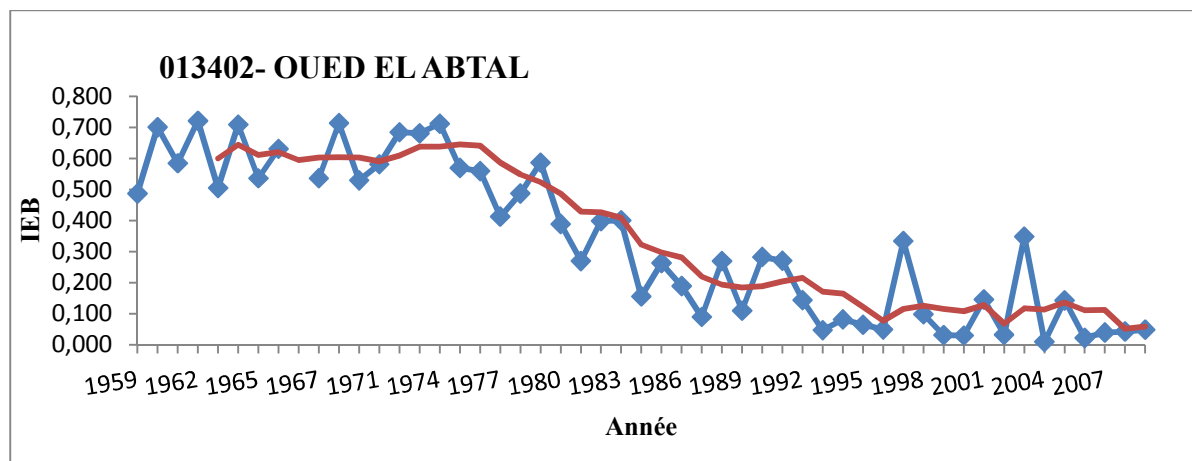


Figure VI.6 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF.

La figure VI.6 représente une évolution des valeurs annuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'OUED EL ABTAL, nous remarquons qu'il y a eu une tendance à la baisse (tendance négative) à partir de 1975. Cela peut être expliqué par la surexploitation des réserves souterraines.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI.7 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station d'Ain el Assel du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS.

| 031601 | Année | Va(m3) | Vb(m3) | IEB | Qma(m ³ /s) | Qba(m ³ /s) |
|--------|-----------|------------|------------|--------|------------------------|------------------------|
| f=0,90 | 1946 | 237120343 | 84159630,9 | 0,355 | 9,025 | 3,203 |
| | 1947 | 179512003 | 83388439,4 | 0,465 | 5,659 | 2,629 |
| | 1948 | 316534977 | 80720296,7 | 0,255 | 10,071 | 2,568 |
| | 1949 | 256666140 | 64416848,9 | 0,251 | 8,152 | 2,046 |
| | 1950 | 121465942 | 43628762,4 | 0,359 | 3,945 | 1,417 |
| | 1951 | 323319063 | 82744341,8 | 0,256 | 10,297 | 2,635 |
| | 1952 | 446406611 | 93176431,3 | 0,209 | 14,043 | 2,931 |
| | 1953 | 440440846 | 97034287,2 | 0,220 | 14,198 | 3,128 |
| | 1954 | 187448219 | 25931027,8 | 0,138 | 5,956 | 0,824 |
| | 1955 | 237157964 | 63116386,8 | 0,266 | 7,710 | 2,052 |
| | 1959 | 94117527,2 | 28511148 | 0,303 | 2,561 | 0,776 |
| | 1960 | 100105279 | 21125870,3 | 0,211 | 3,139 | 0,662 |
| | 1961 | 114329367 | 20403441,3 | 0,178 | 3,825 | 0,683 |
| | 1962 | 216460689 | 81669488,9 | 0,377 | 7,750 | 2,924 |
| | 1963 | 159555311 | 26478949,7 | 0,166 | 5,042 | 0,837 |
| | 1964 | 250410359 | 111066997 | 0,444 | 8,158 | 3,618 |
| | 1965 | 175309790 | 49445903,3 | 0,282 | 5,538 | 1,562 |
| | 1966 | 127820130 | 34927025,8 | 0,273 | 4,127 | 1,128 |
| | 1967 | 132939026 | 36865301,7 | 0,277 | 4,193 | 1,163 |
| | 1968 | 97130010,4 | 27921555,8 | 0,287 | 3,081 | 0,886 |
| | 1969 | 340108501 | 103024358 | 0,303 | 10,704 | 3,242 |
| | 1970 | 264227425 | 55543945,1 | 0,210 | 8,529 | 1,793 |
| | 1971 | 224595854 | 56557425,4 | 0,252 | 7,155 | 1,802 |
| | 1972 | 377862448 | 85293482,9 | 0,226 | 11,973 | 2,703 |
| | 1973 | 85049072,9 | 26780672,7 | 0,315 | 2,981 | 0,939 |
| | 1974 | 210368181 | 51327478,7 | 0,244 | 6,830 | 1,666 |
| | 1975 | 148247699 | 28401019,8 | 0,192 | 4,669 | 0,894 |
| | 1976 | 159800326 | 59650469 | 0,373 | 5,100 | 1,904 |
| 1977 | 201046985 | 67242594,9 | 0,334 | 6,626 | 2,216 | |
| 1978 | 205214087 | 51265136,6 | 0,250 | 6,664 | 1,665 | |
| 1979 | 131243389 | 38575541,6 | 0,294 | 4,172 | 1,226 | |
| 1980 | 162854680 | 29795388,4 | 0,183 | 5,182 | 0,948 | |
| 1981 | 174467520 | 40858265,9 | 0,234 | 5,609 | 1,314 | |
| 1982 | 188637206 | 38513883,4 | 0,204 | 5,932 | 1,211 | |
| 1983 | 331555098 | 111527449 | 0,336 | 10,582 | 3,560 | |
| 1984 | 291115829 | 54323365,3 | 0,187 | 9,124 | 1,703 | |
| 1985 | 109097174 | 34158358,5 | 0,313 | 3,518 | 1,101 | |
| 1986 | 422615707 | 117935709 | 0,279 | 13,629 | 3,803 | |

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

| | | | | | |
|------|------------|------------|-------|--------|-------|
| 1987 | 85648820,1 | 21581168,9 | 0,252 | 2,701 | 0,681 |
| 1988 | 45612235,6 | 6924210,7 | 0,152 | 1,448 | 0,220 |
| 1989 | 25683380,4 | 6722434,15 | 0,262 | 0,808 | 0,212 |
| 1990 | 421770029 | 78507124,7 | 0,186 | 13,429 | 2,500 |
| 1991 | 201570923 | 35244394,4 | 0,175 | 6,408 | 1,121 |
| 1992 | 173203418 | 47763715,5 | 0,276 | 5,435 | 1,499 |
| 1993 | 115140768 | 20929541,5 | 0,182 | 3,879 | 0,705 |
| 1994 | 92033718,2 | 32260699,6 | 0,351 | 2,874 | 1,008 |
| 1995 | 352720430 | 57297575,6 | 0,162 | 11,273 | 1,831 |
| 1996 | 41704294,8 | 11775761,5 | 0,282 | 1,405 | 0,397 |
| 1997 | 264645049 | 80568423,1 | 0,304 | 8,334 | 2,537 |
| 1998 | 260936757 | 83826048 | 0,321 | 8,432 | 2,709 |
| 1999 | 93293468,8 | 36489069,9 | 0,391 | 2,946 | 1,152 |
| 2000 | 132052088 | 40899892 | 0,310 | 4,295 | 1,330 |
| 2001 | 14888952,2 | 7477001,82 | 0,502 | 0,476 | 0,239 |
| 2002 | 667851713 | 102134335 | 0,153 | 21,252 | 3,250 |

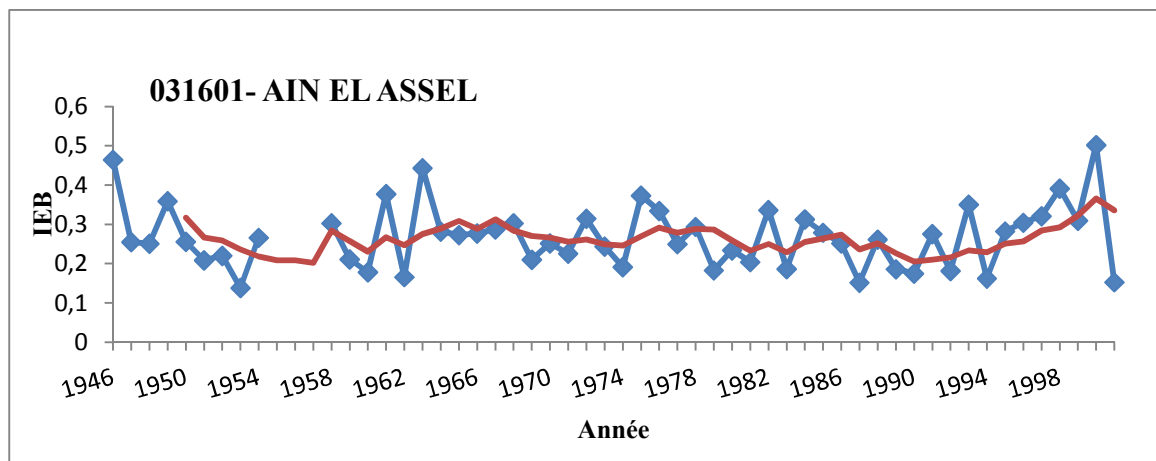


Figure VI.7 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS.

La figure VI.7 représente une évolution des valeurs annuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'AIN EL ASSEL, nous remarquons l'absence de tendance (l'évolution de l'IEB n'a pas montré un changement de tendance), cela explique une certaine stabilité de l'écoulement de base par rapport à l'écoulement total.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI.8 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de TURGOT NORD du bassin de COTIERS ORANAIS.

| 040220 | Année | Va(m ³) | Vb(m ³) | IEB | Qma(m ³ /s) | Qba(m ³ /s) |
|--------|------------|---------------------|---------------------|-------|------------------------|------------------------|
| f=0,90 | 1974 | 21403872 | 10974634,6 | 0,513 | 0,685 | 0,351 |
| | 1975 | 17407180,8 | 13248056,2 | 0,761 | 0,555 | 0,422 |
| | 1976 | 15120777,6 | 12929234,8 | 0,855 | 0,480 | 0,411 |
| | 1977 | 13026096 | 11970804,7 | 0,919 | 0,415 | 0,381 |
| | 1978 | 14175648 | 8979292,99 | 0,633 | 0,451 | 0,286 |
| | 1979 | 21881836,8 | 9052285,82 | 0,414 | 0,687 | 0,284 |
| | 1980 | 12431923,2 | 8482402,96 | 0,682 | 0,401 | 0,274 |
| | 1981 | 8070969,6 | 5940604,8 | 0,736 | 0,260 | 0,192 |
| | 1982 | 13412131,2 | 6445466,21 | 0,481 | 0,428 | 0,206 |
| | 1983 | 5549299,2 | 4497628,32 | 0,810 | 0,177 | 0,143 |
| | 1984 | 6967814,4 | 5535885,86 | 0,794 | 0,221 | 0,175 |
| | 1985 | 21684240 | 8150514,38 | 0,376 | 0,709 | 0,267 |
| | 1986 | 10868256 | 8105011,2 | 0,746 | 0,350 | 0,261 |
| | 1987 | 16028323,2 | 7333030,37 | 0,458 | 0,504 | 0,230 |
| | 1988 | 12803616 | 7121006,78 | 0,556 | 0,404 | 0,225 |
| | 1989 | 38869286,4 | 10632764,2 | 0,274 | 1,217 | 0,333 |
| | 1990 | 19547913,6 | 12298001,8 | 0,629 | 0,619 | 0,389 |
| | 1991 | 10118563,2 | 1581748,27 | 0,156 | 0,317 | 0,050 |
| | 1992 | 4731436,8 | 2004623,86 | 0,424 | 0,150 | 0,064 |
| | 1993 | 5371142,4 | 1827581,76 | 0,340 | 0,173 | 0,059 |
| | 1994 | 19148054,4 | 4857593,86 | 0,254 | 0,600 | 0,152 |
| | 1995 | 15502752 | 2626227,46 | 0,169 | 0,498 | 0,084 |
| | 1996 | 7282742,4 | 3964049,28 | 0,544 | 0,232 | 0,127 |
| | 1997 | 6607872 | 2495104,65 | 0,378 | 0,211 | 0,080 |
| | 1998 | 15715900,8 | 2951034,91 | 0,188 | 0,492 | 0,092 |
| | 1999 | 9180259,2 | 4084993,68 | 0,445 | 0,291 | 0,129 |
| | 2000 | 20738997,1 | 4585044,46 | 0,221 | 0,654 | 0,145 |
| | 2001 | 20355577,6 | 4951196,21 | 0,243 | 0,651 | 0,158 |
| | 2002 | 11121771,8 | 5526124,9 | 0,497 | 0,357 | 0,177 |
| | 2003 | 6212406,62 | 4922128,51 | 0,792 | 0,197 | 0,156 |
| 2004 | 4776949,82 | 4062103,56 | 0,850 | 0,152 | 0,129 | |
| 2005 | 6670018,74 | 5018357,34 | 0,752 | 0,213 | 0,160 | |
| 2006 | 6838859,27 | 4864183,32 | 0,711 | 0,217 | 0,154 | |
| 2007 | 11065986,1 | 6891876 | 0,623 | 0,350 | 0,218 | |
| 2008 | 44168201,4 | 11848258 | 0,268 | 1,391 | 0,373 | |
| 2009 | 13406056,1 | 10073676,7 | 0,751 | 0,428 | 0,321 | |
| 2010 | 5109394,47 | 4218896,16 | 0,826 | 0,162 | 0,134 | |
| 2011 | 7963473,61 | 6316387,2 | 0,793 | 0,253 | 0,201 | |

