

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Géologiques



MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master

En : Géologie appliquée

Spécialité : Hydrogéologie

Sous le thème :

Caractéristiques hydrologiques du bassin versant du Bas Sébaou (W.Boumerdès)

Réalisé Par : M^{elle} BENZAAD Sihem.

M^{elle} BOUDROUAYA Asma.

Soutenu publiquement, le 06/10/2022, devant le jury composé de :

M. DROUCHE A.	M.C.B/UMMTO	Président
Mlle YAHIAOUI S.	M.A.A/UMMTO	Promotrice
M. AMROUCHE F.	M.A.A/UMMTO	Co-promoteur
M. KARDACHE R.	M.C.A /UMMTO	Examineur

Année Universitaire: 2021/2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage et la volonté afin de rédiger ce modeste travail, que nous souhaitant qu'il soit estimable et réussi.

*En tout premier lieu, nous remercions **M^{lle} YAHIAOUI Salima**, notre*

*Promotrice, qui a encadré ce travail avec **M. AMROUCHE Farid** notre Co-promoteur*

*Nous tenons aussi à remercier le président et les membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer ce travail, et spécialement le chef de département **M. KARDACHE.***

Ramdan

Nous remercions tous les enseignants du Département des sciences géologique pour leurs aides, leurs informations et les encouragements durant les cinq années d'étude et tout le personnel de l'université.

Nous sommes reconnaissantes envers tous les membres de nos familles qui nous ont soutenus tout au long de nos études.

Enfin nous adressons nos meilleurs et chaleureux remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, sans oublier bien sûr nous camarades de notre promotion du master.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère mère et à mon cher père que dieu les
préserve; Mon très cher frère Omar;*

*Mes chères sœurs et leurs
époux ; Mes grands-parents que
dieu les préserve;*

*À ma grande famille, oncles, tantes, cousins et
cousines ; Tous mes amis (es) sans exception ;*

À toute la promotion 2021- 2022 ;

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

SIHEM

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

À Mes chers parents,

Ma chère mère, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance.

Mon cher père, pour son soutien indéfectible durant tout mon cursus qu'il soit moral ou matériel.

Mes très chères frère Yasser et Zakaria ;

À ma grande famille, oncles, tantes, cousins et cousines ; Tous mes amis (es) sans exception ;

À toute la promotion 2021- 2022 ;

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Asma

Liste des abréviations

A :	Superficie (Km ²).
ANRH:	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
BV :	Bassin versant.
Ct :	Coefficient de torrencialité
DS :	Dénivelée spécifique.
ETP :	Evapotranspiration potentielle.
ETR :	Evapotranspiration réelle.
Ie :	Infiltration.
Ig :	Indice de pente globale.
Kc :	Indice de capacité de Gravelius.
Ma_x :	Maximale.
Mi_n :	Minimale.
Mo_y :	Moyenne.
ONM :	Office National de la météorologie.
P :	périmètre (km)
R :	Ruissellement.
SbV:	Sous bassin versant.
T_c :	Temps de concentration
V_r :	Vitesse de ruissellement

Tables des matières	
Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstrcat	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : présentation de la zone d'étude	
1 Introduction.....	2
2 Cadre géographique et administratif de la région d'étude.....	2
3 Etude des caractéristiques du sous Bassin versant du Bas Sébaou.	4
3.1 Paramètres de forme.....	4
3.1.1 Superficie et périmètre.....	4
3.1.2 Indice de compacité de Gravelius (k_c)	4
3.1.3. Rectangle équivalent	5
4 Caractéristiques Hypsométriques.....	5
4.1 Courbe hypsométrique.....	5
4.1 Les altitudes caractéristiques.....	7
5 Indice de pente global I_g :	7
6 Réseaux hydrographique et ses caractéristiques.	7
7 Densité de drainage (D_d) (Tab I.4) :	8
8 Temps de concentration (T_c) (Tab I.4) :	9
9 Vitesse de ruissellement (V_r) (Tab I.4) :.....	9
10 Coefficient de torrentialité (C_t) (Tab I.4) :.....	9
11 Conclusion	10
Chapitre II Géologie et hydrogéologie	Error! Bookmark not defined.
1 Introduction.....	11
2 Géologie de la région	11
2.1 Les grands ensemble structurant	12
2.1.1 La chaine du Djurdjura :	12
2.1.2 Le socle kabyle :.....	12
2.1.3 La chaine littorale	12
2.1.4 Le synclinale marneux du Miocène 'post-nappes'	13
2.2 La lithologie.....	13
2.2.1 Le socle cristallophyllien (socle Kabyle).....	13
2.2.2 La dorsale kabyle	14
2.2.3 L'oligo-miocène kabyle	14
2.2.4 Les flysches de l'unité d'Afir	14
2.2.5 L'unité Numidienne	14
2.2.6 L'unité tellienne de Dellys.....	15
2.2.7 L'Olistostrome (ou argiles à blocs).....	15

2.2.8	Les formations post-nappes.....	15
2.2.9	Les formations quaternaires.....	15
2.3	La tectonique	16
3	Contexte hydrogéologique.....	18
3.1	Description de la nappe alluviale du Bas Sébaou	18
3.1.1	Structure et géométrie de l'aquifère :	18
3.1.2	Conditions aux limites.....	18
a.	Limite imperméable ou étanche.....	18
b.	Limites hydrodynamiques :.....	19
3.2	Étude de la piézométrie	19
3.3	Etudes qualitative de l'eau de la nappe Sébaou.....	19
3.3.1	Les paramètres physico-chimiques	21
3.3.1.1	La température	21
3.3.1.2	Potentiel hydrogène :	22
3.3.1.3	Conductivité électrique.....	23
3.3.2	Les échantillons prélevés de Bas Sébaou mesuré au laboratoire.....	24
4	Conclusion	25
	Chapitre III : Etude hydroclimatologique	
1	Introduction.....	26
2	Etude des paramètres climatiques	27
2.1	La pluviométrie.....	27
2.1.1	La pluviométrie moyenne mensuelle	27
2.1.2	La pluviométrie moyenne annuelle	28
2.2	Etudes des températures	30
2.2.1	La température moyenne mensuelle.....	30
2.3	Etudes de L'humidité	31
2.4	Etudes des vents.....	32
3	Diagramme Ombrothermique	32
4	Étude de l'évapotranspiration	33
4.1	L'évapotranspiration potentielle ETP	34
4.1.1	Formule de Thornthwaite.....	34
4.1.2	Formule de serra :.....	34
4.2	L'évapotranspiration réelle ETR	35
4.2.1	Formule de turc.....	35
4.2.2	Formule de Coutagne.....	35
4.3	Bilan hydrologique selon C.W.Thornthwaite 1948	36
4.4	Le calcul de l'ETR par méthode de Thornthwaite	37
4.5	Récapitulation des résultats	37
5	Etude du Ruissellement «R»	38
6	Etude de l'infiltration.....	38
7	Conclusion	39

Chapitre IV_ Modélisation hydrologique dans le Bas Sébaou

1	Introduction.....	41
2	Aperçu théorique.....	41
	2.1 Définition modélisation hydrologique	42
	2.2 But et Objectif de modélisation hydrologique.	43
	2.3 Type de modélisation hydrologique	43
	2.3.1 Selon la nature de variable	43
	2.3.2 Suivant la nature des relations utilisées	44
	2.3.3 Suivant la manière de représenté le milieu	45
3	Modélisation pluies-débits.....	46
	3.1 But et Objectif de modélisation Pluies-débits	46
	3.2 Les types des modèles pluies-débit	46
	3.2.1 Les modèles génie rural GR.....	46
	3.2.2 Le modèle CREC	47
	3.2.3 Le modèle neuroflou	47
	3.2.4 Le modèle TOPMODEL.....	47
	3.2.5 Le modèle MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète.....	48
	3.3 Choix du modèle.....	48
	3.4 Le modèle pluie-débit GR2M au pas de temps mensuel.....	49
	3.4.1 Application de la modélisation pluies/débits avec le modèle GR2M sur le BasSébaou.....	50
	3.4.2 Choix du modèle et les bases de données utilisées.....	50
	3.4.3 Les étapes de la modélisation.....	51
	3.4.4 L'efficacité de cette modélisation.....	51
	3.4.5 Résultats de simulation hydrologiques.....	52
	3.4.5.1 Résultats numériques du calage et de validation.....	52
	3.4.5.2 Les résultats graphiques du calage (sept 1989-aout 1995)	52
	3.4.5.3 Résultats graphique de calage/validation (sept 1989-aout 2000)	53
	3.4.5.4 Résultats graphiques de la simulation hydrologiques dans le Bas Sébaou	54
	3.4.6 Interprétation des résultats de la simulation hydrologique dans le Bas Sebaou...	55
4	Conclusion	55
	Chapitre V : Quantification hydrologique du Bas Sébaou	
1	Introduction.....	56
2	Hydrométrie.....	56
	2.1 Les Apports liquides	57
	2.1.1 Répartition mensuelle des apports	57
3	Régime des débits :.....	58
	3.1 Régime annuelle	58
	3.2 Régime mensuelle.....	59
	3.2.1 Variation mensuelle des Débits et des pluies.....	59
	3.2.2 Variation mensuelle des Débits.....	60
	3.3 Régime saisonnières des débits.....	61
	3.4 Relation pluie-débit évacué.....	61

3.5	Corrélation débits précipité débits évacué.....	63
4	Conclusion :.....	64
	Conclusion générale.....	66
	Références	
	bibliographiques	
	Annexe	

Liste des tableaux

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Tableau.1 :	Répartition des tanches d'altitude en fonction de la surface	5
Tableau.2 :	Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Bas Sébaou.....	7
Tableau.3 :	Classification des reliefs de l'ORSTOM.....	7
Tableau.4 :	Récapitulatif des caractéristiques de la zone d'étude.....	10

Chapitre II : Géologie et hydrogéologie

Tableau .1 :	les donné piézométrique de la vallée de Bas Sébaou.....	20
Tableau.2 :	Les valeurs de températures de l'eau et de l'air mesuré pour la période 2022.....	21
Tableau.3 :	Les valeurs Ph mesurée au Bas Sébaou pour la période 2022.....	22
Tableau.4 :	Les avalures de conductivité (Mai 2022).....	23
Tableau.5 :	Les résultats des paramétré physicochimiques (Mai 2022).....	25

Chapitre III : Etude hydroclimatologique

Tableau.1 :	Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées (ANRH)	26
Tableau.2 :	La pluviométrie moyenne mensuelle (mm) des stations utilisées pour la période (1985-2012).....	28
Tableau.3 :	La pluviométrie moyenne annuelle, période (1985/2012)	29
Tableau.4 :	Températures moyennes mensuelles T(C°) de la station de Dellys (ONM Dar El-Beida)	30
Tableau.5 :	Moyenne mensuelle de l'humidité (2000-2005)	31
Tableau.6 :	Vitesse moyenne mensuelles du vent (m/s) dans la station de Dellys (1994-2010)	32
Tableau.7 :	Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Dellys période (1994-2012)	33
Tableau.8 :	Calcule d'ETP par la méthode de Thornthwaite la période 1989-2012 stations Tizi-Ouzou.	34
Tableau.9 :	Calcule d'ETP par la méthode de serra la période 1989-2012 stations Tizi-Ouzou.....	35
Tableau.10 :	l'ETR par la formule de Truc période (2000-2013) station de Tizi-Ouzou.....	35
Tableau.11:	Calcule de l'ETR par la par formule de Coutagne période.....	36

Tableau.12:	Bilan de Thornthwaite eu fonction de l’ETP de Thornthwaite période (1989-2012) station de Tizi-Ouzou.	37
Tableau.13:	Récapitulation des résultats des paramètres du bilan hydrologiques période 1989-2012).	38
Tableau.14 :	Récapitulation des résultats du bilan hydrologiques période (1989-2012) station de Tizi-Ouzou	39

Chapitre IV: Modélisation en hydrologie

Tableau IV.1 :	Base de données utilisée dans la simulation hydrologique de cette étude.	51
Tableau IV.2 :	Etapas de modélisation suivit dans cette étude49.....	51
Tableau IV.3 :	Résultats de la simulation hydrologiques dans le sous bassin versant du Bas Sebaou (périodes de calage et de validation)	52

Chapitre V : Analyse hydrologique au Bas Sébaou

Tableau V.1 :	Caractéristiques des différentes stations hydrométriques.	56
Tableau V.2 :	Répartitions mensuelles des apports et des débits à la station de Baghlia et Oued Assi (RN30) pour la période (1986-2000).	57
Tableau V.3 :	ariation des débits annuels (m ³ /s) à la station de Baghlia et de l’Oued-Aissi (RN30) période (1989-2012).....	58
Tableau V.4 :	Répartitions mensuelles des précipitations et des débits à la station de Baghlia (1989-2012).	59
Tableau V.5 :	Variation des débits mensuels (m ³ /s) des stations du Baghlia et Oued Aissi (RN30) (1989-2012)	60
Tableau V.6 :	Répartition des régimes saisonniers des débits.	61
Tableau V.7 :	Variation des débits et précipitations annuelles à la station de Baghlia 1989-2012.	62

Liste des Figures

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Figure.1 :	Sous bassin versant de la vallée de sebaou (ANRH.2022).....	3
Figure.2 :	Situation géographique du bassin de Bas Sébaou et limites administratives.....	3
Figure.3 :	La courbe hypsométrique du sous bassin versant Bas Sébaou.....	6
Figure.4 :	Carte hypsométriques du bassin versant du Bas Sébaou.....	6
Figure.5 :	Carte de réseau hydrographique de sous bassin versant du Bas Sébaou...	8

Chapitre II : Géologie et hydrogéologie

Figure.1 :	Situation de la zone étudiée dans l'orogénèse alpine péri-méditerranéenne (M Durant Delga, 1969).....	11
Figure.2 :	Carte des grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M.Durand Delga, 1969).....	13
Figure.3 :	Carte géologique 1/50 000 de Tizi-Ouzou – Dellys (publiée en 1984 par Institut National de Cartographie).....	16
Figure.4 :	Carte géologique 1/50 000 de Tizi-Ouzou – Dellys (publiée en 1984 par Institut National de Cartographie).....	17
Figure.5 :	Carte de la nappe alluviale du bassin versant de l'oued Sébaou (Ballah, 2014).....	18
Figure.6 :	Carte piézométrique au Bas Sébaou	21
Figure.7 :	Hydrogramme de températures mesurée au Bas Sébaou.....	22
Figure.8 :	Hydrogramme de PH mesurée au Bas Sébaou.....	23
Figure.9 :	Les valeurs de conductivité au Bas Sébaou (Mai 2022).....	24

Chapitre III : Etude hydroclimatologique

Figure.1 :	Situation du BV du Sébaou et des stations hydro climatiques (ANRH Tizi-Ouzou.2022).....	27
Figure.2 :	La pluviométrie moyenne mensuelle (mm) des stations utilisées (1985/2012)	28
Figure.3 :	Histogramme de la pluviométrie moyenne annuel des stations utilisées période (1985-2012).....	30
Figure.4 :	histogramme des températures moyennes mensuelles T(C°) Période (1994-2010).....	30
Figure.5 :	Histogramme d'humidité relative de l'air période (2000-2005).....	31
Figure.6 :	Histogramme de vitesses du vent (m/s) période (1994-2010).....	32
Figure.7 :	Diagramme Ombrothermique de Gausse de la station de Dellys période (1994-2012).....	33
Figure.8 :	Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1989-2012) station de Tizi-Ouzou.....	37

Chapitre IV : Modélisation hydrologique dans le Bas Sébaou

Figure.1 :	Classification des modèles basées sur la description du processus (Singh.. 1995).....	42
Figure.2 :	Classification des modèles basée sur les échelles de temps et d'espace (Singh.. 1995).....	42
Figure.3 :	Cycle de l'eau dans le logiciel MIKE SHI	48
Figure.4 :	Schéma de la structure du modèle GR2M	50
Figure.5 :	Hydrogramme de crue pour la période de calage du modèle GR2M durant (sept 1989-aout 1995).....	52
Figure.6 :	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés période du calage du modèle GR2M durant (sept 1989-aout 1995).....	53
Figure.7 :	Hydrogramme de crue pour la période de calage et de validation du modèle GR2M durant (sept 1989-aout 2000).....	53
Figure.8 :	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés période de validation du modèle GR2M durant (sept 1994-aout 2000).....	54
Figure.9 :	Hydrogramme de crue de la simulation hydrologique avec modèle GR2M durant (sept 1989-aout 2012).....	54

Chapitre V : Analyse hydrologique au Bas Sébaou

Figure. 1 :	Apports liquides (hm^3) au niveau du Station de Baghlia et Oued Assi (RN30) pour la période (1986/200).....	57
Figure.2 :	Variation des débits interannuels (m^3/s) aux différentes stations.....	59
Figure.3 :	relation précipitations débit mensuelles à la station de Baghlia (1989-2012).	59
Figure.4 :	Variation mensuelle des débits (m^3/s) (1989/2012).....	60
Figure.5 :	Variation saisonnières des débits (m^3/s) (1989/2012).....	61
Figure.6 :	Relation précipitation débits évacué à la station de Baghlia période 1989/2012	62
Figure .7 :	Corrélation précipitation/Débits à la Station de Baghlia 1989_2012.....	63

Résumé

L'objectif de cette étude est la caractérisation hydrologique par le biais de la modélisation hydrologique, appliquée dans le sous bassin versant du Bas Sébaou. L'approche est basée sur la simulation hydrologique des débits lacunaires de la station de Baghlia afin de quantifier les écoulements de surface.

La synthèse actualisée des connaissances hydrologiques a permis l'exploitation des données climatologiques et hydrologiques par l'utilisation des méthodes empiriques, statistiques combinés à la modélisation hydrologique pluie-débit, en utilisant un modèle global à réservoir : le modèle du génie rurale « GR2M » au pas de temps mensuel.

Les résultats de simulation ont montré des performances assez élevées pour le bassin de Bas Sébaou, et qui peut être exploité dans d'autres bassins versant pour une meilleure gestion de la ressource en eau.

Mots clés : Bas Sébaou - modélisation - simulation - GR2M – apports liquides.

Abstract

The goal of this study is the hydrological characterization through hydrological modeling, applied in the Bas Sébaou sub-watershed. The approach is based on the hydrological simulation of lacunar flows from the Baghlia station in order to quantify surface flows.

The updated synthesis of hydrological knowledge allowed the exploitation of climatological and hydrological data by the use of empirical methods, statistics combined with hydrological rainfall-flow modeling, using a global reservoir model: the rural engineering model "GR2M". On a monthly time step.

The simulation results showed fairly high performance for the Bas Sébaou basin, which can be exploited in other watersheds for better water resource management.

Key words: Bas Sébaou - modélization- simulation - GR2M – liquid intake

Introduction générale

Introduction générale

La réponse hydrologique du bassin versant de l'Oued Sébaou est fortement liée aux conditions climatiques qui y règnent. Ces derniers influent aussi sur les eaux superficielles incluses dans ses cours d'eaux.

L'objectif de notre travail est de déterminer les caractéristiques hydrologiques du Bas Sébaou et d'étudier les relations pluie-débit par le biais des relations empiriques et statistiques combiné avec l'outil de modélisation hydrologique pluie-débit.

Le choix du modèle est principalement fonction des données climatiques disponibles dont la seule station hydrométrique de Baghlia existante dans le sous bassin versant du Bas Sébaou. Or cette étude est confortée aux données de débits lacunaires qui nécessitent une reconstruction avant tout traitement. Pour résoudre cette problématique on a eu recours à la simulation hydrologique avec le modèle de Génie Rural " GR " à deux paramètres au pas de temps mensuel ; GR2M.

Les paramètres climatiques qui représentent les entrées du modèle sont : les Précipitations P (mm), Température T (°C) l'évapotranspiration ETP (mm) et ainsi que les débits observés Q (m³/s).

Afin de réaliser ce travail, on a établi cinq (05) Chapitres complémentaires et qui se présentent comme suit :

Le premier chapitre, aborde la présentation de la zone d'étude, ainsi qu'un aperçu géomorphologiques et paramètres morphométriques du sous bassin versant du Bas Sébaou.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude géologique de la région, par la description lithostratigraphique et l'aperçu tectonique et hydrogéologique.

Le troisième chapitre s'intéresse à l'aspect hydroclimatologique de la zone d'étude afin d'étudier les paramètres suivants : (précipitation, évapotranspiration, Température, humidité, vitesse du vent, ruissèlement, et l'infiltration).

Dans le quatrième chapitre, nous présentons l'état de l'art de la modélisation pluie- débit, par l'application du modèle GR2M avec l'utilisation des données relatives au bassin versant de Bas Sébaou.

Le cinquième chapitre s'intéresse à l'analyse et la quantification hydrologique par l'étude hydrométrique.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

1 Introduction

La connaissance de la région d'étude ainsi que ses caractéristiques physiques et géographiques constituent des éléments essentiels dans le déroulement d'une étude hydrologique, et c'est dans ce contexte que se présente ce chapitre.

Le bassin versant qu'on va traiter dans notre travail est celui de Sébaou plus exactement la partie Bas du Sébaou. Dans ce chapitre on se focalise sur les caractéristiques morphométriques et hypsométriques afin d'étudier les particularités de la forme, réseau, relief, etc.

2 Cadre géographique et administratif de la région d'étude

Le bassin versant de l'oued de Sébaou est classé dans la nomenclature de l'ARNH parmi les bassins côtiers Algérois, sous le code 02. Il s'étale sur une superficie de 2500 km², aux environs de 80km à l'Est d'Alger.

Administrativement, le bassin versant englobe deux wilayas ; la wilaya de Tizi-Ouzou qui englobe le haut et le moyen Sébaou et la wilaya de Boumerdès dans laquelle se trouve le bas Sébaou avec une superficie de 220 Km² pour un périmètre de 62,6 Km.

Il est subdivisé en six sous bassins réparties de façon inégale sur le Haut, le Moyen et le Bas Sébaou (**Figure. 1**) :

- Sous bassin de l'Acif N'boubhir (02-15).
- Sous bassin de l'oued Sébaou Rebta (02-16).
- Sous bassin de l'oued Aissi (02-17).
- Sous bassin de l'oued Sébaou Sebt (02-18).
- Sous bassin de l'oued Bougdoura (02-19).
- Sous bassin de l'oued Sébaou Maritime (02-20), qui représente notre zone d'étude.

Notre terrain d'étude se trouve dans la wilaya de Boumerdès, à 90 km à l'est d'Alger en empruntant la nationale n°12 dans la partie avale de l'oued Sébaou qui s'étend sur 20 km environ depuis la ville de Tadmaït jusqu'à l'embouchure sur la mer méditerranée. Les coordonnées géographiques qui représentent le Bas Sébaou sont :

Latitude : 36° 54' 46" N, et Longitude : 3° 51' 25" E

Le Bas Sébaou est limité, au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par les communes de Tizi-Ouzou, à l'Ouest par les communes de Boumerdès (Figure.2) Il est intégré en totalité dans les communes de Baghliia, Taourga et Ben Choud et partiellement dans les communes de Dellys, Sidi Daoud, Ouled Aissa, Naciria, Tadmaït, Draa Ben Khedda et sidi Naamane.

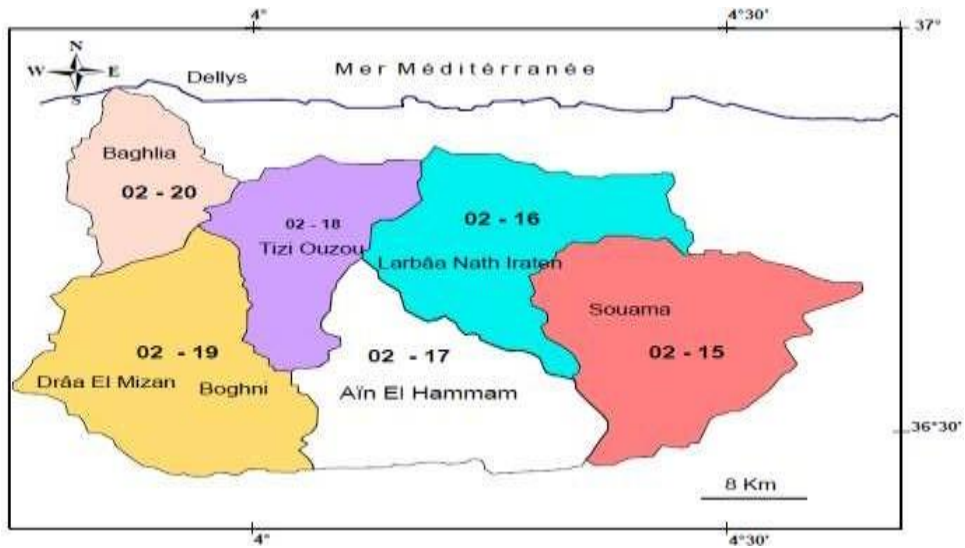


Figure.1: Sous bassin versant de la vallée de Sébaou (ANRH.2022).

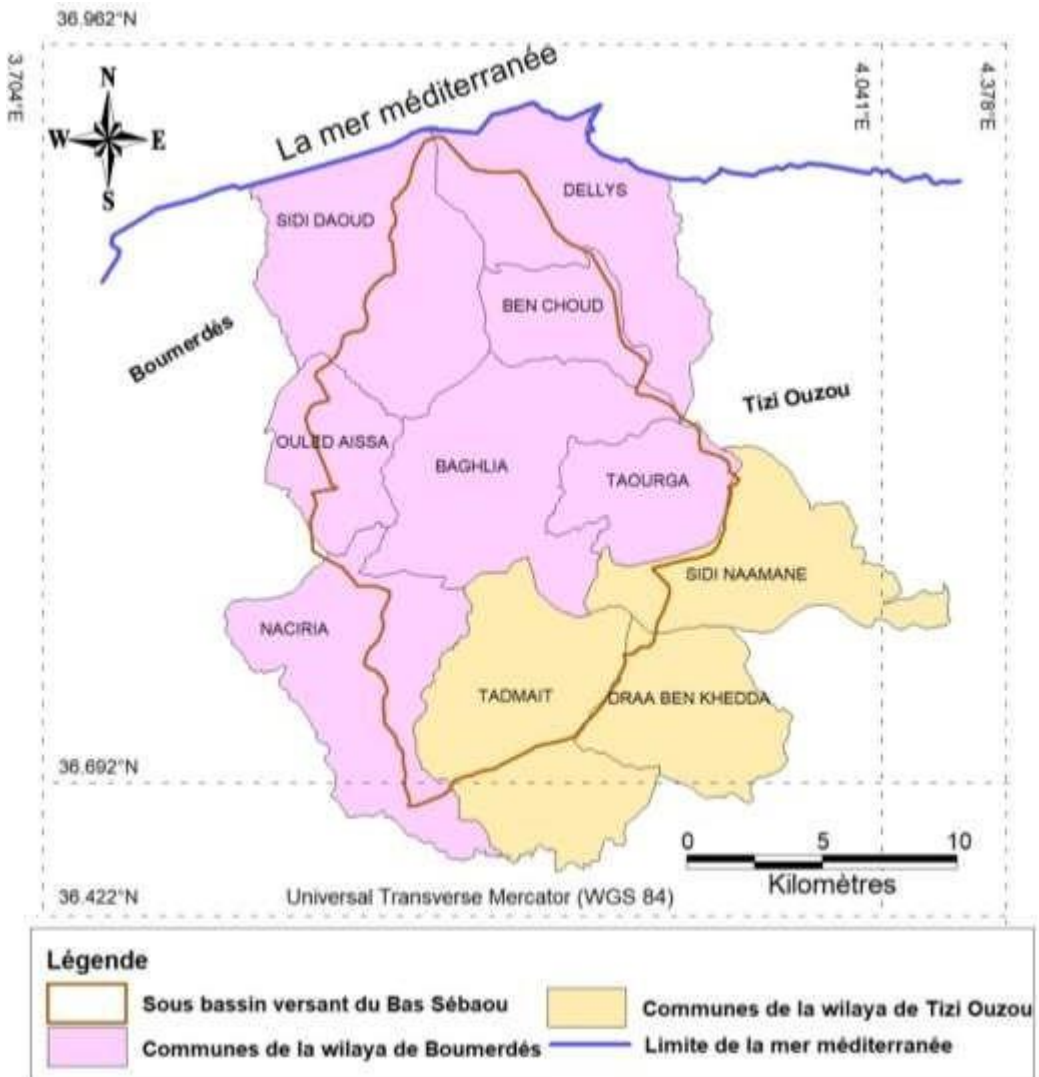


Figure.2: Situation géographique de bassin de bas Sébaou et limites administratives

3 Etude des caractéristiques du sous Bassin versant du Bas Sébaou.

Pour obtenir le contour du bassin versant (sous bassin versant), sa superficie et le réseau hydrographique, on a utilisé des cartes topographiques à l'échelle 1/50000 de Tizi- Ouzou et Dellys et les outils du système d'information géographique 'MAPINFO'.

