



**HAL**  
open science

# Ressources en eau de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane et agriculture irriguée : Caractérisation, quantification et valorisation. Cas du périmètre irrigué de Béni Moussa (Région Béni Mellal Khénifra)

Rachid Bissour

## ► To cite this version:

Rachid Bissour. Ressources en eau de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane et agriculture irriguée : Caractérisation, quantification et valorisation. Cas du périmètre irrigué de Béni Moussa (Région Béni Mellal Khénifra). Géographie. Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal (Maroc), 2019. Français. NNT: . tel-03254247

**HAL Id: tel-03254247**

**<https://hal.science/tel-03254247>**

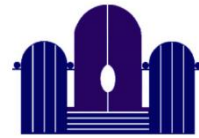
Submitted on 8 Jun 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université Sultan Moulay Slimane



Faculté des Lettres et des Sciences Humaines  
Béni Mellal

Centre doctoral des Lettres et des Sciences Humaines

Formation

Urbanisation et Aménagement Urbain

Thèse de doctorat en Géographie

**Ressources en eau de l'oued El Abid amont barrage  
Bin El Ouidane et agriculture irriguée :  
Caractérisation, quantification et valorisation.  
Cas du périmètre irrigué de Béni Moussa  
(Région Béni Mellal Khénifra)**

Préparée par : Rachid BISSOUR

Soutenue publiquement

le 16 Mars 2019

Devant les membres de jury

Pr. YAHIA EL KHALKI

Pr. MOHAMMED MAYOUSSI

Pr. ABDELGHANI EL HOUARI

Pr. REDOUANE MADI

Encadrant et rapporteur

PRESIDENT

EXAMINATEUR

EXAMINATEUR



بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ ألم تر أن الله أنزل من

السماء ماء فسلكه ينابيع في الأرض ثم يخرج به

زرعا مختلفا ألوانه ثم يهيئ فتراه م صفرا ثم يجعله

حماما إن في ذلك لآية لأولي الألباب ﴿20﴾

القرآن الكريم - سورة الزمُر - الآية 20

« Ne vois-tu pas qu'Allah fait descendre du ciel de l'eau, puis Il l'achemine vers des sources dans la terre ; ensuite avec cela, Il fait sortir une culture aux couleurs diverses, laquelle se fane ensuite, de sorte que tu la vois jaunie ; ensuite, Il la réduit en miettes. C'est là certainement un rappel aux [gens] doués d'intelligence. »

Le Coran – Traduction intégrale et notes de MUHAMMAD HAMIDULLAH (1977), Le club français du livre. Page 446

## Remerciement

---

Ces remerciements sont, avant tout, l'expression de ma reconnaissance envers tous ceux qui se sont montrés disposés à collaborer à ce travail et à le soutenir.

Je présente toute ma gratitude à mon directeur de thèse, mon Professeur **YAHIA ELKHALKI**, pour la confiance qu'il m'a accordée, pour la qualité de son encadrement et pour l'aide et le soutien qu'il m'a apporté tout au long de cette thèse. J'ai été à la fois très heureux et honoré d'avoir travaillé avec lui.

Je remercie le Professeur Mohammed EL GHACHI pour ses conseils précieux, les discussions fructueuses et pour son soutien à cette thèse, ses efforts déployés pour bien éclaircir le thème de la thèse. Mes remerciements sont aussi destinés à mon Professeur ABDELLATIF HAFID pour son aide qu'il m'a apporté en matière de « géologie » et l'encouragement. Je remercie aussi Madame le Professeur Hanane JARMOUNIE pour la correction linguistique.

Je présente mes sincères remerciements au Professeur SEBASTIEN LEBAUT de l'Université de Lorraine (France) pour ses orientations, son aide technique et scientifique, et pour nous mettre en vrais chemin dès le début.

Je remercie les personelles de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'*Oum Er Rbia*, notamment Mr. EL HAKKANI, Mr. AHMED MARNOUNE et Mr. RACHID MSSLOUHI, qui m'ont beaucoup facilité l'accès aux données hydroclimatiques des différentes stations et à la documentation de l'Agence.

Je remercie les personnels de l'ORMVA de Tadla pour la fourniture des données nécessaires. Je remercie aussi tous les agriculteurs enquêtés pour leur accueil, simplicité et temps, de même je remercie tous mes amis qui m'ont accompagné durant toute la période de l'enquête de terrain.

Je remercie également Mr. EL MAHDI EL KHALKI pour son aide et son apport pour la compréhension du fonctionnement du modèle hydrologique pluie-débie.

Ma gratitude va à tous mes professeurs du département de géographie de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Béni Mellal, pour leurs débats, encouragement et soutien, à tout le personnel de l'établissement, et à tous mes amis les doctorants du département de géographie, je leur souhaite tous succès et bonne continuation.

Je remercie l'ensemble des membres du jury de thèse d'avoir lire et examiner ce travail.

Je voudrais enfin remercier toute ma famille et tous mes amis pour leur soutien et leur encouragement.

## Résumé

---

### **Ressources en eau de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane et agriculture irriguée : Caractérisation, quantification et valorisation. Cas du périmètre irrigué de Béni Moussa (Région Béni Mellal Khénifra)**

Le Maroc est caractérisé par une situation géographique particulière, qui lui offre une diversité climatique et naturelle très remarquable. Ce caractère lui confère une potentialité hydrique considérable, notamment dans les chaînes de l'Atlas, et plus particulièrement le Haut Atlas central, qui est considéré comme l'un des grands réservoirs d'eau du pays. Cependant, cette zone montre une forte fragilité et vulnérabilité aux conditions naturelles et aux impacts humains. Ce travail s'inscrit dans le contexte de la richesse hydrique dont dispose le bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane (Haut Atlas central), la vulnérabilité et la variabilité de cette ressource en amont, et la demande accrue d'eau pour l'agriculture irriguée à l'aval, à Béni Moussa (plaine de Tadla). En première étape, nous avons procédé à la reconnaissance des ressources en eau du bassin versant, en caractérisant les différents facteurs naturels qui régissent le fonctionnement hydrologique du bassin versant : i) topographie et relief, ii) géologie et géomorphologie, iii) végétation et occupation du sol. En deuxième étape, une quantification des ressources en eau a été réalisée en se basant sur des données hydro-pluviométriques des différentes stations, ceci en déterminant les périodes humides et les périodes sèches durant les trois dernières décennies. Plusieurs indices ont été adoptés pour identifier les fluctuations pluviométriques et leurs impacts sur le fonctionnement hydrologique de l'oued El Abid. Une modélisation pluie-débit a été effectuée pour tester la performance des deux modèles GR1A et GR2M pour simuler les débits futurs. Par la suite, une étude du bilan hydrique de la retenue du barrage de Bin El Ouidane a été réalisée en étudiant l'évolution des volumes des apports des deux cours d'eau ; oued El Abid et Assif Ahançal, les pertes et les lâchers. Une importante partie de ces lâchers d'eau est destinée pour l'irrigation de Béni Moussa. Ces eaux font l'objet d'une étude de valorisation par la production végétale. Durant cette étape, nous avons suivi la production de six types de cultures, en estimant les différentes charges variables, les volumes d'eau d'irrigation et la valeur de production. Ces trois paramètres nous ont permis d'évaluer le niveau de valorisation de l'eau d'irrigation par chaque type de culture. Les résultats obtenus montrent que la valorisation des ressources en eau du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane par l'agriculture irriguée à Béni Moussa est encore faible, car les volumes d'eau utilisés sont très énormes et les bénéfices tirés de l'agriculture ne sont pas satisfaisants, chose qui a été validé par l'étude de l'impact socio-économique. Tout ceci et malgré les efforts déployés par l'Etat depuis la construction du barrage et l'aménagement hydro-agricole jusqu'à la proposition du Programme de l'Economie de l'Eau d'Irrigation (PNEEI), qui a pour principal objectif la rationalisation de l'utilisation des ressources en eau via la reconversion vers le système de goutte-à-goutte, l'irrigation n'a pas pu avoir d'impact réel sur le développement socio-économique des petits agriculteurs et sur le développement du territoire.