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

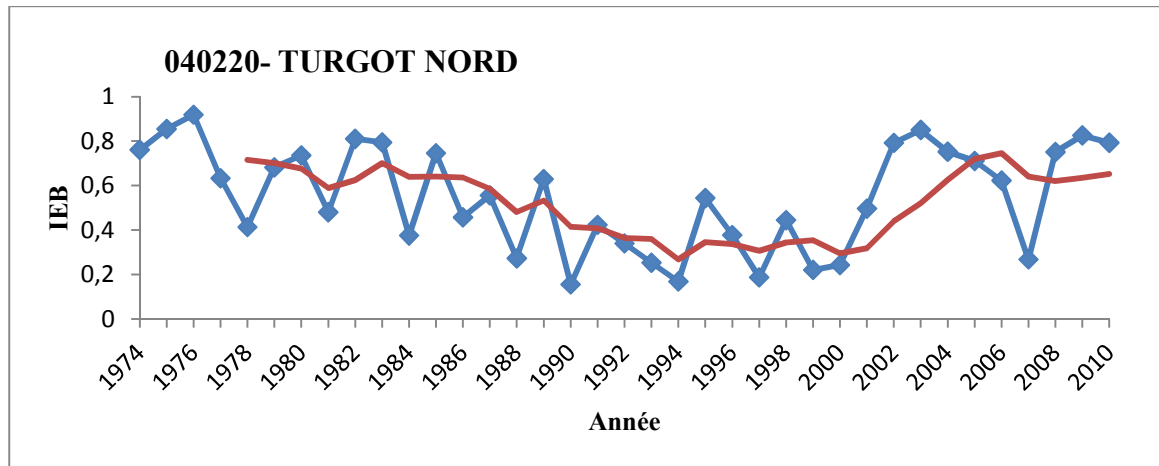


Figure VI.8: Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS.

La figure VI.8 représente une évolution des valeurs annuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de TURGOT NORD, nous remarquons qu'il y a eu un changement de tendance, tendance à la baisse jusqu'à 1991 et une tendance à la hausse (tendance positive) à partir de 2002.

Tableau VI.9 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de CHEMORAH Du bassin de HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS.

| 070501 | Année | Va (m ³) | Vb (m ³) | IEB | Qma(m ³ /s) | Qba(m ³ /s) |
|--------|-------|----------------------|----------------------|-------|------------------------|------------------------|
| f=0,90 | 1969 | 55269066,7 | 23486374,7 | 0,425 | 1,756 | 0,746 |
| | 1970 | 6217344 | 2651103,84 | 0,426 | 0,196 | 0,084 |
| | 1971 | 54346464 | 33744714,2 | 0,621 | 1,728 | 1,073 |
| | 1972 | 86380992 | 58870549 | 0,682 | 2,751 | 1,875 |
| | 1973 | 24312096 | 14537979,2 | 0,598 | 0,775 | 0,463 |
| | 1974 | 14449536 | 6041466,49 | 0,418 | 0,459 | 0,192 |
| | 1975 | 55467072 | 32159860,2 | 0,580 | 1,765 | 1,023 |
| | 1976 | 29175552 | 14550798,8 | 0,499 | 0,926 | 0,462 |
| | 1977 | 5343840 | 1843381,03 | 0,345 | 0,170 | 0,059 |
| | 1978 | 6153408 | 386424 | 0,063 | 0,198 | 0,012 |
| | 1979 | 10234080 | 2423743,2 | 0,237 | 0,328 | 0,078 |
| | 1980 | 13658976 | 7336213,65 | 0,537 | 0,439 | 0,236 |
| | 1981 | 18299157,1 | 4759558,32 | 0,260 | 0,581 | 0,151 |
| | 1982 | 29739614,4 | 5756167,58 | 0,194 | 0,954 | 0,185 |
| | 1983 | 11694214,1 | 5632361,28 | 0,482 | 0,376 | 0,181 |

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

| | | | | | |
|------|------------|------------|-------|-------|-------|
| 1984 | 122100,48 | 0 | 0,000 | 0,004 | 0,000 |
| 1985 | 14246064 | 8753680,93 | 0,614 | 0,452 | 0,278 |
| 1986 | 12627342,7 | 5970216,96 | 0,473 | 0,403 | 0,191 |
| 1987 | 2639174,4 | 118065,6 | 0,045 | 0,084 | 0,004 |
| 1988 | 9518160,96 | 904111,533 | 0,095 | 0,300 | 0,029 |
| 1989 | 39710425 | 17990103,5 | 0,453 | 1,261 | 0,571 |
| 1990 | 28660088,8 | 13387598,5 | 0,467 | 0,909 | 0,425 |
| 1991 | 35318640,7 | 19197940,9 | 0,544 | 1,109 | 0,603 |
| 1992 | 11672570,8 | 6606384 | 0,566 | 0,372 | 0,210 |
| 1993 | 3567117,71 | 139984,663 | 0,039 | 0,111 | 0,004 |
| 1994 | 13140194,9 | 560304,658 | 0,043 | 0,416 | 0,018 |
| 1995 | 72635402 | 23925583,4 | 0,329 | 2,297 | 0,756 |
| 1996 | 2750967,49 | 242788,32 | 0,088 | 0,086 | 0,008 |
| 1997 | 23337782,6 | 1700452,15 | 0,073 | 0,744 | 0,054 |
| 1998 | 9007710,44 | 751084,412 | 0,083 | 0,287 | 0,024 |
| 1999 | 21869544,7 | 1171463,53 | 0,054 | 0,690 | 0,037 |
| 2000 | 11871550 | 267995,497 | 0,023 | 0,377 | 0,009 |
| 2001 | 14242860,2 | 173094,574 | 0,012 | 0,452 | 0,005 |
| 2002 | 14218933,1 | 719616,812 | 0,051 | 0,452 | 0,023 |
| 2003 | 7599496,08 | 93908,16 | 0,012 | 0,238 | 0,003 |
| 2004 | 92700369,1 | 32066583,1 | 0,346 | 2,906 | 1,005 |
| 2005 | 7262394,35 | 4754418,87 | 0,655 | 0,231 | 0,151 |
| 2006 | 4446229,67 | 3447083,52 | 0,775 | 0,140 | 0,109 |
| 2007 | 4391230,27 | 3254702,32 | 0,741 | 0,139 | 0,103 |
| 2008 | 12983596,7 | 6323922,87 | 0,487 | 0,410 | 0,200 |
| 2009 | 4024279,49 | 2877085,04 | 0,715 | 0,129 | 0,092 |
| 2010 | 10280010,9 | 6224431,4 | 0,605 | 0,324 | 0,196 |
| 2011 | 13388548,2 | 7705696 | 0,576 | 0,425 | 0,245 |

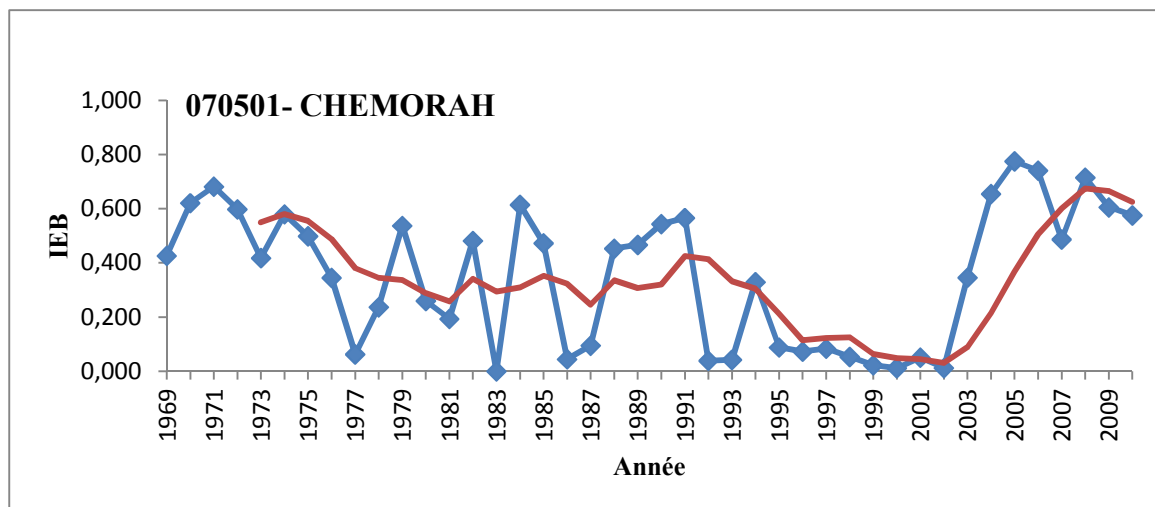


Figure VI.9 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

La figure VI.9 représente une évolution des valeurs annuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de CHEMORAH, nous remarquons qu'il y a eu un changement de tendance, tendance à la baisse (tendance négative) jusqu'à 2002 et une tendance à la hausse (tendance positive).

Tableau VI.10 : Volume d'eau écoulé annuel, de base, sous forme de crues et l'indice d'écoulement de base pour la station de LAKHDARIE du bassin d'ISSER.

| 090501 | Année | Va (m3) | Vb (m3) | IEB | Qma(m ³ /s) | Qba(m ³ /s) |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|------------------------|------------------------|
| f=0,90 | 1954 | 161868672 | 66175872,48 | 0,409 | 5,146 | 2,104 |
| | 1955 | 306364896 | 155999927 | 0,509 | 9,866 | 5,024 |
| | 1956 | 156066048 | 71845944,33 | 0,460 | 4,961 | 2,284 |
| | 1957 | 447720480 | 41241340,8 | 0,092 | 14,066 | 1,296 |
| | 1965 | 231328224 | 104872940,7 | 0,453 | 7,274 | 3,298 |
| | 1966 | 227709792 | 98478071,11 | 0,432 | 7,323 | 3,167 |
| | 1967 | 638370720 | 244677520,2 | 0,383 | 20,128 | 7,715 |
| | 1968 | 199079424 | 88449609,58 | 0,444 | 6,290 | 2,795 |
| | 1969 | 687210912 | 279760921,4 | 0,407 | 21,646 | 8,812 |
| | 1970 | 146484288 | 63976303,74 | 0,437 | 4,630 | 2,022 |
| | 1971 | 870433344 | 270712669,1 | 0,311 | 27,517 | 8,558 |
| | 1972 | 910247328 | 337257813 | 0,371 | 29,423 | 10,902 |
| | 1973 | 631929600 | 160575034,8 | 0,254 | 20,118 | 5,112 |
| | 1974 | 182344608 | 72004982,61 | 0,395 | 5,871 | 2,318 |
| | 1975 | 408913056 | 176849432,8 | 0,432 | 13,184 | 5,702 |
| | 1976 | 151504128 | 56760444,13 | 0,375 | 4,800 | 1,798 |
| | 1977 | 125227296 | 48803154,21 | 0,390 | 3,991 | 1,555 |
| | 1978 | 263444832 | 93689639,27 | 0,356 | 8,473 | 3,013 |
| | 1979 | 391475808 | 141140372,5 | 0,361 | 12,330 | 4,445 |
| | 1980 | 264646656 | 121328286,2 | 0,458 | 8,422 | 3,861 |
| | 1981 | 25660800 | 9599950,523 | 0,374 | 0,808 | 0,302 |
| | 1982 | 246205440 | 98468054,62 | 0,400 | 7,773 | 3,109 |
| | 1983 | 105348384 | 44281715,67 | 0,420 | 3,396 | 1,427 |
| | 1984 | 281906784 | 117374373,7 | 0,416 | 8,861 | 3,689 |
| | 1985 | 136571616 | 34948702,17 | 0,256 | 4,363 | 1,116 |
| | 1986 | 369394292,2 | 177068546,8 | 0,479 | 11,951 | 5,729 |
| | 1987 | 47933850,26 | 16270931,44 | 0,339 | 1,511 | 0,513 |
| | 1988 | 144677813,5 | 47850273,18 | 0,331 | 4,550 | 1,505 |
| | 1989 | 62265758,48 | 10261259,26 | 0,165 | 1,953 | 0,322 |
| | 1990 | 147223042,3 | 56107631,05 | 0,381 | 4,748 | 1,810 |
| | 1991 | 225997835,5 | 55146493,49 | 0,244 | 7,145 | 1,744 |
| 1992 | 91888190,99 | 42874705,36 | 0,467 | 2,920 | 1,362 | |
| 1993 | 85961287,05 | 26523002,26 | 0,309 | 2,755 | 0,850 | |
| 1994 | 378517606,6 | 169770762,1 | 0,449 | 11,878 | 5,327 | |