3.1 Paramètres de forme

3.1.1 Superficie et périmètre

Ces deux paramètres sont obtenus grâce à l'utilisation du système d'information géographique 'MapInfo' (SIG).

Pour le sous bassin versant du Bas Sébaou :

- La superficie **S = 220 Km²** et le perimetre **P = 62,6 Km**.

3.1.2 Indice de compacité de Gravelius (k_c)

La forme du bassin versant exerce une influence considérable sur la concentration des débits résultant d'une pluie donnée, plus le bassin est ramassé plus le débit se concentre.

L'indice admis pour représenter cette caractéristique est l'indice de compacité de Gravelius Avec :

- K_c=1,0 bassin versant forme un cercle
- K_c=1,12 bassin versant forme un carré
- K_c=1,28 bassin versant forme un triangle équilatérale
- K_c >=1,5 bassin versant forme un rectangle allongé

K_c : L'indice de compacité, qui est défini comme étant le rapport du périmètre d'un BV au périmètre du cercle ayant la même surface. Il est exprimé par la formule suivante :

$$K_c = \frac{0,282 \times P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin en km.

A : surface du bassin versant en km².

Les valeurs respectives du périmètre p et de la superficie A sont :

$$P= 62,6 \text{ km}, A= 220 \text{ km}^2, K_c = 1,19$$

Cette valeur confirme que le **BV** est de forme ramassée, donc la concentration des eaux à l'exutoire se fait plus ou moins rapidement, ce qui favorise le ruissellement par apport à l'infiltration

3.1.3. Rectangle équivalent

Cette notion a été introduite par Roche 1963 pour pouvoir comparer des bassins versant entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement, Ces bassin en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité. Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement

Longueur de rectangle équivalent "L"

$$L = k_c \frac{\sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2}\right)$$

Largeur de rectangle équivalent "l"

$$l = k_c \frac{\sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2}\right)$$

Les résultats : L= 20,64 km

$$l = 10,64 \text{ km} \approx 10,65 \text{ km}$$

4 Caractéristiques Hypsométriques.

4.1 Courbe hypsométrique

Les paramètres des courbes hypsométriques permettent de déterminer le volume partiel et total du relief. Cette courbe a été tracée en fonction des superficies cumulées en pourcentages et de leurs altitudes correspondantes. Elle permet, entre autres, d'obtenir la valeur de l'altitude médiane et l'indice de pente global I_g du bassin versant.

Les données nécessaires pour l'établissement de la courbe hypsométriques (Figure.3) sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau.1 : Répartition des tanches d'altitude en fonction de la surface

Altitudes		S (Km)	% S	% S Cumulée
0	100	77,21	33,79	100,00
100	200	62,49	27,35	66,21
200	300	38,75	16,96	38,86
300	400	21,38	9,36	21,90
400	500	13,70	6,00	12,54
500	600	5,93	2,59	6,54
600	700	3,88	1,70	3,95
700	800	3,49	1,53	2,25
800	876	1,65	0,72	0,72

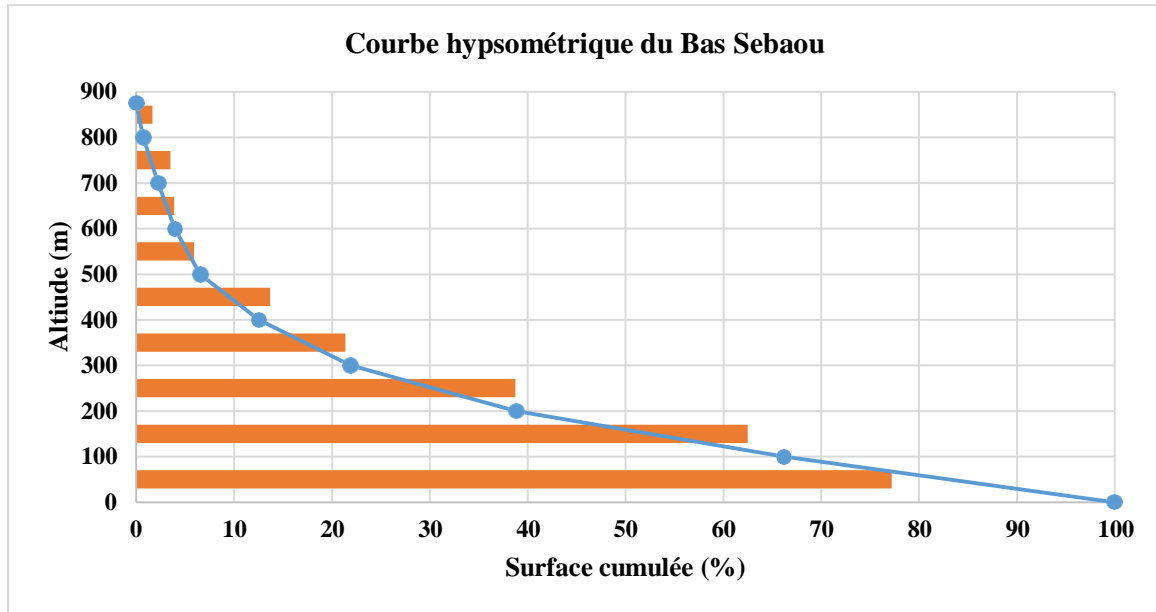


Figure.3 : la courbe hypsométrique du sous bassin versant Bas Sébaou

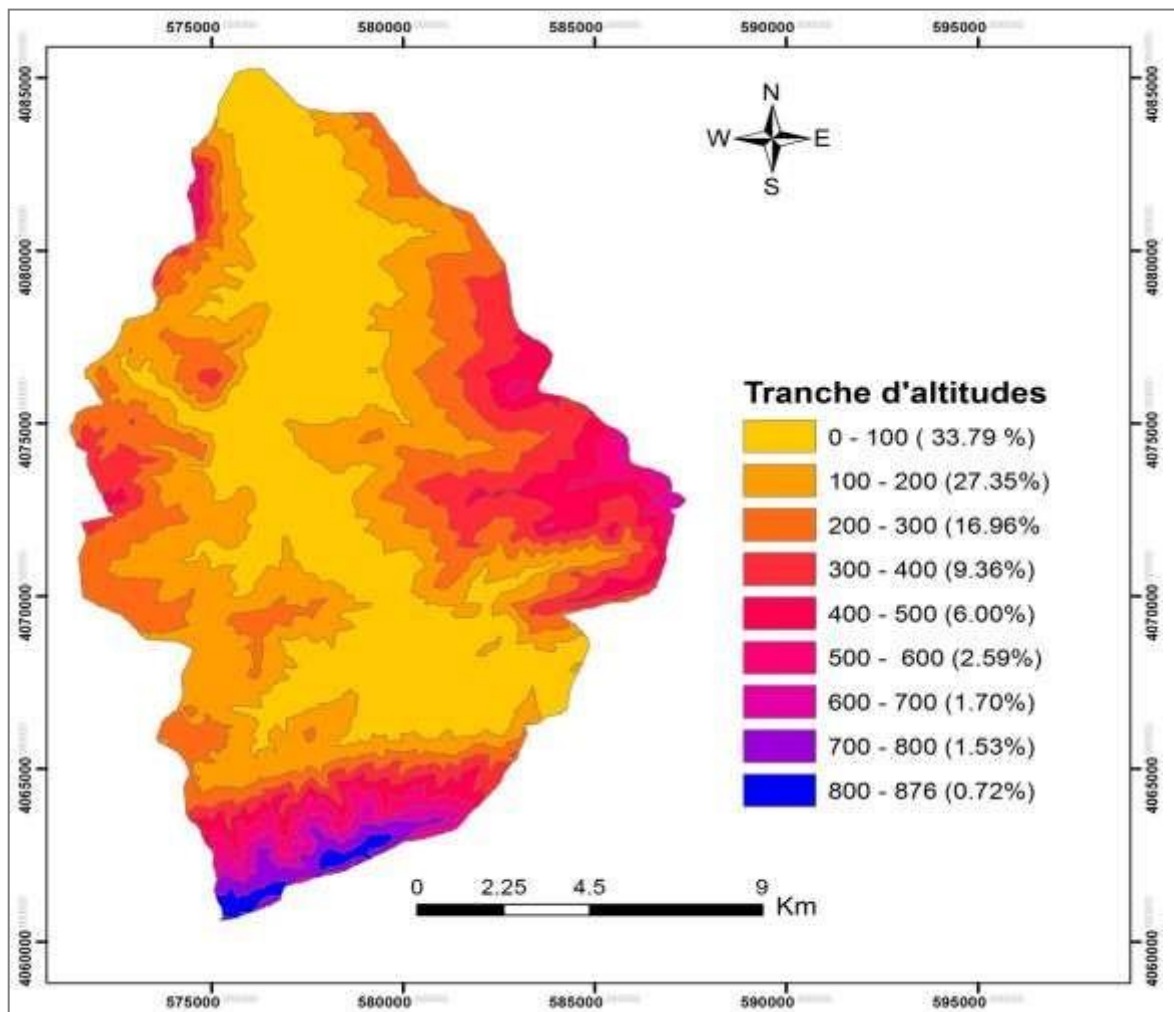


Figure.4 : Carte hypsométriques du bassin versant du Bas Sébaou.

4.1. Les altitudes caractéristiques

Les altitudes caractéristiques sont déduites avec l'utilisation de la courbe hypsométrique et les résultats sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

Tableau.2 : Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Bas Sébaou.

Paramètres	Valeurs (m)
L'altitude minimale (H_{Min})	0
L'altitude maximale (H_{Max})	876
L'altitude moyenne (H_{Moy})	202,88
Altitude à $H_{5\%}$	560
Altitude à $H_{50\%}$	160
Altitude à $H_{95\%}$	15

5 Indice de pente global I_g :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ représentent respectivement les fractales 5^{ème} et 95^{ème} de la courbe hypsométrique et L la longueur de rectangle équivalent.

Le calcul donne un résultat de $I_g = 0.0115 = 1.15 \%$

Tableau.3 : classification des reliefs de l'ORSTOM

Classe	Pente	Type de relief
R1	$I_g < 0.002$	Relief très faible
R2	$0.002 < I_g < 0.005$	Relief faible
R3	$0.005 < I_g < 0.01$	Relief assez faible
R4	$0.01 < I_g < 0.02$	Relief modéré
R5	$0.02 < I_g < 0.05$	Relief assez fort
R6	$0.05 < I_g < 0.1$	Relief fort
R7	$0.1 < I_g$	Relief très fort

D'après la classification L'OSTROM du (Tableau .3), le relief du bassin versant du Sébaou est de type modéré.

6 Réseaux hydrographique et ses caractéristiques.

L'oued Sébaou est le principal oued de la région, traversant toute la plaine alluviale. Depuis sa source Djurdjura orientale jusqu'à l'embouchure en mer méditerranée caractérisé par un réseau hydrographique très dense, et un drainage qui s'effectue par une multitude d'oueds :

- Les oueds de la rive droite proviennent de la chaîne littorale, l'oued Dis avec le plus fort débit, prend sa source du djbel Tamgout et débouche dans l'oued Sébaou juste après son premier coude majeur à la hauteur de Fréha.
- Les oueds de la rive gauche prennent naissance dans le socle Kabyle

Divers paramètres sont utilisés pour caractériser le réseau hydrographique parmi, les plus importants nous citons, la densité de drainage (D_d), le rapport de confluence (R_c), le rapport des longueurs (R_l), la fréquence des cours d'eau (F_s) et le temps de concentration (T_c).

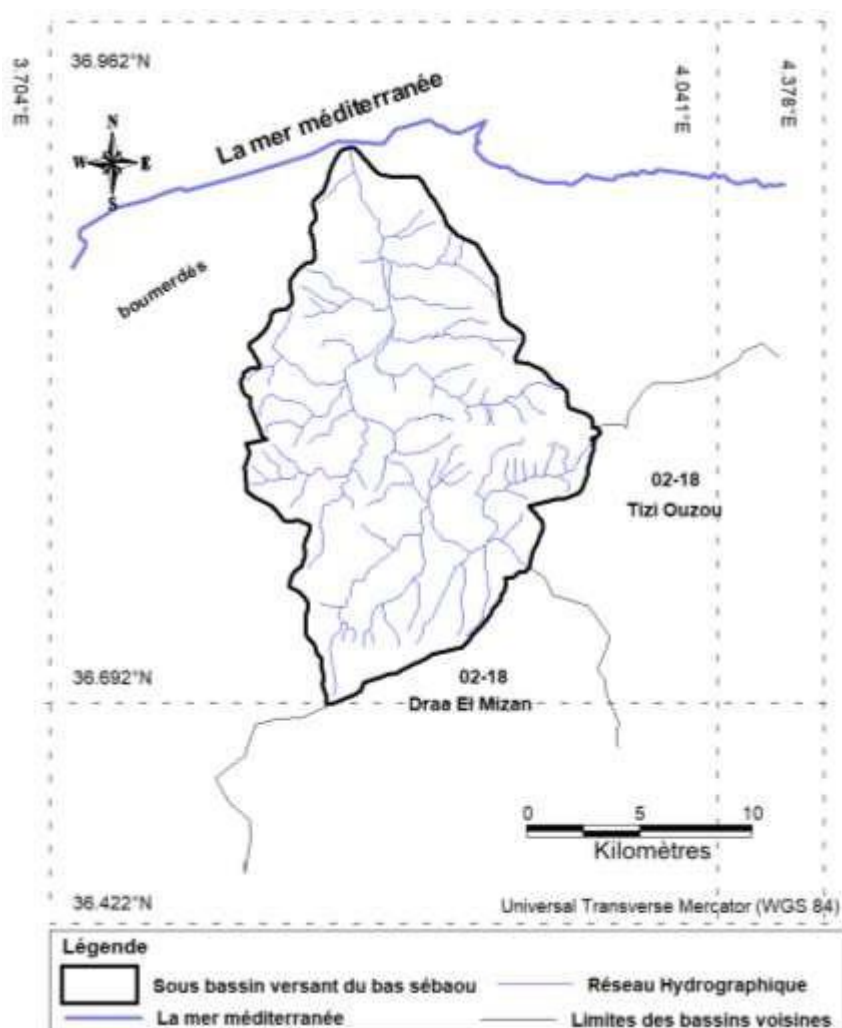


Figure.5 : Carte de réseau hydrographique de sous bassin versant du Bas Sébaou.

7 Densité de drainage (D_d) :

La relation de la densité de drainage est donnée par la formule suivante

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$$

Avec :

L_i : longueur totale des cours d'eau d'ordre i (km).

n : l'ordre le plus élevé dans la classification.

A : La surface de bassin (km²)

8 Temps de concentration (T_c) :

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il existe plusieurs formules. Dans le contexte Algérien et pour les grands bassins versants, il peut être calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration (Heure)

A : La surface de bassin (km²)

L : Longueur du thalweg principal (Km)
 H : Altitude moyenne du bassin (m)

9 Vitesse de ruissellement (V_r) :

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel. Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$V_r = L / T_c$$

Où :

L : longueur du thalweg principal
 T_c : Temps de concentration

10 Coefficient de torrentialité (C_t) :

Il est étroitement lié à la densité de drainage. Il donne une idée sur le comportement du réseau de drainage.

$$C_t = D_d \times F_1$$

Où :

D_d : Densité de drainage.

F_1 : Fréquence des cours d'eau d'ordre 1

11 Conclusion

La brève description de la région d'étude a permis d'avoir une vision globale sur l'étendue et l'importance de cette dernière. En effet le comportement hydrologique du bassin versant, dépend de plusieurs facteurs morphométriques et hypsométriques.

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant du Bas Sébaou, étendue sur une superficie de 220 km², nous montrent qu'il est de forme ramassée avec un relief modéré. Drainé par un oued principal qui traverse toute la plaine alluvial qui s'appelé

" Oued Sébaou".

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau.4 : Récapitulatif des caractéristiques de la zone d'étude

Caractéristiques	Notation	Valeur	Unité	Appréciation
Superficie	A	220,00	km ²	
Périmètre	P	62,60	Km	
Indice de compacité de Gravelius	K _c	1,19	/	Bassin Versant de forme ramassée
Longueur du rectangle équivalent	L	20,64	Km	
Largueur du rectangle équivalent	l	10,65	Km	
Altitude maximale	H _{max}	876,00	m	
Altitude minimale	H _{min}	0,00 m	m	
Altitude moyenne	H _{moy}	202,88	m	
Altitude 5%	H _{5%}	460,00	m	
Altitude à H_{50%}	H _{50%}	160,00	m	
Altitude 95%	H _{95%}	32,00	m	
Indice de pente global	I _g	0,0115	/	Relief modéré
Longueur de chevelu		92,00	Km	
Densité de drainage	'Dd'	2,70	/	
Coefficient de torrentialité	'Ct'	19,60	/	
Temps de concentration	'Tc'	17,00	Heure	
Vitesse de ruissellement	'Vr'	5,41	Km/heure	

Chapitre II
Géologie et hydrogéologie

1 Introduction

Le bassin versant du Sébaou a été étudié par plusieurs chercheurs afin d'établir une description géologique détaillée de la région, ainsi que des tracés de cartes et de coupes géologiques représentant toutes les formations qui affleurent à la surface du sol et identifiant tous les horizons aquifères.

La géologie de la région de Bas Sébaou est similaire à la géologie régionale de Nord- Est algérien, elle fait partie intégrante du tell septentrional qui est caractérisé par la grande diversité de ses roches et de ses structures, quatre grands ensembles géologiques et neuf formations litho-stratigraphiques de différents âges et de formations différentes distinguent ce sous bassin.

Les résultats de l'étude géologique permettent une description de la nappe du Bas Sébaou et de ses limites.

2 Géologie de la région

Le sous bassin versant étudié est constitué par des formations d'âge paléozoïque quaternaire affectées par une tectonique souple et cassante. L'orogénèse alpine est la plus caractéristique de la région.

Le bassin miocène occupant la grande zone synclinale qui s'étend principalement d'Azazaga à Dellys résulte des cycles orogéniques (mécanismes de formation des montagnes) hercyniens et alpins.

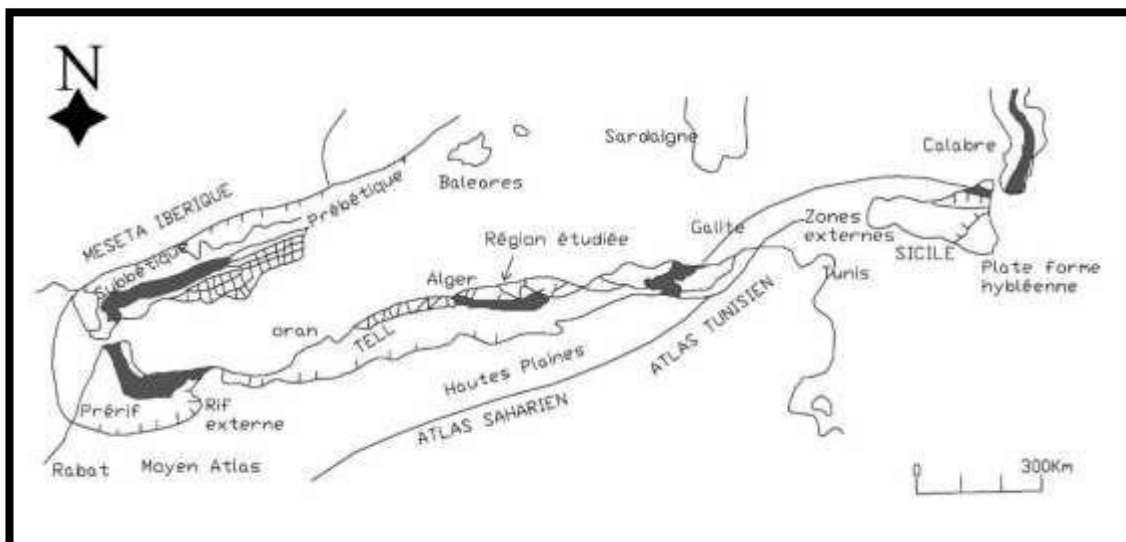


Figure.1 : situation de la zone étudiée dans l'orogénèse alpine péri-méditerranéenne (M Durant Delga, 1969).

Notre zone d'étude se situe dans la partie centrale de l'orogénèse nord-magrébin on y distingue : les zones internes (Domaine kabyle), les zones externes (Telliennes), les domaines des flysch (Figure.1).

2.1 Les grands ensemble structurant

2.1.1 La chaine du Djurdjura :

La chaine du Djurdjura culmine à Lala Khadija 2308 m et Ras Timedouine 2305 m. Lachaine de Djurdjura se présente sous forme d'un arc étroit et peu étendu et qui s'achève par un élément isolé.

2.1.2 Le socle kabyle :

Le socle Kabyle domine le bassin de Tizi Ouzou au nord et assure la transition avec la chaine du Djurdjura au sud. Ce sont des terrains cristallins et cristallophylliens d'âge Paléozoïque (D. Delga, 1956) qui constituent le substratum de la dorsale.

2.1.3 La chaine littorale

Elle forme la limite septentrionale du bassin versant avec des altitudes de 600m à l'ouest et de 1278m à l'est. Cette unité morpho structurale est très complexe et sa formation est directement liée aux nappes de flyschs qui constituent le jalon unifiant le pourtour méditerranéenne.

2.1.4 Le synclinale marneux du Miocène 'post-nappes'

C'est le seul matériel autochtone de la région, représenté essentiellement par les grés et les limons du miocène 'Post-nappe' (M.Ben Hassainne ,1980).

Dans sa partie médiane s'allonge une série de chaîons de socle alignés, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

- L'Alignement Nord :
 - Massif de Naciria à l'Ouest
 - Massif de Draà Karouche à l'Est
- L'Alignement Sud :
 - Sidi Ali Bounab et Belloua à l'Ouest
 - massif d'Aïssa Mimoun à l'Est

Et à l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat orientée E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

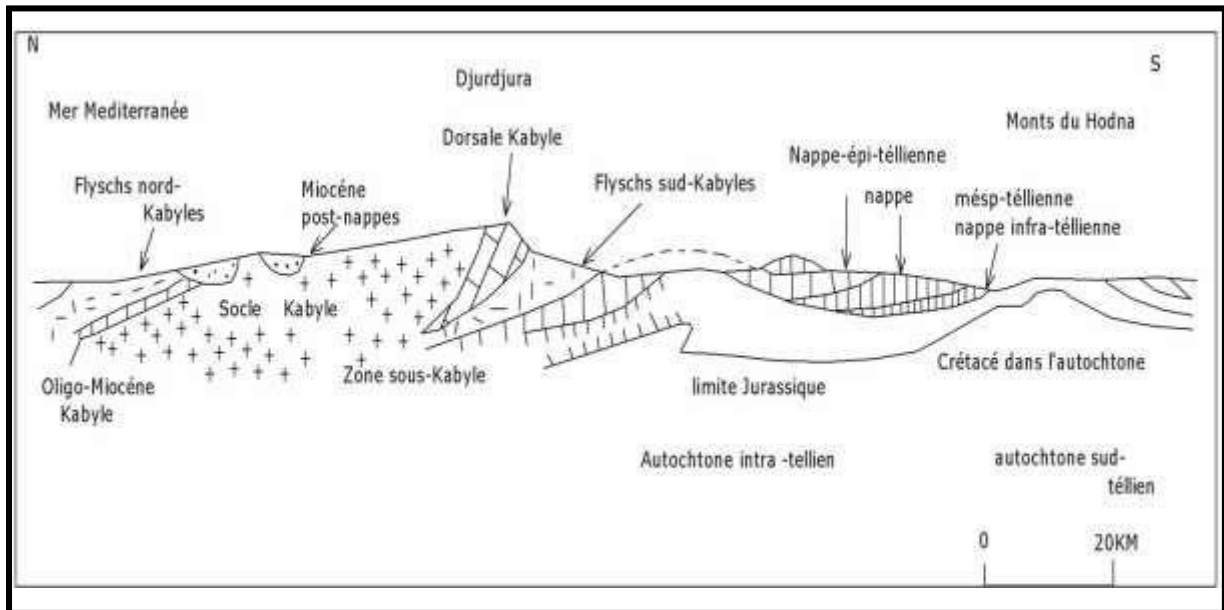


Figure.2: Carte des grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie
(D'après M.Durand Delga, 1969)

2.2 La lithologie

La carte géologique à l'échelle 1/50000 montre que la région d'étude est caractérisée par les formations litho-stratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien (socle Kabyle).
- La chaîne calcaire (dorsal Kabyle).
- L'oligo-miocène
- L'unité Numidienne.
- Les flysch.
- L'unité Tellienne de Dellys.
- L'Olistostrome ou "argiles à blocs».
- Les formations post-nappes.
- Les formations quaternaires.

2.2.1 Le socle cristallophyllien (socle Kabyle)

Il est subdivisé en trois ensembles :

- Le cristallophyllien inférieur, formé essentiellement de gneiss avec des intercalations de marbres et d'amphibolites.

- Le cristallophyllien supérieur, formé par des schistes satinés ou phyllades à quartz d'exsudation alternant localement avec des grés, des porphyroïdes ocellés et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- La couverture sédimentaire paléozoïque, est représentée par des formations pélitiques gréseuses et carbonatées peu ou pas métamorphiques.

2.2.2 La dorsale kabyle

La dorsale kabyle qui représente la couverture du socle kabyle, limite le domaine interne au nord du domaine des flysch au sud. Elle se subdivise elle-même, en trois dorsales : interne, médiane et externe. Cette unité appelée aussi chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) est formée de terrains carbonatés datés du permo-Trias à l'Oligocène.

2.2.3 L'oligo-miocène kabyle

Le terme Oligo-Miocène Kabyle regroupe les ensembles de formations détritiques discordantes sur le socle Kabyle ; les formations sont datées de l'oligocène Terminal au Miocène basal.

Cette formation est constituée de la base au sommet par des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiés, selon les lieux. L'oligo-miocène Kabyle affleure à Ain El Bir au nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine à Azib Bou Moussa, dans la région de Draà El Mizane, Oudhias et dans la région de TaboudaMréira (D.Raymond, 1976 ; J.P.Gélard, 1979).

2.2.4 Les flyschs de l'unité d'Afir

Il est composé de 2 unités et affleure au SE de Dellys, dans la région d'Afir et d'Azeffoun

- a) L'unité inférieure d'Afir : C'est un complexe comportant de bas en haut (M. Aigoun 2014)
 - Un flysch périto-qartzitique d'Age berriasien à Albien
 - Un niveau de phatanites (cénomaniens)
 - Un complexe de faible épaisseur comportant des argiles, des microconglomérats, et des calcaires
- b) L'unité supérieure d'Afir : Ce complexe a pour base des phatanites cénomaniens, surmonté d'un flysch crétacé supérieur tendre avec une alternance d'argiles et microconglomérats à ciment argileux flysch à microbrèches (D.Raymond, 1976)

2.2.5 L'unité Numidienne

C'est une série de type flysch d'âge Oligo-Miocène comportant toute une partie des trois

termes de la série numidienne ; les argiles sous numidiennes à la base, les grés numidiens et les formations supra-numidienne constituées d'argiles et de marnes intercalées.

2.2.6 L'unité tellienne de Dellys

Cette unité est représentée essentiellement dans le secteur situé entre Baghliia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé supérieur à Eocène. L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et de marnes, on distingue :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien).
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur).
- Des marnes noires.

2.2.7 L'Olistostrome (ou argiles à blocs)

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) lités ou chaotique dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs (Olistolites) de taille variable d'âge Aquitanien supérieur-Burdigalien inférieur (J.P.Bouillin, 1973). Cette formation affleure à Kouanine et Draa Karrouche .Elle affleure aussi sur la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azazaga – Ain El Hammam.

2.2.8 Les formations post-nappes

Les formations post-nappe regroupent les terrains d'âge Miocène et Pliocène déposées après la mise en place des nappes de glissement au nord du socle Kabyle.