**Mots clés :** Ressources en eau, valorisation, modélisation pluie-débit, agriculture irriguée, oued El Abid, Bin El Ouidane, Béni Moussa

## Abstract

---

### **Water resources of the wadi El Abid upstream of Bin El Ouidane dam and irrigated agriculture: Characterization, quantification and valorization. Case of the irrigated area of Beni Moussa (Beni Mellal Khenifra Region)**

Morocco has a geographical location that provides a significant climate and natural diversity. These two factors provide the country with great water resources, especially the Atlas mountain ranges, especially the central High Atlas, which is considered as one of the most important reservoirs. However, this area shows a strong fragility and vulnerability to natural conditions and human impacts. This work comes in the context of the abundance of water resources of the wadi *El Abid* upstream of *Bin El Ouidane* dam (the central High Atlas) and the vulnerability and variability of this resource in the upstream; and the increased demand for water for the irrigated agriculture in *Beni Moussa (Tadla Plain)*. In the first stage of this work, we have identified the most important natural characteristics responsible for the abundance of water resources and that control the hydrological behavior of wadi *El Abid* catchment: a) topography and reliefs, b) geology and geomorphology; In the second phase, a quantitative study of water resources was carried out, based on the rainfall and precipitation data for the various climatic stations in the region. These data have enabled us to identify wet and dry periods for the last three decades. Several indicators have been adopted for the study of rain variability and its effect on the hydrological behavior of the wadi *El Abid* and *Assif Ahançal*. Rainfall-runoff modeling was performed to test the performance of both GR1A and GR2M models to simulate future flows. Subsequently, a study of the water balance of the reservoir of the *Bin El Ouidane* dam was carried out by studying the evolution of the volumes of the contributions of the two rivers, the losses and the releases. An important part of released water is intended for irrigation in *Beni Moussa*. These waters were the subject of a valorization study by plant production. During this stage, we monitored the production of six crop types, estimating the different variable production cost, the irrigation water volumes and the value of production. These three parameters allowed us to evaluate the level of valorization of irrigation water by each type of crop. The results obtained show that the valorization of the water resources of wadi *El Abid's* catchment upstream of the *Bin El Ouidane* dam by irrigated agriculture in *Beni Moussa* is still low, due to enormous volumes of water used and the benefits from agriculture are not satisfactory, which was approved by the study of the socio-economic impact. All this, despite the efforts made by the State since the construction of the dam and hydro-agricultural development until the proposal of the Program of the Irrigation Water Economy (PNEEI), which has as main objective, the rationalization of the water consumption through reconversion to the drip system, irrigation could not have any real impact on the socio-economic development of small farmers and on the development of the territory.

**Key words:** Water resources, valorization, rainfall-runoff modeling, irrigated agriculture, *El Abid* wadi, *Bin El Ouidane*, *Beni Moussa*

## ملخص

الموارد المائية لحوض واد العبيد بعالية سد بين الويدان والفلاحة المسقية : التشخيص والتكميم والتثمين.

حالة المدار المسقي لبني موسى (جهة بني ملال خنيفرة)

يتميز المغرب بموقع جغرافي يوفر له تنوعا مناخيا وطبيعيا مهمين. وفر هذان المعطيان للبلد موارد مائية كبيرة، تظهر بسلاسل جبال الأطلس، وبالأخص بالأطلس الكبير الاوسط، الذي يعتبر واحدا من أهم الخزانات المائية بالمغرب. لكن هذا المجال يعرف هشاشة مهمة أمام الظروف الطبيعية والتأثيرات البشرية. ويندرج هذا العمل في سياق دراة شمولية للموارد المائية لحوض واد العبيد، عالية سد بين الويدان (الأطلس الكبير الاوسط)، وهشاشة وتغابرية هذه الموارد في العالية، خاصة مع تزايد الطلب على مياه السقي، ببني موسى (سهل تادلة). ففي المرحلة الاولى من هذا العمل، قمنا بتشخيص أهم الخصائص الطبيعية المسؤولة عن وفرة الموارد المائية والمتحكمة في السلوك الهيدرولوجي للحوض النهري لواد العبيد : أ) الطبوغرافيا والتضاريس ، ب) الجيولوجيا والجيومورفولوجيا، ج) الغطاء النباتي واستعمال التربة. أما في المرحلة الثانية، فقد قمنا بدراسة كمية للموارد المائية، وذلك بالاعتماد على معطيات التساقطات المطرية والصبيب لمختلف المحطات الهيدرولومناخية بالمنطقة. وقد مكنتنا هذه المعطيات من تحديد الفترات الرطبة والفترات الجافة طيلة الثلاثة عقود الأخيرة. وقد تم اعتماد عدة مؤشرات لدراسة التغيرات المطرية وتأثيرها على السلوك الهيدرولوجي لواد العبيد وأسیف أحضال. كما قمنا باستعمال نمذجة التساقطات المطرية والجريان لاختبار أداء كل من النموذجين GR1A و GR2M لتوقع الصبيب. بعد ذلك تمت دراسة الحصيلة المائية للخزينة المائية لسد بين الويدان، وذلك من خلال دراسة تطور حجم الواردات المائية وكمية المياه الضائعة وكمية المياه الموجهة للسقي وانتاج الكهرباء ودعم صبيب الواد بالسافلة. كما كانت المياه الموجهة لسقي مدار بني موسى موضوع دراسة التثمين بواسطة الإنتاج الزراعي. خلال هذه المرحلة، قمنا بتتبع إنتاج وسقي ستة أنواع من المحاصيل، وذلك بحساب مصاريف الإنتاج المختلفة وحجم مياه السقي المستهلكة وقيمة الإنتاج (أو المبيعات). وقد تمكنا انطلاقا من هذه المعطيات الثلاث من تقدير مستوى تثمين مياه السقي لكل نوع من أنواع المحاصيل الستة؛ وقد أظهرت النتائج المحصل عليها أن تثمين الموارد المائية لحوض واد العبيد، عالية سد بين الويدان، بالفلاحة المسقية ببني موسى لا يزال منخفضا، باعتبار أن كميات المياه المستعملة في السقي كبيرة جدا والأرباح المحصل عليها من الإنتاج الفلاحي ضعيفة، وهذا ما تم تأكده كذلك من خلال دراسة التأثير السوسيو-اقتصادي للفلاحة. هذا ورغم الجهود التي تبذلها الدولة منذ بناء السد والتهيئة الهيدرو-فلاحية وانطلاق البرنامج الوطني لاقتصاد مياه السقي الذي يهدف بشكل أساسي الى ترشيد استخدام الموارد المائية من خلال اعتماد نظام السقي بالتنقيط، فإن الفلاحة المسقية لم تستطع أن تحقق أثرا سوسيو اقتصاديا ملموسا خاصة على الفلاح الصغير ولا حتى على التنمية المجالية للمنطقة.

الكلمات المفتاحية: الموارد المائية، التثمين، نمذجة التساقطات المطرية والصبيب، الفلاحة المسقية، واد العبيد، بين الويدان، بني موسى

## Table des matières

Remerciement.....	1
Résumé .....	2
Abstract.....	3
ملخص.....	4
Table des matières .....	5
Liste des sigles et des acronymes .....	11
<b>Introduction générale</b> .....	<b>12</b>
<b>PARTIE 1 : BASSIN VERSANT DE L'OUED <i>EL ABID</i> EN AMONT DU BARRAGE DE <i>BIN EL OUIDANE</i> : UN CONTEXTE MARQUÉ PAR LES SPÉCIFICITÉS DU HAUT ATLAS CENTRAL</b> .....	<b>23</b>
Introduction .....	24
<b>Chapitre I : Caractéristiques topographiques, morphométriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued <i>El Abid</i></b> .....	<b>25</b>
Introduction .....	26
I. Le contexte général du relief du bassin versant de l'oued <i>El Abid</i> : un relief marqué par une topographie accidentée .....	28
I. 1 Les hauts plateaux.....	28
I. 2 Les montagnes.....	31
I. 3 Les vallées et les dépressions.....	31
II. Les caractéristiques morphométriques du BVOEA.....	32
II. 1 Les paramètres de forme du bassin versant .....	33
II. 1. 1. La superficie et le périmètre .....	33
II. 1. 2. L'indice de Gravélius ( $K_G$ ).....	33
II. 1. 3. Le rectangle équivalent.....	34
II. 2 Les caractéristiques hypsométriques.....	35
II. 2. 1. La répartition spatiale des tranches d'altitudes.....	35
II. 2. 2. Courbes hypsométriques et altitudes caractéristiques .....	39
II. 3 Pentés et leurs caractéristiques.....	41
II. 3. 1. La pente moyenne.....	41
II. 3. 2. L'indice de pente global .....	42
II. 3. 3. La dénivelée spécifique .....	42
II. 3. 4. Répartition spatiale des pentes .....	43
III. Le réseau hydrographique .....	46
III. 1 Cartographie du réseau hydrographique .....	46
III. 2 Classification du réseau hydrographique .....	47
III. 3 Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique .....	49
III. 3. 1. Le cours d'eau principal .....	49
III. 3. 1. Le profil en long .....	49
III. 3. 2. La pente moyenne des cours d'eau principaux.....	52
III. 4 La densité du réseau hydrographique.....	53
III. 4. 1. La Densité de drainage .....	53
III. 4. 2. La densité hydrographique .....	54
Conclusion.....	55
<b>Chapitre II : Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques</b> .....	<b>56</b>
Introduction .....	57
I. Géologie du Haut Atlas central : une diversité de roches, mais dominée par les roches carbonatées.....	57