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

| | | | | | |
|------|-------------|-------------|-------|--------|-------|
| 1995 | 191201437,6 | 67822433,82 | 0,355 | 6,145 | 2,180 |
| 1996 | 18314849,37 | 4915305,699 | 0,268 | 0,582 | 0,156 |
| 1997 | 200520286,8 | 40700645,44 | 0,203 | 6,394 | 1,298 |
| 1998 | 147004900 | 60334042,46 | 0,410 | 4,765 | 1,956 |
| 1999 | 60725942,69 | 10923729,09 | 0,180 | 1,896 | 0,341 |
| 2000 | 131850490,8 | 22880277,6 | 0,174 | 4,171 | 0,724 |
| 2001 | 5894569,178 | 768880,3113 | 0,130 | 0,189 | 0,025 |
| 2004 | 376239474,1 | 209715288,4 | 0,557 | 12,231 | 6,817 |
| 2005 | 189600603,7 | 77601645,5 | 0,409 | 6,134 | 2,511 |
| 2006 | 429781860,8 | 176485125,7 | 0,411 | 13,513 | 5,549 |
| 2007 | 305691816 | 148634554,1 | 0,486 | 9,690 | 4,712 |
| 2008 | 125665067,6 | 48429929,02 | 0,385 | 3,996 | 1,540 |
| 2009 | 71667895,07 | 24072007,46 | 0,336 | 2,280 | 0,766 |
| 2010 | 169630682,5 | 55421008,19 | 0,327 | 5,487 | 1,793 |
| 2011 | 139908904,5 | 64032908,42 | 0,458 | 4,191 | 1,918 |

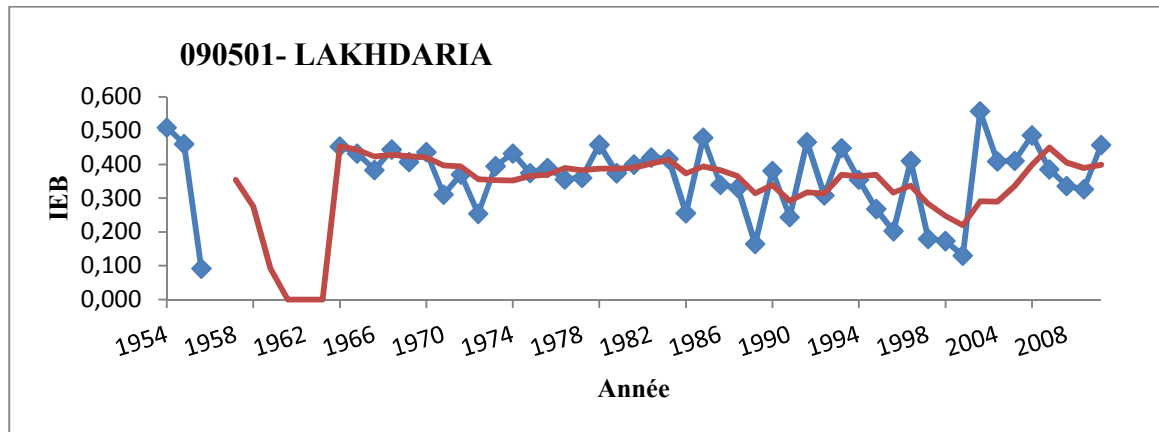


Figure VI.10 : Variation annuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER.

La figure VI.10 représente une évolution des valeurs annuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de LAKHDARIA, nous remarquons l'absence de tendance (l'évolution de l'IEB n'a pas montré un changement de tendance).

IV.3.2. Variation saisonnière :

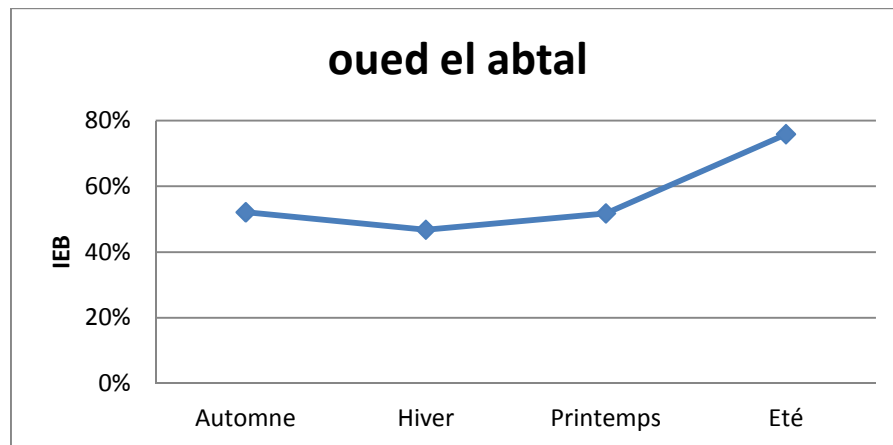


Figure VI.11: Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF.

La figure VI.11 représente une évolution des valeurs saisonnières de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'OUED EL ABTAL pour une année humide, on remarque que pendant la saison hivernale on a une valeur minimale de l'IEB et une valeur maximale de l'IEB pendant la saison estivale.

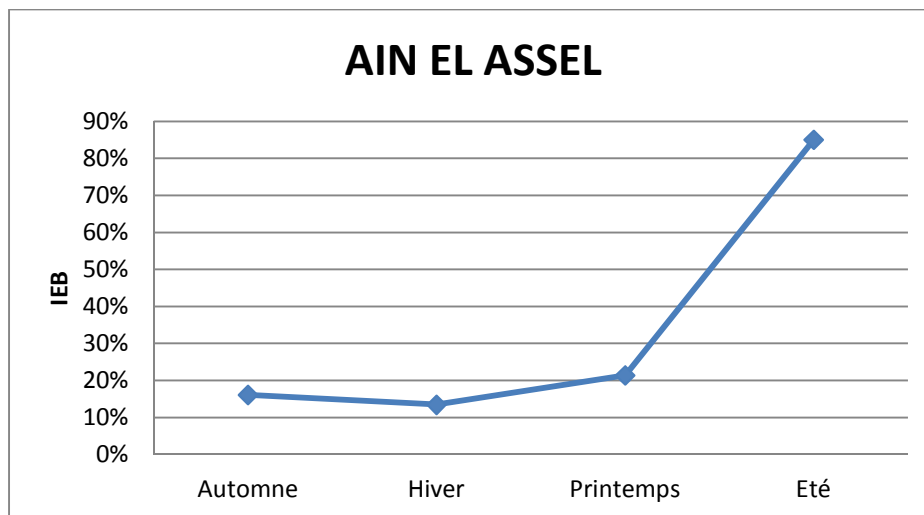


Figure VI.12 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS.

La figure VI.12 représente une évolution des valeurs saisonnières de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'AIN EL ASSEL pour une année humide, on remarque qu'il ya une augmentation des valeurs de l'IEB de la saison automnale jusqu'à la saison estivale, la valeur maximale est pendant l'été.

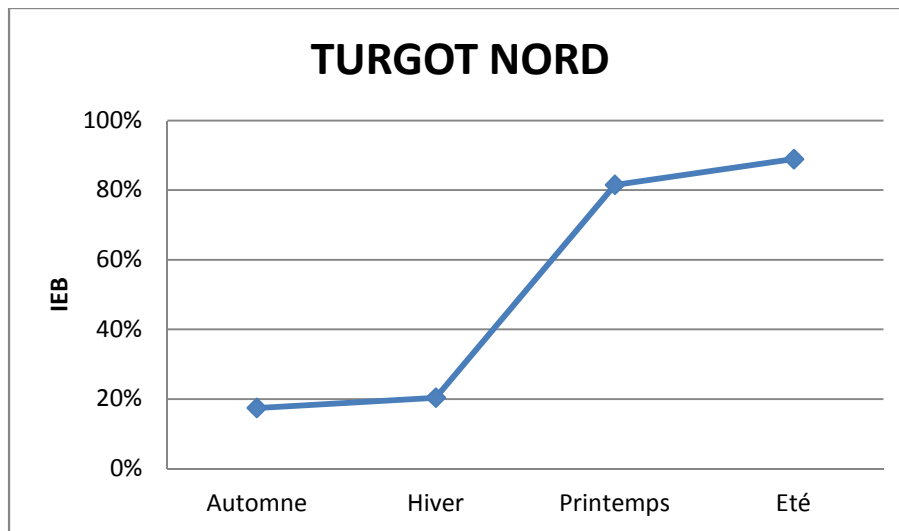


Figure VI.13 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS.

La figure VI.13 représente une évolution des valeurs saisonnières de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de TURGOT NORD pour une année humide, on remarque qu'il ya une valeur minimale de l'IEB pendant la saison automnale et une valeur maximale pendant la saison estivale.

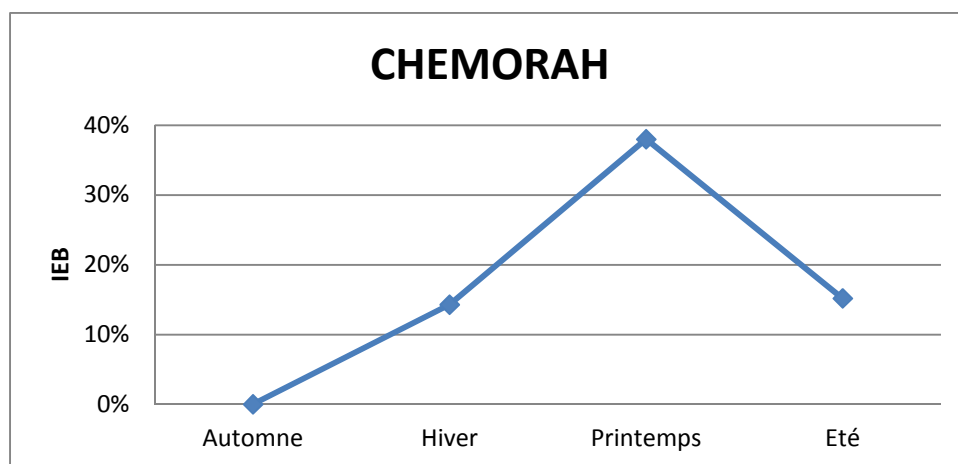


Figure VI.14 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS.

La figure VI.14 représente une évolution des valeurs saisonnières de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de CHEMORAH pour une année humide, on remarque qu'on a une valeur nulle de l'IEB pendant la saison automnale et une valeur maximale pendant la saison printanière.

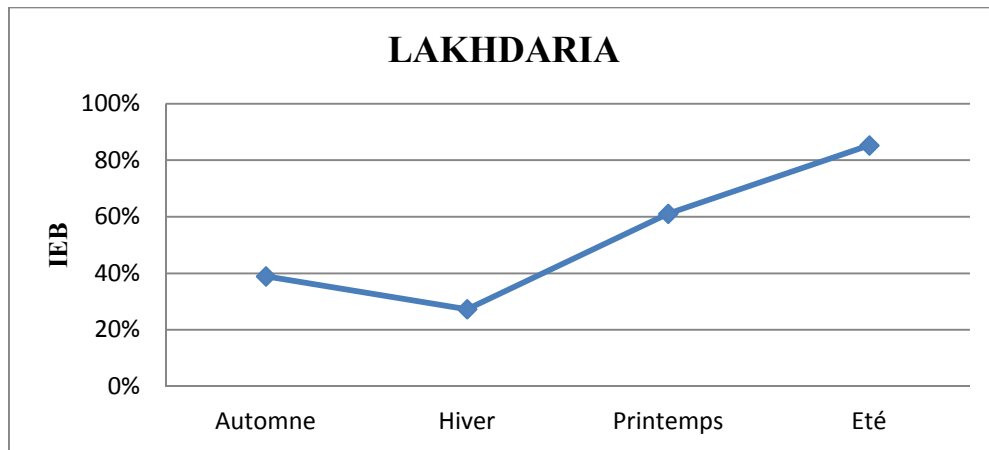


Figure VI.15 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER.

La figure VI.15 représente une évolution des valeurs saisonnières de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de LAKHDARIA pour une année humide, on remarque qu'on a une valeur minimale de l'IEB pendant la saison hivernale et une valeur maximale pendant la saison estivale.