Le miocène: il occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys. Au Burdigalien terminal, il présente de bas en haut; des marnes puis des conglomérats surmontés par la molasse et se termine par des marnes.

Les roches volcaniques : au sein des molasses Miocènes, apparaissent des roches volcaniques (basaltes, rhyolites et tufs) qui affleurent au Djebel Takdempt, à l'Est du Dj.Bouberak dans la région de Guennama et au versant Nord du massif de Naceria.

Le Pliocène : Le pliocène repose en discordance sur le Burdigalien supérieur ; il est représenté par des marnes gris-clair dans la région de Dellys (vallée de l'oued l'Arbaa et à Djerabet).

2.2.9 Les formations quaternaires

Elles sont représentées dans l'oued Sébaou par des dépôts alluvionnaires anciens et récents ; ce sont des dépôt de galets, sables grossiers et fins, gravier, limons et argiles qui se présentent sous forme de terrasses emboîtées ou étagées au niveau de bas Sébaou.

Le remplissage quaternaire essentiellement fluviatile constitue le meilleur aquifère de la région, C'est l'Aquifère du bas Sébaou.

2.3 La tectonique

Grâce aux travaux réalisés par D.Raymond 1976, D.Delga 1969 et J.P.Gelard 1979, Nous pouvons reconstituer brièvement la chronologie des événements tectonique importants ayant affectés notre région d'étude.

La phase pré-orogénique qui commence dès le Trias et se poursuit jusqu'à l'Eocène, est caractérisée par plusieurs transgressions sur la partie méridionale de la région ramenant des dépôts de sédiments argileux, schisteux et gréseux avec des mouvements locaux notés au cours de cette période (discordance, fractures, plissements) qui ne paraissent pas liés à des phénomènes généraux.

La période orogénique va du début de l'Eocène jusqu'à la fin du Miocène. Au lutétien (émersion du socle Kabyle) se manifestent un écaillage, et on assiste à des dépôts très fins de marnes et d'argiles.

Durant l'Eocène supérieur et l'Oligocène, on observe des décharges conglomératiques, avec un indice de discordance dans la zone des flysch.

Au Burdigalien moyen on remarque la mise en place de dépôts des séries micacées issues de l'érosion du socle kabyle en continuité de sédimentation marneuse et argileuse.

Le Burdigalien terminal est marqué par un réseau de fracturation très dense découpant le Nord-Est de la grande Kabylie, et l'abondance relative des failles dans certains secteurs. Une faille d'orientation N°070 entre Tadmait et Baghlia, l'oued sébaou suit le tracé d'un décrochement et une deuxième d'orientation N°140 qui sépare l'ensemble de naciria-Sidi Ali Bounab.

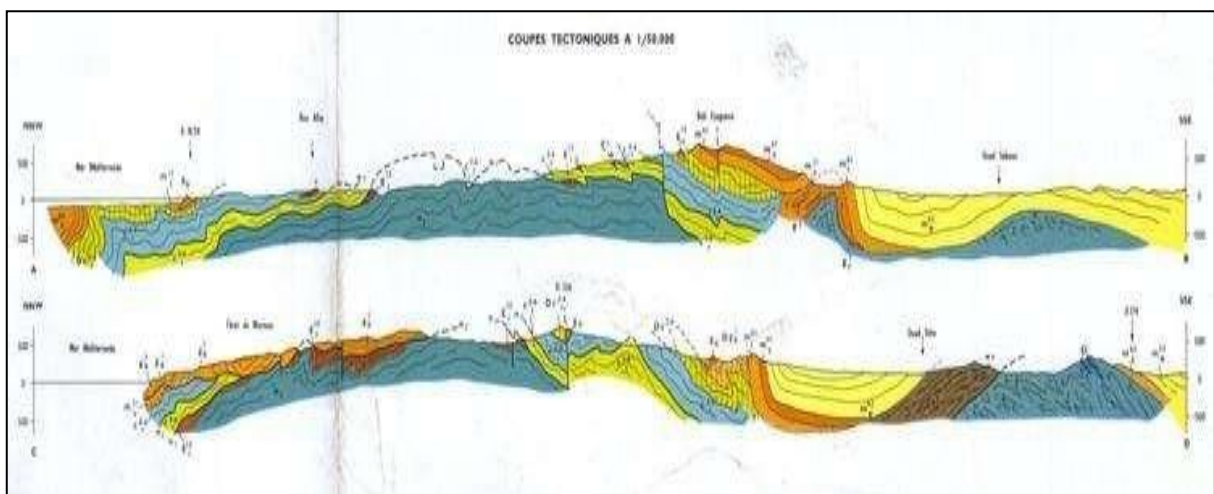


Figure.3 : Coupes géologiques 1/50 000 extraite de la carte géologique de Tizi-Ouzou – Dellys (publiée en 1984 par Institut National de Cartographie

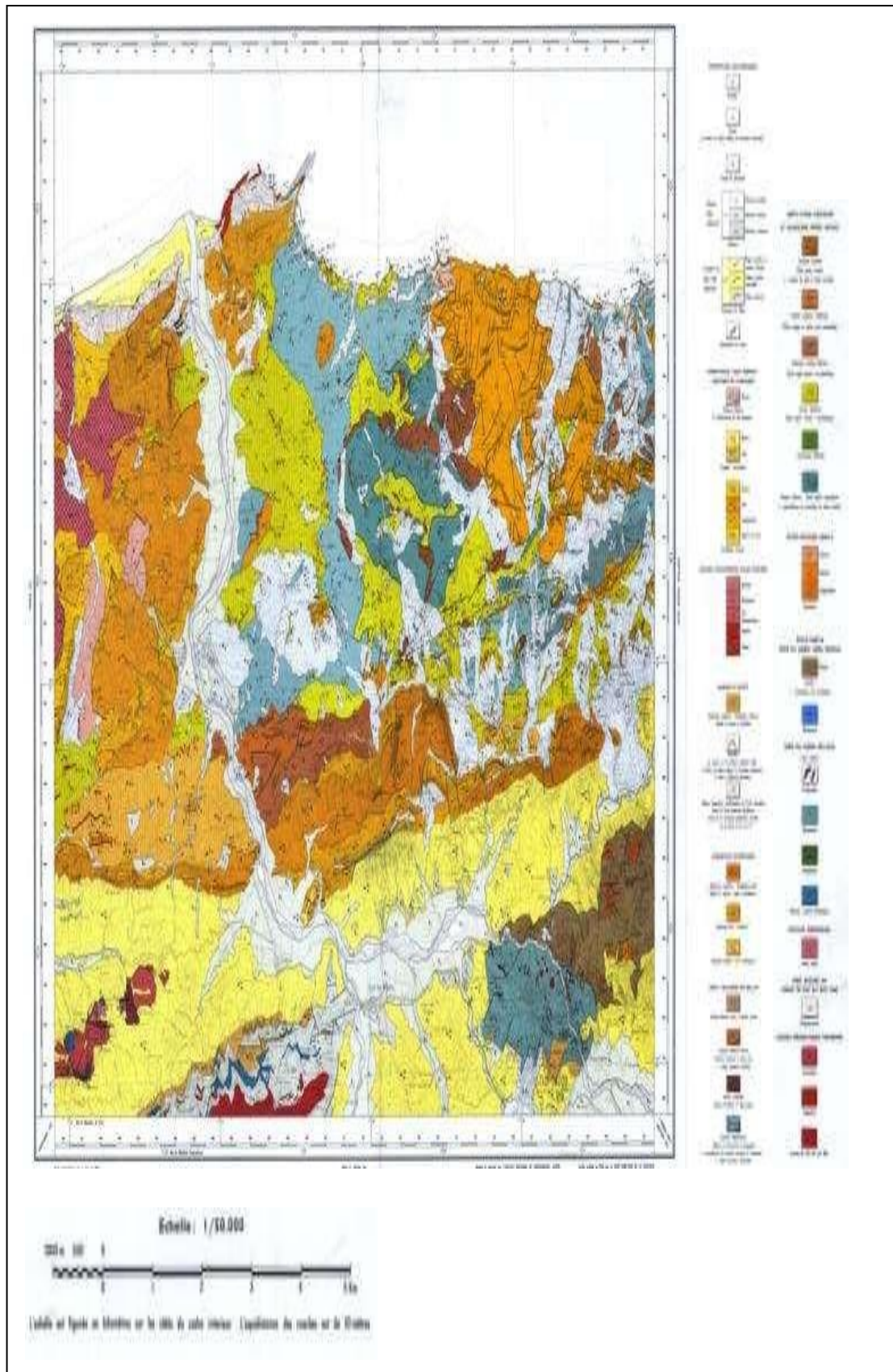


Figure.4: Carte géologique 1/50 000 de Tizi-Ouzou – Dellys (publiée en 1984 par Institut National de Cartographie).

3 Contexte hydrogéologique

3.1 Description de la nappe alluviale du Bas Sébaou

3.1.1 Structure et géométrie de l'aquifère :

Il s'étend du seuil de Belloua à l'embouchure et représente le secteur où se concentre l'essentiel des réserves en eau souterraines. Dans ce secteur, le lit de l'oued est d'une largeur d'environ 300 m. la plus grande superficie est occupée par la première terrasse (niveau 10 à 30 m). La composition granulométrique des nappes aquifères est hétérogène. L'aquifère supérieur est formé par des sables grossiers, des graviers et des galets, il est d'une épaisseur de 5 à 20 m. il est constitué d'un matériel alluvial plus grossier (gravier, cailloux, galets et sable) (Raked .H ,2007)

Le profil hydrogéologique effectué dans la zone de Baghlia de la zone du Bas Sébaou montre l'existence de trois types de matériaux, des argiles, des sables et des graviers sableux. La coupe hydrogéologique montre une prédominance des matériaux de graviers et sables pour la couche superficielle et la couche de substratum, et une couche intermédiaire de sable (chadrine1974).

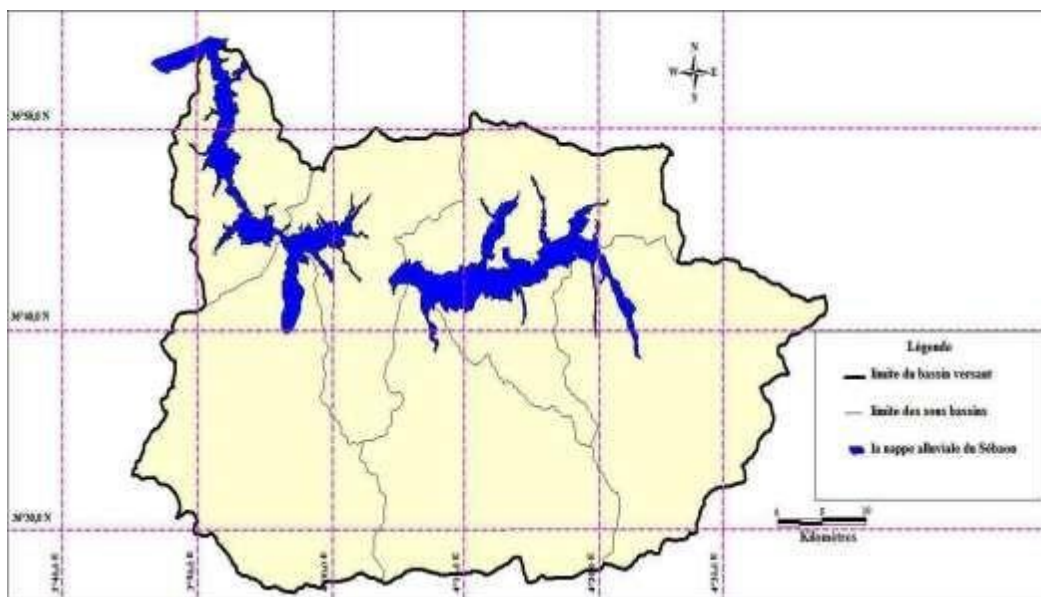


Figure.5 : Carte de la nappe alluviale du bassin versant de l'oued Sébaou (Ballah, 2014).

3.1.2 Conditions aux limites

L'étude des conditions aux limites qui n'est qu'esquissée dans notre travail a pour objectif de déterminer l'influence de certaines limites sur le comportement hydrodynamique du niveau de l'eau dans les ouvrages de captage.

a. Limite imperméable ou étanche

Ce sont des limites imposées par les structures hydrogéologiques. Aucun échange d'eau n'est possible. On peut les détecter sur la carte piézométrique par des courbes isopièzes perpendiculaires

à cette limite. Par ailleurs la carte géologique indique la répartition spatiale des faciès perméable (grés) et imperméable (argiles, grés). Ainsi la rive droite est quasiment étanche, sauf à Baghlia, où les éboulis peuvent receler de l'eau en hautes eaux. Il n'en va pas de même au niveau de la rive gauche, en particulier dans la région de Sidi Daoud, où sur une longueur de plus de 10 km, ce sont des grés et de conglomérats, formation poreuses, qui bordent l'aquifère.

b. Limites hydrodynamiques :

Limite à flux imposé : Elle est représentée par :

- La trace superficielle de la section aval de l'aquifère par où le débit entrant issu de la nappe du moyen Sébaou, coule vers le bas Sébaou.
- Les bordures du lit majeur de l'oued qui draine la nappe
- L'aire de dépression piézométrique dans la zone Ouled khddach_Sidi Daoud_Ben Choud.

Limite à potentiel imposé : Elle est matérialisée par la ligne de rivage, au contact de la mer, sur une longueur relativement limitée (2Km) (Aigoun C, 2014).

3.2 Étude de la piézométrie

La piézométrie de la vallée de Sébaou montre que la nappe est en relation hydraulique avec les eaux de surface drainées par l'oued et ces affluents. En basses eaux, l'oued alimente la nappe et en période des hautes eaux, il y a remontée du niveau de la nappe qui alimente ainsi le cours d'eau superficiel et ceci par endroit.

Les cartes piézométriques établies à de différentes périodes (ANRH 2000 et 2004) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentielles entre les hautes eaux et les basses eaux mais on remarque que le niveau piézométrique est en abaissement continu depuis 1999.

Les cartes piézométriques des hautes et basses eaux de la nappe du Sébaou réalisées par l'ANRH de Tizi Ouzou en 2004 montrent que :

Dans le bas Sébaou, à partir de Tadmaït les écoulements se font du Sud vers le Nord.

Sur les bordures, les lignes de courant convergent vers l'axe de la vallée alluviale.

3.3 Etudes qualitative de l'eau de la nappe Sébaou.

Un stage de terrain a été organisé par l'administration de notre département de géologie en faveur des étudiants de Master I le 27 mai 2022 et a été encadré par nos enseignants dans le but d'établir la campagne piézométrique (**Tableau.1**) et hydrochimique (**Tableau.5**) dans le sous bassin versant du Sébaou.

L'aquifère du Bas Sébaou est d'orientation NS et dont la matrice pétrographique hétérogène, d'âge quaternaire, est composée d'alluvions (graviers, sables, argiles et limons) reposant sur un substratum marneux daté du Miocène. Son extension latérale, souvent large, donne lieu à des terrasses emboîtées cumulant une épaisseur moyenne de 60 m et constituant des terrains très favorables à l'agriculture

Tableau.1 : Les résultats de mesures piézométriques de la vallée de Bas Sébaou.

CODE	NOM DE LA REGION	Latitude	Longitude	Z (m)	Ns (m)	Np (m)
PZ01 D	Baghlia 1	35°48'48''N	03°51'18,9''E	28	15,45	12,55
PZ02 D	Baghlia 2	36°49'33''N	03°51'27,9''E	29	12,28	16,72
PZ03 D	Ouled Khedache	36°51'50''N	03°52'33''E	21	11,89	9,11
PZ04 D	Benchoud	36°51'44,4''N	03°52'34,6''E'	17	10,1	6,9
PZ05 D	Benchoud	36°52'13,5''N	03°52'23,9''E	13	8,8	4,2
PZ06 D	Touabet	36°53'33,5''N	03°51'29''E	16	6,09	9,91
PZ07 G	Sahel	36°53'16,3''N	03°58'24,9''E'	15	5,45	9,55
PZ08 G	Rezaounia	36°52'17,1''N	03°51'57''E	13	11,47	1,30
PZ09 G	Sidi Daoud	36°51'33,6''N	03°52'6,6''E	20	9,67	10,33
PZ10 G	Bourehla	36°50'13,2''N	03°52'4,9''E	24	12,62	11,38
PZ11 G	Ben Arous	36°48'9,3''N	03°51'4,1''E	20	14,97	5,03

Les points d'eaux mentionnés sont des piézomètres. En tout, il ya onze (11) points et deux puits qui n'ont pas été pris en considération, à cause de la grande différence d'altitude

(Z) malgré la distance de 6.5 m qui les sépare et l'absence de dénivelée sur terrain.

Les moyens utilisés sont : un GPS pour avoir la localisation des points d'eau, une sonde piézométrique pour la mesure des niveaux d'eau dans l'ouvrage, un pH-mètre, un conductimètre et une sonde de température.

Les lignes de courant se dirige vers le même endroit formant un axe de drainage au environ de la ligne bleu. L'écoulement se fait globalement du SW vers le NE se qui se confirme par le niveau piézométrique de nos piézomètre. Le PZ08G coïncide avec l'axe de drainage son niveau piézométrique est de 1.30 m alors que PZ1D et PZ2D se trouvant à l'extrême SW leurs niveau piézométriques est le plus élevé.

L'aquifère au SW forme un dôme (zone de divergence) et au NE une cuvette (zone de convergence).

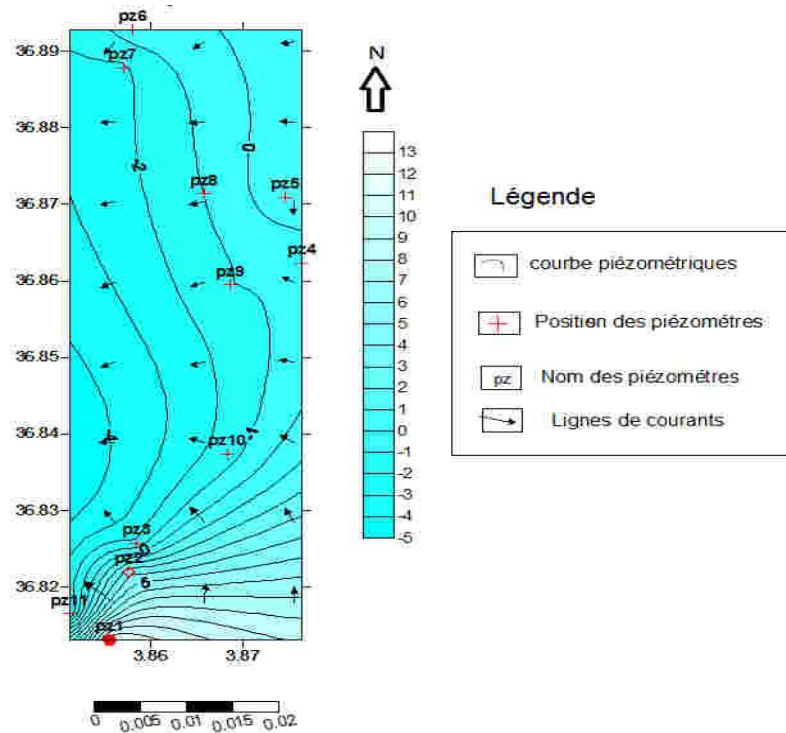


Figure.6 : carte piézométrique du Bas Sébaou (27 mai 2022)

3.3.1 Les paramètres physico-chimiques

3.3.1.1 La température

Tableau.2 : Les valeurs de températures de l'eau et de l'air mesurés sur le terrain (Mai 2022).

Point d'eau	Heure	T eau (°C)	T air (°C)
PZ01D Baghlia	08:48	16,1	18,5
PZ02D Baghlia	09:32	16,7	21,2
PZ03D Ouled Kheddache	09:57	17,8	22,2
PZ04D Benchoud	10:34	18,4	21,3
PZ05D Benchoud	10:55	17,6	22,3
PZ06D Benchoud	11:30	19,1	20,8
PZ07G Sahel	13:10	18,4	23,2
PZ08G Rzaounia	13:47	19	24,5
PZ09G Sidi Daoud	14:15	19,6	28,2
PZ10G Bourahla	14:47	19,9	24,5
PZ11GBen Arous	15:05	19,7	25,9

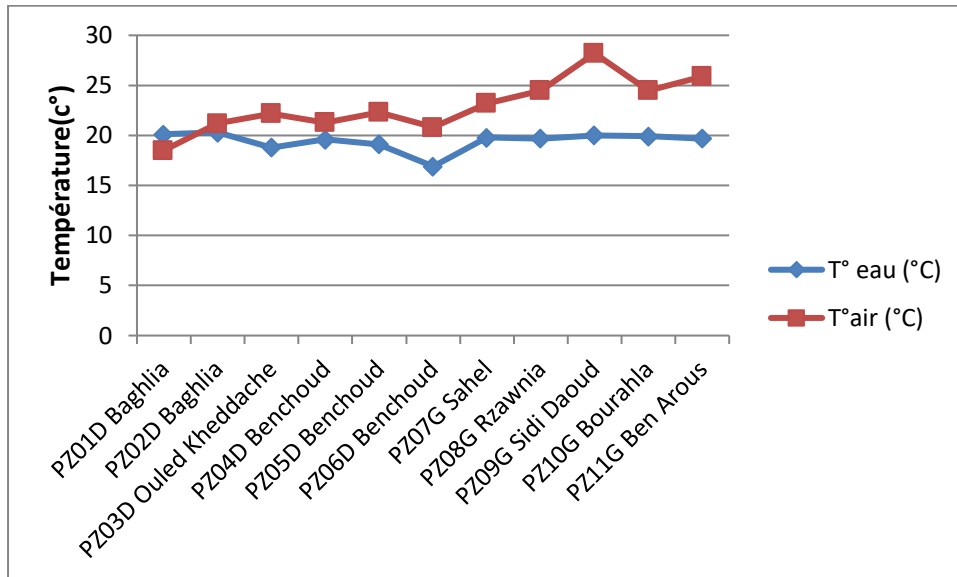


Figure.7: Hydrogramme de températures mesurées au Bas Sébaou.

La température de l'eau augmente qu'on rapproche à la mer.

3.3.1.2 Potentiel hydrogène :

Tableau.3 : Les valeurs pH mesurée au Bas Sébaou (Mai 2022).

Point d'eau	Heure	Ph
PZ01D Baghlia	08:48	7.40
PZ02D Baghlia	09:32	6.71
PZ03D Ouled Kheddache	09:57	4.95
PZ04D Benchoud	10:34	7.28
PZ05D Benchoud	10:55	7.03
PZ06D Benchoud	11:30	6.84
PZ07G Sahel	13:10	6.98
PZ08G Rzaounia	13:47	6.76
PZ09G Sidi Daoud	14:15	7.19
PZ10G Bourahla	14:47	7.92
PZ11G	15:05	7.7

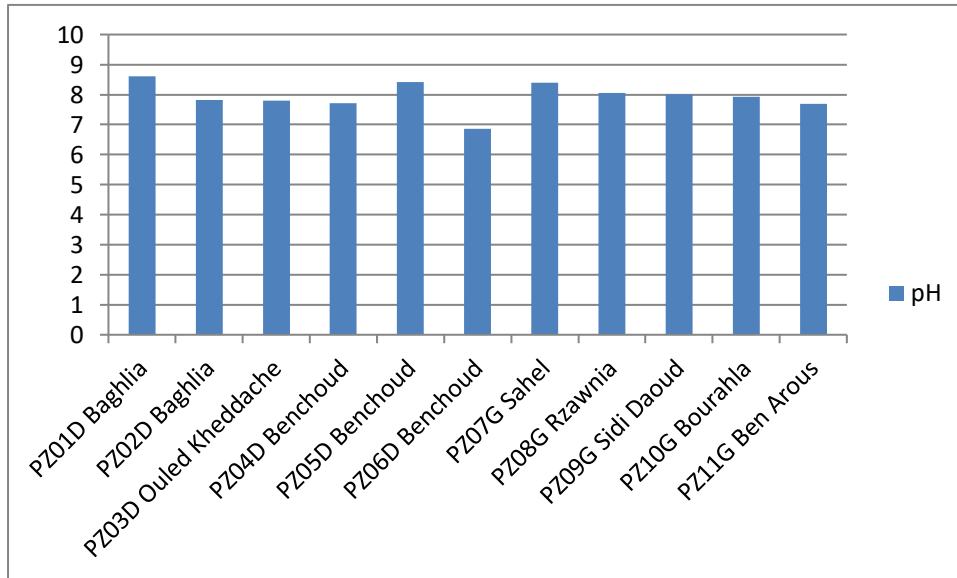


Figure. 8 : Hydrogramme de Ph mesurée au Bas Sébaou.

Le PH est quasi constant sauf pour le PZ06D il peut s'agir d'une autre nappe que capte le piézomètre ou bien l'influence des phytosanitaire et leurs utilisation abusive de la part des agriculteurs, lors du lessivage augmente l'acidité de l'eau.

3.3.1.3 Conductivité électrique

Les résultats des mesures in situ de la conductivité des eaux souterraines de la nappedu Bas Sébaou pendant la période de Mai 2022, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Les avalures de conductivité (Mai 2022).

Point d'eau	Heure	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
PZ01D Baghlia	08:48	550
PZ02D Baghlia	09:32	1677
PZ03D Ouled Kheddache	09:57	889
PZ04D Benchoud	10:34	1374
PZ05D Benchoud	10:55	1975
PZ07G Sahel	13:10	5060
PZ08G Rzawnia	13:47	1299
PZ09G Sidi Daoud	14:15	750
PZ10G Bourahla	14:47	834
PZ11G Ben Arous	15:05	1096

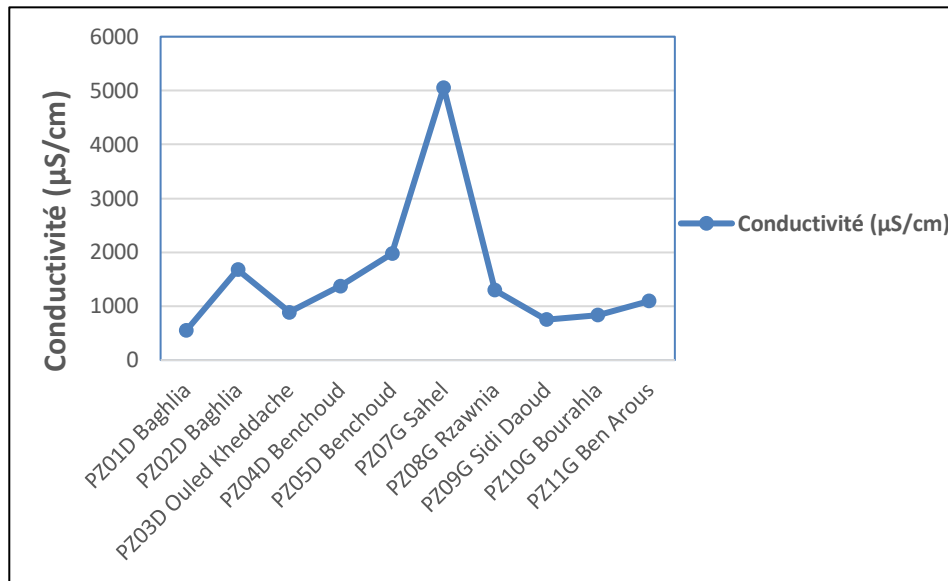


Figure.9 : Les valeurs de conductivité au Bas Sébaou (Mai 2022).

La variation de la conductivité est causée par l'intrusion marine et l'abus de utilisation des engrais agricoles (l'existence de couches géologiques évaporitiques n'est pas mentionnée car la géologie de la région est connu, de ce fait il n'y a point de gypse, évaporites et toute formation géologique contenant des sels)

Les PZ02, PZ04, PZ05, PZ07et PZ 08 ont des conductivités supérieures à la norme, leurs eaux sont salée, ceci est la conséquence de l'intrusion marine. Le biseau salé est la limite qui sépare les eaux salée de la mer des eaux douces, son avancement ne se fait pas d'une manière droite. On remarque que le piézomètre du sahel a la plus grande conductivité des cinq car on se rapproche de la mer.

L'avancement du biseau salé est favorisé par la surexploitation de la nappe de la part des agriculteurs qui crée un déséquilibre causant alors avancement de l'eau de la mer au détriment de l'eau douce.