I. 1	Le Trias supérieur .....	58
I. 2	Le Jurassique .....	59
I. 2. 1.	Le Lias .....	59
I. 2. 2.	Le Dogger .....	60
I. 2. 3.	Le Crétacé .....	63
I. 3	Le Tertiaire et le Quaternaire .....	63
II.	La tectonique et les grands ensembles structuraux .....	65
II. 1	La tectonique .....	65
II. 1. 1.	Les failles .....	65
II. 1. 2.	Plissement .....	65
II. 1. 3.	Les chevauchements .....	66
II. 2	Les grands ensembles structuraux .....	67
II. 2. 1.	Les synclinaux .....	67
II. 2. 2.	Les anticlinaux .....	68
III.	Les caractéristiques hydrogéologiques .....	69
III. 1	La perméabilité .....	69
III. 1. 1.	Les formations perméables .....	70
III. 1. 2.	Les formations semi-perméables .....	72
III. 1. 3.	Les formations imperméables .....	74
III. 2	Les géo-systèmes karstiques .....	74
III. 2. 1.	Le karst d' <i>Ait Abdi</i> .....	75
III. 2. 2.	Le karst du plateau d' <i>El Houanêt</i> .....	75
III. 2. 3.	Le karst d' <i>Ait Mazigh</i> .....	77
	Conclusion .....	78
	<b>Chapitre III : Le couvert végétal et la dynamique de l'occupation du sol</b> .....	80
	Introduction .....	81
I.	Les principales forêts du bassin versant .....	81
I. 1	Forêt des Ait Isha et SIB de Tamga .....	81
I. 2	La forêt des Ait Daoud Ou-Ali .....	82
I. 3	La forêt des <i>Ait Abdi</i> de l'Est .....	84
I. 4	La forêt des <i>Ait Hmama</i> .....	84
I. 5	La forêt d' <i>Ait Bouzid</i> .....	84
II.	Les essences forestières .....	85
II. 1	Le chêne vert .....	85
II. 2	Les Juniperaies .....	86
II. 2. 1.	Le genévrier rouge .....	86
II. 2. 2.	Le genévrier thurifère .....	86
II. 2. 3.	Le genévrier oxycèdre .....	87
II. 3	Les pins .....	87
II. 4	Le cèdre .....	88
II. 5	Le thuya de berberie .....	89
II. 6	Autres essences .....	89
III.	Étude de la dynamique de l'occupation du sol .....	92
III. 1	Les données utilisées .....	92
III. 2	Méthodologie de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol .....	93
III. 3	Les classes de l'occupation du sol .....	96
III. 4	L'indice de validation de la classification .....	97
III. 5	La dynamique de l'occupation du sol .....	98
III. 6	L'impact de la dynamique de l'occupation sur les écoulements de l'eau .....	103
	Conclusion .....	104

Conclusion de la première partie .....	106
<b>PARTIE 2 : ETUDE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID ET MODELISATION PLUIE-DEBIT .....</b>	<b>107</b>
Introduction de la deuxième partie .....	108
<b>Chapitre IV : Etude de la variabilité climatique et hydrométrique dans le bassin versant de l'oued El Abid .....</b>	<b>109</b>
Introduction .....	110
I. Critique des données et homogénéisation des séries pluviométriques.....	110
I. 1 Répartition géographique des stations hydro-climatiques retenues.....	110
I. 2 Comblement des lacunes.....	113
I. 3 Choix de la chronique .....	113
I. 3. 1. Comblement des lacunes par vecteur régional .....	113
I. 3. 2. Détection des ruptures dans les séries pluviométriques .....	115
I. 4 Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et l'altitude des stations.....	117
I. 5 Classification climatique selon GAUSSEN et EMBERGER .....	119
I. 5. 1. Classification du Gausсен.....	119
I. 5. 2. Classification d'EMBERGER .....	120
II. Etude des fluctuations pluviométriques .....	122
II. 1 Variabilité interannuelle des précipitations.....	122
II. 2 Calcul des indices de déficit pluviométrique .....	123
II. 2. 1. Ecart à la moyenne (Em).....	126
II. 2. 2. Indice standardisé de précipitation (SPI) .....	130
II. 3 Analyse en composante principale.....	134
II. 4 Spatialisation des pluies annuelles.....	137
II. 5 Le régime pluviométrique mensuel.....	141
III. Le régime hydrologique du bassin versant .....	144
III. 1 Les variations interannuelles des débits des deux cours d'eau .....	146
III. 2 Le régime hydrologique mensuel.....	147
III. 3 Caractérisation des fluctuations d'écoulement .....	148
III. 4 Relation précipitations / débits annuels .....	151
Conclusion.....	152
<b>Chapitre V : Modélisation pluie-débit .....</b>	<b>154</b>
Introduction .....	155
I. Modèle et modélisation hydrologique.....	156
I.1 Définition d'un modèle .....	156
I.2 Modèle hydrologique .....	156
II. Définition des modèles utilisés .....	157
II.1 Choix de l'échelle temporaire de modélisation.....	157
II.2 Description des modèles utilisés .....	157
II.3 Critère d'optimisation des modèles pluie-débit .....	162
III. Présentation des données d'entrée .....	163
III.1 Les précipitations .....	163
III.2 Les débits .....	163
III.3 La température et l'ETP .....	164
IV. Les résultats de la modélisation .....	165
IV.1 Modélisation pluie-débit au pas de temps annuel (GR1A).....	166
IV.2 Modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel (GR2M).....	171
V. Calage et validation des résultats de la modélisation pluie-débit .....	175
V.1 Résultats de calage validation pour le modèle GR1A.....	176