IV.3.3. Variation mensuelle :

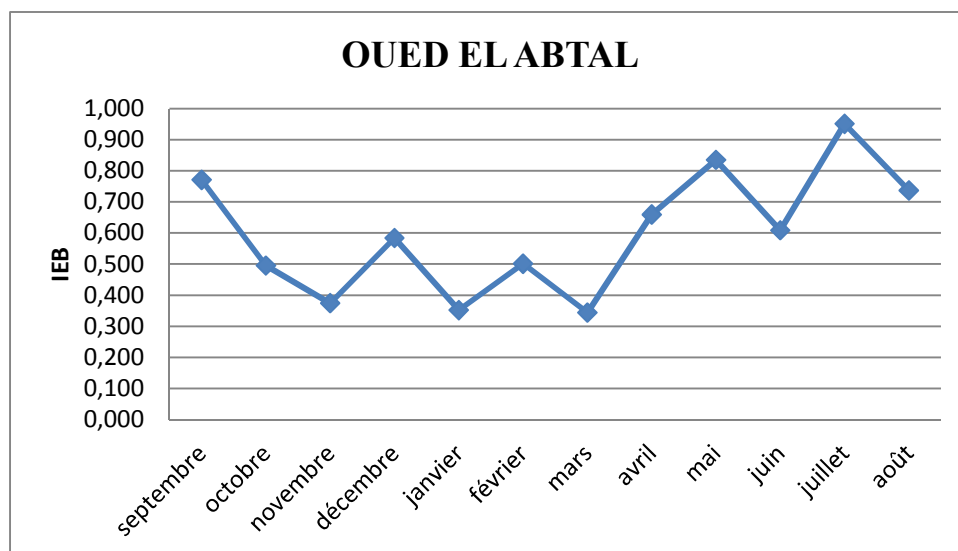


Figure VI.16 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de CHELIFF.

La figure VI.16 représente une évolution des valeurs mensuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'OUED EL ABTAL pour une année humide, on remarque qu'on a une tendance à la hausse (tendance positive) à partir du mois de mars, les valeurs maximales de l'IEB sont pendant la saison estivale.

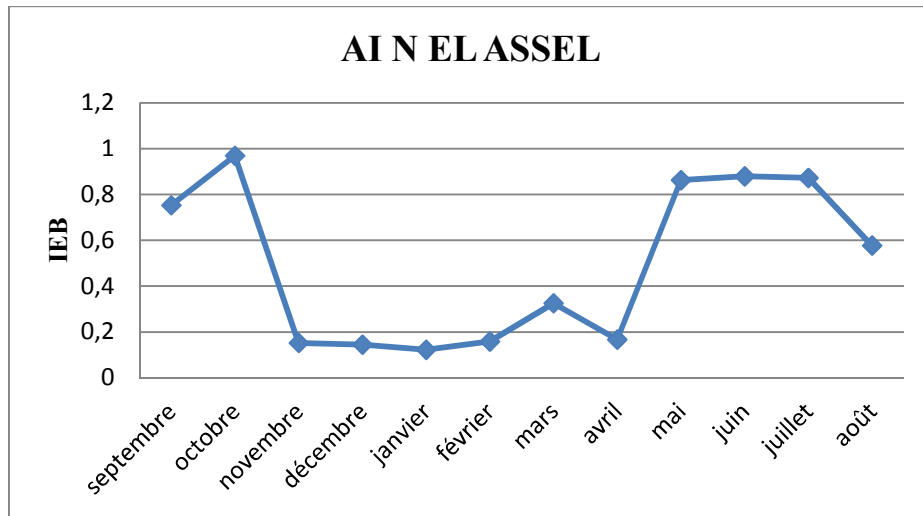


Figure VI.17 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS.

La figure VI.17 représente une évolution des valeurs mensuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station d'AIN EL ASSEL pour une année humide, on remarque qu'on a des valeurs minimales de l'IEB du mois de novembre jusqu'au mois d'avril et des valeurs maximales à partir du mois de mai (saison estivale).

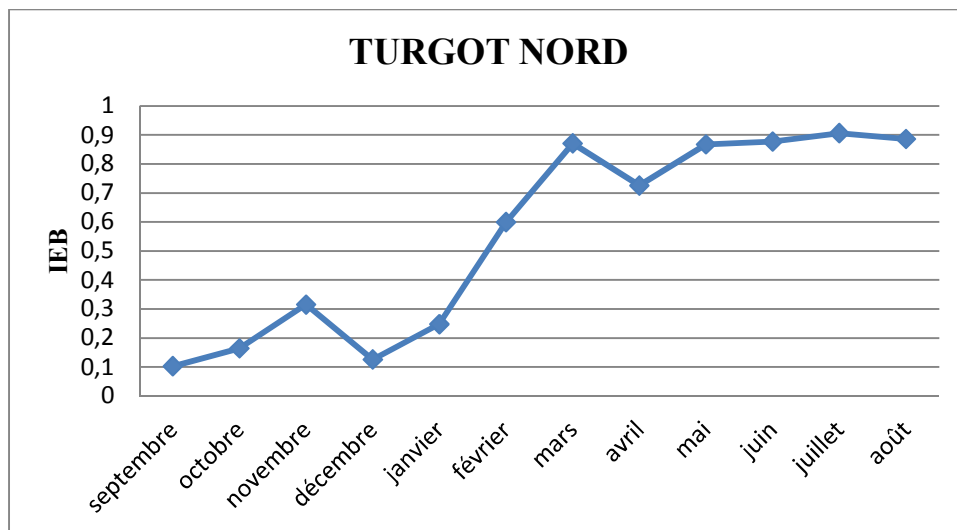


Figure VI.18 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS ORANAIS.

La figure VI.18 représente une évolution des valeurs mensuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de TURGOT

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

NORD pour une année humide, on remarque qu'on a une tendance positive (tendance à la hausse) à partir du mois de décembre et les valeurs maximales sont pendant la saison printanière et estivale.

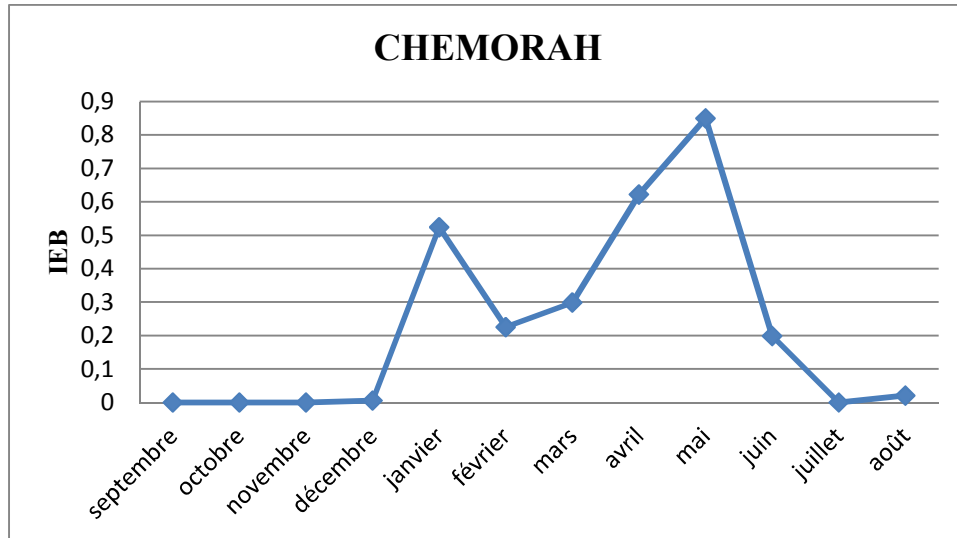


Figure VI.19 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin de COTIERS HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS.

La figure VI.19 représente une évolution des valeurs mensuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de CHEMORAH pour une année humide, on remarque qu'on a des valeurs nulles de l'IEB de septembre jusqu'à décembre et de juillet et août, les valeurs maximales sont pendant la saison printanière et estivale (au mois de mai) donc on a un changement de tendance, tendance à la hausse puis un tendance à la baisse.

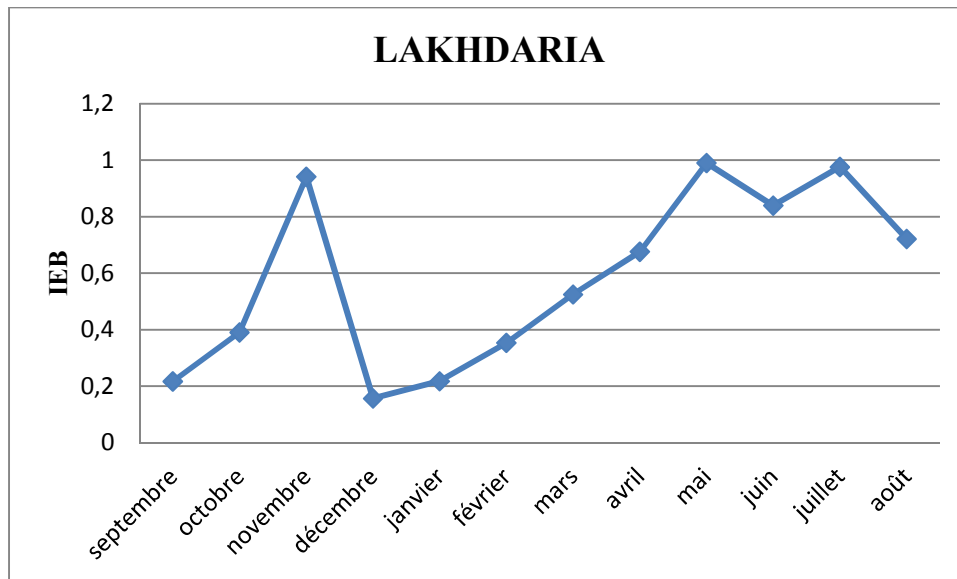


Figure VI.20 : Variation saisonnière de l'indice d'écoulement de base à la station du bassin d'ISSER.

La figure VI.20 représente une évolution des valeurs mensuelles de l'indice d'écoulement de base calculées à partir des débits moyens journaliers pour la station de LAKHDARIA pour une année humide, on remarque qu'on a des valeurs maximales de l'IEB durant les mois de novembre (saison automnale), mai, juin, juillet et août (saison estivale).

IV.4. Résultats générales :

*Pour la station d'OUED EL ABTAL du bassin de CHELLIF, la variation de l'indice d'écoulement de base à :

L'échelle Annuelle : une tendance à la baisse. (Année humide 71)

L'échelle Saisonnière : saison hivernale on a un IEB minimale, saison estivale on a un IEB maximale.

L'échelle Mensuelle : une tendance à la hausse à partir du mois de mars.

*pour la station d'AIN EL ASSEL du bassin de COTIERS CONSTANTINOIS, la variation de l'indice d'écoulement de base à :

L'échelle Annuelle : absence de tendance (année humide 2002)

L'échelle Saisonnière : valeur maximale de l'IEB est produite durant la saison estivale.

L'échelle Mensuelle : valeurs minimales de l'IEB du mois de novembre jusqu'au mois d'avril et des valeurs maximales à partir du mois de mai (saison estivale)

*pour la station de TURGOT NORD du bassin de COTIERS ORANAIS, la variation de l'indice d'écoulement de base à :

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

L'échelle Annuelle : tendance à la baisse jusqu'à 1991 et une tendance à la hausse (tendance positive) à partir de 2002.

L'échelle Saisonnière : une valeur minimale de l'IEB pendant la saison automnale et une valeur maximale pendant la saison estivale. (Année humide 2008)

L'échelle Mensuelle : une tendance positive (tendance à la hausse) à partir du mois de décembre et les valeurs maximales sont pendant la saison printanière et estivale.

*pour la station CHEMORAH du bassin des HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS, la variation de l'indice d'écoulement de base à :

L'échelle Annuelle : tendance à la baisse (tendance négative) jusqu'à 2002 et une tendance à la hausse (tendance positive).

L'échelle Saisonnière : une valeur nulle de l'IEB pendant la saison automnale et une valeur maximale pendant la saison printanière.(Année humide 2004)

L'échelle Mensuelle : valeurs nulles de l'IEB de septembre jusqu'à décembre et de juillet et août, les valeurs maximales sont pendant la saison printanière et estivale (au mois de mai) donc on a un changement de tendance, tendance à la hausse puis une tendance à la baisse.

*pour la station de LAKHDARIA du bassin d'ISSER, la variation de l'indice d'écoulement de base à :

L'échelle Annuelle : l'absence de tendance

L'échelle Saisonnière : une valeur minimale de l'IEB pendant la saison hivernale et une valeur maximale pendant la saison estivale. (Année humide 1972)

L'échelle Mensuelle : valeurs maximales de l'IEB durant les mois de novembre (saison automnale), mai, juin, juillet et août (saison estivale)

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Conclusion :

Les valeurs mensuelles de l'IEB ont été analysées pour étudier les variations à l'intérieur du cycle annuel et explorer les conditions saisonnières.

Pour l'ensemble des mois de l'année, et pour la station d'OUED EL ABTAL nous remarquons une tendance significative à la baisse des valeurs de l'IEB annuelles ainsi que les mois de novembre à mars et pour les stations de LAKHDARIA et AIN EL ASSEL on remarque l'absence de tendance et pour les stations de TURGOT NORD et CHEMORAH on a un changement de tendance une tendance à la baisse après une tendance à la hausse.

Les valeurs mensuelles suivent une tendance à la baisse pour la majorité des stations étudiées, à l'exception de la station de CHEMORAH qui présente une tendance significative à la hausse jusqu'au mois de mai puis une tendance à la baisse.