3.3.2 Les échantillons prélevés de Bas Sébaou mesuré au laboratoire

Le réseau d'échantillonnage permet d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée. Ce réseau de 9 points d'eau couvre la plaine du Bas Sébaou, dont les caractéristiques (points d'échantillonnage) sont données dans le (**Tableau.5**) les prélèvements ont été effectués le 27 Mai 2022.

Tableau.5 : Les résultats des paramètres physicochimiques (Mai 2022).

	T	pH	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Les sels minéraux (mg/l)				
				AL ³⁺	Fe ²⁺	PO ₄ ³⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
P1	16,1	7,40	550	0,042	5,47	0	3,15	0,055
P2	16,7	6,71	1677	0,096	3,86	0	0,35	0,013
P3	17,8	4,95	889	0,865	5,84	0	4,88	0,016
P4	18,4	7,28	1374	0,189	2,26	0	0,53	0,027
P5	17,6	7,03	1975	0,024	5,77	0	0,34	0,027
P6	19,1	6,84	20000	0,192	5,98	0	0,56	0,061
P7	18,4	6,98	5060	0,004	2,28	0	1,29	0,029
P8	19	6,76	1299	0,042	5,51	0	5,39	0,012
P9	19,6	7,19	750	0,015	5,67	0	1,23	0,020

On constate que la minéralisation obtenue est spatialement variable à l'échelle de tout la nappe, globalement on observe un gradient de minéralisation croissant de l'amont vers l'aval avec le sens généralement de l'écoulement de la nappe défini par la carte piézométrique.

4 Conclusion

La vallée de Bas Sébaou est une dépression comblée d'alluvions, c'est un complexe de terrasses continentales récentes et emboîtée. Cette couverture alluvionnaire repose sur les marnes et argiles du Miocène inférieur et de l'Oligocène qui affleurent sur les bordures.

La campagne piézométrique et les paramètres physico-chimiques montrent que la nappe alluviale du Bas Sébaou est contaminée, par endroit, par l'intrusion marine.

L'apparition de la pollution dans la nappe du Bas Sébaou est causée principalement par l'exploitation des sablières et le pompage excessif qui provoque la mise à nu de la nappe qui constitue donc un réel danger de contamination des eaux souterraines.

Chapitre III
Etude hydroclimatologique

1 Introduction

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments climatologiques.

D'après l'ANRH et l'ONM, il existe neuf stations climatiques réparties (**Figure.1**), dans le bassin versant du Sébaou (**Tableau.1**), couvrant des périodes différentes.

Tableau.1: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées (ANRH)

Nom des stations	Code (ANRH)	Coordonnées		Altitude Z (m)	Période	Type
		X (km)	Y (km)			
Baghlia village	022002	603,65	390	30	1967-2012	Pluviométrique
Draa ben Khedda	021804	615,2	382,45	90	1968-2012	Pluviométrique
Makouda	021805	622,65	390,15	520	1954-2018	Pluviométrique
Beni yanni	021712	635	365,25	760	1972-2019	Pluviométrique
Bouassem	021801	620	371,5	600	1939-2012	Pluviométrique
Tizletnine	021911	606,9	356,1	500	1969-2017	Pluviométrique
Tizi-Ouzou	021810	498,55	363,05	67	1984-2018	Pluviométrique
Larbaa Nath Irathen	021705	634,90	370,80	980	1909-2011	Pluviométrique
Dellys	020801	608	401,9	25	1994-2010	Pluviométrique
Baghlia	022001	603,70	390,05	590	1985-2000	Hydrométrique
RN 30	021715	626,15	378	655	1986-2015	Hydrométrique



Figure.1 : Situation du BV du Sébaou et des stations hydroclimatiques (ANRH Tizi-Ouzou.2022)

2 Etude des paramètres climatiques

2.1 La pluviométrie

Pour assurer une bonne représentation de notre région, on a choisis 4 stations qui recouvrent presque la totalité du secteur d'étude ; (Baghliia village, DBK, Makouda et Tizi-O). C'est dernières nous fournissent des données dont la minorité sont des lacunes qu'on a comblé grâce à Hydrolab.

2.1.1 La pluviométrie moyenne mensuelle

La pluviométrie moyenne mensuelle mesurée dans ces stations couvre une période de 27 ans (1985-2012), reportée dans le tableau suivants.

Tableau.2 : la pluviométrie moyenne mensuelle (mm) des stations utilisées pour la période(1985-2012).

Stations	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Baghlia	38,34	63,97	107,03	124,93	107,31	92,77	67,84	79,57	58,37	9,48	3,31	6,68
Tizi-O	34,66	64,55	103,68	129,04	120,18	98,23	72,62	83,69	58,22	9,95	3,85	8,72
DBK	31,25	60,024	95,99	118,43	112,36	93,48	66,40	75,61	51,37	8,98	3,11	5,59
Makouda	34,51	64,38	101,38	138,90	132,34	100,06	74,67	85,30	49,72	8,39	3,68	9,13

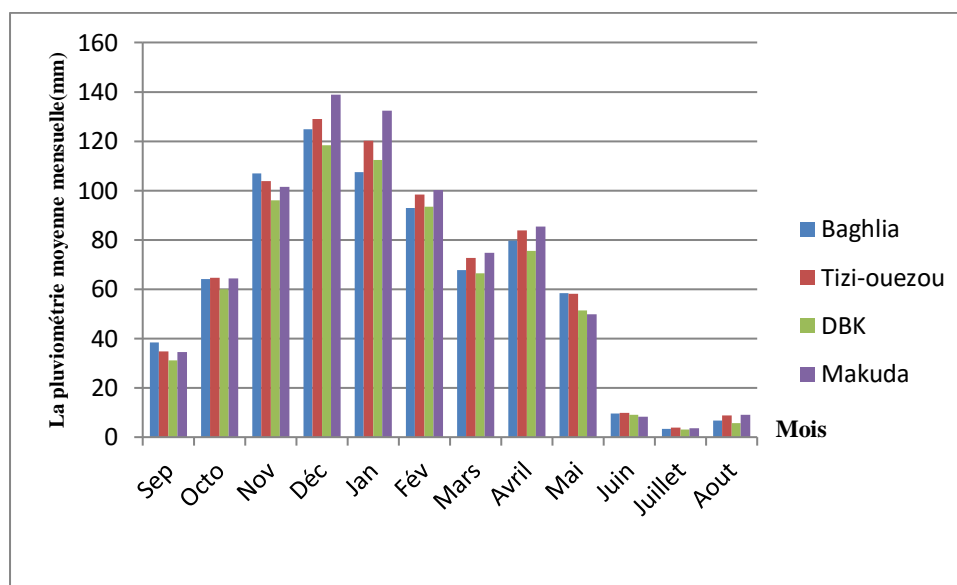


Figure.2 : La pluviométrie moyenne mensuelle (mm) des stations utilisées (1985/2012-ANRH).

D'après l'histogramme (**Figure.2**) de précipitations mensuelles nous pouvons noter que :

- La période pluvieuse va du mois d'octobre au mois d'avril en général, cependant le mois de décembre est le plus pluvieux et on enregistre à Baghlia 124,93 (mm), à Tizi- Ouzou 139, 04 (mm), à Dbk 118,43 (mm) et à Makouda 138 ,90 (mm).
- Le mois de juillet enregistre les plus faibles pluies (pluviosité minimum), avec 3,31 (mm) à Baghlia, 3,85 (mm) à Tizi-Ouzou, 3,11 (mm) à DBK et 3,68 (mm) à Makouda.

2.1.2 La pluviométrie moyenne annuelle

La pluviométrie moyenne annuelle mesurée dans les stations choisies sur une période de 27 ans (1985-2012), est reportée dans le tableau suivant :

Tableau.3 : La pluviométrie moyenne annuelle, période (1985/2012).

Années	Baghlia	Tizi-Ouzou	DBK	Makuda
1984/1985	62,51	61,48	52,43	72,48
1985/1986	64,09	81,77	66,61	80,15
1986/1987	49,69	49,09	45,14	43,43
1987/1988	54,88	59,68	53,16	55,07
1988/1989	43,65	42,04	35,1	43,76
1989/1990	60,43	62,97	53,07	69,33
1990/1991	63,87	63,88	57,06	71,11
1991/1992	55,80	57,44	48,48	67,53
1992/1993	43,00	45,94	41,48	44,08
1993/1994	61,23	72,08	65,61	78,63
1994/1995	63,93	68,57	66,37	68,77
1995/1996	41,63	41,67	36,03	39,80
1996/1997	85,93	92,77	88,1	85,12
1997/1998	61,48	57,46	53,13	62,07
1998/1999	47,31	46,37	43,39	50,57
1999/2000	51,68	50,58	50,9	55,42
2000/2001	38,08	38,48	29,68	41,01
2001/2002	91,65	101,46	89,08	105,50
2002/2003	70,48	69,38	66,97	66,83
2003/2004	59,72	58,03	54,75	60,89
2004/2005	60,76	61,05	53,71	67,52
2005/2006	73,56	66,09	67,76	69,58
2006/2007	72,58	77,63	66,67	73,17
2007/2008	77,77	84,23	80,58	77,78
2008/2009	74,03	80,32	73,82	70,28
2009/2010	77,56	84,72	81,00	78,13
2010/2011	87,12	85,74	86,61	94,48
2011/2012	81,62	76,28	79,46	79,93

L'histogramme (**Figure.3**) suivant montre la variation moyenne interannuelle des pluviométries à différentes stations utilisées

Au bassin versant du Bas Sébaou :

- Une nette concordance des variations inter- annuelles est constatée entre les 04stations.
- Une sensible augmentation des modules pluviométriques annuels d'Ouest en Est.
- Le plus grand module pluviométrique aux années 2001 et 2002

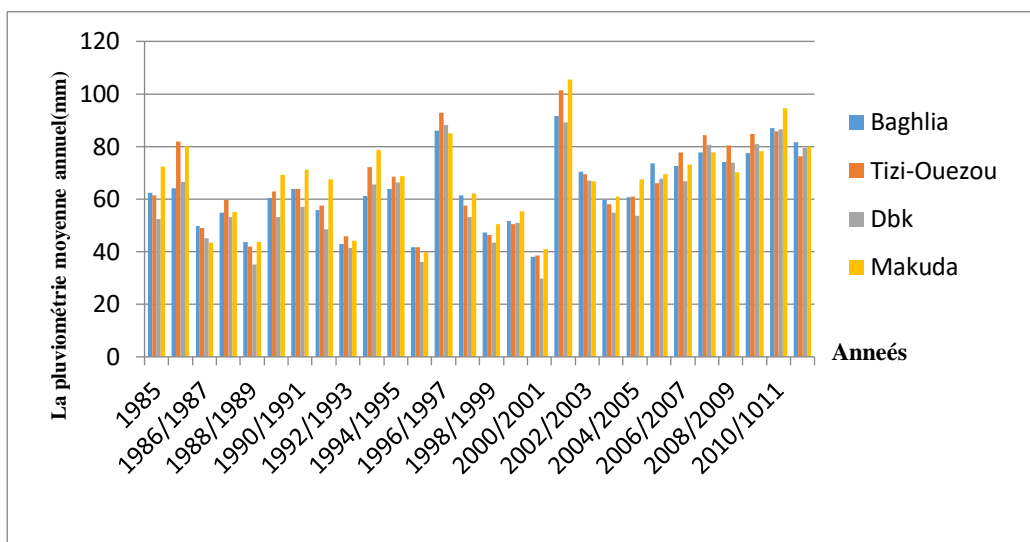


Figure. 3 : Histogramme de la pluviométrie moyenne annuel des stations utilisées période(1985-2012).

2.2 Etudes des températures

Comme les autres facteurs, les températures ont un rôle très important dans le phénomène de l'évapotranspiration et de l'établissement du bilan hydrique, ainsi que dans la détermination des critères climatiques d'une région.

2.2.1 La température moyenne mensuelle

Les températures moyennes mensuelles mesurées dans la station de Dellys la plus proche de notre région d'étude, sur une période de 14 ans (1994- 2010) Sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau.4: Températures moyennes mensuelles T(C°) de la station de Dellys (ONM)

Mois	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	Juil.	aout
T(C°)	22.80	20.80	16.70	13.90	12.60	12.80	14.34	15.70	18.30	22	24 .60	25.3

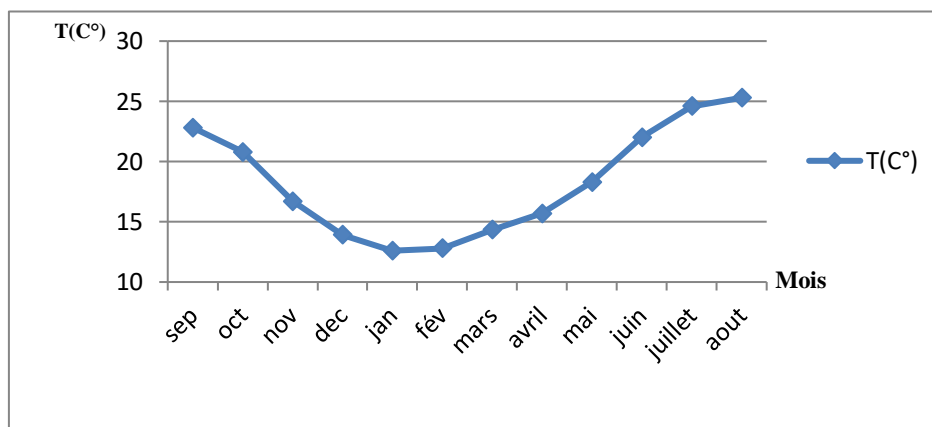


Figure.4 : histogramme des températures moyennes mensuelles T(C°) période (1994-2010)

L’histogramme (**Figure.4**) des températures moyennes mensuelles montrent des variations de 12,6°C en hiver à 25,3°C en été. On remarque que le mois le plus froid est le mois de décembre, janvier, février Par contre le mois le plus chaude de l’année étant celui d’aout.

2.3 Etudes de L’humidité

L’humidité est le rapport, exprimé en % de la tension de vapeur d’eau à la tension de vapeur d’eau saturante, c’est un élément atmosphérique très important puisqu’il donne le taux de condensation de l’atmosphère. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectués à la station de Dellys qui est tout près de notre zone d’étude pour une période de 05 ans (2000-2005) et dont les valeurs sont consignées dans le tableau ci-après :

Tableau.5: Moyenne mensuelle de l’humidité (2000-2005) (ONM)

Mois	Sep.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Moy
Humidité (%)	72	72	71	71	79	77	76	75	76	73	73	71	74

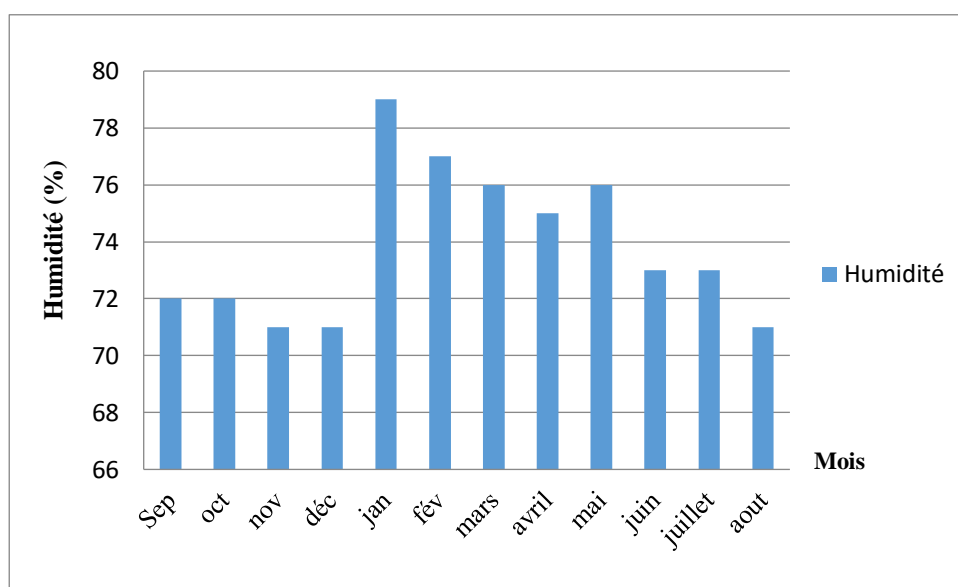


Figure.5 : Histogramme d’humidité relative de l’air période (2000-2005).

L’humidité à Dellys est de 74 % en moyenne mensuels ces résultats montrent que l’humidité de l’air est relativement élevée du mois janvier jusqu’au mois Mai, caractérisant la saison humide avec un maximum de 79 % au mois de Janvier.

2.4 Etudes des vents

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station de Delys sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau.6: vitesse moyenne mensuelles du vent (m/s) dans la station de Delys (1994-2010) (ONM)

Mois	Sep.	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	Mars	Avril	mai	juin	Juil.	aout
Vitesse de vent (m/s)	2,8	2,6	3,3	3,8	3,9	3,6	3,5	3,2	3,5	2,7	2,7	2,8

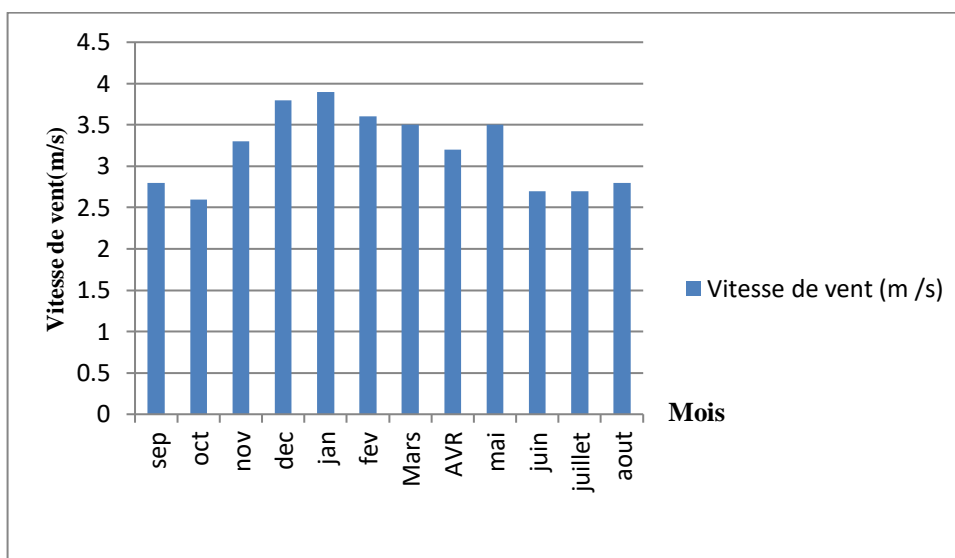


Figure.6 : histogramme de vitesses de vents (m/s) période (1994-2010).

Les vitesses moyennes mensuelles comprises entre 2,6m/s et 3,9m /s, nous constatons que la zone d'étude n'est pas soumise à des vents très violents.

3 Diagramme Ombrothermique

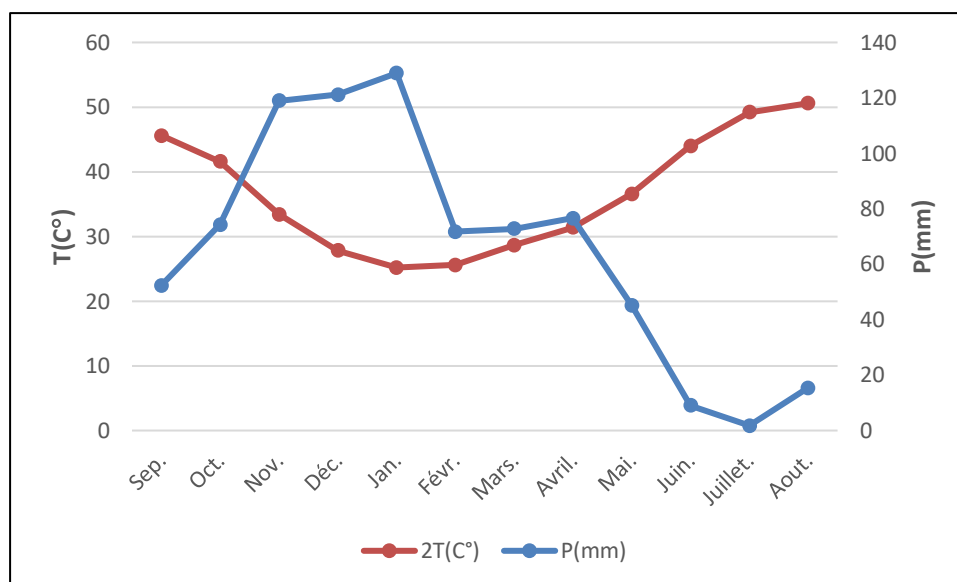
Une courbe Ombrothermique est la combinaison entre les paramètres pluviométriques(P) et les paramètres thermiques (T) dans le but de nous mettre les deux périodes sèche et humide.

Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en (mm), sont égale ou inférieure au double de la température donc : $P < 2T$

La détermination de la courbe Ombrothermique dans notre étude fait avec les données du (Tableau.7) suivants :

Tableau.7 : Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Dellys période (1994-2012).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
P(mm)	52,3	74,3	119	121,2	128,9	71,7	72,8	76,6	45,2	9	1,8	15,4
T(C°)	22,8	20,8	16,7	13,9	12,6	12,8	14,34	15,7	18,3	22	24 ,6	25,3
2T(C°)	45,6	41,6	33,4	27,8	25,2	25,6	28,68	31,4	36,6	44	49,2	50,6



Figur.7: Diagramme Ombrothermique de Gauss de la station de Dellys période (1994-2012).

Le diagramme (**Figure.7**) montre que l'année hydrologique de notre zone d'étude est caractérisée par deux saisons :

- Une période humide qui s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, cette dernière se caractérise par une précipitation importante et une baisse de température.
- Une période sèche qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de septembre, est caractérisée par une augmentation de la température et une diminution de la précipitation.

4 Étude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le phénomène de retour d'eau vers l'atmosphère à partir d'une surface d'eau libre (lac, rivière, mers...) et l'évaporation des sols (le réservoir souterrain nappe, aquifères) avec la transpiration du couvert végétale. C'est un terme important du bilan hydrique, elle englobe deux type l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR), estimer par plusieurs facteurs climatiques et géographiques (la radiation solaire, la température de l'air et de l'eau, la vitesse de vent, l'humidité de l'air...) et par plusieurs techniques:

- Les formules empiriques pour l'estimation de l'ETP et ETP
- Estimation par bac d'évaporation.

4.1 L'évapotranspiration potentielle ETP

4.1.1 Formule de Thornthwaite

Le calcul de L'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle est réalisé comme suit :

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{T}{I}\right)^a \cdot K$$

Avec:

ETP: Evapotranspiration Potentielle mensuelle corrigé en mm T: Température moyenne mensuelle en°C. K:Coefficient d'ajustement mensuel dépendant de la latitude de la station :

I: Indice thermique annuel : Somme des indices mensuels calculé à partir des températures moyennes mensuelles selon la formule :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

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

Tableau.8 : Calcule d'ETP par la méthode de Thornthwaite la période 1989-2012 stations Tizi-Ouzou.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Annuel
P (mm)	38,7	65,7	105,8	123,9	117,9	84,5	70,6	88,3	63,1	9,5	3,4	6,7	778,1
T (°C)	24,3	20	14,5	11,5	10,1	10,7	13,4	15,4	19,5	24,3	27,7	28	219,4
I	10,95	8,16	5,01	3,53	2,9	3,16	4,45	5,49	7,85	10,95	13,36	13,58	89,39
K	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	
ETP (mm)	95,93	64,36	41,92	28,62	24,51	27,62	43,34	53,03	74,27	106,96	122,11	121,77	804,44

4.1.2 Formule de serra :

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{T}{I}\right)^a \cdot K$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = 0.09T^{3/2}$$

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

Tableau.9 : Calcule d’ETP par la méthode de serra la période 1989-2012stations Tizi-Ouzou.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuel
P (mm)	38,7	65,7	105,8	123,9	117,9	84,5	70,6	88,3	63,1	9,5	3,4	6,7	778,1
T	24,3	20	14,5	11,5	10,1	10,7	13,4	15,4	19,5	24,3	27,7	28	219,4
I	10,78	8,5	4,97	3,51	2,89	3,15	4,41	5,44	7,75	10,78	13,12	13,33	88,18
K	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	
ETP (mm)	96,57	65,03	42,62	29,23	25,09	28,25	44,13	53,86	75,08	107,67	122,61	122,25	812,39

4.2 L'évapotranspiration réelle ETR

4.2.1 Formule de turc

Turc a établi la relation suivant :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

$$L=300+25t+0.05t^3$$

ETR: Evapotranspiration réelle en mm.

P: Hauteur annuelle de la pluie en mm.

T : Température annuelle (°C).

Tableau.10 : l’ETR par la formule de Turc période (2000-2013) station de Tizi-Ouzou

Station	P (mm)	T (°C)	L	L ²	ETR (mm/an).
TiziOuzou	775.02	18.3	1063,92	1131925.7664	647.95

4.2.2 Formule de Coutagne

La formule de Coutagne est la suivante :

$$ETR = \bar{P} - \lambda T^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.1T}$$

$$\frac{1}{8\lambda} < \bar{P} < \frac{1}{2\lambda}$$

Avec :

ETR: Evapotranspiration réelle en mm.

T: Température moyenne annuelle en°C.

P: Pluie moyenne annuelle en mm.

Tableau.11: Calcul de l'ETR par la par formule de Coutagne période(1998-2012) station de TiziOuzou.

$1/8\lambda$	$\langle p(mm) \rangle$	$1/2\lambda$
0.421	0,775	1.683

Station.	P (mm/an).	T (°C).	λ .	ETR (mm).
Tizi-Ouzou	775,02	18.3	0,297	675,55

4.3 Bilan hydrologique selon C.W.Thornthwaite 1948

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'ETP a la priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU.

- Si $P > ETP$, alors :

$$ETR = ETP$$

Il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q

- Si $P < ETP$:

On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit:

$$ETR = P + \min$$

$$(RFU, ETP - P)$$

$$RFU = 0 \text{ ou}$$

$$RFU + p - ETP$$

- Si $RFU = 0$

Calcule de la réserve au nom du sol

4.4 Le calcul de l'ETR par méthode de Thornthwaite

Tableau.12: Bilan de Thornthwaite eu fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1989-2012) station de TiziOuzou.

Paramètres	P	ETP	RFU	ETR	Ecoulement	Deficit
Mois	(mm).	(mm).	(mm).	(mm).	(mm).	(mm).
Sep.	38.7	95.93	0	38.7	0	57.23
Oct.	65.7	64.36	1.34	64.36	0	0
Nov.	105.8	41.92	65.22	41.92	0	0
Déc.	123.9	28.62	100	28.62	60.5	0
Jan.	117.9	24.51	100	24.51	93.39	0
Fév.	84.5	27.62	100	27.62	56.88	0
Mars.	70.6	43.34	100	43.34	27.26	0
Avril.	88.3	53.03	100	53.03	35.27	0
Mai.	63.1	74.27	88.83	74.27	0	0
Juin.	9.5	106.96	0	98.33	0	8.63
Juil.	3.4	122.11	0	3.4	0	118.71
Août.	6.7	121.77	0	6.7	0	115.07
Annuel.	778.1	804.44	/	504.8	273.3	299.64

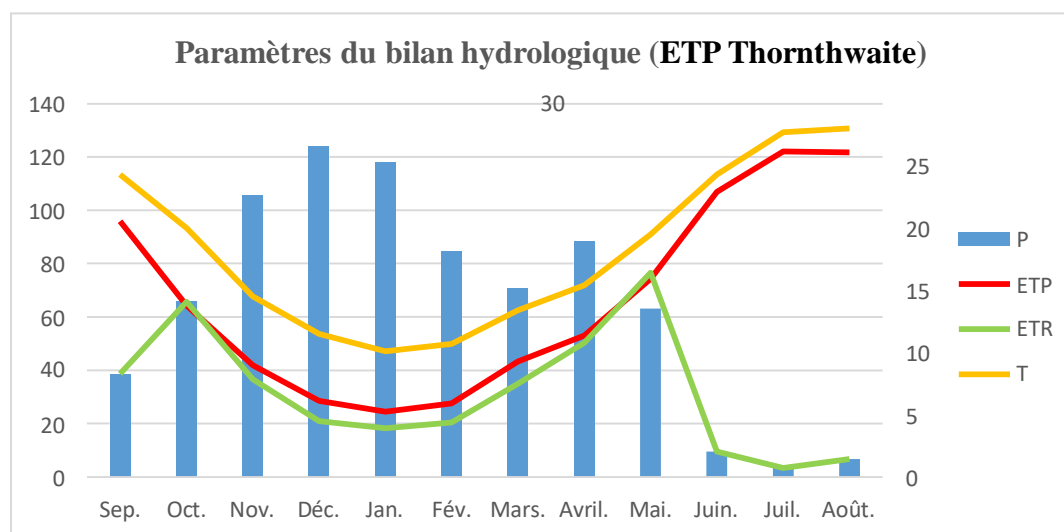


Figure.8 : Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1989-2012) station de Tizi-Ouzou.