V.2 Les résultats du calage et de la validation du modèle GR2M.....	177
VI. Discussion des résultats de modélisation pluie débit .....	178
Conclusion .....	179
<b>Chapitre VI : Barrage de <i>Bin El Ouidane</i> : Aperçu historique et étude des volumes d'eau de la retenue.....</b>	<b>181</b>
Introduction .....	182
I. Aperçu historique sur le barrage de <i>Bin El Ouidane</i> .....	182
I. 1 Le projet de la construction du barrage.....	182
I. 2 Les études de la mise au point du barrage de <i>Bin El Ouidane</i> .....	183
I. 3 La construction du barrage de <i>Bin El Ouidane</i> .....	185
I. 3. 1. Les travaux préliminaires .....	185
I. 3. 2. Données techniques et humaines .....	186
I. 4 Les autres aménagements liés au barrage <i>Bin El Ouidane</i> .....	189
II. L'étude des volumes d'eau de la retenue du barrage.....	190
II. 1 Evolution des apports au barrage de <i>Bin El Ouidane</i> .....	190
II. 1. 1. L'étude des apports annuels .....	190
II. 1. 2. L'écart à la moyenne des apports au barrage de <i>Bin El Ouidane</i> .....	191
II. 1. 3. La fréquence des volumes des apports .....	192
II. 1. 4. Comparaison entre les apports et la pluviométrie .....	192
II. 1. 5. Comparaison entre les apports et les débits de l'oued d' <i>El Abid</i> et de l' <i>Assif Ahançal</i> .....	193
II. 1. 6. Les apports en eau mensuels .....	195
II. 2 Les pertes d'eau de la retenue du barrage .....	196
II. 2. 1. Pertes d'eaux par évaporation.....	197
II. 2. 2. Les pertes d'eau par fuites .....	198
II. 3 Les lâchers du barrage.....	199
II. 3. 1. Vidange de fond et évacuateur de crue.....	199
II. 3. 2. Les volumes d'eaux turbinées .....	200
II. 4 Réserve d'eau de la retenue du barrage .....	201
II. 5 Le bilan hydrique du barrage <i>Bin El Ouidane</i> .....	205
III. Les dotations d'eau pour l'irrigation de <i>Béni Moussa</i> .....	206
Conclusion .....	207
Conclusion de la deuxième partie.....	209
<b>PARTIE 3 : VALORISATION DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID PAR L'IRRIGATION DE BÉNI MOUSSA</b>	<b>211</b>
Introduction de la troisième partie.....	212
<b>Chapitre VII : Les systèmes d'irrigation et l'économie de l'eau d'irrigation.....</b>	<b>213</b>
Introduction .....	214
I. L'aménagement hydro-agricole du périmètre de <i>Béni Moussa</i> .....	214
I. 1 Définition .....	215
I. 2 Evolution historique de l'AHA dans le PIBM .....	215
II. Les systèmes d'irrigation .....	220
II. 1 Système gravitaire.....	221
II. 1. 1. Définition.....	221
II. 1. 2. Méthodes d'irrigation par le système gravitaire .....	221
II. 1. 3. Avantages du système gravitaire .....	222
II. 1. 4. Inconvénients du système gravitaire.....	223
II. 2 Systèmes d'irrigation économes .....	223
II. 2. 1. L'irrigation par aspersion .....	223
II. 2. 2. L'irrigation par goutte-à-goutte .....	224

II. 2. 3. Avantages du système sous pression .....	224
II. 2. 4. Inconvénients du système sous pression .....	225
III. L'économie de l'eau d'irrigation .....	225
III. 1 Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation (PNEEI) .....	226
III. 1. 1. Principales consistances du PNEEI .....	227
III. 1. 2. Les effets attendus du PNEEI .....	228
III. 2 La reconversion à l'irrigation localisée au <i>Tadla</i> .....	228
III. 3 Réseau des canaux d'irrigation : état et réhabilitation .....	230
IV. La valorisation de l'eau d'irrigation .....	232
IV. 1. 1. Les études étatiques de valorisation de l'eau d'irrigation .....	232
Conclusion .....	233
<b>Chapitre VIII : Méthodologie adoptée pour l'étude de la valorisation des eaux d'irrigation</b> .....	235
Introduction .....	236
I. Méthode de l'étude de la valorisation des eaux d'irrigation .....	236
I. 1 Présentation de l'échantillon des exploitations et l'enquête de terrain .....	238
I. 1. 1. Présentation de l'échantillon .....	238
I. 1. 2. Préparation du questionnaire .....	239
I. 1. 3. Le choix des exploitations .....	240
I. 2 Le choix des cultures pratiquées en irrigation .....	242
I. 2. 1. Les Céréales .....	243
I. 2. 2. La Luzerne .....	244
I. 2. 3. La Betterave à sucre .....	244
I. 2. 4. Les cultures maraîchères (l'Oignon) .....	245
I. 2. 5. Les agrumes (les orangers) .....	246
II. L'étude des différentes charges .....	248
II. 1 Coût de location de la terre .....	248
II. 2 Travail du sol .....	248
II. 3 Les charges des intrants .....	250
II. 3. 1. Les semences .....	251
II. 3. 2. Engrais .....	251
II. 3. 3. Les produits phytosanitaires .....	252
II. 4 Charges de l'eau l'irrigation .....	253
II. 5 Charges de la récolte .....	255
II. 6 Les charges de la main d'œuvre .....	257
III. L'étude des volumes d'eau consommés .....	259
IV. Résultats des charges totales .....	260
Conclusion .....	263
<b>Chapitre IX : Valorisation de l'eau d'irrigation dans le <i>Béni Moussa</i> et impact socio-économique</b> .....	264
Introduction .....	265
I. L'étude des rendements des cultures .....	265
II. La valeur de production des cultures .....	266
II. 1 Définition .....	266
II. 2 Les paramètres influençant la valeur de production .....	266
II. 3 Analyse des résultats de la valeur de production .....	267
III. La marge brute et la marge nette des six types cultures .....	269
III. 1 Le taux de marge .....	271
III. 2 La rentabilité .....	271
IV. La valorisation des ressources en eau par l'irrigation à <i>Béni Moussa</i> .....	272

IV. 1	La valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production.....	272
IV. 2	La valorisation de l'eau d'irrigation par la marge brute.....	274
IV. 3	La conscience de la rareté des ressources en eau chez les agriculteurs .....	276
V.	L'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie des agriculteurs .....	278
V. 1	La situation familiale .....	278
V. 2	L'agriculteur exerce-t-il d'autre métier ?.....	278
V. 3	Caractère du logement et l'accordement à l'AEP .....	279
V. 4	Propriété de l'exploitation.....	280
V. 5	Machines agricoles et moyen de transport.....	280
V. 6	L'utilisation des revenus .....	281
	Conclusion.....	283
	Conclusion de la troisième partie .....	285
	<b>Conclusion générale et perspective</b> .....	287
	Références bibliographiques .....	291
	Annexes .....	300
	Liste des figures.....	320
	Liste des tableaux .....	324
	Liste des photos .....	326

## Liste des sigles et des acronymes

---

AAA : Accident *Aghbala-Afourer*  
ABHOER : Agence du Bassin Hydraulique de l'Om Er Rbia  
ACP : Analyse en Composantes Principales  
AHA : Aménagement HydroAgricole  
BVOEA : Bassin Versant de l'oued *El Abid*  
CTRST : Comité Technique Régional du Sucre du *Tadla*  
Dh : Dirham  
Em : Ecart à la moyenne  
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (le GIEC, ou en anglais IPCC)  
Ha : Hectare  
IDW: Inverse du Carré de la Distance  
Kg : Kilogramme  
K<sub>G</sub>: indice de compacité de Gravélius  
Km : kilomètre  
km<sup>2</sup> : kilomètre carré  
l : largeur du rectangle équivalent  
L : longueur du rectangle équivalent  
m : mètre  
m<sup>2</sup> : mètre carré  
m<sup>3</sup> : mètre cube  
MB : Marge brute  
MN : Marge nette  
MNT: Modèle Numérique de Terrain  
ONEE : Office National de l'Eau et de l'Électricité  
ORMVAT : Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de *Tadla*  
ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, (nommé aujourd'hui IRD)  
P : Périmètre  
PIBM : Périmètre irrigué de Béni Moussa  
PMV : Plan Maroc Vert  
PNEEI : Plan National de l'Économie de l'Eau d'Irrigation  
Q<sub>x</sub> : quintaux  
RGPH : Recensement Générale de la Population et de l'Habitat  
RVB : Rouge Vert Bleu  
S: Superficie  
SBV: Sous Bassin Versant  
SIB : Site d'intérêt Biologique et Ecologique  
SIG : Systèmes d'Information Géographique  
SPI : Indice Standardisé de Précipitation  
T : Tonne  
VP : Valeur de production

# Introduction générale

L'eau est une matière première indispensable à la vie humaine de la même manière que l'essence est indispensable aux moteurs des voitures et l'électricité aux ordinateurs (HENRI SMETS, 2008). C'est pourquoi l'homme, à travers l'histoire, s'est évertué à mobiliser cette ressource en édifiant des canaux d'amenée d'eau, des petits barrages, etc. pour qu'il puisse l'exploiter pour l'alimentation, l'agriculture, l'industrie, etc. Cependant, cette ressource hydrique est confrontée aujourd'hui à une irrégularité marquante du régime pluviométrique, influencée par les conditions climatiques instables. C'est ainsi que s'effectue l'influence générale du climat sur l'homme, marquant plusieurs niveaux et domaines : ressources en eau, agriculture, sécurité alimentaire, santé, hygiène, etc. (KARROUK, 2009).