L'étude des tendances mensuelles et saisonnières a permis de montrer que les valeurs de l'IEB de plusieurs mois avaient des tendances à la baisse. Cette baisse s'y produite durant la saison printanière et hivernale synonyme de la hausse de la pluviométrie parce que la pluviométrie durant l'hiver et le printemps constitue plus de 60% de la pluviométrie annuelle. C'est-à-dire la saison printanière et hivernale influe le plus sur la variation annuelle des valeurs de l'IEB.

Pour conclure, l'indice d'écoulement de base peut être employé comme mesure des caractéristiques géologiques d'un bassin, une valeur faible de l'IEB reflète une perméabilité faible et vice versa, et il est important pour la détermination du comportement du bassin versant.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

L'objectif principal de ce travail portait plus particulièrement sur le calcul de l'indice d'écoulement de base (l'IEB) et son évolution annuelle, saisonnière et mensuelle.

Pour parvenir au bout de notre travail, nous avons comme point de départ une synthèse bibliographique générale des connaissances et des rappels théorique sur les écoulements et le débit de base ainsi que la détermination de l'indice d'écoulement de base. Par la suite, on a passé à la présentation de notre région d'étude en situant ces différentes caractéristiques : géomorphologie, topographie, climat et réseau hydrographique.

Après avoir fait une représentation de la zone d'étude (le nord de l'Algérie), on a procédé à la méthodologie et les étapes effectuées pour le calcul de l'IEB, le calcul de cet indice a été effectué sur la base de l'algorithme de Tallaksen et Van Lanen (2004).

Finalement nous avons présenté les résultats et leurs interprétations pour des différentes stations hydrométriques.

Les valeurs mensuelles de l'IEB ont été analysées pour étudier les variations à l'intérieur du cycle annuel et explorer les conditions saisonnières. La même procédure que pour les valeurs annuelles a été utilisée pour chacun des mois pour l'indice d'écoulement de base (annexe 02).

Les résultats montrent que les valeurs de l'IEB d'un mois ou d'une année donnée permettent en effet de paramétrer l'influence des conditions géologiques d'un bassin sur l'écoulement de base.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- **ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY**, 2004 hydrologie : une science de la vie
André PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES p,p
177.178.
- **ARNOLD, J.G., P.M. ALLEN, R. MUTTIAH AND G. BERNHARDT. 1995**
Automated baseflow separation and recession analysis techniques. Ground Water
33(6): 1010–1018. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1995.tb00046.x>
- **ASSABA, M. 2004** La connaissance des pluies mensuelles au service de la
modélisation hydrologique des apports mensuels en eau de surface : application à
l'Algérie du Nord, au Sud de la France et à la Corse. Thèse doctorat, Université de
Nice-Sofia Antipolis, 422 p.
- **BLAVOUX B. (1978)** Etude du cycle de l'eau au moyen de l'oxygène 18 et du
tritium : possibilités et limites de la méthode des isotopes du milieu en hydrologie de
la zone tempérée. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles : Université Pierre
et Marie Curie, Paris 6. 333 p.
- **Dictionnaire français d'hydrogéologie (1977) " Ecoulement de base naturel "**
- **EPSTEIN S. et MAYEDA T. (1953).** Variation of ^{18}O content of waters from naturel
sources. Geochim. Cosmochim. Acta, vol n°4, p. 213-224.
- **Glossaire International d'Hydrologie (1992) " débit de base "**
- **Gnouma R, 2002 Etude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de
Grézieu-La-Varenne à l'aide de traceurs isotopiques (oxygène 18)**
- **(GUSTARD A., ROALD L.A., DEMUTH S., LUMADJENG H.S., GROSS R.,
(1989):** Flow regimes from experimental and network data (FRIEND), Institut of
hydrology, Wallingford (UK), 2 vol.
- **HUBERT P. (1989).** La séparation de l'hydrogramme : apport des méthodes
isotopiques. Hydrogéologie, n°3. p. 143-150.
- **HAMZAOUIS S, 2016** Modélisation des courbes IDF à travers des stations
pluviométriques de la région de l'Ouest du pays, mémoire du master
- **INSTITUTE OF HYDROLOGY, (1980):** low Flow Studies(1e4), Wallingford, UK.
- **LETOLLE R., MARIOTTI A. et BARIAC T. (1991).** Isotopes stables :
Applications. Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée par le ministère
de la recherche et de la technologie. 293 p.
- **(LLAMAS. J, 1993)** Hydrologie générale : principes et applications. Québec Canada
: Gaëtan morin éditeur 2ième édition. 527 p.
- **MEHAIGUENE M, 2005** bilan hydrologique et ressources en eau de surface du
bassin Cheliff-Zahrez mémoire de Magister en Aménagement hydraulique chapitre
VI=6 détection des modifications de l'écoulement fluvial au moyen de l'IEB.

- **MEHAIGUENE M, 2013** Etude des étiages et des débits de base au nord-ouest de l'Algérie, thèse de doctorat.
- **MEDJRAB A., 2005** Étude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement du Territoire, USTHB, Alger, 569p.
- **Pierre Davoust** « notions de débits » < <http://ecosociosystemes.fr> > 17 avril 2018
- **Sauquet, E., et al., 2009** Analyse fréquentielle des événements hydrologiques extrêmes. Rapport projet RexHySS.
- **TAIBI S, 2016** Influence de la circulation atmosphérique générale Sur les précipitations du Nord de l'Algérie Thèse de doctorat.
- **TAIBI R, 1993** CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ECOULEMENT DES COURS D'EAU DE L'ALGERIE SEPTENTRIONALE - Essai de Régionalisation -
- **Viramontes, D. et Descroix, L., 2000** Dégradation progressive du milieu par le surpâturage et le déboisement et conséquences hydrologiques. Etude de cas de la sierra Madré occidentale (Mexique). Revue Géographie Alpine, 2, 28–41. Disponible à: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_2000_num_88_2_2989

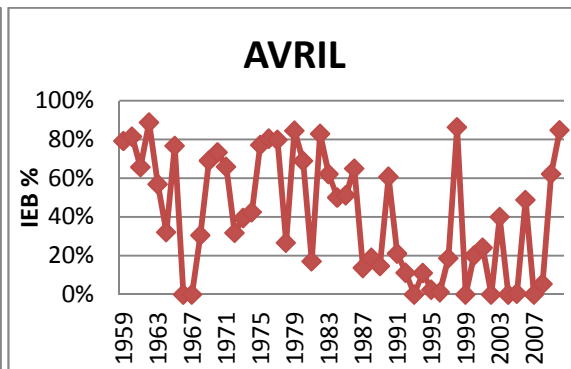
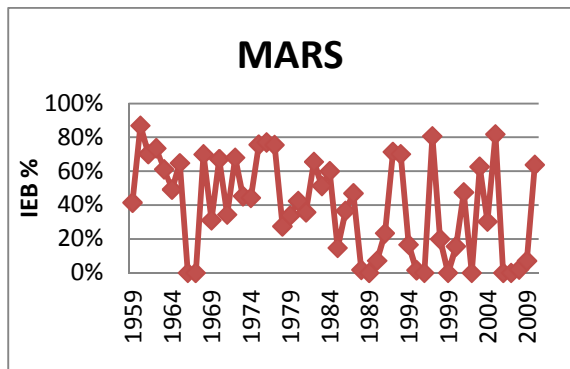
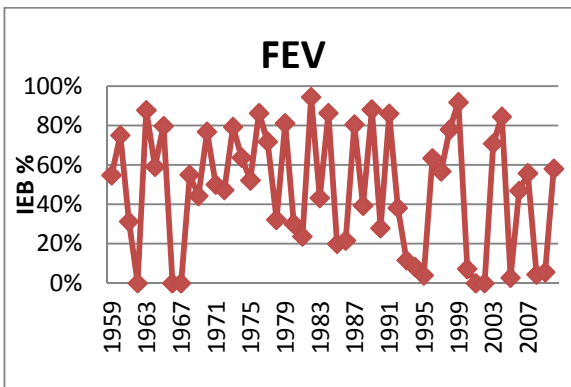
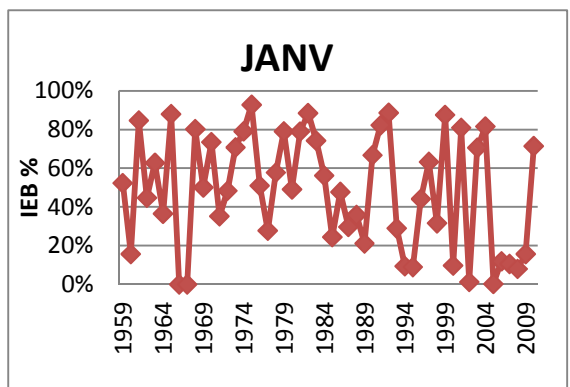
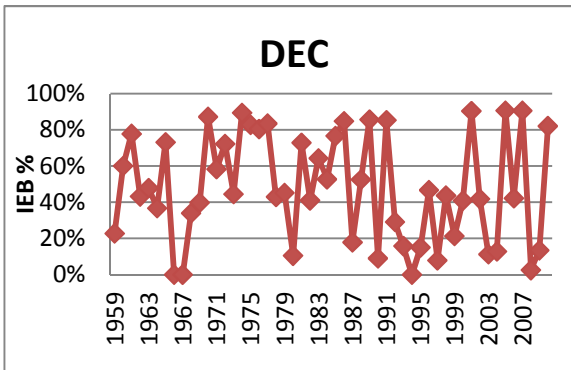
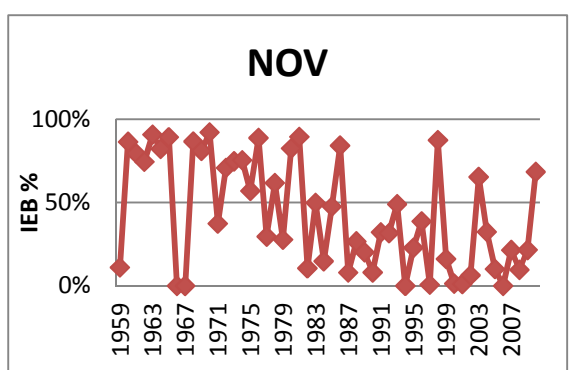
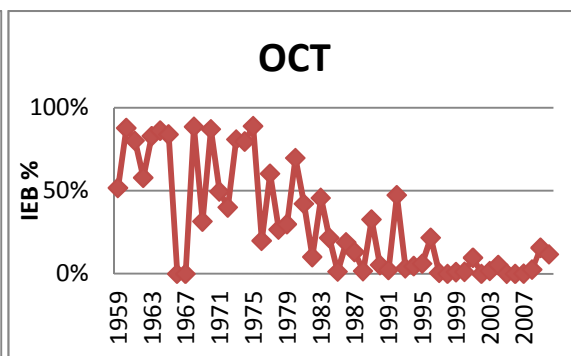
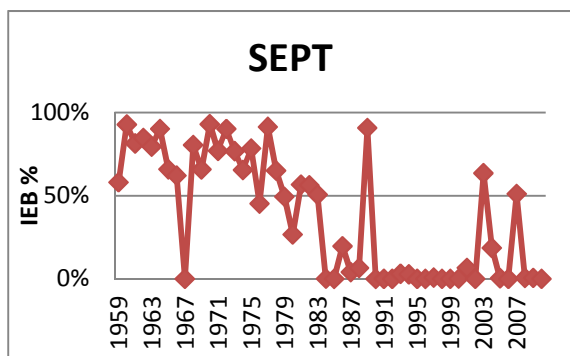
ANNEXES