4.5 Récapitulation des résultats

Au titre comparatif les résultats obtenus par les diverses estimations empiriques de l'ETP et l'ETR sont récapitulés dans le tableau :

Tableau.13 : Récapitulation des résultats des paramètres du bilan hydrologiques période 1989-2012).

Paramètres	Méthodes	Résultats	Moyennes (mm)
P (mm)	775.02		775.02
ETP (mm)	Thornthwaite	804.44	808.415
	Serra	812.39	
ETR (mm)	Thornthwaite	504.8	609.43
	Turc	647.95	
	Coutagne	675.55	

5 Etude du Ruissellement «R»

Le ruissèlement est l'écoulement d'eau que l'on peut voir dans les ruisseaux, les lacet les cours d'eau lorsque l'eau emmagasinée dans un bassin s'écoule.

Elle peut être calculée par cette formule :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

Avec:

R: Lamme d'eau ruisselée annuelle en (mm).

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP: Evapotranspiration annuelle en (mm).

Le résultat de calcul donne : $R = 237.4$ (mm)

6 Etude de l'infiltration

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol, elle est nécessaire pour renouveler le stock d'eau dans le sol. C'est un paramètre très important dans l'établissement du bilan hydrique qui dépend de plusieurs facteurs, les plus importants sont:

- La nature du sol.
- La perméabilité et la porosité du terrain
- Le couvert végétal.
- L'intensité de la pluie
- La topographie du terrain

Elle peut être calculée par la formule du bilan globale:

$$P = ETR + I_e + R + \Delta S \quad \longrightarrow \quad I_e = P - (ETR + R)$$

Avec:

P: Précipitation moyennes annuelles (mm).

ETR: Evaporation Réelle (mm).

Ie: lame d'eau infiltrée (mm).

R: lame d'eau ruisselée (mm).

Le résultat du calcul de la lame infiltrée est égale à: $I=775.02-(504.8+237.4) =32.82$

$I=32.82$ (mm) de la lame écoulée.

7 Conclusion

Tableau.14 : Récapitulation des résultats du bilan hydrologiques période (1989-2012)
station de Tizi-Ouzou

Paramètre	p	ETR	R	Ie
Unité	(mm/an)	(mm/an)	(mm/an)	(mm/an)
Station de Tizi-Ouzou	775.02	504.8	237.4	32.82
		%	%	%
		65.13	30.63	4.23

Les estimations hydro climatologiques dans ce chapitre permettent de nous donner quelques particularités du bassin versant du Bas Sébaou :

Des régimes pluviométriques et thermiques marquent l'année par deux saisons bien distinctes :

- Une saison froide et humide avec une pluviométrie qui atteint parfois 138.90 (mm) et
- une saison chaude et sèche avec une évapotranspiration très élevée due aux températures élevée pendant le mois d'aout.

L'estimation des moyennes des paramètres constituant le bilan hydrologique sur la période (1989-2012) dans la station de Tizi-Ouzou nous permet de constater les résultats suivants :

- Une évapotranspiration potentiel (ETP) de 804.44 (mm /an).
- Une évapotranspiration réelle (ETR) de 504.8 (mm/an).
- Un ruissellement (R) de 237.4 de (mm /an).
- Un taux d'infiltration (I) de 32.82 (mm /an) de la lame écoulée.

Chapitre IV
Modélisation hydrologique
dans le Bas Sébaou

1 Introduction

Ces trente dernières années ont connu un développement extraordinaire des moyens de calcul automatique permis de réaliser des progrès importants dans le domaine de la modélisation en général et de la modélisation hydrologique en particulier. De nombreux modèles hydrologiques ont vu le jour au cours de ces vingt dernières années, surtout ceux qui regardent la relation pluie – débit.

Aujourd'hui, la nécessité de quantifier les phénomènes de types extrêmes comme les crues exceptionnelles est un des domaines les plus connus du grand public, mais la connaissance des débits moins exceptionnels reste fondamentale dans le cadre de la gestion de la ressource en eau, en relation directe avec la demande en eau des populations. C'est pourquoi on les qualifie souvent de déterministes.

Chaque point d'un cours d'eau permet de définir un bassin versant et les débits observés en ce point sont directement liés aux précipitations tombées sur ce bassin. A partir des observations faites en quantifiant la pluie tombée, on peut arriver à reproduire la réponse en débit du bassin. La simulation hydrologique du bassin versant, décrite comme la transformation de la pluie en débit passe par l'utilisation d'un modèle hydrologique.

2 Aperçu théorique

La modélisation des bassins versants peut être utilisée pour la gestion de l'eau. Les modèles de simulation des débits existent en une grande variété. Ce sont des outils de prévision des crues. Tous les modèles sont des approximations de la réalité. Ce pendant un modèle peut la reproduire de façon meilleure qu'un autre.

Les résultats du modèle dépendent du choix de ce dernier, de la qualité des données et de l'estimation des paramètres.

Ces résultats sont généralement entachés d'erreurs provenant des incertitudes de la modélisation qui subdivisent elles-mêmes en quatre types:

- incertitudes naturelles.
- incertitudes sur les données.
- incertitudes sur les paramètres du modèle.
- incertitudes sur la structure du modèle.

La Classification des modèles basées sur la description du processus (Singh.. 1995) et sur les échelles de temps et d'espace (Singh.. 1995).

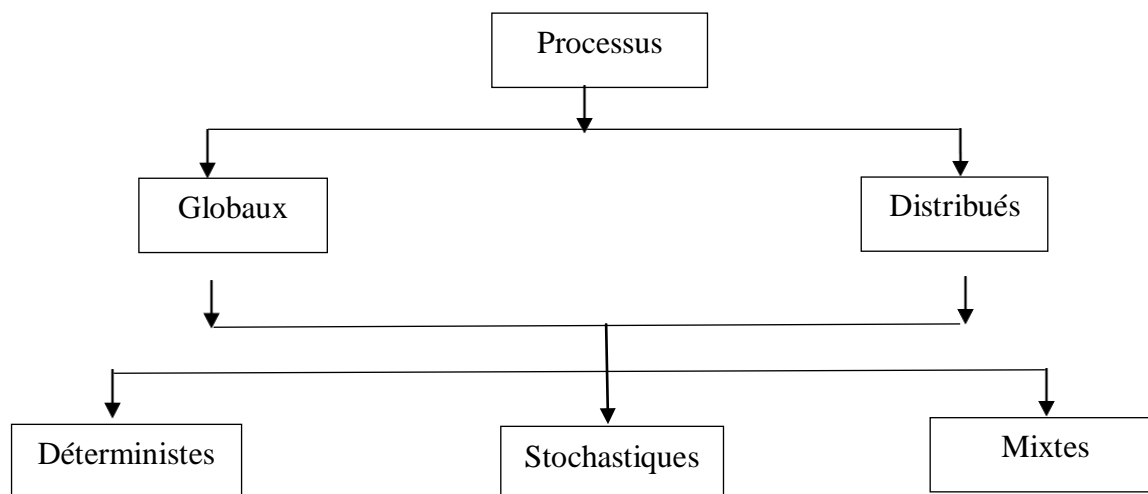


Figure.1 : Classification des modèles basées sur la description du processus (Singh.. 1995)

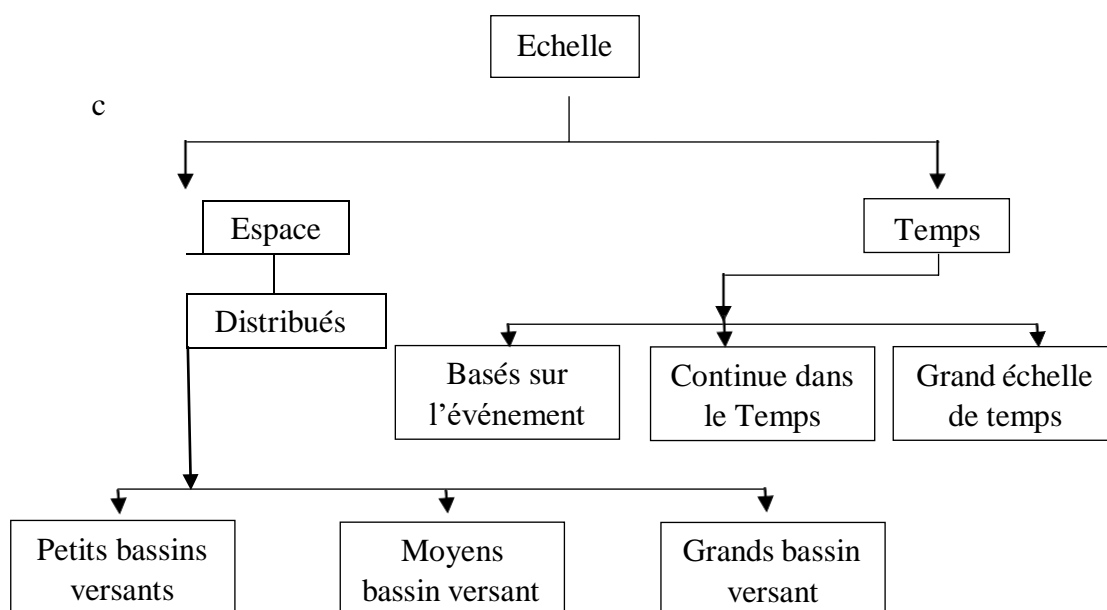


Figure.2 : Classification des modèles basée sur les échelles de temps et d'espace (Singh.1995)

2.1 Définition modélisation hydrologique

La modélisation hydrogéologique est un outil qui permet de représenter, de façon simplifiée, le fonctionnement d'un système hydrogéologique réel complexe et de simuler différents scénarios afin d'en évaluer les effets. L'outil numérique de représentation de ces scénarios s'appelle Un modèle hydrologique possède trois approches complémentaires:

L'approche débit d'débit, l'approche pluie-débit et l'approche mixte. L'approche pluie-débit est la plus étudiée, ses modèles ont pour objectif de procéder `a la transformation de la pluie en

débit à l'échelle d'un bassin versant en essayant de trouver un lien entre les débits et les phénomènes qui en sont la cause directe, en l'occurrence les pluies. Il permet de comprendre le fonctionnement du bassin, la nature et le rôle des processus mis en jeu, leur importance relative par rapport au phénomène étudié ou encore les liens spatiaux ou temporels entre ces processus (Perrin, 2000).

2.2 But et Objectif de modélisation hydrologique.

On peut définir un modèle comme une représentation qui simplifie la réalité, en vue de simuler la réponse d'un système à une série de sollicitations. Cette représentation, doit cependant être la plus conforme possible, du point de vue des mécanismes et processus simulés. Les principaux objectifs de la modélisation hydrologique en générale :

- ✓ Compréhension de la réalité : comprendre les mécanismes de fonctionnement d'un phénomène. Ex : stabilité, instabilité.
- ✓ Génération de solution : les solutions du modèle fournissent des exemples de comportement du système.
- ✓ Etude de dépendances structurelles: Etudier et analyser le comportement de solution en fonction des paramètres du modèle.
- ✓ Contrôle : conception de règles ou d'un système de contrôle capable d'amener le système vers un état désiré.

2.3 Type de modélisation hydrologique

Il existe, nombreux modèles hydrologiques de bassins versants ayant chacun leurs spécificités et leur domaine d'application :

2.3.1 Selon la nature de variable

✓ Modèles stochastiques

La modélisation stochastique peut être envisagée toutes les fois qu'il y a des incertitudes sur les données ou parfois même sur les processus mis en jeu. On considère que l'approche stochastique est un moyen rationnel de traiter la caractérisation spatiale de la variabilité, et d'établir un lien entre les incertitudes des paramètres et celles des prédictions. Toutefois cette approche, bien qu'elle soit le meilleur moyen de caractériser la variabilité des grandeurs, nécessite la connaissance des lois de probabilité les plus courantes pour la variabilité considérée ou au moins de leurs premiers moments. (Makhlouf, 1994)

✓ Modèles déterministes

Un modèle est déterministe lorsque la réponse du système est à caractère déductif dominant, c'est-à-dire qu'on porte un jugement sur le système physique en essayant de connaître le

comportement de ses éléments constructifs et leurs relations internes. Les équations mathématiques sont établies analytiquement et les données expérimentales sont utilisées simplement à titre de vérification. On y trouve les modèles empiriques qui se caractérisent par une approche directe pour obtenir la réponse à une sollicitation, et les modèles physiques qui s'appuient sur les règles de l'hydrodynamique pour représenter et expliquer le fonctionnement hydrologique du bassin versant. (Llamas, 1993).

2.3.2 Suivant la nature des relations utilisées

✓ Modèles à base physique

Le modèle à base physique est basé uniquement sur des équations de la physique, et ne comportant idéalement aucun paramètre. Il n'existe pas de modèle à base physique au sens strict en hydrologie. L'importance de l'hétérogénéité spatiale dans la réponse hydrologique des bassins versants rend cependant difficile voire impossible l'utilisation de tels modèles. La précision spatiale des données disponibles en particulier concernant les types de sols et leurs profondeurs n'est pas suffisante. Dans la pratique, les profondeurs et les conductivités moyennes des sols représentatifs de sous parties du bassin versant, doivent être évaluées par calage. (Clarke, 1981)

✓ Modèles empiriques

Les modèles empiriques reposent sur les relations observées entre les entrées et les sorties de l'hydro-système considéré. Ils expriment la relation entre variables d'entrée et de sortie du système (relation pluie débit) à l'aide d'un ensemble d'équations développées et ajustées sur la base des données obtenues sur le système. Un modèle empirique ne cherche pas à décrire les causes du phénomène hydrologique considéré ni à expliquer le fonctionnement du système, le système est considéré comme une boîte noire. (Clarke, 1981)

✓ Modèles analytiques

Ce sont des modèles pour lesquels les relations entre les variables de sortie et les variables d'entrée ont été établies par analyse de séries de données mesurées. L'exemple type est celui des modèles linéaires : les paramètres de ces modèles sont liés aux coefficients de corrélation entre les variables. Notons que l'analyse des données peut conduire au choix de relations non linéaires entre les variables. (Clarke, 1981)

✓ Modèles conceptuels

Les modèles conceptuels considèrent en général le bassin versant, après quelques simplifications du cycle de l'eau, comme un ensemble de réservoirs interconnectés. Ce type de modèle reproduit donc au mieux le comportement d'un système, plutôt qu'il n'avance d'explications causales sur son comportement. (Makhlouf, 1994).

2.3.3 Suivant la manière de représenté le milieu

✓ Modèles globaux

Dans un modèle global le bassin est considéré comme une entité unique. Des relations empiriques (issues de l'expérience) relient les entrées et les sorties sans chercher à se rapprocher d'une loi physique.

Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car il présente une structure très simplifiée, il ne demande pas trop de données, faciles à utiliser et à calibrer. La représentation du processus hydrologique est très simplifiée. Il peut souvent mener à des résultats satisfaisants, et spécialement si l'objectif majeur est la prévision d'une crue. (Makhlouf, 1994)

✓ Distribués

Dans un modèle distribué, le bassin versant est divisé en plusieurs entités spatiales. Ce découpage de l'espace peut être sous la forme d'un maillage régulier, ou par sous bassins- versants. Ce modèle permet de prendre en compte la variabilité spatiale des processus étudiés.

✓ Modèles spatialisés

Actuellement plusieurs modèles spatialisés correspondant aux différentes écoles hydrologiques sont en phase avancée de développement. En principe, les modèles spatialisés sont des modèles qui utilisent des entrées et des sorties où les caractéristiques des bassins versants sont distribuées dans l'espace. La spatialisation peut être arbitraire ou basée sur des divisions morphologiques naturelles ou hydrologiques. (Girard, 1972) Nous pouvons classer les modèles spatialisés en trois grands types :

- a. Modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés: Les modèles conceptuels spatialisés ou semi-spatialisés représentent un grand progrès sur les modèles globaux quand il s'agit d'analyser le fonctionnement interne d'un bassin.
- b. Modèles physiques spatialisés : c'est un modèle décrivent les mécanismes internes d'un système et permettent une description théorique unifiée de la plupart des flux observés dans un bassin versant et servent à modéliser les principaux processus hydrologiques comme L'écoulement de surface, L'écoulement en milieu saturé, L'écoulement en milieu non saturé, L'évapotranspiration à partir des équations.
- c. Modèles physiques conceptuels semi-spatialisé : il est intéressant d'essayer une modélisation hydrologique qui peut être A base physique (fondée sur les processus réels mais simplifiés) Semi-spatialisée (fondée sur une discrétisation en unités

relativement homogènes, qui permettent de tenir compte de la variabilité spatiale de la structure du bassin versant).

3 Modélisation pluies-débits

Un modèle hydrologique, ou modèle pluie-débit, est un outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles décrivant le climat d'un bassin versant donné (séries de précipitations et de températures par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débit (sortie du modèle hydrologique).

Un modèle hydrologique est caractérisé par cinq éléments qui le constitue la géométrie du bassin versant (le système), les entrées du système, les lois de formalisation des processus, l'état initial et les conditions aux limites du système et les sorties du modèle. (Singh, 1995).

3.1 But et Objectif de modélisation Pluies-débits

a. Le but

La modélisation pluie-débit a pour but de rendre compte de la transformation des précipitations sur une aire donnée (le bassin versant) en débit qui en résulte à l'exutoire de ce bassin, Il s'agit au départ d'un exercice de simulation répondant à un objectif de compréhension scientifique c'est-à-dire expliciter les différents flux et phénomènes associés, voire les réduire à des phénomènes physiques plus fondamentaux. La simulation hydrologique peut également être motivée par un objectif pratique : rendre compte des séries temporelles de débits.

b. L'objectif

Bear en 1993 avait simplifié les objectifs d'une modélisation hydrogéologique en trois éléments

- Mieux comprendre le fonctionnement du système.
- Fournir des informations nécessaires à la mise en œuvre d'un dispositif de mesures (pompages, traçages, etc.).
- Réaliser des prédictions sur le comportement du système considéré en réponse à des sollicitations.

3.2 Les types des modèles pluies-débit

3.2.1 Les modèles génie rural GR

La division hydrologie du Cemagref Antony développe depuis une vingtaine d'années une série de modèles pluie-débit pour l'hydrologie opérationnelle : les modèles GR pour Génie Rural (Edijatno et Michel 1989; Edijatno et al. 1999). Ces modèles appartiennent à la famille des modèles conceptuels à réservoirs. L'approche est globale. Le pas de temps est le plus souvent journalier

même si des modèles dérivés à pas de temps mensuel, annuel et interannuel ont été construits (Makhlouf et Michel 1994).

Ces modèles privilégient le principe de parcimonie: la version de base GR3J possède trois paramètres ajustables et aucune version n'en compte plus de cinq :

- Le modèle GR4J caractérise par quatre paramètres.
- Le modèle GR2J et GR1J caractérise par quatre paramètres.

3.2.2 Le modèle CREC

À huit paramètres Le modèle schématise le bassin versant par trois réservoirs et huit paramètres, permettant d'identifier une fonction de production par le réservoir superficiel (S), et une fonction de transfert par les réservoirs (H) et (G). Lorsque la pluie est supérieure à un seuil d'absorption (Ij), l'excès d'eau contribue au ruissellement direct, (Edijatno, 1991). Le troisième réservoir (G) calcule les débits souterrains.

3.2.3 Le modèle neuroflou

Présentation générale L'étude d'un phénomène physique complexe nécessite une précision considérable, car les erreurs d'imprécision de ce phénomène pourraient avoir des conséquences néfastes. La logique floue permet d'évaluer l'imprécision, en décomposant le processus modélisé en plusieurs processus plus simples (sous-ensembles flous) par des règles floues.

3.2.4 Le modèle TOPMODEL

Est un modèle hydrologique semi-distribué car certains paramètres sont distribués dans l'espace comme la pente topographique et la surface amont drainée, d'autres sont considérés globalement notamment les propriétés hydrauliques des sols (transmissivité, réserve hydrique du sol, ETP) et les précipitations. Les paramètres spatialement distribués servent à calculer des classes de similarité hydrologique, qui correspondent à des zones géographiques présentant un comportement hydrologique identique : leur état de saturation est similaire et dépend uniquement de la situation météorologique. Il comporte huit paramètres dont deux utilisés afin de remplacer l'indice de topographie calculé à partir du modèle numérique de terrain (Beven et Kirkby, 1979):

- X1 : Capacité du réservoir de routage.
- X2 : Paramètres de vidange.
- X3 : Capacité du réservoir d'interception.
- X4 : délai.
- X5 et X6 : Paramètres d'indice topographique.
- X7 et X8 : Paramètres d'évaporation.

3.2.5 Le modèle MIKE SHE : la modélisation hydrologique complète

Ce modèle a été conçu en collaboration entre l'INRS EAU Canada et Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation de Montpellier (Fortin et al. 1995), dans le but de créer un outil capable d'intégrer et de gérer la spatialisation des données et des processus physiques. Il utilise ainsi les données issues de la télédétection et les SIG. Il se décompose en 2 modules : PHYSITEL (pour le traitement du MNT en vue de la détermination des unités hydrologiques du bassin et de son réseau de drainage) et HYDROTEL (pour la simulation hydrologique). Ce dernier module intègre, en plus des résultats de PHYSITEL, le type de sol, sa profondeur racinaire, la pluie (sous forme de pluviographes), l'occupation des sols et les caractéristiques de la végétation (albédo, indice foliaire). Il simule l'ETP, la fonte des neiges, le ruissellement superficiel (par l'onde cinématique), la propagation de la crue dans la rivière avec l'onde cinématique ou l'onde diffusante. Ce modèle présente l'avantage d'intégrer l'imagerie satellite, d'utiliser des équations physiques pour modéliser les processus de genèse et de propagation de crues et de se présenter sous la forme d'une interface conviviale. Toutefois, il nécessite une grande quantité d'informations pour son calage initial. De plus, son pas de temps horaire est très limitatif pour la prévision des crues éclair. (Boursali, 2015)

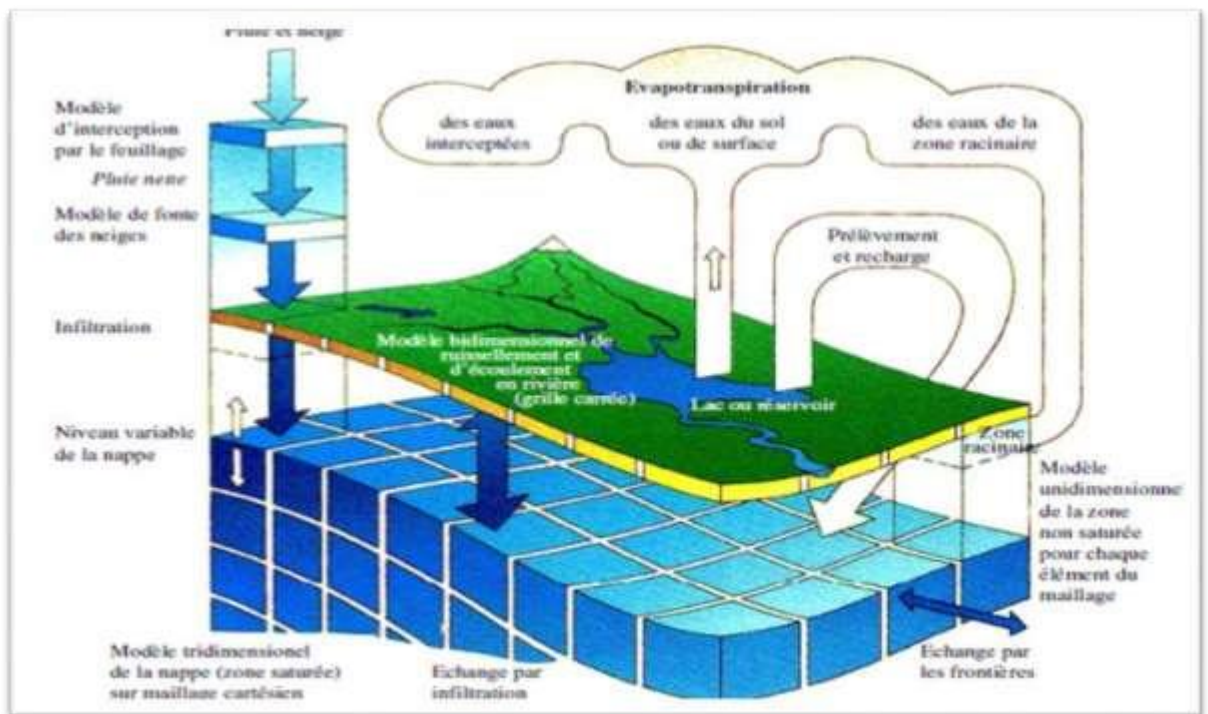


Figure.3 : Cycle de l'eau dans le logiciel MIKE SHE.

3.3 Choix du modèle

Le choix de modèle reste toujours une étape délicate dans la mesure où nous n'avons pas d'idée des processus hydrologiques du bassin, il dépend essentiellement des objectifs et des données disponibles.

Compte tenu de cette étude des modèles analysés et vu l'insuffisance de données spatialement réparties, la qualité moyenne de quelques mesures météorologiques disponibles, et puisque même les données disponibles ne donnent une idée que d'une partie du sous bassin, là où se trouve la station hydrométrique 02-20-01.

Face à cette pénurie de données nous avons opté pour une approche conceptuelle globale et le choix du modèle hydrologique du Génie Rural (GR). En effet le modèle GR est un modèle pluie-débit qui a été testé dans les régions arides et semi-arides, avec un intérêt particulier sur la gestion et l'exploitation rationnelle des ressources en eau.

Les objectifs de ce modèle sont nombreux citons à titre d'exemple :

- Le modèle GR est un modèle complet et simple, donc adapté théoriquement à n'importe quel type de climat et notamment à celui des zones arides et semi arides, en plus il a la capacité de simuler aussi les pertes, l'écoulement de surface et l'écoulement souterrain. Pour cela, nous allons présenter dans ce qui suit, le modèle du Génie Rural (GR), que nous appliquerons sur les données du bassin de Bas Sébaou.

3.4 Le modèle pluie-débit GR2M au pas de temps mensuel

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un modèle pluie débit global à deux paramètres optimisables :

- **X1** : Capacité du réservoir de production (mm),
- **X2** : Coefficient d'échanges souterrains (sans unité).

Le modèle est à pas de temps mensuel. Il fonctionne autour de deux réservoirs, un de production (ou réservoir sol) et un de routage sur lesquels les ajustements et interception se font différemment sur les entrées. Le modèle utilise en entrées la pluie moyenne et l'ETP, et fournit en sortie le débit (Sossou, 2011). Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages.

Ce modèle a connu plusieurs versions, proposées successivement par Kabouya (1990), Kabouya et Michel (1991), Makhlof (1994), Makhlof et Michel (1994), Mouelhi (2003) et Mouelhi et al. (2006b), qui a permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. La version présentée ici est celle de (Mouelhi et al, 2006) qui paraît la plus performante (Perrin et al, 2007).

Sa structure, bien qu'empirique, l'apparente à des modèles conceptuels à réservoirs, avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte

des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle. Sa structure associe un réservoir de production et un réservoir de routage ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique du bassin.