Le Maroc est caractérisé par un climat qui est celui propre à tous les pays du bassin méditerranéen, pluvieux et souvent doux en hiver (perturbations d'ouest) et chaud et sec en été (hautes pressions tropicales) (BELTRANDO et al, 1995). Néanmoins, récemment, le régime pluviométrique et thermométrique montre une distribution spatio-temporelle perturbée. Il est remarquable que les précipitations ne se réalisent plus forcément pendant la saison d'hiver, mais elles ont tendance à s'installer pendant les saisons intermédiaires, surtout en automne, même pour le régime thermique d'où l'installation des vagues de chaleur en dehors de leur saison habituelle (KARROUK, 2009). Cette perturbation du régime pluviométrique et thermique a un impact direct sur l'écoulement de surface, et par conséquent sur les ressources en eau. Avec cette situation, certes inquiétante, le Maroc abrite des milieux de fortes potentialités naturelles ; la montagne où les chaînes de l'Atlas sont considérées l'un des grands réservoirs d'eau du pays, pourtant, elles montrent une forte fragilité et vulnérabilité à la variabilité climatique. Le Haut Atlas central est un exemple très clair de cette fragilité. Ses potentialités hydriques sont très importantes en raison de leur étendue géographique et leur constitution géologique (la dominance des roches carbonatées), mais elles subissent une grande pression anthropique, soit par « la population locale » ou par les secteurs auxquels sont destinées.

Le secteur agricole est, sans doute, le principal consommateur des ressources en eau à l'échelle mondiale, voire nationale et régionale. Les demandes en eau sont en croissance. Les bulletins des organismes mondiaux tirent la sonnette d'alarme sur la situation inquiétante de la ressource en eau et les modes de gestion et d'utilisation de cette ressource en agriculture irriguée et recommandent la remise à plat des politiques actuelles jugées très inefficaces. Dans ce cadre, le Maroc a pris l'initiative pour une bonne gestion des ressources en eau, en proposant le Plan National de l'Économie de l'Eau d'Irrigation (PNEEI) qui vise la modernisation des systèmes d'irrigation dans les différents périmètres irrigués par la reconversion de 550.000 hectares à

l'échelle nationale. Ceci, par la reconversion du mode d'irrigation gravitaire et aspersion au système de goutte-à-goutte, afin de faire face à la raréfaction de la ressource en eau qui constitue un défi pour le développement agricole et économique du pays.

Cette thèse s'inscrit dans ce contexte de la vulnérabilité des ressources en eau à l'amont, la forte pression et la demande accrue d'eau du secteur agricole à l'aval. Le laboratoire « *Dynamique des Paysages Risque et Patrimoine* » de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de *Béni Mellal*, s'est chargé, depuis sa création, de donner un cadre à la recherche scientifique portant sur le climat, l'eau, et l'homme. Son équipe a un grand souci pour la prospection de la région pour reconnaître la situation des ressources hydriques, la variabilité climatique et hydrologique, et l'interaction entre l'homme et son environnement.

### Choix du sujet

Plusieurs motivations convergent pour choisir ce sujet de thèse, elles peuvent être classées en deux :

- Les motivations personnelles qui se traduisent par l'importance que nous avons donnée à l'« EAU » durant tous notre parcours universitaire, depuis le projet de fin d'étude de la Maitrise "Protection de l'Environnement", qui a pour objet, l'étude de « l'évolution de la qualité des eaux de surface du bassin de Souss-Massa entre 1993 et 2007 », puis dans la formation du Master "Géo-environnement, paysages et Risques", nous avons approfondi notre connaissance en termes des ressources en eau, et nous avons réalisé un projet de fin d'étude intitulé « les risques d'inondation dans la vallée d'Ouzoud : approche hydrogéomorphologique et apport des SIG ». Après, nous avons eu la volonté de couronner ce parcours de l'« EAU » avec une thèse à travers laquelle nous valorisons nos connaissances et expériences acquises auparavant.

- Les motivations scientifiques : elles partent de l'importance qu'occupe le thème de la ressource en eau, la fragilité des milieux de montagne et le défi de la gestion de l'eau d'irrigation. Toutes ces préoccupations globales, nous ont incités à choisir une région dotée d'une première priorité à l'échelle régionale ; à savoir le Haut Atlas central et le périmètre irrigué de *Tadla*. Pourquoi le Haut Atlas central et le périmètre irrigué de *Tadla* ? Le choix du Haut Atlas central s'est basé sur son caractère de réservoir d'eau de la région, drainé par de nombreux cours d'eau dont l'oued *El Abid* qui approvisionne le barrage de *Bin El Ouidane*. Le périmètre irrigué de *Tadla* a été choisi car son sous-périmètre de *Béni Moussa* est irrigué

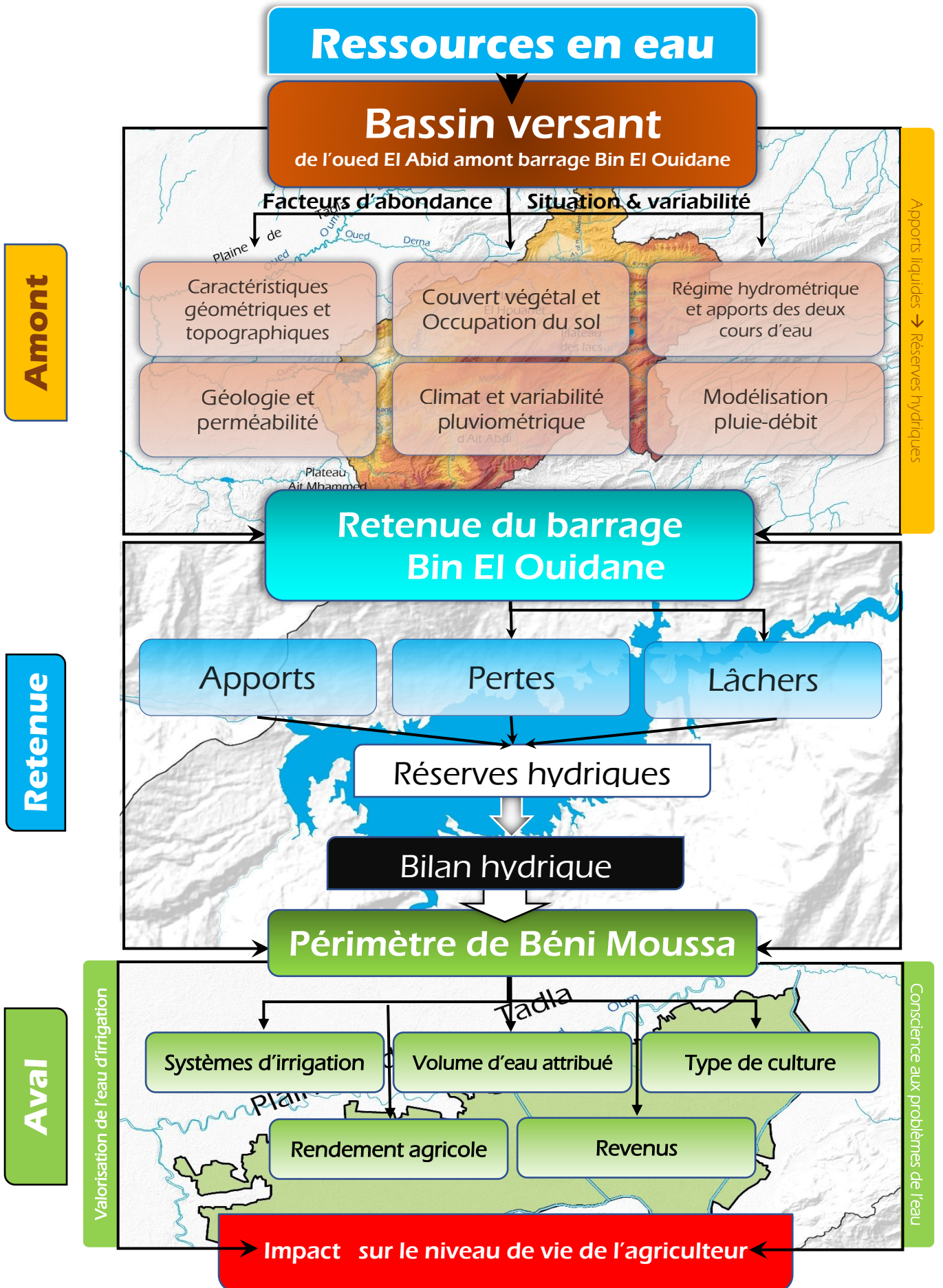
“prodigieusement” à partir des eaux de l’oued *El Abid*. Notre souci réside donc dans la compréhension du fonctionnement du bassin versant de l’oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* (Haut Atlas central) en identifiant, du point de vue qualitatif et quantitatif, les facteurs favorables et défavorables à l’écoulement et la disponibilité de la ressource en eau, et de voir aussi la question pertinente de la valorisation de cette ressource hydrique par l’agriculture irriguée dans le périmètre de *Béni Moussa*. Cette problématique de valorisation de la ressource hydrique est une thématique qui mérite vraiment une étude approfondie dans le but de bien comprendre la relation économique, en termes du coût, entre la ressource hydrique et les produits agricoles. Et c’est une piste de recherche non ou peu explorée par les géographes.