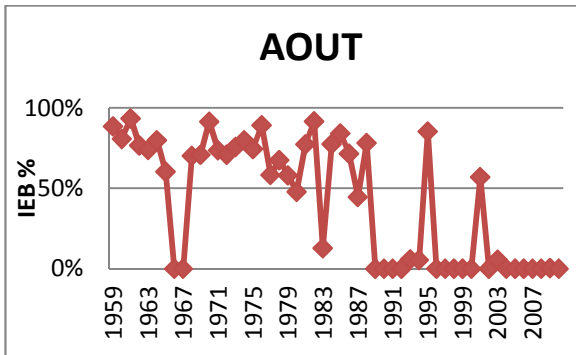
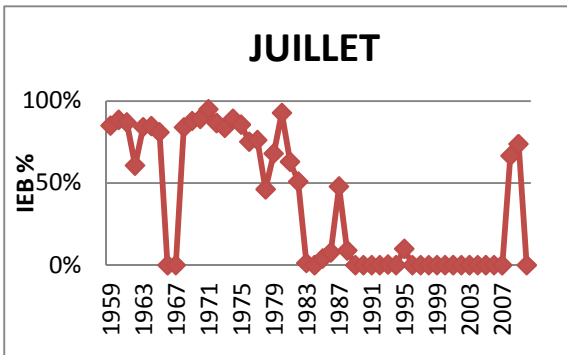
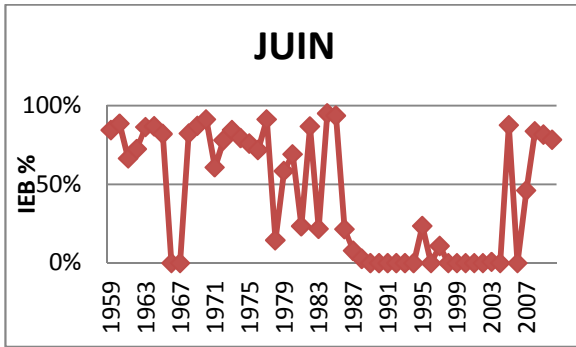
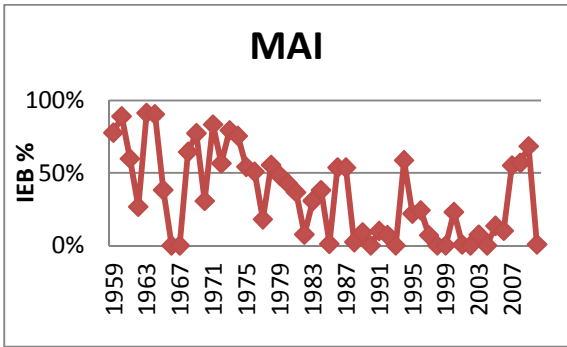
ANNEXE 01 : Caractéristiques des stations

| Code | Nom de station | Surface (Km ²) | Période des mesures |
|--------|-------------------|----------------------------|---------------------|
| 011715 | ABABSA | 102 | 1973 à 2012 |
| 012806 | DJIDIOUIA | 34550 | 1972 à 2011 |
| 013401 | OUED EL ABTAL | 5400 | 1969 à 2011 |
| 021201 | FER A CHEVAL | 1900 | 1969 à 2011 |
| 030310 | EL M'KACEB | 21,6 | 1982 à 2003 |
| 030901 | KHEMAKHEM | 322 | 1975 à 2004 |
| 031601 | AIN ELASSAL | 680 | 1946 à 2002 |
| 040101 | GHAZAOUET EL BOR | 100 | 1970 à 2011 |
| 040220 | TURGO NORD | 712,1 | 1974 à 2011 |
| 050301 | AIN EL HADJEL | 2670 | 1964 à 1993 |
| 050501 | ROCADE SUD | 5600 | 1955 à 1993 |
| 050801 | CED FAGUES | 334 | 1955 à 1997 |
| 051101 | SIDI OUDAH | 176 | 1978 à 2000 |
| 061201 | EL KANTARA | 1170 | 1968 à 1997 |
| 061502 | M'CHOUNCHE | 1050 | 1971 à 1998 |
| 070501 | CHEMORAH | 765 | 1969 à 2011 |
| 090305 | BENI SLIMANE | 273 | 1985 à 2011 |
| 090501 | LAKHDARIA | 3615 | 1954 à 2011 |
| 100109 | DOUAR TASSADANE | 930 | 1979 à 2004 |
| 100208 | KOUDIAT TENNDART | 170 | 1977 à 2004 |
| 100403 | AIN SMARA | 2340 | 1971 à 2000 |
| 110101 | EL HACAIBA | 955 | 1961 à 2006 |
| 110201 | SIDI ALI BEN YOUB | 1890 | 1949 à 2008 |
| 110301 | SIDI BEL ABBAS | 3000 | 1942 à 2011 |
| 110506 | TENIRA | 746 | 1973 à 2008 |
| 111201 | OUED TARIA | 1360 | 1973 à 2011 |
| 111501 | TROIS RIVIERES | 7440 | 1946 à 2011 |
| 150106 | TILESDIT | 842 | 1963 à 1987 |
| 150204 | EL ESNAM | 800 | 1969 à 1998 |
| 150601 | FERMATOU | 105 | 1976 à 2004 |
| 150703 | BOU BIREK | 2960 | 1980 à 2004 |
| 160401 | SEBDOU | 195 | 1965 à 2011 |
| 160402 | BENI-BAHDEL AMONT | 600 | 1972 à 2011 |
| 160601 | CHOULY RN7 | 170 | 1947 à 2011 |
| 160801 | PIERRE DU CHAT | 6900 | 1952 à 2011 |

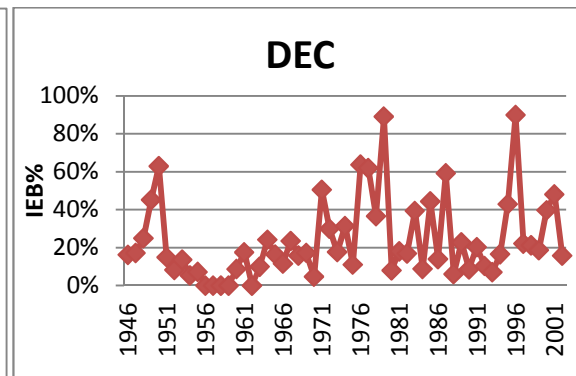
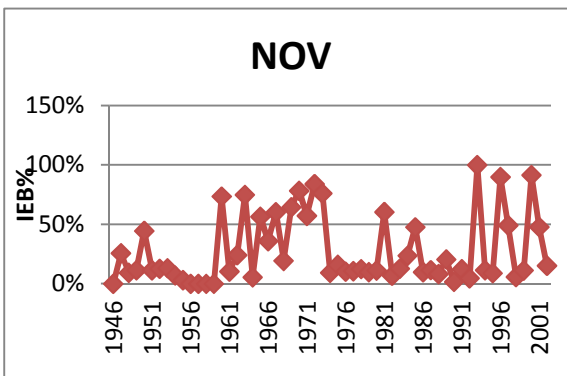
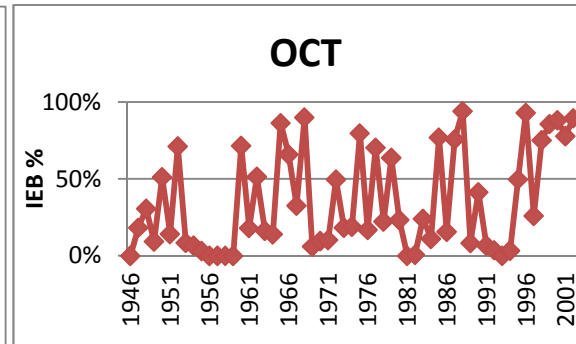
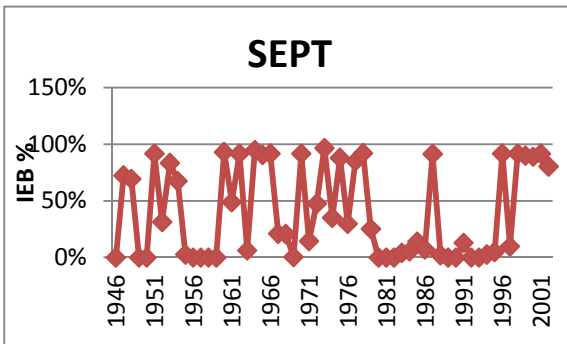
ANNEXE 02 : Variation mensuelle de l'indice d'écoulement de base (l'IEB)

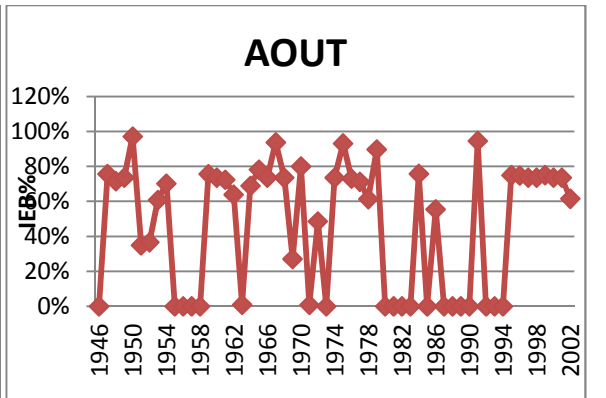
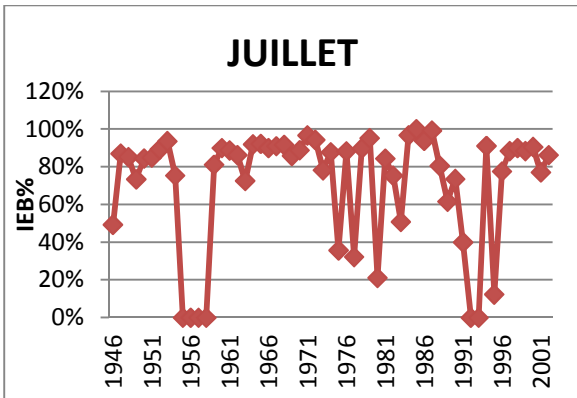
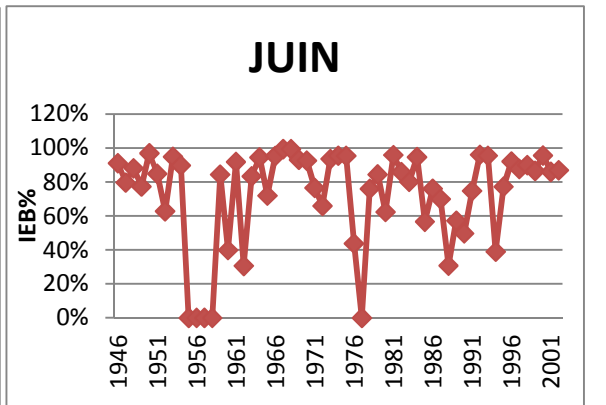
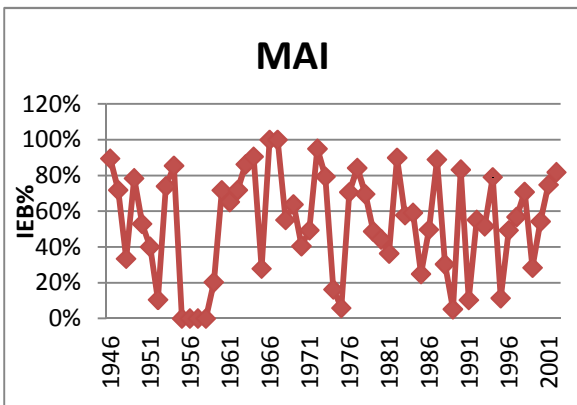
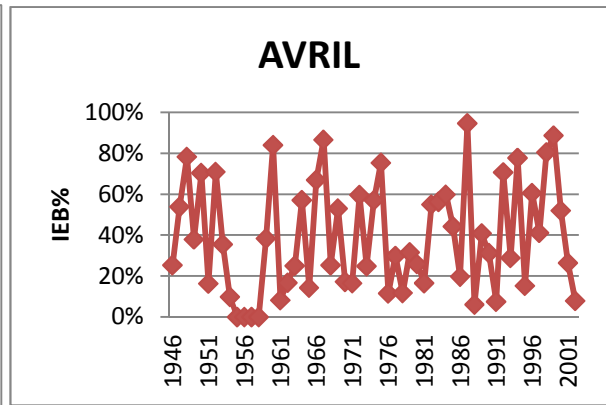
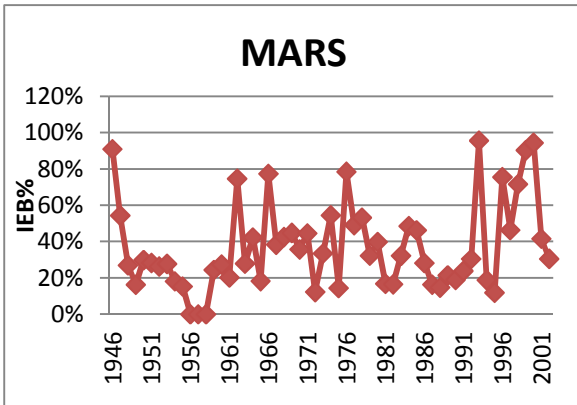
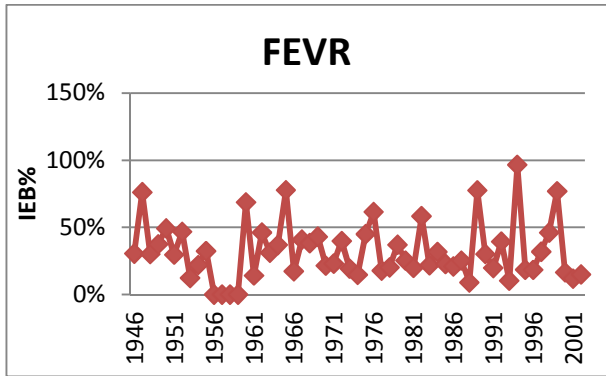
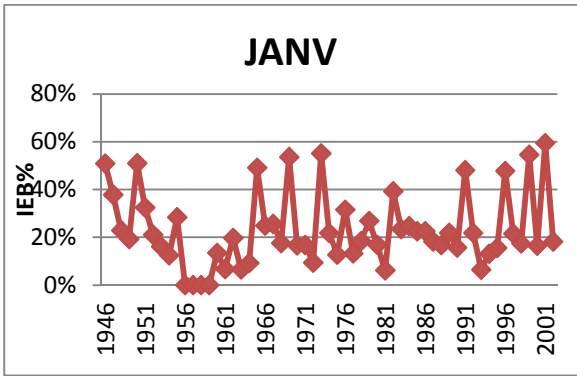
OUED EL ABTAL