Un schéma de la structure est donné à la (Fig V.4). P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire. Les équations qui régissent le modèle sont les suivantes :

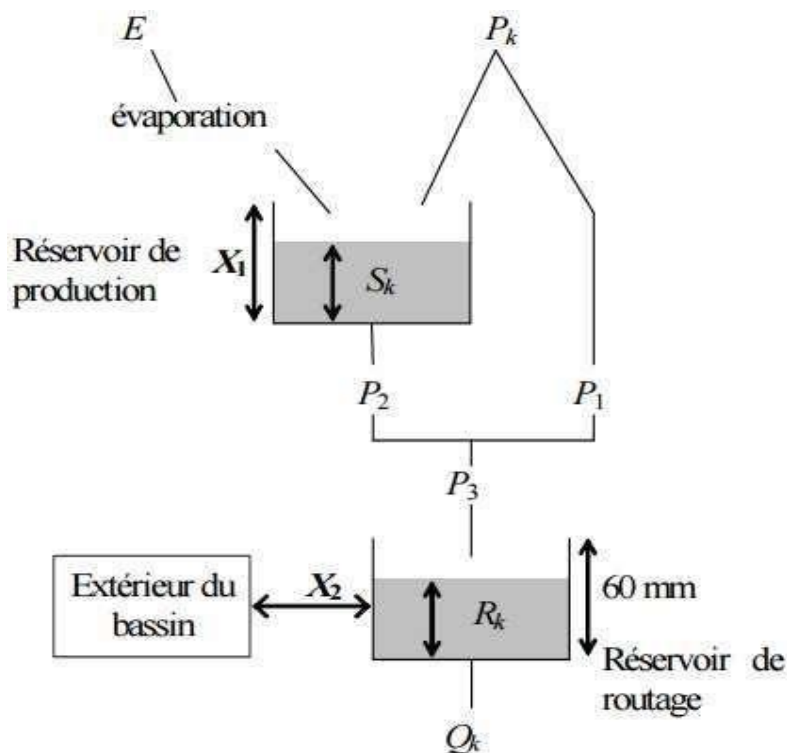


Figure.4 : Schéma de la structure du modèle GR2M.

3.4.1 Application de la modélisation pluies/débits avec le modèle GR2M sur le Bas Sébaou

Cette modélisation a pour objectif de simuler les débits lacunaires de la station hydrométrique de Baghlia pour une période 12 ans (sept2000 – aout 2012).

Les données disponible dans cette station couvre la période de (sept 1989 – aout 2000).

3.4.2 Choix du modèle et les bases de données utilisées

Comme nous l'avons mentionnée précédemment, notre étude se base sur la disponibilité des données dans le bassin versant du bas Sébaou qui a conditionné en grande partie le choix du modèle

utilisé.

Le modèle choisi, est le modèle GR2M (Mouelhi et al. 2006) qui est un modèle à pas de temps mensuel à deux paramètres et les bases de données sont réalisées en fonction de ce

Dernier. Elles sont constituées de pluies moyennes mensuelles P (mm), des températures moyennes mensuelles T (°C) qui ont servi au calcul de l'évapotranspiration (ETP (mm)) et puis les débits observés Q (m³/s). (**Tableau .1**)

Tableau.1 : Base de données utilisées dans la simulation hydrologique de cette étude.

Paramètres	Périodes	Observations
Pluies moyennes mensuelles P (mm)	Sept.1989- août 2012	/
Evapotranspiration (ETP (mm))	Sept.1989- août 2012	Calculé à partir des températures moyennes mensuelles T (°C)
Débits observé Q (m ³ /s).	Sept.1989- août 2000	/

3.4.3 Les étapes de la modélisation

Dans cette modélisation on définit trois étapes importantes calage, validation et simulation. Chaque étape est liée à une période de données comme bien mentionné dans (**Tableau.1**) ci-dessous. Ces périodes sont fonction de l'efficacité pour donner de meilleurs résultats.

La première étape consiste à réaliser un calage du modèle GR2M qui dépends de deux paramètre de calage : X1 fonction de production (mm) et X2 fonction de transfert (sans unité). Ensuite, la deuxième étape c'est de valider le modèle en utilisant les mêmes résultats de X1 et X2 obtenus dans la période du calage. Enfin la simulation consiste à reconstituer les débits (Yahiaoui et al. 2022) en combinant les résultats des deux étapes précédentes.

Tableau.2 : étapes de modélisation suivit dans cette étude

Etapes	Période
Calage	Sept 1989 - août 1995
Validation	Sept 1995 - août 2000
Simulation	Sept 2000 - août 2012

3.4.4 L'efficacité de cette modélisation

Avec le modèle GR2M, il existe deux paramètres important pour la vérification de son efficacité. Ce sont :

- Le Nash (Q) on l'écrit aussi NSE (Q) (Nash and Sutcliffe 1970). Ce paramètre

dépend des paramètres du modèle (X1 et X2) lors des périodes de calage et de Validation. Pour l'efficacité de cette modélisation il faut obtenir le paramètre NSE(Q) $\geq 70\%$. Ce résultat exprime la superposition des débits observée et des débits simulés.

- Le coefficient de corrélation R résulte de la corrélation entre débits observée et de débits simulés lors des deux étapes calage et validation. La valeur de R, plus elle se rapproche 1, plus on déduit une bonne corrélation entre les deux débits (observés et simules).

3.4.5 Résultats de simulation hydrologiques

3.4.5.1 Résultats numériques du calage et de validation

Les résultats du calage sont mentionnés dans la (Figure.5) et résumée dans le (Tableau.3).

Tableau.3 : Résultats de la simulation hydrologiques dans le sous bassin versant du BasSébaou (périodes de calage et de validation)

Bassin du Bas Sébaou		Calage	Validation
Paramètres du calage	X1 (mm)	5,90	
	X2 (-)	1,20	
Critères d'efficacités	NSE (Q)	97,00%	85,4%
Coefficient de corrélation	R	0,96	0,86

3.4.5.2 Les résultats graphiques du calage (sept 1989-aout 1995)

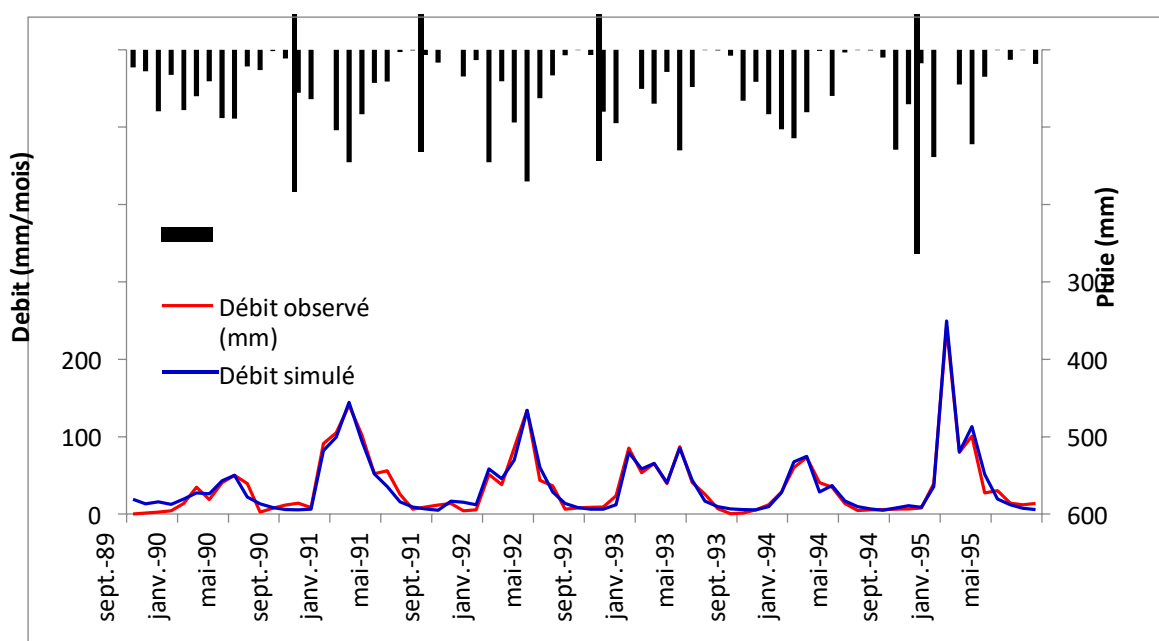


Figure.5 : Hydrogramme de crue pour la période de calage du modèle GR2M durant (sept 1989-aout 1995)

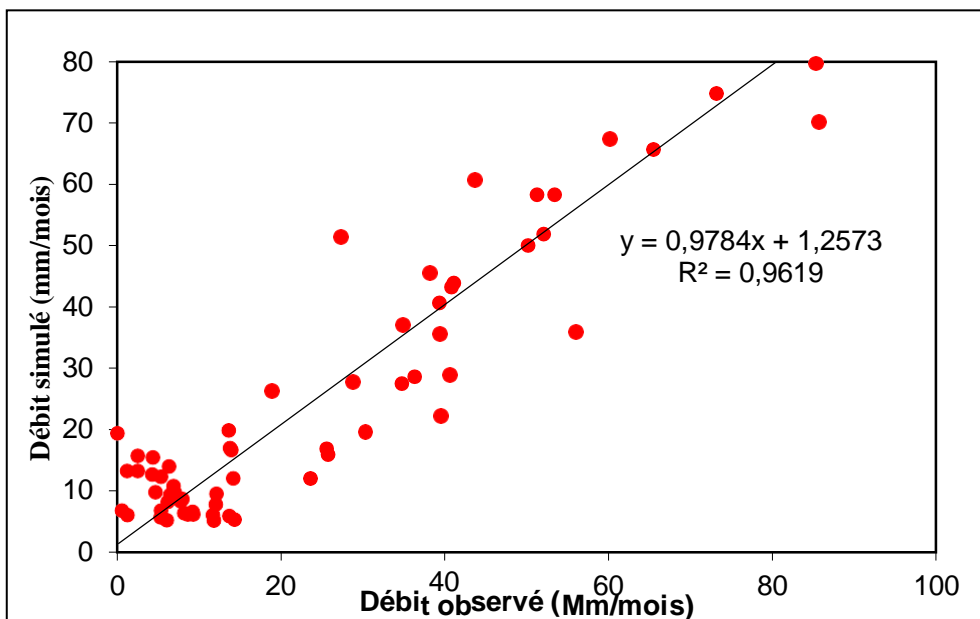


Figure.6 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés période du calage dumodèle GR2M durant (sept 1989-aout 1995).

3.4.5.3 Résultats graphique de calage/validation (sept 1989-aout 2000)

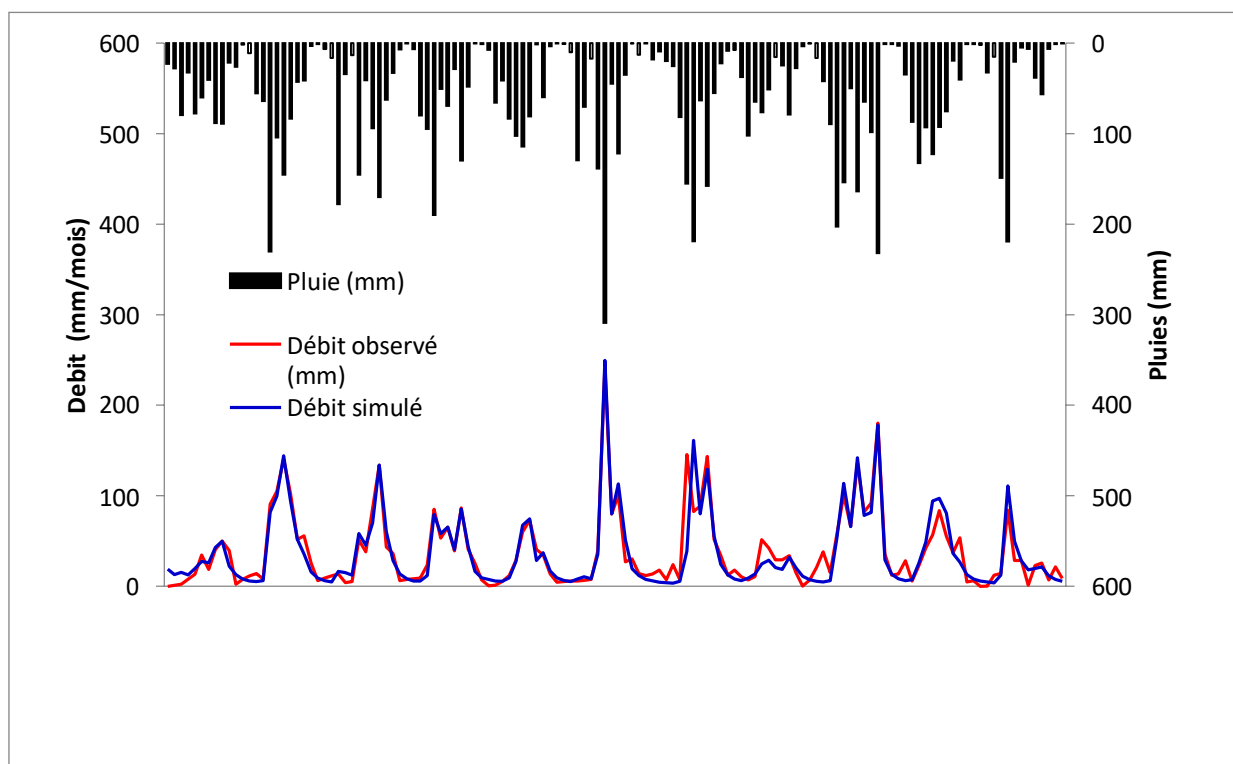


Figure.7 : Hydrogramme de crue pour la période de calage et de validation du modèleGR2M durant (sept 1989-aout 2000)

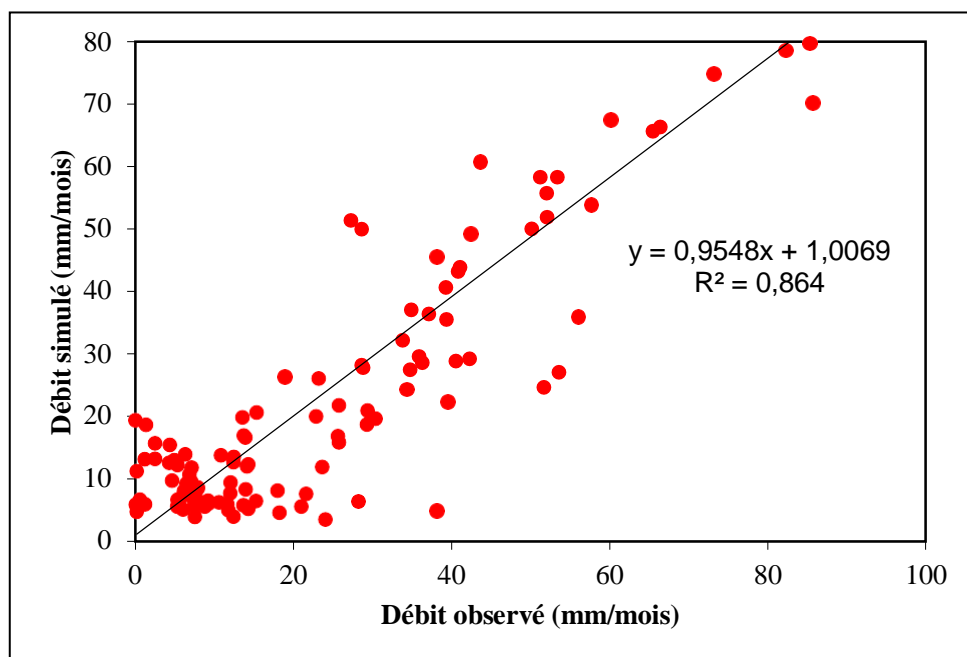


Figure.8 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés période de validation du modèle GR2M durant (sept 1994-aout 2000).

3.4.5.4 Résultats graphiques de la simulation hydrologique dans le Bas Sébaou

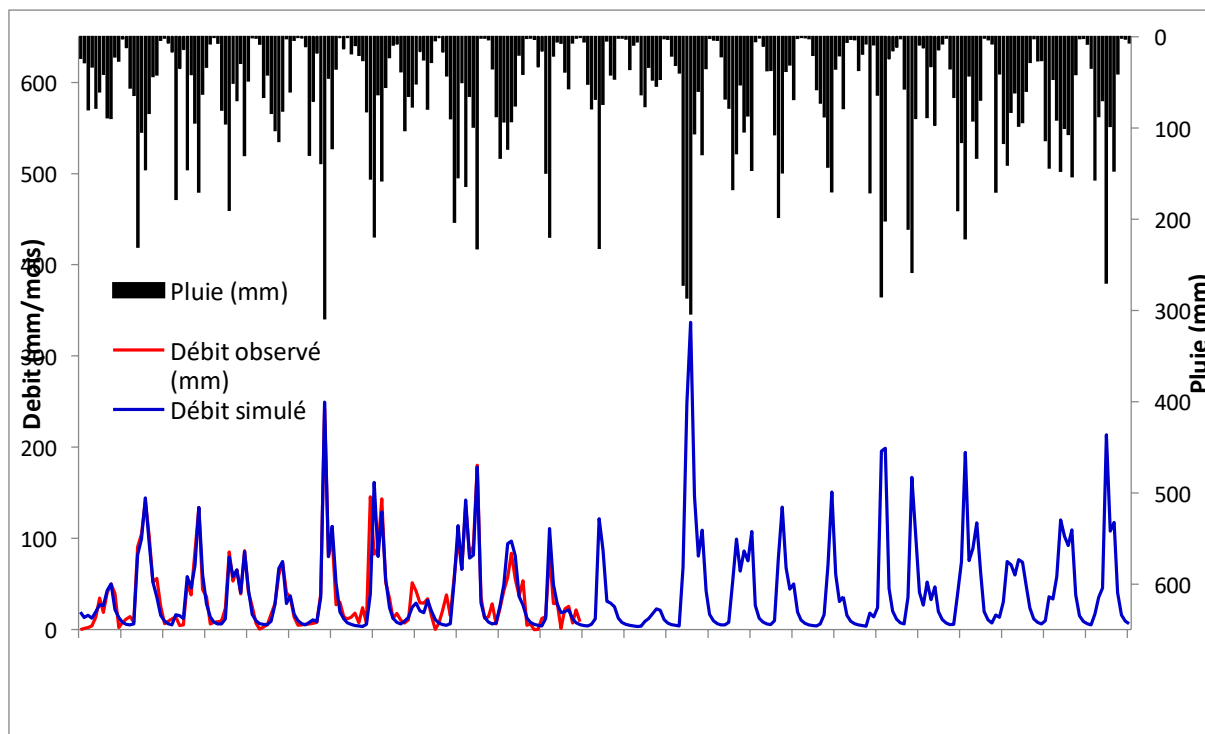


Figure.9 : Hydrogramme de crue de la simulation hydrologique avec modèle GR2M durant (sept 1989-aout 2012).

3.4.6 Interprétation des résultats de la simulation hydrologique dans le Bas Sebaou

Les paramètres du modèle obtenu, lors du calage sont représentés par la fonction de production

$X1 = 5,90$ (mm) et la fonction de transfert $X2 = 1,20$ (sans unité). Ces derniers conditionnent l'efficacité de la simulation avec les critères d'efficacité représentée, dans GR2M par NSE (Q). Les résultats obtenus montrent, un NSE ($Q \geq 97,00$ % durant la période de calage et un $NSE(Q) \geq 85$ % durant la période de validation.

Cependant, on remarque le critère NSE(Q) a diminué durant la période de validation, cela probablement est dû à la diminution dans la qualité des données des débits durant cette période. Néanmoins, dans les deux périodes le critère dépasse largement les 70 % ce qui implique que dans les deux cas confirme l'efficacité de cette modélisation. Ces résultats sont bien confirmés par le coefficient de corrélation R, qui est $\geq 0,96$ lors de calage et est $\geq 0,86$ durant la période de validation.

Ces résultats indiquent une bonne corrélation entre les débits observés et les débits simulés et confirme l'efficacité de la simulation hydrologiques.

4 Conclusion

Cette étude traite la simulation hydrologique pluie/débits dans le sous bassin versant du Bas Sébaou. Les données utilisées ce sont celle de la station de Baghlia qui couvre une période de 23 ans allant de (1989-2012) avec les débits lacunaire sur une période de 12 ans (2000-2012).

Les résultats de la modélisation sont très satisfaisants dans ces études. Les critères d'efficacités sont ≥ 80 % avec un coefficient de corrélation 0.96% pour le calage et 0.86% pour la validation qui se rapproche de 1, indiquant que les débits observés se superposent plus au moins aux débits simulés.

Dans ce travail une simulation hydrologique a été réalisée dans le sous bassin versant du Bas Sebaou afin de pouvoir reconstituer les débits lacunaires de la station de Baghlia. Cette démarche est réalisée dans l'objectifs d'utiliser les résultats de débits dans la quantification et le calcul des apports dans le bassin de Bas Sébaou.

Chapitre V
Analyse hydrologique du Bas
Sébaou

1 Introduction

L'hydrologie science du cycle continental de l'eau, est avant tout l'observation d'un milieu naturel complexe, par une approche quantifiée. Elle a l'ambition de fournir un ensemble d'outils opérationnels utiles à l'ingénieur et au décideur, pour évaluer les ressources en eau et les risques associés (crues, sécheresse) anticiper grâce à la prévision en temps réel des événements dommageables et gérer au mieux les réserves hydrauliques.

L'hydrologie de surface s'intéresse à une fraction de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

Dans ce chapitre on définit une évaluation précise des ressources en eau et de leur variabilité avec la prise en compte des :

- Régime des débits (observés et simulés), moyenne annuelle et moyenne interannuelle
- Intensités des débits extrêmes des hautes eaux et basses eaux en fonction des saisons avec une estimation d'un bilan hydrologique.

On termine par une discussion en guise d'une conclusion sur les résultats obtenus en expliquant quelques remarques.

Rappelons que les bases de données ont été fournies par l'ANRH d'Alger et l'ANRH de Tizi-Ouzou.

2 Hydrométrie

L'étude hydrométrique menée dans ce travail est basée sur les enregistrements de données dans deux stations : la station de Baghlia localisée à l'intérieur du sous bassin versant du Bas Sébaou et la station de l'Oued-Aissi (RN30) localisée a l'amont du sous bassin versant du Bas Sébaou. (**Tableau V.1**). Cette dernière station permet d'avoir une idée sur des entrées dans le Bas Sébaou.

Tableau.1: Caractéristiques des différentes stations hydrométriques.

Station	Code	Oued principal	Coordonnées Lambert		
			X (km)	Y (km)	Z (m)
Baghlia	022011	Sébaou	603,75	390,10	25
RN 30	021715	Aissi	626,15	378,00	110

Le sous bassin versant du bas Sébaou dispose d'une seule station hydrométrique situé à Baghlia (**Tableau.1**) qui n'est plus fonctionnelle depuis l'année 2000. C'est grâce à la modélisation hydrologique que les débits ont été reconstitués jusqu'à 2012. Les résultats vont être utilisés dans ce chapitre pour une analyse hydrologique des régimes d'écoulement mensuels, annuels et saisonniers.

2.1 Les Apports liquides

2.1.1 Répartition mensuelle des apports

Tableau.2 : Répartitions moyenne mensuelles des apports (hm³) et des débits (m³/s) à la station de Baghlia et Oued Assi (RN30) pour la période (1986-2000).

Stations	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Baghlia	0,54	1,08	17,29	77,84	103,2	98,07	73	53,05	39,2	9,92	4,53	0
RN30	0,40	0,45	1,82	5,54	6,23	9,69	7,38	6,87	5,16	1,25	0,22	0,10

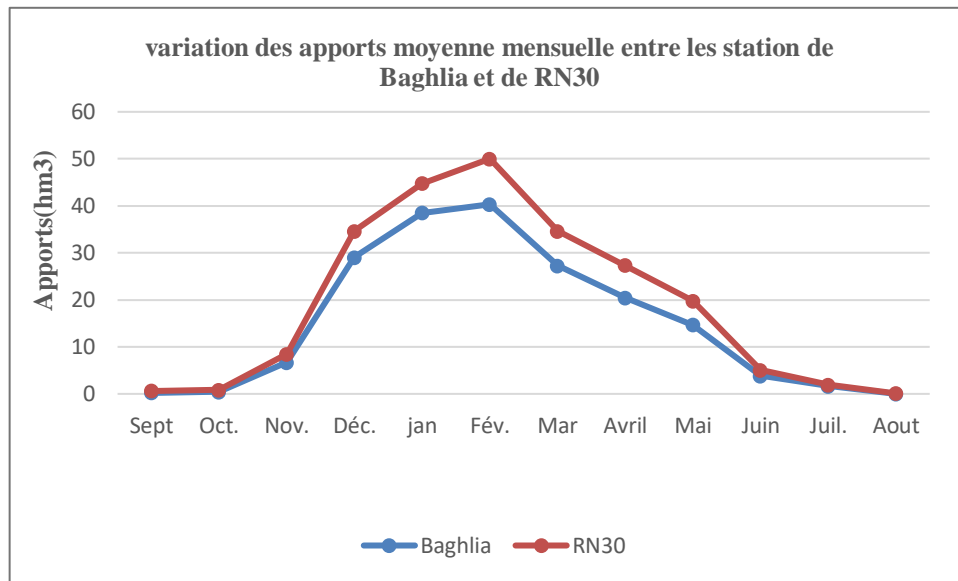


Figure.1 : Apports liquides (hm³) au niveau de la Station de Baghlia et Oued Assi (RN30) pour la période (1986/2000).

On constate que la période allant de décembre jusqu'au mois d'avril, a drainé 405,18 hm³ Soit 84,81 % des apports totaux atteignant 477,72hm³ à la station de Baghlia. Pour la station d'Oued Aissi (RN30) la même période cumul environs 35, 71 hm³ soit 79,16% des apports totaux (45,11 hm³).

Les apports liquides et les débits observés à la station de Baghlia semblent supérieurs à ceux de la station d'Oued Aissi située en amont du Sébaou. Ce qui laisse supposer, si bien sûr les données sont fiables, qu'en plus des apports provenant du moyen Sébaou d'autres arrivés

Probablement externe se déversent dans le bas Sébaou dont l'étude serait intéressante pour nous.

3 Régime des débits :

Les débits enregistrés au niveau des séries continues témoignent d'une irrégularité saisonnière et interannuelle du régime d'écoulement.

3.1 Régime annuelle

L'écoulement annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s et le module spécifique en $l s^{-1} km^{-2}$.

Nous disposons d'une séries de données hydrométriques représentant une période de 23 ans (1989-2012) les débits observés sont enregistrés de 1989 jusqu'à l'année 2000 par contre les débits simulés sont enregistrés de 2000 jusqu'à 2012.

La variation des débits observés et simulés annuels de la station de Baghlia et d'Oued Aissi est présentée dans le tableau suivant.

Tableau.3 : variation des débits moyens annuels simulés et observé (m^3/s) à la station de Baghlia et d'Oued-Aissi (RN30) Période (1989-2012)

Année	Baghlia Q (m^3/s)	RN30 Q (m^3/s)	Année	Baghlia Q (m^3/s)	RN30 Q (m^3/s)
1989-1990	2.53	3.94	2001-2002	0.71	2.32
1990-1991	71.07	4.58	2002-2003	6.06	0.26
1991-1992	17.19	2.65	2003-2004	3.07	13.72
1992-1993	11.89	2.96	2004-2005	2.43	2.31
1993-1994	5.09	2.05	2005-2006	2.26	3.98
1994-1995	17.58	3.66	2006-2007	2.98	5.23
1995-1996	17.83	0.40	2007-2008	2.97	3.70
1996-1997	2.63	1.00	2008-2009	3.74	6.56
1997-1998	27.57	6.63	2009-2010	2.68	2.52
1998-1999	22.11	3.74	2010-2011	3.30	4.51
1999-2000	1.08	2.17	2011-2012	3.23	7.87
2000-2001	2.00	0.26			

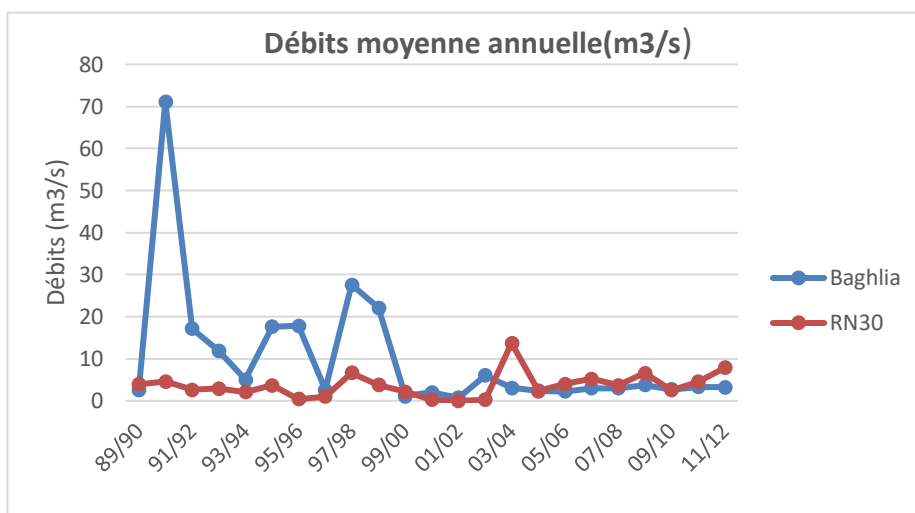


Figure.2 : Variation des débits moyens annuels (m³/s) aux différentes stations.