### La problématique

Cette étude porte à la fois sur la connaissance des ressources en eau du bassin versant de l’oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* et sur l’utilisation de cette ressource en irrigation des cultures du périmètre de *Béni Moussa*, situé en rive gauche de l’oued *Oum Er Rbia*, à l’aval. Dans un contexte d’une forte demande de l’eau par différents secteurs d’activités humaines, et d’une variabilité climatique à l’échelle mondiale et nationale, comme l’annoncent les organisations mondiales comme le Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (GIEC), il nous paraît indispensable i) d’étudier et de déterminer l’état de la ressource en eau, ii) identifier les facteurs qui interviennent à leur disponibilité ou à leurs pertes à l’amont et iii) d’évaluer le niveau de valorisation de cette ressource hydrique par la production végétale, cela en quantifiant les volumes d’eau consommés pour l’irrigation de chaque type de culture. Les ressources en eau deviennent aujourd’hui un sujet d’actualité, nous l’entendons partout, aux médias, aux conférences, dans les programmes politiques, alors que les actions de la gestion et de la protection restent, généralement, des mots sur pages, sans les mettre en œuvre.

Bon nombre d’études ont traité la problématique des ressources en eau, d’autres traitent les problèmes de surutilisation de cette ressource pour l’irrigation, mais elles sont très rares les études qui combinent les deux thèmes, à savoir la caractérisation/quantification et la valorisation. Toute étude de l’utilisation des ressources hydriques dans les périmètres irrigués ne doit pas, essentiellement se limiter aux modes d’emploi et aux modes d’irrigation, elle est tenue cependant à prendre en considération l’état des ressources en eau à l’amont.





Les volumes d'eau attribués au périmètre de *Béni Moussa* pour l'irrigation sont, sans doute, très énormes, on les compte par centaines de millions de mètres cubes par an. Ces volumes d'eau sont dotés à l'irrigation sans tenir en compte la fragilité que peuvent subir les ressources en eau et le milieu naturel à l'amont du barrage *Bin El Ouidane*, et sans tenir en compte aussi la tendance des régimes pluviométriques et hydrométriques à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*. En outre, ces volumes d'eau desservent le périmètre irrigué de *Béni Moussa* à travers un réseau hydraulique qui fonctionne sous la force de gravitation et à ciel ouvert, ce qui entraîne une forte perte d'eau par l'effet de l'évaporation et débordement avant son arrivée aux exploitations et aux parcelles.

Ainsi, d'après ces constats, la problématique de cette étude s'articule autour de deux grands axes :

- ✓ Le fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued *El Abid* et l'évolution des volumes d'eau mobilisés au niveau de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*, en se focalisant sur les différents facteurs influents la disponibilité ou la dégradation des ressources en eau du bassin versant.
- ✓ La production végétale dans le périmètre irrigué de *Béni Moussa* et les revenus qu'elle apporte en utilisant les ressources en eau du barrage *Bin El Ouidane*. Sont-ils en adéquation avec les volumes gigantesques d'eau dotée, ainsi qu'avec les efforts déployés pour la mobilisation et la gestion de cette ressource hydrique ?

### Objectifs

L'objectif principal fixé pour cette étude est axé sur la connaissance des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, et leur valorisation par l'agriculture irriguée dans le périmètre de *Béni Moussa*. Cet objectif peut être détaillé en plusieurs sous-objectifs qui sont :

- ❖ La caractérisation détaillée des paramètres physiques ayant un impact direct sur l'écoulement et la mobilisation des eaux du bassin versant, à savoir, les caractéristiques physiographiques, hydrographiques, topographiques et géologiques.
- ❖ La définition des zones forestières et des espèces végétales qui se développent dans le bassin versant, et l'étude de la dynamique de l'occupation du sol pour déduire l'impact de cette évolution sur l'écoulement des eaux des oueds.

- ❖ L'étude de l'ampleur des fluctuations pluviométriques et des variations du régime hydrométrique des deux principaux cours d'eau du bassin versant, et l'évaluation du niveau de corrélation entre les deux paramètres.
- ❖ L'évaluation des performances de la modélisation pluie-débit pour la simulation des débits futures afin de prévoir l'état des ressources en eau de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*.
- ❖ L'étude de la valorisation des ressources en eau du barrage *Bin El Ouidane* par la production végétale en évaluant les différentes charges de la production et les revenus tirés de la pratique agricole, et finalement, l'évaluation de l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau social et économique des agriculteurs du périmètre irrigué de *Béni Moussa*.

### Données utilisées

Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé plusieurs types de données, qui varient entre des données bibliographiques, cartographiques, statistiques, et des données tirées des enquêtes. Ces données peuvent être présentées comme suit :

- Les cartes topographiques à l'échelle 1/50000, couvrant la totalité du bassin versant, elles sont au nombre de 22 cartes. Ces cartes ont été utilisées pour une délimitation rigoureuse du bassin versant et la digitalisation du réseau hydrographique. Les cartes topographiques au 1/100000, qui servent à la définition des différents types et formes des reliefs qui se développent dans le bassin versant.
- Les cartes géologiques au 1/100000, ont été utilisées pour caractériser la géologie u bassin versant (lithologie et tectonique) pour en déduire le degré de perméabilité du substratum.
- Les données d'altitude extraites du Modèle Numérique de Terrain (MNT), permettant la représentation spatiale des tranches d'altitudes et des pentes du bassin versant.
- Les images satellites de Landsat de différentes dates pour suivre la dynamique de l'occupation du sol et plus précisément la dynamique du couvert végétal.
- Les données statistiques de la pluviométrie, de la température et des débit issues des différentes stations installées dans le bassin versant et dans sa périphérie.
- Les données statistiques correspondants à l'évolution des volumes d'eau de la retenue du barrage (Apports, pertes, lâchers).
- Des données sur le périmètre irrigué du *Tadla* et du périmètre de *Béni Moussa* (superficies des types de cultures, canaux d'irrigation, reconversion, etc.)

▪ Les données et les résultats de l'enquête de terrain menée dans le périmètre de *Béni Moussa* pour la quantification des volumes d'eau consommés par chaque type de culture, des différentes charges variables nécessaires pour la production végétale et des revenus, ainsi que l'évaluation de l'impact de l'activité agricole sur le niveau de vie des agriculteurs.

### Les étapes de la recherche

Pour bien comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued *El Abid*, la situation des ressources en eau mobilisées au niveau du barrage *Bin El Ouidane* et l'apport de l'utilisation de ces ressources hydriques pour l'irrigation des terres de *Béni Moussa*, nous avons divisé cette étude en trois grandes parties, elles sont organisées comme suit :

- **La première partie** est dédiée à l'identification des paramètres physiques qui contrôlent le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Pour aborder ces facteurs physiques, cette partie a été subdivisée en trois chapitres, dans lesquels les caractéristiques physiographiques ont été détaillées
  - **Le premier chapitre** caractérise et interprète les formes du bassin versant et des reliefs pour déduire leurs apports dans l'écoulement des eaux de surface.
  - **Le deuxième chapitre** présente les caractéristiques géologiques (lithologies et tectonique) pour définir le degré de perméabilité du substratum du bassin versant et la participation de celui-ci dans la régularisation de l'écoulement des eaux.
  - **Le troisième chapitre** identifie spatialement les espèces végétales développées dans le bassin versant, l'évolution de la dynamique du couvert végétal et l'impact de son état actuel sur l'écoulement superficiel et la dégradation du milieu naturel.
- **La deuxième partie** est consacrée à l'étude des fluctuations hydro-climatiques dans le bassin versant et du bilan hydrique de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*. Cette partie comporte :
  - **Le quatrième chapitre** identifie les caractères du climat qui règnent dans le bassin versant et traite les fluctuations du régime pluviométrique et hydrométrique, après avoir critiqué et comblé les lacunes qui apparaissent dans les séries des données pluviométriques.