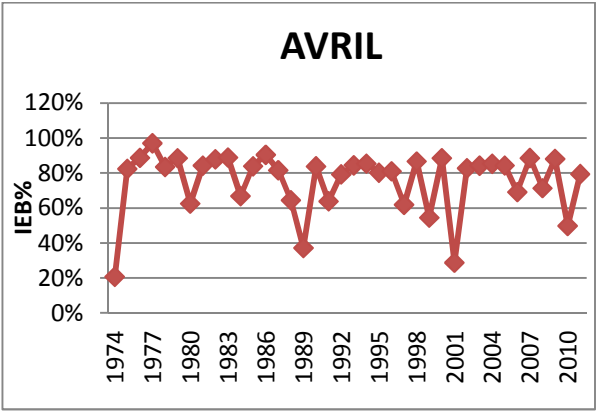
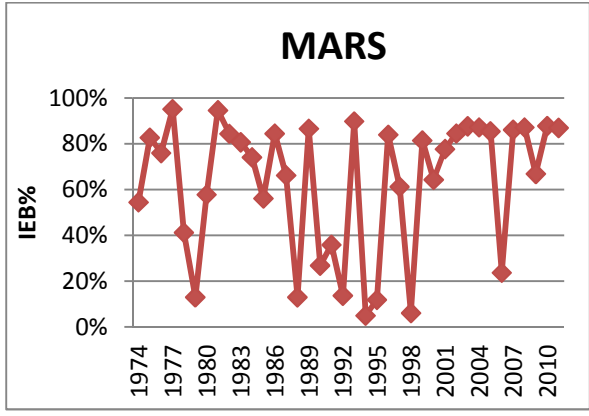
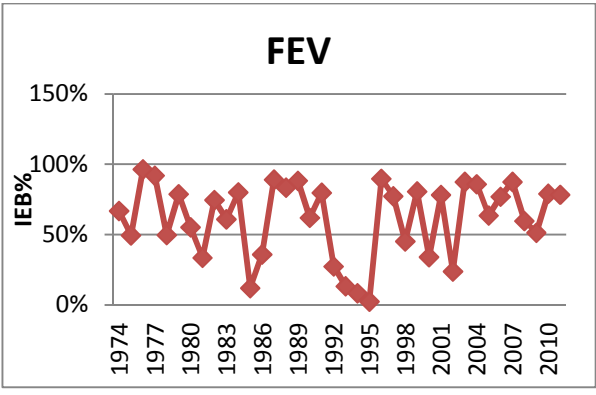
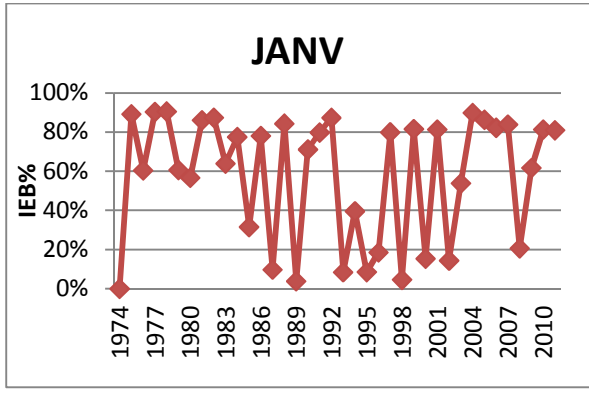
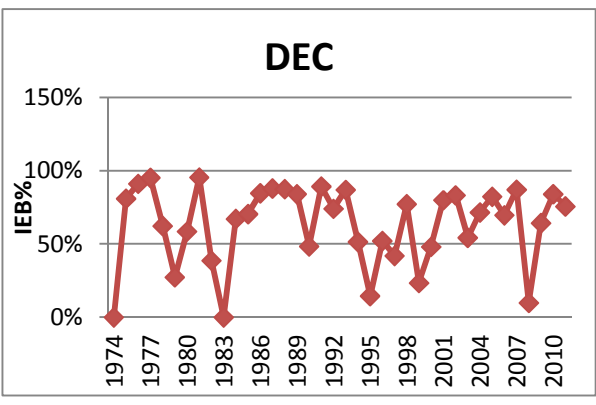
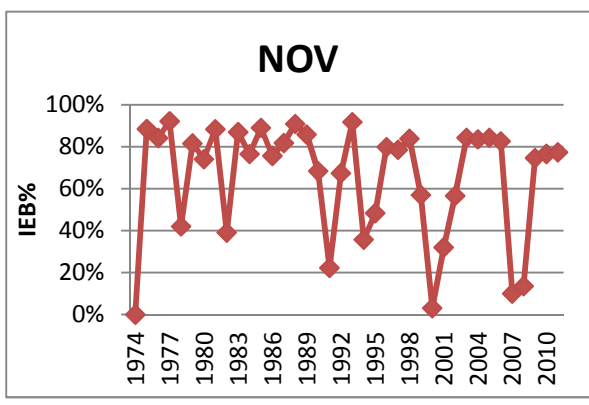
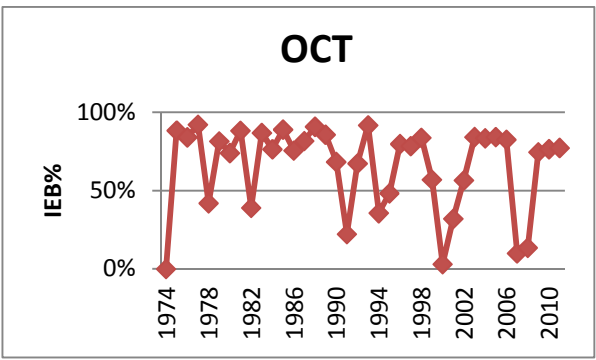
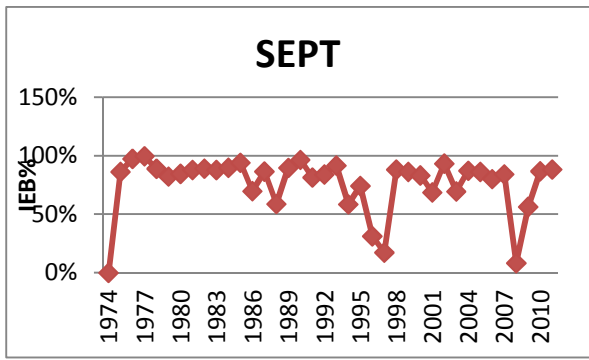


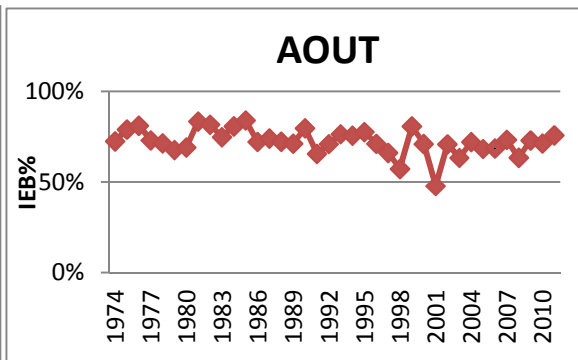
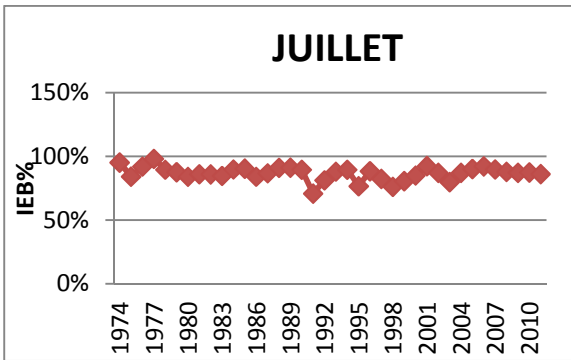
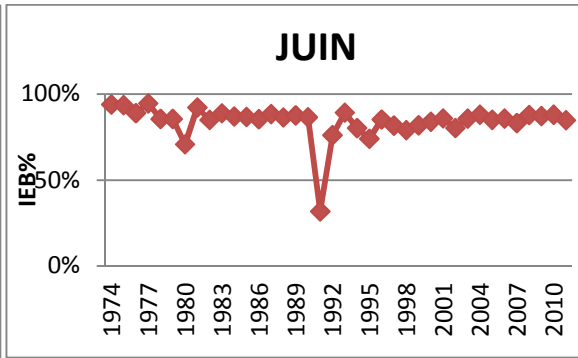
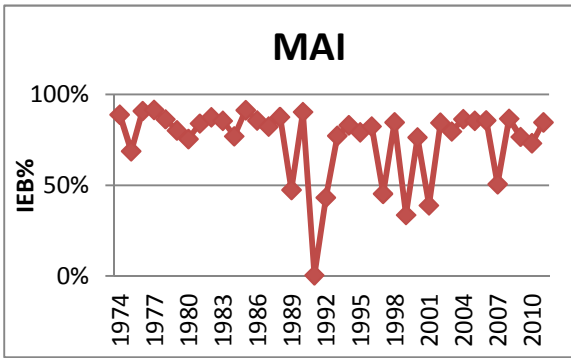
AIN EL ASSEL



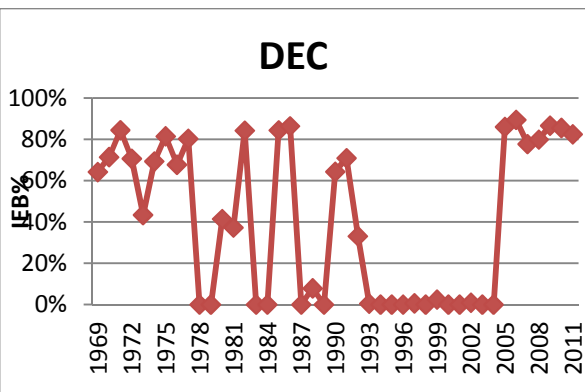
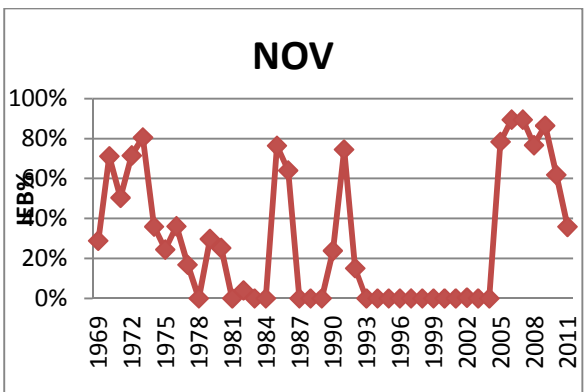
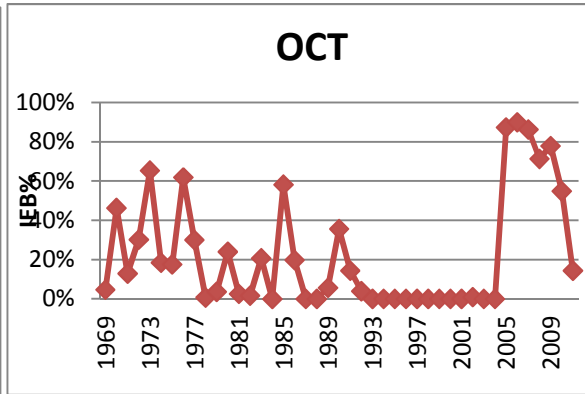
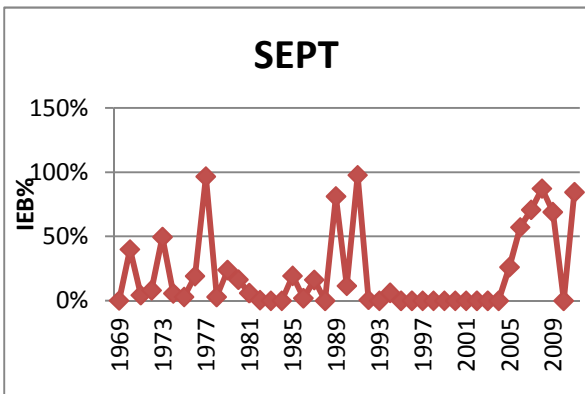