On constate une variation moyenne annuelle des débits entre les deux stations avec une valeur maximale (71,07 m³/s) durant la période 1990/1991 et une valeur minimale (0,71 m³/s) durant la période 2001/2002 à la station de Baghlia. Tandis qu’à la station de RN30 de l’Oued Aissi a pour valeur maximale (13,72 m³/s) durant 2003/2004 et une valeur minimale de (0,26 m³/s) durant 2002/2003.

3.2 Régime mensuelle

3.2.1 Variation mensuelle des Débits et des pluies

Tableau.4 : Répartitions moyennes mensuelles des précipitations et des débits à la station de Baghlia(1989-2012).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Q men (m ³ /s)	0.68	0.71	4.96	19.04	31.06	22.41	18.00	13.77	10.50	2.99	0.64	1.07
Pluies (mm)	33.35	68.23	110.30	126.22	108.51	87.93	63.80	84.53	61.42	7.78	3.47	7.87

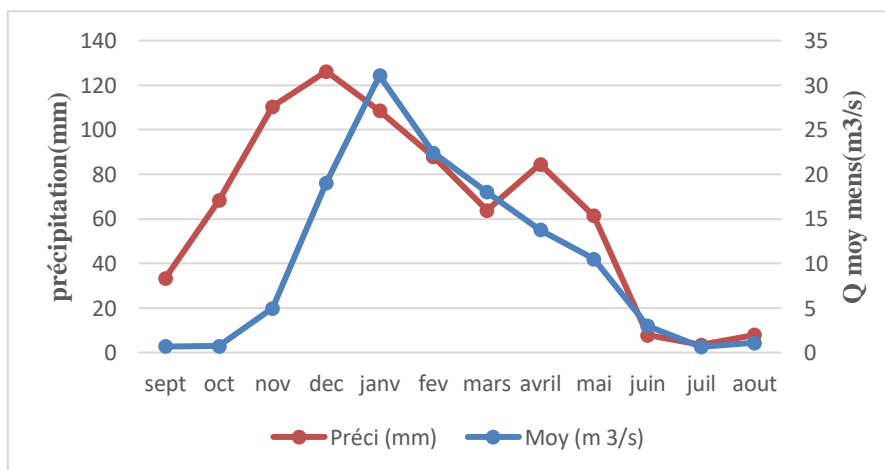


Figure.3 : relation précipitations débits moyennes mensuelles à la station de Baghlia (1989-2012).

3.2.2 Variation mensuelle des Débits

L’histogramme des débits moyens mensuels (**Figure.4**) tracé à partir des données consignées dans le (**Tableau.5**) montre une croissance de valeur de septembre à février suivie d’une décroissance.

Tableau.5 : Variation des débits moyennes mensuels (m^3/s) des stations du Baghlia et Oued Aissi (RN30) (1989-2012)

Station	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Baghlia	0.68	0.71	4.96	19.04	31.06	22.41	18.00	13.77	10.50	2.99	0.64	1.07
RN30	0.93	0.77	3.04	5.18	7.23	7.98	9.87	9.62	5.93	1.78	0.67	0.44

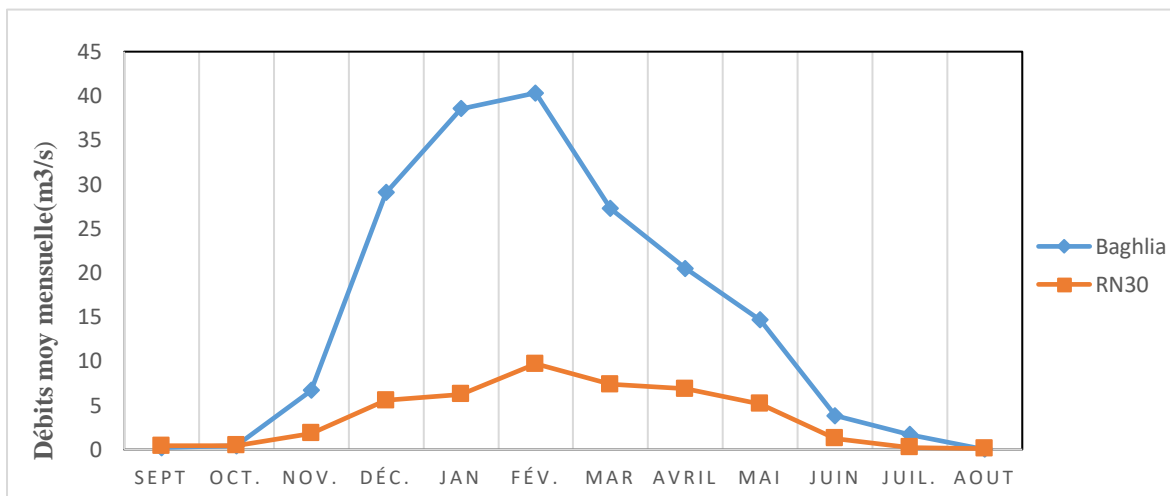


Figure.4 : Variation moyenne mensuelle des débits (m^3/s) (1989/2012).

A partir du graphique (**Figure.4**) on constate que les débits moyens mensuels enregistrés à chaque station présentent deux périodes à savoir :

- Période de basses eaux (Juin-Octobre) le débit moyenne mensuel minimal est enregistré en juillet ($0,64m^3/s$) pour la station de Baghlia et en Aout ($0,44m^3/s$) pour la stationde RN30
- Période de hautes eaux (Novembre jusqu’à Mai) le débit moyenne mensuel maximal est enregistré en janvier ($31,06m^3/s$) pour la station de Baghlia et en Avril ($9,62m^3/s$) pour la station de RN30 : cela peut être expliqué par l’apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.

Une grande différence entre le débit maximal enregistré au mois d’Avril pour les deux stations peut être expliqué par la localisation de ces dernières, la première en amont et la deuxième en aval et donc cumule plus d’eau.

3.3 Régime saisonnières des débits

Tableau.6 : Répartition des régimes saisonniers des débits.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Baghlia	6,35	72,51	42, 27	4,7
RN30	4,74	20,39	25,42	2,89

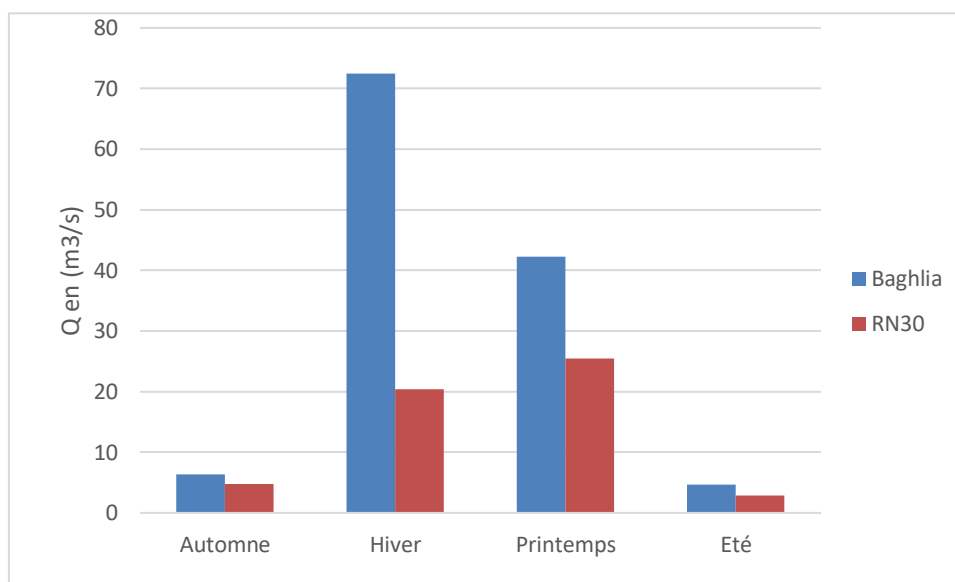


Figure.5 : Variation saisonnières des débits (m³/s) (1989/2012).

La figure montre que les débits sont très important en hiver (72,51m³/s) pour la station de Baghlia et au printemps (25,42m³/s) pour la station de RN 30, contrairement à la période d’été où les débits les plus faible y sont observés, (4,7m³/s) pour la station de Baghlia et (2,89m³ /s) cette différence de débit est conditionné par les pluies d’hiver et de printemps, les périodes de crues, l’étéage...

3.4 Relation pluie-débit évacué

Le graphique de la **Figure.6** construit à partir des données de la station de Baghlia pour la période 1989-2012 (**Tableau.7**) traduit une concordance des précipitations et des débits moyens annuels évacués avec la variation interannuelle indiquant une alimentation de l’oued par les pluies.

Tableau.7 : Variation des débits et précipitations annuelles à la station de Baghlia 1989-2012.

Années	P (mm)	Q (m3/s)	Années	P (mm)	Q (m3/s)
1989-1990	523.80	2.53	2001-2002	456.90	0.71
1990-1991	725.10	71.07	2002-2003	1 099.80	6.06
1991-1992	766.40	17.19	2003-2004	845.80	3.07
1992-1993	669.60	11.89	2004-2005	716.60	2.43
1993-1994	516.00	5.09	2005-2006	729.10	2.26
1994-1995	734.70	17.58	2006-2007	882.70	2.98
1995-1996	767.10	17.83	2007-2008	870.90	2.97
1996-1997	499.60	2.63	2008-2009	933.20	3.74
1997-1998	1 031.20	27.57	2009-2010	888.40	2.68
1998-1999	737.70	22.11	2010-2011	930.70	3.30
1999-2000	567.70	1.08	2011-2012	1 045.40	3.23
2000-2001	620.10	2.00			

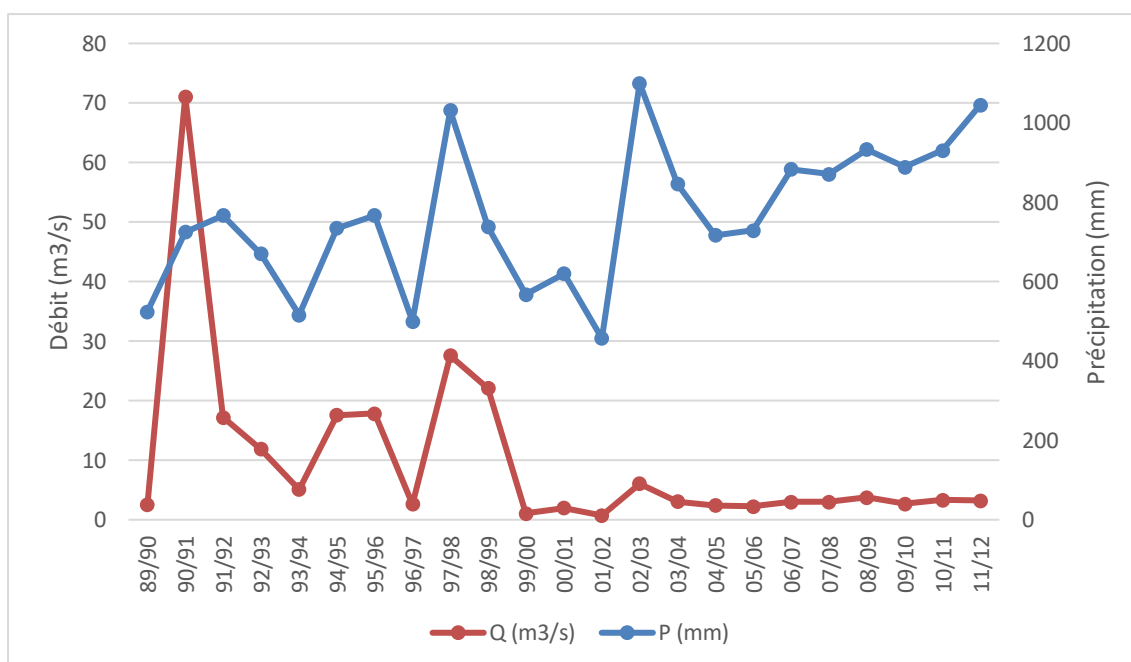


Figure.6 : Relation précipitation débits évacué à la station de Baghlia période 1989/2012.

- Pour l'année 1996/1997 la pluviométrie baisse et le débit aussi.
- Pour l'année 1997/1998 la pluviométrie augmente mais le débit de sortie reste faible et c'est dû au déficit des années précédentes qui fait

qu'une grande partie des Précipitations participe à la recharge de la nappe d'où le ruissèlement de surface qui reste faible.

3.5 Corrélation débits précipité débits évacué

Partant des précipitations et des débits évacués correspondants, observés et simulés à la station de Baghlia pour la période (1989-2012), nous avons effectués une corrélation débits précipités (à l'échelle du bassin versant) débit évacués .nous avons obtenu une mauvaise corrélation avec un coefficient $R=0.0054$ est inferieure a 0.70

Ainsi la droite de régression est de la forme : $Y= 0.0062x + 5.33$

Avec : Y =débit de sortie

X =débit précipité

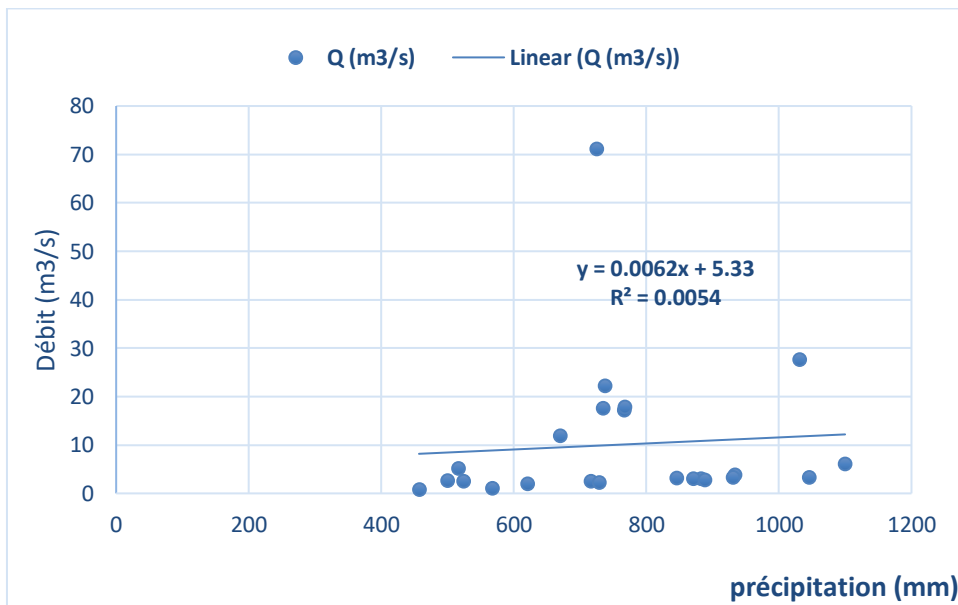


Figure.7 : Corrélation précipitation/Débits à la Station de Baghlia 1989_2012

4 Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est l'analyse hydrologique et la quantification des apports liquides et des débits dans le sous bassin versant du Bas Sébaou.

L'étude des débits nous a permis de faire un état des lieux des apports liquides enregistrés à la station de Baghlia ce qui nous a donné un apport annuel de 477,72 hm³ par an, avec une pluviométrie moyenne interannuelle de 763.41 mm

On constate une augmentation des débits mensuels de Décembre à Mai et une diminution des débits mensuels de Juin à Novembre présentent deux périodes : période de hautes eaux et période de basses eaux.

La dynamique saisonnière des débits observés et simulés sur la période de (1989/2012) montre une augmentation des débits en hiver et en Automne et une diminution en été. Cette augmentation est liée aux crues.

Les débits interannuels montrent une mauvaise corrélation avec les précipitations car le coefficient de corrélation $R=0.0054$ est inférieure à 0,70 et l'équation s'écrit sous la forme :

$$Q \text{ (m}^3 \text{ /s)} = 0,66 \times P \text{ (mm)} - 27,085.$$

Conclusion générale

Conclusion générale

Le sous bassin versant du Bas Sébaou est limité ; au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par les communes de Tizi-Ouzou, à l'Ouest par les communes de Boumerdés, il est intégré en totalité dans les communes de Baghlia, Taouarga et Benchoud et partiellement dans les communes de Dellys, Sidi Daoued, Oueled Aissa, Naceria, Tadmait, Draa Ben Kheda et Sidi Naman. Il est de forme allongée, de direction Nord- Est et couvre une superficie de 220 Km².

Le contexte géologique de la basse vallée du Sébaou est essentiellement constituée de formations sédimentaires (marnes, mollasses, conglomérats) du miocène et des dépôts alluvionnaires du Plio-Quaternaire, sous forme de terrasses localisée dans le talweg principale. Ce remplissage fluvial forme un bon aquifère.

La région étudiée est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes d'inégales durées, l'une froide et humide avec une pluviométrie qui atteint 138,90mm et l'autre chaude et sèche avec une évapotranspiration très élevée due aux températures élevées pendant le mois d'Aout.

Les résultats de l'estimation des moyennes des paramètres constituant le bilan hydrologique sur la période (1989-2012) sont: l'évapotranspiration potentielle (ETP) de 804,44 (mm/an), l'évapotranspiration réelle (ETR) de 504,8 (mm/an), le ruissellement (R) de 239.78 (mm/an) et un taux d'infiltration (I) de 30.44 (mm/an) de la lame écoulée.

Pour mener à bien l'analyse hydrologique, l'utilisation de la modélisation hydrologique est primordiale. Dans ce travail le model (pluie-débit) Génie Rural à deux paramètres à pas mensuel GR2M a été choisi pour combler les débits lacunaires et les simuler. Les résultats de la modélisation semblent très satisfaisants dans cette étude. Les critères d'efficacité sont ≥ 80 % avec un coefficient de corrélation qui se rapproche de 1, indiquant que les débits observés se superposent plus au moins aux débits simulés.

L'étude et l'analyse hydrologique, basée sur le traitement statistique des données hydrométriques conduisent à préciser les termes du bilan hydrologique et à mettre en lumière les aspects fondamentaux des apports liquides et des débits dans le bassin versant du Bas Sébaou basée sur l'étude moyenne interannuelle, moyenne mensuelle et saisonnière.

La dynamique saisonnière des débits sur une période de (1989/2012) montre, une augmentation des débits en hiver et en Automne et une diminution en été. Cette augmentation est liée probablement aux périodes de crues.

Quant aux débits moyens mensuels, on constate une augmentation de Décembre à Mai et une

diminution de Juin à Novembre représentant ainsi deux périodes : période de hautes eaux et période de basses eaux.

La sortie de terrain et l'étude des résultats de laboratoire avec la campagne piézométrique et les paramètres physico-chimiques montrent que la nappe alluviale du bas Sébaou est contaminée, par endroit, par l'intrusion marine.

L'apparition de la pollution dans la nappe du Bas Sébaou est causée principalement aussi par l'exploitation des sablières et le pompage excessif qui provoque la mise à nu de la nappe l'exposant donc à un réel danger de contamination des eaux souterraines.

Enfin malgré les teneurs élevées des différents ions et leurs caractères incrustants et durs, les eaux de la vallée du Bas Sébaou restent propices à l'irrigation et les normes de potabilité sont en général respectées par une eau potable.

Pour mieux gérer les ressources en eau et prévenir les phénomènes hydrologiques dangereux dans la région qui est souvent exposées aux risques d'inondation, il est recommandé de réhabiliter la station hydrométrique de Baghlia et installer de nouvelle station hydrométrique sur les affluent de l'oued Sébaou.

*Références
Bibliographique*

Références Bibliographique

- Abdennour nadia, Aitnamane theresa, 2015 :** Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux mises en distribution de la ville de Tizi-Ouzou (Barrage de Taksabt et forage de Boukhalfa). l'obtention du diplôme de Master université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques.
- Abdoulaye fadimata, Redjimi chems eddine, 2021 :** Modélisation pluie-débit, débit liquide-débit solide par les réseaux de neurones artificiels et les réseaux neuro-flous. cas du bassin versant kebir rhumel. mémoire de fin d'études université Larbi ben m'hidi oum el bouaghi.
- Achite mohammed, Aallah abderrahmane toubal abderrezak kamel** Etude de l'écoulement liquide et solide dans le bassin versant de l'oued Sébaou au droit de la station hydrométrique de Baghlia, Algérie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire Eau –Environnement, Université Hassiba Ben Bouali, BP151, Chlef, Algérie.
- Aissam ghrieb, 2011 :** L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone semi-aride. Cas de la nappe du bassin d'effondrement de Tébessa dans le Nord Est Algérie. Université de Tébessa Algérie-Master 2 option hydrogéologie.
- Bendahmane ibrahim, 2010 :** Modélisation et simulation numérique de l'écoulement dans un milieu poreux : Application pour la nappe alluviale du Sébaou Tizi-Ouzou en vue de la prévision du niveau d'eau dans chaque période de l'année. l'obtention du grade de Magister en Hydraulique Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
- Beven k., kirkby m. j. (1979) :** A physically-based variable contribution area model of catchment hydrology. Hydrology Science Bulletin 24(1) : 43-69.
- Chabane aigon 2014 :** Potentialités hydriques de l'aquifère alluviale de Bas Sébaou (W, de Boumerdése). l'obtention du diplôme de Magister Université des sciences de technologie Haouri Boumédiène.
- Chimouni hichem, 2017 :** L'évaluation de degré de pollution par l'intrusion marine d'oued Sébaou (partie de Bas Sébaou).). l'obtention du diplôme de Master Université Mhamed bougara boumerdes, département du génie de l'environnement.
- Djelloul fateh, 2014 :** Contribution à l'étude de la relation "pluie- débit" : cas de quelques sous bassin du côtier algérois. diplôme de master. école nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah.

- Edijatno, michel, c. (1989) :** Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. La Houille Blanche(2), 113-121.
- Edijatno, nascimento, n.o., yang, x., makhlouf, z. et michel, c. (1999) :** GR3J: à daily watershed model with three free parameters. Hydrological Sciences Journal 44(2), 263-277.
- Fatiha hadjou, 2008 :** Etude hydrogéologique par modélisation mathématique en vue d'une approche rationnelle et optimale de la gestion de l'eau souterraine de la vallée de l'oued Sébaou. l'obtention du diplôme de Magister, Université des sciences de technologie Haouri Boumédiéne.
- Ferrah nadia, 2017 :** Simulation des écoulements mensuels par le modèle GR2M Cas du bassin de l'Isser. Mémoire de Master
- Habchi imane, 2019 :** Prévision des débits solides et Modélisation pluies débits dans un milieu semi-aride par réseau de neurone artificiel et neuro-flou (cas d'un bassin versant). Diplôme Master. Université Larbi Ben M'hidi- Oum El Bouaghi.
- Khadidja ghobrini, Leila bendifallah et Lamia ghobrini, 2016 :** Etude qualitative des eaux superficielles du Bas Sébaou (Dellys, Algérie). Conférence Internationale des Energies Renouvelables (CIER-2016) Département of Biology, Faculty of Sciences, University of Boumerdes, Algeria.
- Lila ben si said, Malik bouzelha, 2016 :** Contribution à l'évaluation des intensités pluviométriques et au calcul du débit sur le bassin versant du Sébaou. MEMOIRE DE MASTER Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou Faculté de génie de la construction Département de Génie Civil.
- Louda idir, 2016 :** Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines du plain alluvial du haut Sébaou par la méthode de PRASTCHIM. L'obtention du diplôme de Master en Hydraulique. Département Irrigation et Drainage.
- Makhlouf z, 1994 :** Compléments sur le modèle pluie -débit GR4 et essai d'estimation de ses paramètre, Mémoire de Doctorat à l'université de Paris Sud.
- Makhlouf z. et michel, c., (1994) :** A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. Journal of Hydrology 162, 299-318.
- Medane kheira, 2012 :** HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUMESSAOUD (TAFNA NW- ALGERIEN). MEMOIRE DE MAGISTER, Option Ressources en Eau dans leur Environnement.
- Mekhaldi bouchra, 2017 :** utilisation des systèmes d'information géographiques dans l'étude des écoulements superficiels (cas du bassin du Sébaou). mémoire de master département hydraulique urbaine.

- Merzougui fatma, 2017 :** approche méthodologique god de l'étude de vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine (cas de la nappe alluviale du Sébaou). mémoire de master département d'irrigation et drainage. Ecole nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah.
- Mohammed djemai ,1985 :** Hydrologie de bassin versant du haut Sébaou hydrogéologie des formations alluviales (ALGERIE). L'obtenir du grade de docteur ingénieur Université d'Alger.
- Mouelhi s, Michel c, Perrin c, Andréassian v , ,2006:** Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology* 318:200–214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.014>.
- Nash je, Sutcliffe jv ,1970 :** River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology* 10:282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Perrin, c, Littlewood, i, g. (2000) :** à comparative assessment of two rainfall-runoff.
- Raked hind, 2007 :** Utilisation d'un Système d'information Graphique(SIG) pour une optimisation de la gestion de l'occupation du sol. Cas de la viticulture dans la Daïra de Baghliia (w : Boumerdes). M »moire de magister, faculté des sciences de la Terre et la Géographie et de l'aménagement de territoires, université de la science et de la technologie Houari Boumediene.
- Sais ghania, 2021 :** Protection et préservation des ressources en eaux souterraines à l'extrême Nord-Est Algérien (El-Taref). l'obtention du diplôme du Master université mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- Tababouchet sihem, 2017 :** étude de la pollution des eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou. mémoire de master. Ecole nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah. département aménagement et génie hydraulique.
- Tarik benkaci Ali oureddine dechemi, (2004) :** modélisation pluie-débit journalière par des modèles conceptuels et à boîte noire à; test d'un modèle neuroflou, *hydrological sciences journal*, 49:5, -930, doi: 10.1623/hysj.49.5.919.55132.
- Yahiaoui s, Chibane b, Pistre s, et al ,2022 :** Rainfall-runoff modeling using airGR and airGRteaching: application to a catchment in Northeast Algeria. *Modeling Earth Systems and Environment* 1–12.
- Ziane berroudja horiya, 2018 :** étude de pluies extrêmes dans le bassin versant de Sébaou. mémoire de master. école nationale supérieure d'hydraulique Arbaoui Abdellah.

Annexes

Tableau annexe 1: La température mesurées en °C à la Station de Tizi-Ouzou. (1989-2012 ONM).