- **Le cinquième chapitre** s'intéresse au test de la performance des modèles hydrologiques qui fonctionnent soit au pas du temps annuel (GR1A) ou mensuel (GR2M).
- **Le sixième chapitre** quant à lui, il a fait un recours à la chronologie et l'histoire du barrage *Bin El Ouidane* avant, au cours et après sa construction, pour traiter par la suite l'évolution des apports hydriques des deux principaux cours d'eau, des volumes des pertes et des réserves d'eau stockées dans la retenue depuis 1987/1988 jusqu'à 2013/2014.
- **La troisième partie** porte sur l'évaluation de la valorisation des ressources du barrage *Bin El Ouidane* dans la production agricole, et l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie social et économique des agriculteurs. Cette partie est subdivisée en trois chapitres.
  - **Le septième chapitre** donne un bref aperçu historique sur l'aménagement hydroagricole du périmètre irrigué de *Béni Moussa* et définit les différents systèmes d'irrigation adoptés au périmètre de *Tadla*, et en fin, il révèle la politique nationale de l'économie de l'eau d'irrigation en mettant l'accent sur l'importance de la valorisation de l'eau d'irrigation.
  - **Le huitième chapitre** présente la méthodologie adoptée pour le travail de terrain, définit les cultures choisies pour l'estimation du niveau de valorisation et présente, à la fin, les résultats de l'enquête de terrain.
  - **Le dernier chapitre** synthétise les résultats du travail de terrain, en quantifiant les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation de chacune des cultures choisies et les résultats de la valorisation de l'eau d'irrigation par la production végétale. Pour clôturer le chapitre, une évaluation de l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie des agriculteurs et de leurs familles serait effectuée en traitant le type de logement et son accordement à l'AEP, la détention du matériel mécanique pour la production agricole, la propriété de l'exploitation, la pratique d'autres métiers, etc.

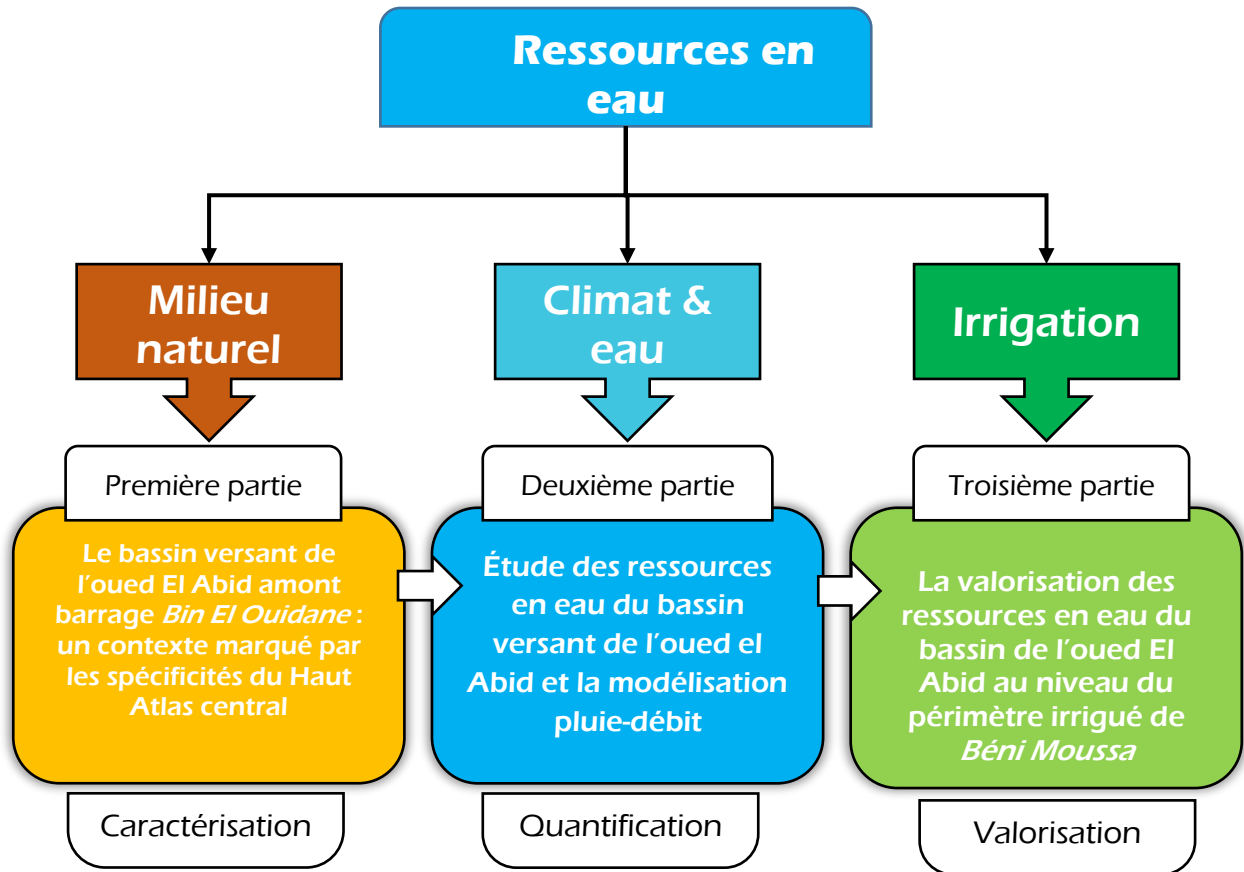


Figure 2 : schéma de l'organisation de l'étude

## Présentation de la zone de l'étude

Le domaine de l'étude est constitué de deux zones distinctes (Figure3). La zone amont qui est le milieu de la genèse des ressources en eau, et la zone aval qui est un terrain de l'exploitation de cette ressource hydrique. La première zone concerne le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, qui fait partie du grand bassin versant de l'*Oum Er Rbia*. Il se situe entièrement dans le Haut Atlas central, au cœur du Maroc. Ce bassin versant s'étend entre les latitudes Nord 31°43' et 32°36' et entre les longitudes Ouest 5°13'39" et 6°33'. Il est drainé par deux principaux cours d'eau, l'oued *El Abid* et *Assif Ahançal*, qui convergent au niveau du lac artificiel de *Bin El Ouidane*, le cours d'eau qui en résulte, continue son chemin jusqu'à sa confluence avec l'oued *Oum Er Rbia*. La deuxième partie de la zone d'étude concerne le périmètre des *Béni Moussa*, situé dans la plaine de *Tadla*, qui est le grand périmètre irrigué. Le périmètre irrigué de *Béni Moussa*, avec sa superficie de 69600 hectares, est délimité au Nord par l'oued d'*Oum Er Rbia*, au Sud par la chaîne de l'Atlas de *Béni Mellal*, à l'Est par l'oued *Derna* et à l'Ouest par l'Oued *El Abid*. Les ressources en eau du bassin versant de l'oued



## Introduction générale

*El Abid* sont retenues au niveau du barrage *Bin El Ouidane*, et amenées au périmètre de *Béni Moussa* par le biais du petit barrage d'*Ait Ouaârda* qui dirige les eaux vers *Afourer* à travers une galerie creusée sous les massifs de *Tazerkount*. La zone du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* est caractérisée par une topographie très accidentée et des reliefs très diversifiés, constitués essentiellement des montagnes et crêtes, des hauts plateaux, des dépressions et des vallées. La végétation à l'échelle du bassin versant est constituée essentiellement des chênes verts et des genévriers, avec présence d'autres espèces et formations forestières qui dépendent des critères d'altitudes et du climat. Le climat qui règne dans la zone est de type méditerranéen, caractérisé par une saison pluvieuse (humide) qui s'étend du novembre à avril, et une saison sèche qui s'étend de mai à octobre.