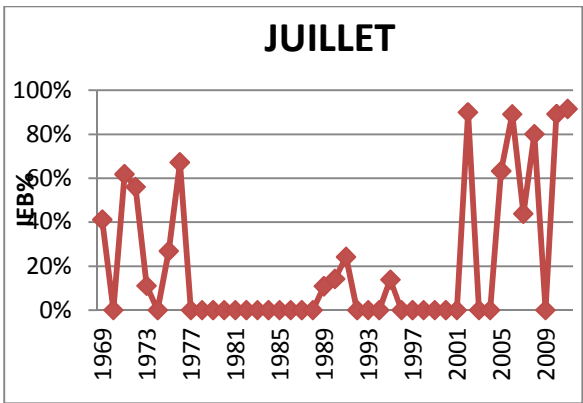
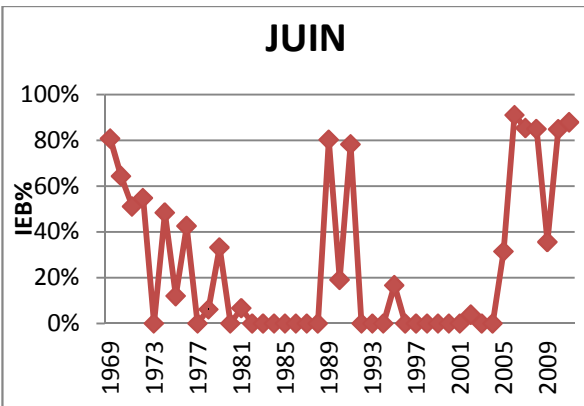
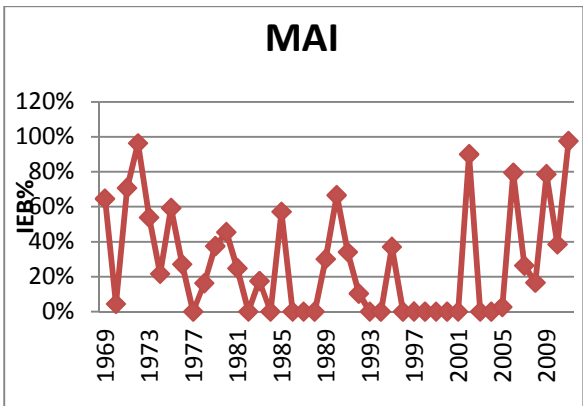
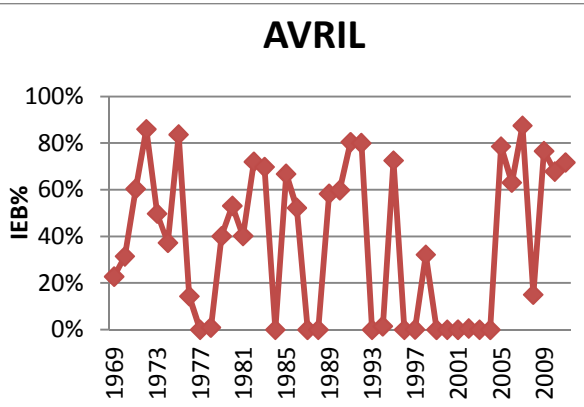
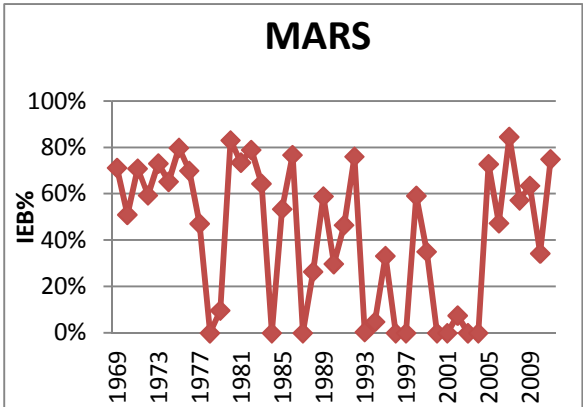
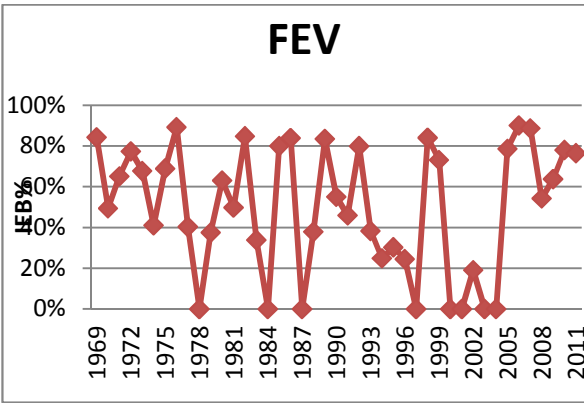
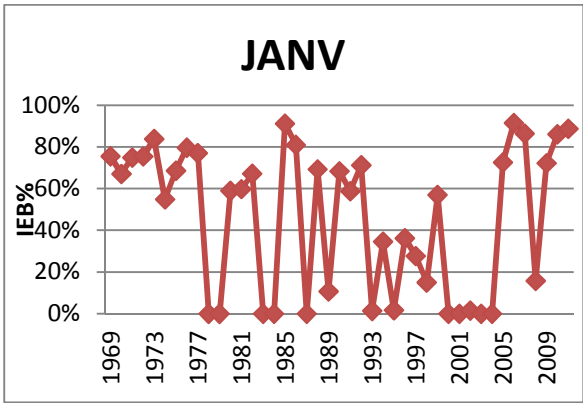
TURGO NORD



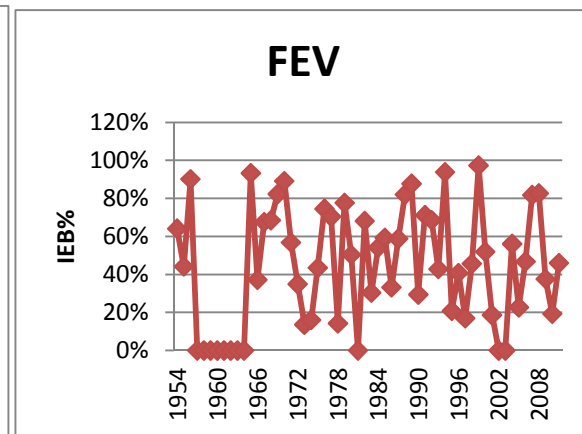
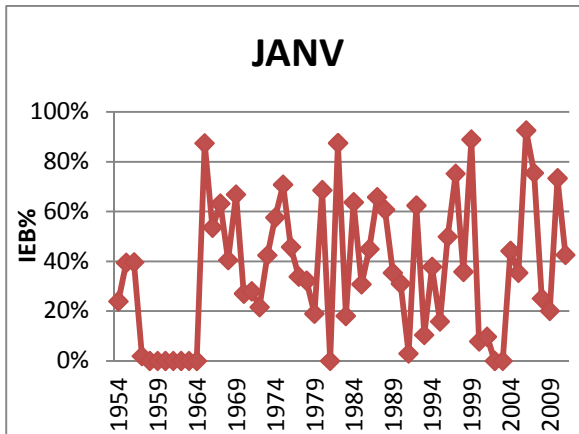
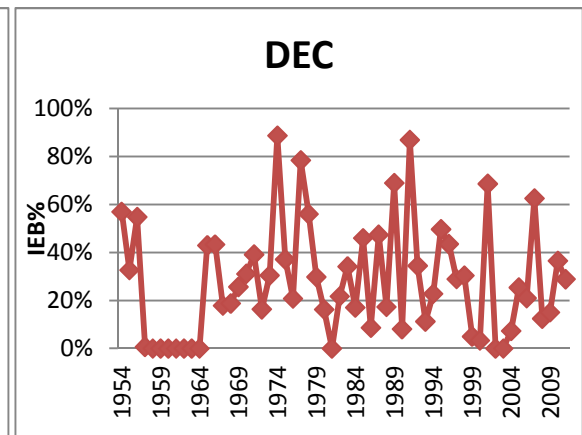
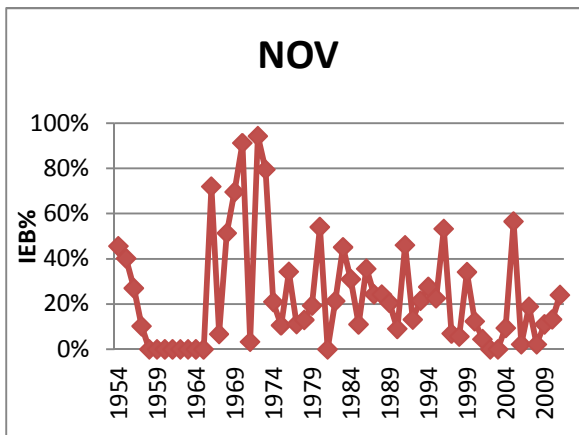
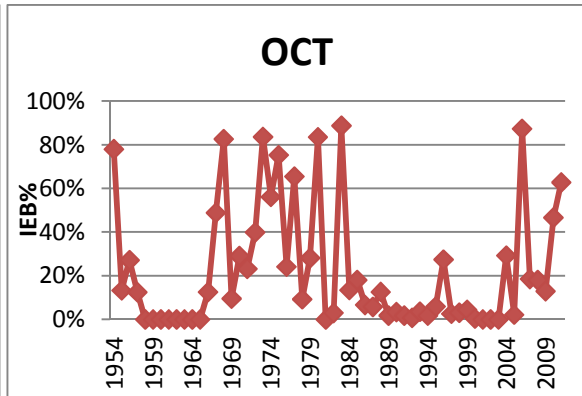
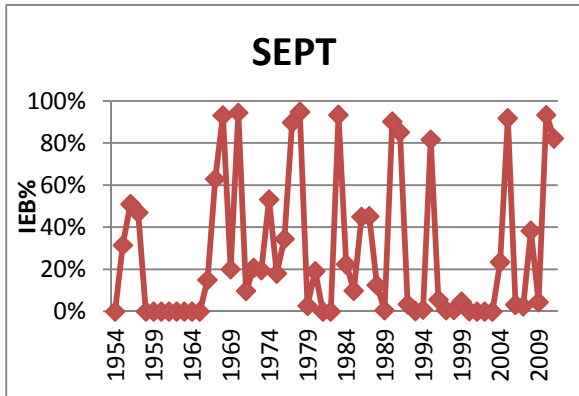


CHEMORAH

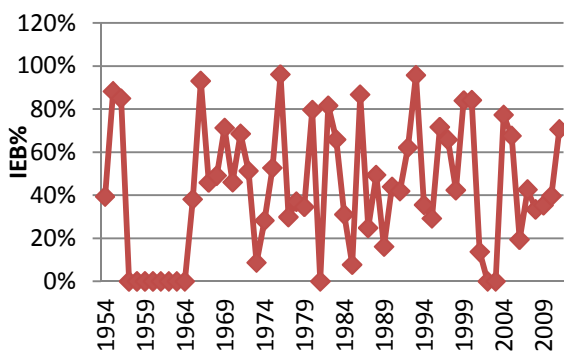




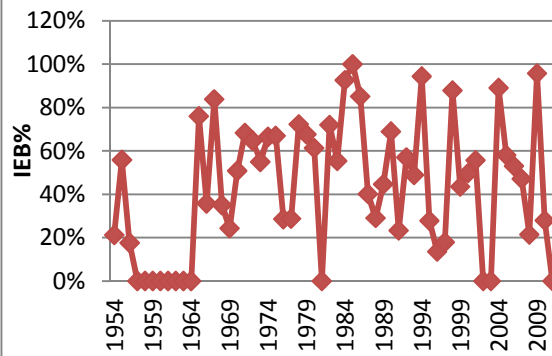
LAKHDARIA



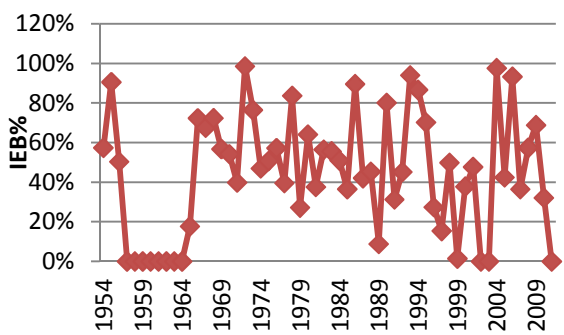
MARS



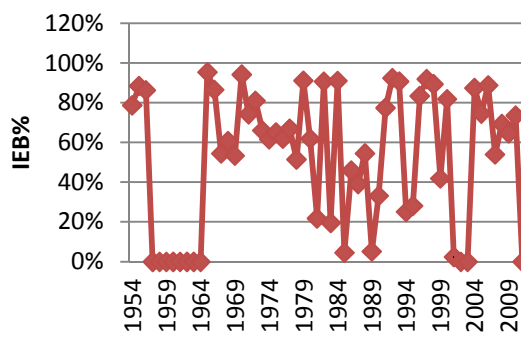
AVRIL



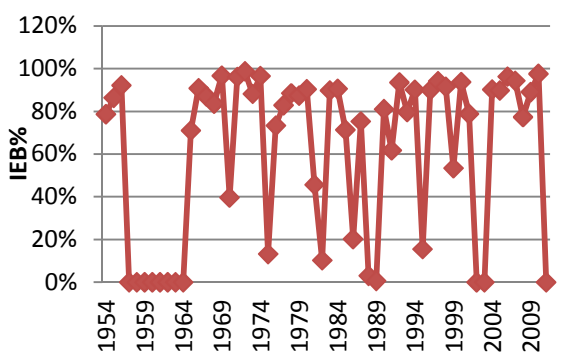
MAI



JUIN



JUILLET



AOUT