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Moy.
1989/1990	23.6	19.8	15.8	14.0	10.2	13.2	13.9	14.4	18.8	24.8	26.7	27.3	18.5
1990/1991	27.1	20.2	14.1	9.0	9.1	9.3	14.0	13.5	15.8	23.5	27.8	28.5	17.7
1991/1992	25.4	18.3	13.0	9.0	8.5	10.0	11.6	14.4	18.7	20.8	25.6	27.6	16.9
1992/1993	24.9	18.0	14.3	10.8	8.7	9.5	12.3	14.4	19.2	23.7	26.5	27.5	17.5
1993/1994	22.5	18.9	13.5	10.8	10.0	11.1	14.6	13.8	21.4	24.4	29.7	30.9	18.5
1994/1995	24.1	19.7	15.2	10.8	9.6	12.6	12.6	14.4	20.8	23.6	27.8	27.2	18.2
1995/1996	22.5	20.3	15.7	13.5	12.9	9.9	13.1	15.4	18.3	22.6	26.3	26.8	18.1
1996/1997	21.6	16.9	14.8	12.3	11.9	12.3	12.9	15.9	20.5	25.0	26.4	27.6	18.2
1997/1998	24.9	20.1	15.1	11.6	10.6	11.9	13.2	15.7	18.0	23.9	27.6	27.1	18.3
1998/1999	24.6	17.4	13.7	9.8	10.0	8.9	13.3	15.8	21.4	25.2	27.8	29.4	18.1
1999/2000	25.4	22.4	13.4	10.5	8.2	11.7	14.3	16.6	21.6	25.1	28.9	29.4	19.0
2000/2001	24.9	18.5	14.6	12.1	10.8	10.3	16.8	15.9	19.1	26.6	28.3	29.1	18.9
2001/2002	24.7	23.0	14.0	9.2	9.7	11.4	13.7	15.4	20.1	25.6	26.8	26.3	18.3
2002/2003	29.9	20.2	15.2	12.9	10.1	9.3	13.8	15.7	18.7	27.1	28.8	29.4	19.3
2003/2004	23.9	20.4	15.7	10.6	10.6	12.2	13.6	14.7	16.5	23.8	26.6	27.0	18.0
2004/2005	22.5	25.2	13.3	11.5	7.4	7.7	12.8	15.5	20.6	25.2	28.3	26.9	18.1
2005/2006	23.2	20.5	13.0	10.6	9.2	10.0	14.2	18.3	21.9	24.8	28.8	26.7	18.4
2006/2007	23.9	22.3	17.3	12.1	11.4	13.0	12.3	15.7	19.5	23.3	27.5	28.1	18.9
2007/2008	23.7	19.4	13.6	10.6	11.0	12.6	13.0	16.3	18.8	23.5	27.9	27.8	18.2
2008/2009	24.4	19.8	13.5	13.1	10.8	10.4	12.7	14.0	21.0	25.2	29.6	28.0	18.5
2009/2010	22.7	19.2	15.3	15.8	11.4	12.8	13.7	16.4	17.6	22.6	27.7	27.2	18.5
2010/2011	23.6	19.2	14.3	11.2	10.6	10.3	13.4	17.5	19.7	23.1	27.5	28.5	18.2
2011/2012	24.7	19.7	15.7	13.0	9.9	6.5	13.3	15.3	19.9	26.4	27.8	30.3	18.5
Moy. (°C)	24.3	20.0	14.5	11.5	10.1	10.7	13.4	15.4	19.5	24.3	27.7	28.0	18.3
Min	21.6	16.9	13.0	9.0	7.4	6.5	11.6	13.5	15.8	20.8	25.6	26.3	16.9
Max	29.9	25.2	17.3	15.8	12.9	13.2	16.8	18.3	21.9	27.1	29.7	30.9	19.3
Ecart-type	1.7	1.9	1.1	1.7	1.3	1.8	1.0	1.2	1.6	1.5	1.1	1.2	0.5
Moy. des Min	18.7	15.2	10.6	7.5	6.2	6.5	8.5	10.3	14.0	18.1	21.2	21.9	13.2
Moy. des Max	31.3	26.6	20.1	16.3	15.3	16.4	19.6	21.5	26.3	31.7	35.6	36.1	24.7
Moy. (Min+Max/2)	25.0	20.9	15.3	11.9	10.7	11.5	14.0	15.9	20.1	24.9	28.4	29.0	19.0

Tableau annexe 2 : Données pluviométriques (mm). Station ONM de Tizi-Ouzou. Période 1989 – 2012 (ONM de Tizi-Ouzou)

Année	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	Total
1989/1990	23.0	28.0	79.5	32.6	78.0	0	40.6	88.4	89.1	21.7	26.3	0.0	507.2
1990/1991	11.4	55.7	63.9	230.1	104.2	145.3	83.5	43.0	41.3	3.3	1.0	6.7	789.4
1991/1992	16.6	177.8	34.5	13.5	145.3	40.9	94.0	170.0	62.5	33.1	7.3	0.2	795.7
1992/1993	6.7	79.9	94.9	190.0	50.6	69.5	28.7	129.9	48.1	0.5	0	7.5	706.3
1993/1994	65.9	41.5	83.5	102.6	114.4	80.9	1.6	59.9	3.5	0.4	0	10.3	564.5
1994/1995	129.4	70.4	17.5	138.7	309.0	45.0	122.1	35.0	0.7	13.0	0.3	18.2	899.3
1995/1996	9.2	19.9	25.4	81.7	155.4	219.0	63.2	157.6	55.1	22.4	8.6	7.8	825.3
1996/1997	37.7	102.3	64.8	76.4	51.2	15.7	24.7	78.8	27.5	3.7	0.8	16.6	500.2
1997/1998	42.3	89.4	202.7	153.9	49.8	163.6	64.9	98.5	231.8	1.0	0	2.8	1100.7
1998/1999	34.8	87.1	132.7	92.9	122.9	92.6	75.3	19.6	40.5	1.3	0	2.3	702.0
1999/2000	32.6	15.4	149.0	219.2	20.5	5.1	6.5	38.3	56.6	6.4	0	0.2	549.8
2000/2001	5.3	51.5	78.4	68	231.6	73.7	4.0	41.2	45.8	0	0	2.1	601.6
2001/2002	35.4	8.6	5.2	63.2	76.2	33.0	47.1	53.8	46.1	1.7	2.5	20.6	393.4
2002/2003	31.0	39.2	271.9	286.1	303.5	106.0	59.3	128.6	34.3	1.2	3.2	3.3	1267.6
2003/2004	21.3	67.7	78.0	166.9	127.7	52.2	104	86.4	146.1	4.7	0	10.2	865.2
2004/2005	36.9	36.4	106.9	197.4	148.7	37.5	30.3	68.5	1.5	0.1	0.6	1.7	666.5
2005/2006	20.0	57.5	72.2	87.2	142.5	169.4	35.0	20.2	78.1	5.6	2.4	2.7	692.8
2006/2007	36.5	18.6	7.3	170.5	8.4	63.4	284.6	201.5	23.8	14.9	11.3	1.8	842.6
2007/2008	56.9	210.4	257.8	89.2	8.7	11.8	88.1	32.3	96.8	14.0	7.2	0	873.2
2008/2009	34.6	66.1	190.3	115.4	221	42.4	92,0	132.6	69.1	0.0	2.6	7.3	881.4
2009/2010	169.8	40.4	116.5	140.3	82.4	61.1	97.4	93.6	59.3	27.6	1.8	25.9	916.1
2010/2011	25.4	113.4	143.5	46.1	90.9	146.9	99.9	106.5	153.1	41	1.7	0.2	968.6
2011/2012	7.5	34.1	156.4	86.9	69.5	269.5	97.8	146.8	40.2	1.1	0	6.4	916.2
Moy. (mm)	38.7	65.7	105.8	123.9	117.9	84.5	70.6	88.3	63.1	9.5	3.4	6.7	775.0
Min	5.3	8.6	5.2	13.5	8.4	0.0	1.6	19.6	0.7	0.0	0.0	0.0	393.4
Max	169.8	210.4	271.9	286.1	309.0	269.5	284.6	201.5	231.8	41.0	26.3	25.9	1 267.6
Ecart-type	38.7	49.6	74.0	69.0	83.5	70.7	59.6	51.4	53.4	12.0	5.9	7.3	205.0

Tableau annexe 3 : Données pluviométriques (mm). Station de BAGHLIA VILLAGE. Période 1989 – 2012 (ONM de Tizi-Ouzou)

Code station : 022002

Nom station : BAGHLIA VILLAGE

X : 603.65

Z : 30

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1989-1990	33.8	24.1	100.7	49	84.2	0	35.6	61	79.6	13.8	42	0
1990-1991	1.8	70.2	56.5	200.2	91.5	143.4	64.5	53	38.5	3	0	2.5
1991-1992	15.8	190.3	51.9	14.2	157.3	52.5	90.2	102.6	57.9	31.4	2.3	0
1992-1993	6	78.9	119.3	164.6	36.5	92	23.9	105.3	39.2	0	0	3.9
1993-1994	29.4	53.3	83.4	130	94.2	64.3	0	56.6	4.8	0	0	0
1994-1995	68.9	70	29.3	121.7	212.2	40.6	101.4	41.1	0.2	10.4	0	38.9
1995-1996	11.7	18.4	17.1	80.6	166.2	221.2	46.2	143.6	34.2	12.6	6.1	9.2
1996-1997	30.3	112.1	57.6	70.2	47.8	16	24.6	100.9	14	6.2	1.3	18.6
1997-1998	61	71.4	160.5	144.9	56.9	91.5	62.4	110.5	269.2	1.1	0	1.8
1998-1999	44.1	51.5	139.4	111.6	148.3	103.2	83	32.5	21.7	0	0	2.4
1999-2000	25.7	22.4	169.8	227.9	18.1	8.1	15.3	42.6	33.1	4.7	0	0
2000-2001	25.2	75.7	71.5	53.8	226.7	86.7	1.5	40.3	30.9	0	0	7.8
2001-2002	15.2	0	104.7	69.7	71.8	37	61.7	64.8	17.3	2.7	0	12
2002-2003	18.1	40.4	228.5	234.4	267.4	105.9	41.3	118.2	42.1	0	3.5	0
2003-2004	46.1	39.9	59.4	151.4	115.2	54.1	112.4	79.2	177.7	0.5	0	9.9
2004-2005	25.4	44.9	110.9	169.8	133.8	143.9	28.2	55.2	3.1	0	1.4	0
2005-2006	54.7	51.8	102.8	108.6	112.7	154.6	20	18.5	98.3	2.2	1.9	3
2006-2007	19.6	25.1	4.4	261	15.4	51.3	232.1	212.1	20.8	3	5.3	32.6
2007-2008	50.1	254.9	212.6	86.1	4.8	17.6	97	39.8	84.1	8.5	15.4	0
2008-2009	24.2	51.1	202	136.4	193.8	33	84.8	87	114.3	0	0	6.6
2009-2010	128.9	55.5	112.3	127.1	92.3	57	108.1	103.2	46.8	27	0.6	29.6
2010-2011	24.4	131.2	141.5	80.7	89.1	129.6	48.3	88.2	149.1	48.6	0	0
2011-2012	6.6	36.1	200.8	109.1	59.6	318.8	84.9	188.1	35.8	3.3	0	2.3

Tableau annexe 3 : Données pluviométriques (mm). Station de MAKOUDA. Période (1989 – 2012 ONM)

Code station : 022002

Nom station : MAKOUDA

X : 603.65

Z : 30

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1985	73,10	62,40	175,80	83,30	106,70	81,40	223,70	43,80	1,30	12,80	5,10	0,30
1986	22,60	70,30	127,60	268,00	162,60	218,50	54,90	14,10	7,30	11,90	0,00	4,00
1987	39,50	26,20	92,30	46,20	41,30	56,00	91,00	60,30	20,50	26,70	21,10	0,00
1988	37,90	6,00	93,80	268,20	70,00	33,10	41,30	82,50	1,00	13,20	0,50	13,30
1989	42,40	25,20	48,50	75,50	96,20	0,00	45,00	74,40	84,50	4,00	29,40	0,00
1990	1,20	50,30	45,90	267,90	125,40	171,00	97,40	46,20	10,00	1,80	0,00	14,80
1991	3,70	159,60	41,40	17,40	191,20	98,10	91,10	163,90	58,20	24,40	4,30	0,00
1992	6,20	82,90	101,10	269,60	53,50	104,70	27,40	120,40	37,40	0,00	0,00	7,10
1993	54,20	34,40	49,90	113,20	126,60	70,40	0,00	68,00	5,00	0,00	0,00	7,20
1994	79,00	70,10	24,10	129,50	353,50	69,60	136,20	32,90	3,00	16,40	0,00	29,30
1995	15,90	20,30	20,80	61,00	157,20	261,80	62,40	144,80	46,60	20,60	6,00	7,80
1996	34,20	89,10	58,70	65,70	64,90	17,20	20,70	93,30	17,10	4,10	1,70	10,90
1997	61,90	135,10	129,90	112,50	60,30	149,20	83,90	83,80	202,00	1,00	0,00	1,80
1998	38,40	51,80	147,80	121,10	132,40	136,60	64,60	20,70	31,40	0,00	0,00	0,00
1999	22,70	21,50	172,80	263,40	27,50	3,80	7,10	37,50	43,80	5,20	0,40	1,10
2000	16,60	31,20	73,60	39,80	308,80	76,10	21,10	39,90	34,40	0,00	0,00	23,50
2001	26,10	1,10	90,90	88,10	92,40	48,40	53,20	44,80	19,10	0,30	16,10	11,60
2002	25,00	56,00	202,50	260,10	325,80	73,30	54,90	238,50	29,90	0,00	0,00	0,00
2003	35,00	65,30	54,20	145,90	177,40	35,40	59,70	115,20	108,50	2,80	0,00	2,60
2004	45,40	26,10	107,00	173,00	145,80	129,20	32,10	69,20	1,30	0,00	1,10	0,50
2005	30,90	49,80	77,70	142,40	168,50	221,10	29,50	20,70	62,90	1,80	2,70	2,20
2006	32,50	32,60	4,50	175,20	12,80	45,40	285,10	213,90	18,50	8,90	4,20	1,40
2007	45,60	249,40	198,80	136,40	9,20	14,90	82,90	56,60	69,70	6,50	8,00	0,00
2008	27,90	68,40	207,80	120,40	249,10	34,10	75,60	99,40	42,60	0,00	0,00	8,00
2009	106,50	54,10	140,40	137,60	99,00	59,50	95,00	58,00	48,30	26,20	0,00	18,70
2010	21,00	127,60	126,50	87,80	67,40	137,90	50,70	100,20	170,00	46,20	2,30	0,00
2011	1,00	61,90	152,80	164,20	92,40	315,50	101,00	146,10	31,50	0,00	0,00	67,40
2012	20,00	73,80	71,60	55,90	187,50	139,40	103,20	99,20	186,30	0,00	0,00	22,20

Tableau annexe 4 : Données pluviométriques, Station de MAKOUA, Période 1985 – 2012 (ONM de Tizi-Ouzou)

Code station : 021805

Nom station : DBK

X : 622,65

Y : 390,15

Z : 520

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1985	78,30	65,90	120,20	54,70	72,90	106,40	171,10	56,90	4,60	12,80	5,90	0,40
1986	14,20	41,00	75,50	201,70	114,80	227,70	43,00	4,10	12,90	33,00	0,00	1,20
1987	97,30	45,70	118,50	48,20	65,50	46,90	66,40	58,50	24,70	21,40	3,20	0,00
1988	71,20	4,20	90,00	255,20	46,70	25,70	37,50	96,70	6,00	17,10	3,90	4,40
1989	33,80	24,10	100,70	49,00	84,20	0,00	35,60	61,00	79,60	13,80	42,00	0,00
1990	1,80	70,20	56,50	200,20	91,50	143,40	64,50	53,00	38,50	3,00	0,00	2,50
1991	15,80	190,30	51,90	14,20	157,30	52,50	90,20	102,60	57,90	31,40	2,30	0,00
1992	6,00	78,90	119,30	164,60	36,50	92,00	23,90	105,30	39,20	0,00	0,00	3,90
1993	29,40	53,30	83,40	130,00	94,20	64,30	0,00	56,60	4,80	0,00	0,00	0,00
1994	68,90	70,00	29,30	121,70	212,20	40,60	101,40	41,10	0,20	10,40	0,00	38,90
1995	11,70	18,40	17,10	80,60	166,20	221,20	46,20	143,60	34,20	12,60	6,10	9,20
1996	30,30	112,10	57,60	70,20	47,80	16,00	24,60	100,90	14,00	6,20	1,30	18,60
1997	61,00	71,40	160,50	144,90	56,90	91,50	62,40	110,50	269,20	1,10	0,00	1,80
1998	44,10	51,50	139,40	111,60	148,30	103,20	83,00	32,50	21,70	0,00	0,00	2,40
1999	25,70	22,40	169,80	227,90	18,10	8,10	15,30	42,60	33,10	4,70	0,00	0,00
2000	25,20	75,70	71,50	53,80	226,70	86,70	1,50	40,30	30,90	0,00	0,00	7,80
2001	15,20	0,00	104,70	69,70	71,80	37,00	61,70	64,80	17,30	2,70	0,00	12,00
2002	18,10	40,40	228,50	234,40	267,40	105,90	41,30	118,20	42,10	0,00	3,50	0,00
2003	46,10	39,90	59,40	151,40	115,20	54,10	112,40	79,20	177,70	0,50	0,00	9,90
2004	25,40	44,90	110,90	169,80	133,80	143,90	28,20	55,20	3,10	0,00	1,40	0,00
2005	54,70	51,80	102,80	108,60	112,70	154,60	20,00	18,50	98,30	2,20	1,90	3,00
2006	19,60	25,10	4,40	261,00	15,40	51,30	232,10	212,10	20,80	3,00	5,30	32,60
2007	50,10	254,90	212,60	86,10	4,80	17,60	97,00	39,80	84,10	8,50	15,40	0,00
2008	24,20	51,10	202,00	136,40	193,80	33,00	84,80	87,00	114,30	0,00	0,00	6,60
2009	128,90	55,50	112,30	127,10	92,30	57,00	108,10	103,20	46,80	27,00	0,60	29,60
2010	24,40	131,20	141,50	80,70	89,10	129,60	48,30	88,20	149,10	48,60	0,00	0,00
2011	6,60	36,10	200,80	109,10	59,60	318,80	84,90	188,10	35,80	3,30	0,00	2,30
2012	7,10	65,10	55,60	35,20	209,00	168,60	114,20	67,40	173,40	2,20	0,00	

Tableau annexe 6 : Données des débits (m³/s) mensuels de Station de BAGHLIA Période 1989 – 2000
ANRH

Code station : 022001
Nom station : BAGHLIA

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1989 - 1990	0,13	1,29	2,58	4,35	38,61	34,81	11,96	60,88	188,2	39,58	2,6	7,8
1990 - 1991	11,71	14,32	18,24	2130	4155,1	2318,67	1212,2	752,12	256,1	125,76	6,56	139,3
1991 - 1992	11,83	3,95	4,43	5,4	251,3	78,23	685,79	1134,1	303,7	236,37	6,41	7,97
1992 - 1993	8,64	9,31	23,63	485,44	513,43	115,53	214,36	206,82	241,1	85,63	0,1	0,67
1993 - 1994	1,34	5,38	12,11	84,87	306,25	338,25	40,62	14,96	3,77	4,74	5,42	6,11
1994 - 1995	6,25	6,92	7,97	109,43	1652,2	214,08	791,78	27,33	30,34	4,15	12,05	13,71
1995 - 1996	18,25	20,6	24,04	27,52	178,67	842,95	818,72	503,42	412,1	74,46	12,46	18,01
1996 - 1997	20,66	7,2	1,88	51,76	142,33	59,34	29,25	83,89	15,38	0,3	6,99	21
1997 - 1998	38,25	15,29	537,8	1436,9	306,49	383,5	362,36	322,04	1120	105,93	12,51	14
1998 - 1999	28,31	36,16	593,2	662,56	517,07	1373,98	355,54	137,19	53,65	5	6,42	0,14
1999 - 2000	0,29	12,45	14,32								21,62	28,86

Tableau annexe 7 : Les débits (m³/s) mensuels simulé dans la Station de BAGHLIA
Période 200-2012

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
2000-2001	4,60	4,16	6,10	12,05	121,83	87,50	31,35	29,04	25,30	12,50	7,99	5,87
2001-2002	4,82	4,07	3,56	4,01	9,14	12,16	17,66	22,85	21,28	11,35	7,53	5,76
2002-2003	4,81	4,32	68,07	248,24	336,86	146,24	80,69	109,10	42,90	16,69	9,71	6,74
2003-2004	5,24	5,18	8,00	52,19	99,24	64,20	86,22	75,40	107,91	26,55	12,75	8,25
2004-2005	6,38	5,49	9,81	78,60	134,57	67,76	44,68	50,08	19,14	10,51	7,10	5,39
2005-2006	4,43	4,31	6,21	16,54	70,58	151,08	60,70	30,96	36,27	15,81	9,35	6,56
2006-2007	5,27	4,43	3,82	18,28	13,86	24,25	196,03	199,04	45,21	20,25	11,55	7,58
2007-2008	6,30	35,49	167,10	103,41	41,00	26,98	52,38	33,01	47,19	20,09	11,17	7,40
2008-2009	5,76	5,79	39,28	74,25	194,39	75,83	89,13	117,22	62,71	19,94	10,82	7,29
2009-2010	16,18	13,58	30,51	74,80	71,14	59,89	76,91	74,05	47,05	23,74	12,00	8,23
2010-2011	6,22	9,66	36,08	33,85	58,40	120,45	102,43	92,26	109,53	38,35	15,58	9,21
2011-2012	6,50	5,24	17,20	35,58	45,63	213,80	108,27	117,43	40,73	16,14	9,46	6,63

Tableau annexe 8: Données des débits (m³/s) mensuels de Station ANRH de RN 30

Période 1989 –2012 (ANRH)

Code station : 021715

Nom station : RN 30

Anée	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1989 -1990	0,03	0,06	3,64	3,83	10,15	5,54	4,43	8,17	9,95	1,35	0,05	0,02
1990 -1991	0,01	0,02	0,28	8,02	5,74	14,55	14,47	7,32	2,38	1,62	0,39	0,17
1991 -1992	0,04	0,61	0,40	0,71	2,97	2,21	4,12	13,88	4,84	1,55	0,34	0,12
1992 -1993	0,02	0,03	2,09	6,04	6,57	3,97	5,27	4,72	5,55	1,01	0,20	0,03
1993 -1994	0,07	0,09	0,91	3,58	4,92	7,79	3,36	2,03	1,28	0,53	0,00	0,00
1994 -1995	0,35	1,31	1,80			9,20	18,01	3,59	1,49	0,67	0,13	0,04
1995 - 1996	0,03	0,11	0,24	1,22								
1996 - 1997	0,47	0,57			3,14	1,85	0,98	2,29	0,49	0,15	0,02	0,01
1997 - 1998	0,14	1,47	7,06	10,43	3,63	6,68	4,77	12,96	26,32	5,01	0,53	0,49
1998 - 1999	3,77	0,79	2,60	5,61	8,76	11,17	6,79	3,08	1,76	0,39	0,10	0,06
1999 - 2000	0,07	0,13	0,51	17,45	1,96	1,17	0,69	0,56	3,25	0,17	0,02	0,01
2000 - 2001	0,01	0,01		0,77								
2001 - 2002												
2002 - 2003												
2003 - 2004	7,46		9,43	15,32	28,51	16,01	20,23	20,91		8,97	5,55	4,80
2004 - 2005	4,66	3,04	4,01							1,38	0,64	0,14
2005 - 2006	0,40	0,25		3,13		12,77	10,35	3,82	6,94	1,11	0,74	0,32
2006- 2007	0,41	0,32	0,34	1,65	1,11	1,72	21,43	27,28	6,43	1,22	0,55	0,29
2007 - 2008	0,22	1,39	9,27	3,98	4,52	2,54	6,04	9,59	3,93	2,04	0,52	0,35
2008 - 2009	0,38	3,03	5,45	4,76	23,10	11,80	3,81	16,01	7,69	1,53	0,73	0,42
2009 - 2010	0,56	1,06	1,95	1,87	5,49	6,70	6,17	2,64	1,65	1,22	0,63	0,27
2010 - 2011	0,10	0,76	3,29	3,23	2,71	11,33	10,62	7,10	10,90	2,56	0,99	0,51
2011 - 2012	0,31	0,44	1,52	1,57	2,34	16,64	36,15	27,27	6,04	1,32	0,53	0,27

**Tableau annexe 9 : Données des Apport (hm³) à la Station de Baghlia Période 1986 –
2000 (ANRH)**

Anée	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1986 - 1987	0,00	0,00	6,71	204,34	192,40	451,03	123,39	92,57	0,00	6,38	52,54	0,00
1987 - 1988	0,00	1,47	2,58	9,66	18,39	19,37	48,43	16,87	12,04	3,44	0,15	0,00
1988 - 1989	0,00	0,00	0,30	87,62	46,82	22,89	36,30	51,21	17,08	3,72	0,14	0,00
1989 - 1990	0,00	0,00	0,00	0,90	8,01	6,52	2,48	12,19	38,90	7,91	0,00	0,00
1990 - 1991	0,00	0,00	0,00	163,32	318,30	177,46	92,70	57,46	19,55	9,59	0,00	0,00
1991 - 1992	0,00	0,00	0,87	1,10	51,00	14,84	138,94	222,15	61,42	46,21	1,29	0,00
1992 - 1993	0,00	0,00	4,60	97,55	103,08	20,93	42,96	40,08	48,24	16,56	0,02	0,00
1993 - 1994	0,00	0,00	0,00	16,87	60,83	60,63	8,06	2,87	0,75	0,01	0,00	0,00
1994 - 1995	0,00	1,36	1,52	21,53	324,73	37,97	155,35	0,00	5,94	0,79	0,00	0,00
1995 - 1996	0,00	0,00	0,00	0,00	34,75	153,24	158,97	94,51	79,88	13,96	2,41	0,00
1996 - 1997	0,00	1,39	0,35	9,97	27,40	10,31	5,62	15,59	2,95	0,05	0,00	0,00
1997 - 1998	7,08	2,92	99,32	273,99	58,39	65,94	68,93	59,23	212,77	19,45	2,37	0,00
1998 - 1999	0,00	6,84	108,45	125,07	97,52	233,86	66,95	24,98	10,09	0,91	0,01	0,00
1999 - 2000	0,00	0,00	0,00			97,55	103,08	20,93	42,96		0,00	0,00

**Tableau annexe 10 : Données des Apports (hm³) à la Station de RN30 Période 1986 –
2000 (ANRH)**

Annee	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
1986-1987	0,10	1,15	4,60	28,65	43,27	113,72	38,79	32,10	9,16	3,00	1,35	0,38
1987-1988	0,45	0,67	2,28	6,05	7,87	7,30	15,44	7,07	5,11	1,83	0,33	0,12
1988-1989	0,28	0,15	0,45	22,89	9,41	8,30	16,29	24,13	6,92	2,19	0,68	0,15
1989-1990	0,09	0,16	9,43	10,27	27,18	13,41	11,85	21,18	26,66	3,51	0,15	0,06
1990-1991	0,02	0,07	0,73	21,48	15,38	35,21	38,75	18,97	6,38	4,21	1,06	0,46
1991-1992	0,09	1,64	1,04	1,89	7,97	5,55	11,04	35,98	12,96	4,02	0,92	0,32
1992-1993	0,06	0,08	5,42	16,17	35,21	38,75	18,97	35,98	14,87	2,61	0,52	0,08
1993-1994	0,17	0,25	2,35	9,59	13,17	18,84	9,01	5,26	3,42	1,36	0,00	0,01
1994-1995	0,90	3,51	4,65	9,59	13,17	22,26	48,25	9,30	3,99	1,73	0,36	0,12
1995-1996	0,09	0,30	0,62	3,27	17,59	9,60	14,13	12,23		12,96	4,02	0,92
1996-1997	1,23	1,52			8,41	4,47	2,63	5,94	1,31	0,39	0,06	0,04
1997-1998	0,37	3,94	18,30	27,95	9,73	16,16	12,78	33,59	70,51	12,99	1,43	1,32
1998-1999	9,76	2,10	6,74	15,03	23,48	27,03	18,18	7,99	4,71	1,00	0,28	0,15
1999-2000	0,18	0,34	1,33	46,74	5,25	2,93	1,84	1,46	8,71	0,44	0,05	0,04

Résumé

L'objectif de cette étude est la caractérisation hydrologique par le biais de la modélisation hydrologique, appliquée dans le sous bassin versant du Bas Sébaou, L'approche est basée sur la simulation hydrologique des débits lacunaires de la station de Baghlia afin de quantifier les écoulements de surface,

La synthèse actualisé des connaissances hydrologiques a permis l'exploitation des données climatologiques et hydrologiques par l'utilisation des méthodes empiriques, statistiques combinés à la modélisation hydrologique pluie-débit, en utilisant un modèle global à réservoir : le modèle du génie rurale « GR2M » au pas de temps mensuel,

Les résultats de simulation ont montré des performances assez élevées pour le bassin de Bas Sébaou, et qui peut être exploité dans d'autres bassins versant pour une meilleure gestion de la ressource en eau,

Mots clés : Bas Sébaou - modélisation - simulation - GR2M – apports liquides,

Abstract

The goal of this study is the hydrological characterization through hydrological modeling, applied in the Bas Sébaou sub-watershed, The approach is based on the hydrological simulation of lacunar flows from the Baghlia station in order to quantify surface flows,

The updated synthesis of hydrological knowledge allowed the exploitation of climatological and hydrological data by the use of empirical methods, statistics combined with hydrological rainfall-flow modeling, using a global reservoir model: the rural engineering model "GR2M", On a monthly time step,

The simulation results showed fairly high performance for the Bas Sébaou basin, which can be exploited in other watersheds for better water resource management,

Key words: Bas Sébaou - modélization- simulation - GR2M – liquid intake