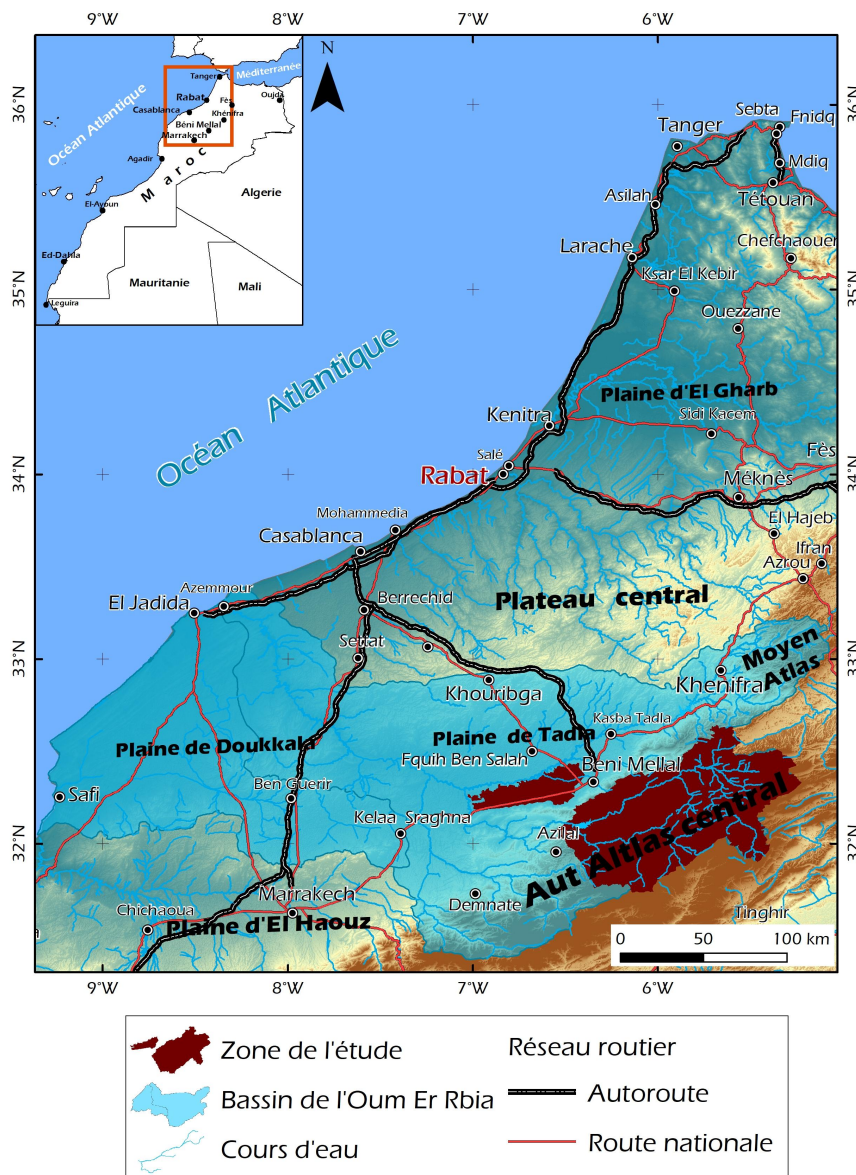


Figure 3 : localisation de la zone de l'étude

## **Partie 1 :**

# **BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID EN AMONT DU BARRAGE DE BIN EL OUIDANE : UN CONTEXTE MARQUÉ PAR LES SPÉCIFICITÉS DU HAUT ATLAS CENTRAL**

### Chapitre I

*CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES, MORPHOMETRIQUES ET  
HYDROGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT*

---

### Chapitre II

**LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES**

---

### Chapitre III

**LE COUVERT VEGETAL ET LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU  
SOL**



## Introduction

Dans cette partie, nous allons aborder les différentes caractéristiques physiques du bassin versant de l'oued *El Abid* (BVOEA) amont du barrage de *Bin El Ouidane*. Nous allons étudier les grandes unités de relief que marque le BVOEA et leurs caractéristiques morphologiques ainsi que leurs répartitions spatiales. Par la suite nous allons calculer et analyser les différents paramètres physiographiques du bassin versant, à savoir les paramètres morphométriques (Superficie, périmètre,  $K_G$ , le rectangle équivalent), topographiques (hypsométrie et pente), et hydrographiques (ordre, profil en long, pente des cours d'eau, densité de drainage, densité hydrographique). Le choix de l'étude de ces paramètres a pour but de voir l'influence de ces paramètres physiographiques sur l'écoulement des oueds du BVOE.

Dans le deuxième chapitre, nous allons rendre compte, sous forme d'une synthèse, des grands ensembles géologiques et lithologiques à l'échelle du bassin versant, pour voir la chronologie de la genèse des principales roches dominantes dans le bassin versant. Dans le même contexte, nous allons identifier les grands aspects structuraux du BVOE, en nous focalisant sur leur répartition spatiale et leur apport dans la mobilité des ressources en eau et leur relation avec les deux grands cours d'eau du bassin versant (le cours d'eau de l'Oued *El Abid* et celui de l'*Assif Ahançal*). Par la suite, nous allons exploiter ces différentes caractéristiques lithologiques et structurales pour en déduire le comportement du substratum à l'échelle du bassin versant vis-à-vis des ressources en eau et d'estimer le degré de la perméabilité.

Dans le dernier chapitre de cette partie, nous allons voir la répartition spatiale du couvert végétal en identifiant les différentes forêts et leurs principales essences forestières. Enfin, nous allons étudier la dynamique spatio-temporelle des différents éléments de l'occupation du sol entre 1984 et 2014, en nous intéressant particulièrement à la dynamique du couvert forestier et prendre connaissance de l'impact de cette dynamique sur l'écoulement des eaux et sur les ressources en eau dans la totalité du bassin versant de l'oued *El Abid*.

L'étude de toutes ces caractéristiques physiques à l'échelle du BVOEA doit nous renseigner sur les conditions naturelles (sans parler ici des conditions climatiques) qui favorisent la disponibilité des ressources en eau ; l'écoulement superficiel, ou l'infiltration souterraine et la présence des réserves en eau souterraine.

**Chapitre**  
**I**

**CARACTÉRISTIQUES TOPOGRAPHIQUES,  
MORPHOMÉTRIQUES ET HYDROGRAPHIQUES DU  
BASSIN VERSANT DE L'OUED *EL ABID***

**I**

**Reliefs du bassin versant de l'oued *El Abid* : un relief marqué par une topographie accidentée**

**II**

**Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued *El Abid***

**III**

**Réseau hydrographique**

## Introduction

L'étude des ressources en eau utilisées en irrigation du périmètre irrigué de *Béni Moussa* nécessite une caractérisation de cette ressource à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*. Ledit périmètre a été irrigué par les eaux de surface depuis 1953 après la construction du barrage de *Bin El Ouidane*. Ce dernier reçoit les eaux que le bassin versant accueille et draine à travers le réseau hydrographique.

Selon les hydrologues (ROCHE, 1963 ; STRAHLER, 1964 ; DUBREUIL, 1974) cité par (LOUAMRI, 2013), les caractéristiques physiques des bassins-versants dont celles liées à la topographie mais aussi à la forme du bassin-versant, influent sur les caractéristiques des écoulements résultant des pluies. Ainsi, l'écoulement des eaux à l'échelle du bassin versant est bien contrôlé par plusieurs facteurs, à savoir ; la forme du bassin versant, la topographie, la géologie, le couvert végétal. Tous ces facteurs influencent la vitesse de l'écoulement (la capacité et la puissance, érosion, inondation,..), le ralentissement et la stagnation des eaux (infiltration et perméabilité). Ce sont donc ces facteurs qui régissent le fonctionnement hydrologique du bassin versant, en influençant les lames d'eau écoulées et la répartition spatiale des écoulements.

Dans ce chapitre nous étudierons les caractéristiques (formes et reliefs) du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*. L'étude des caractéristiques de la forme sera réalisée en comparant les deux sous bassins versants qui composent le bassin versant, à savoir, le sous bassin versant de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et le sous bassin versant de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguitte* (figure 1.1). L'approche comparative a pour but d'évaluer l'apport de chacun de ces deux sous bassins versants en termes de ressources en eau.

La topographie du bassin versant de l'oued *El Abid*, quant à elle, joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique de l'oued. Nous allons déterminer tous les types de reliefs qui caractérisent le bassin versant.

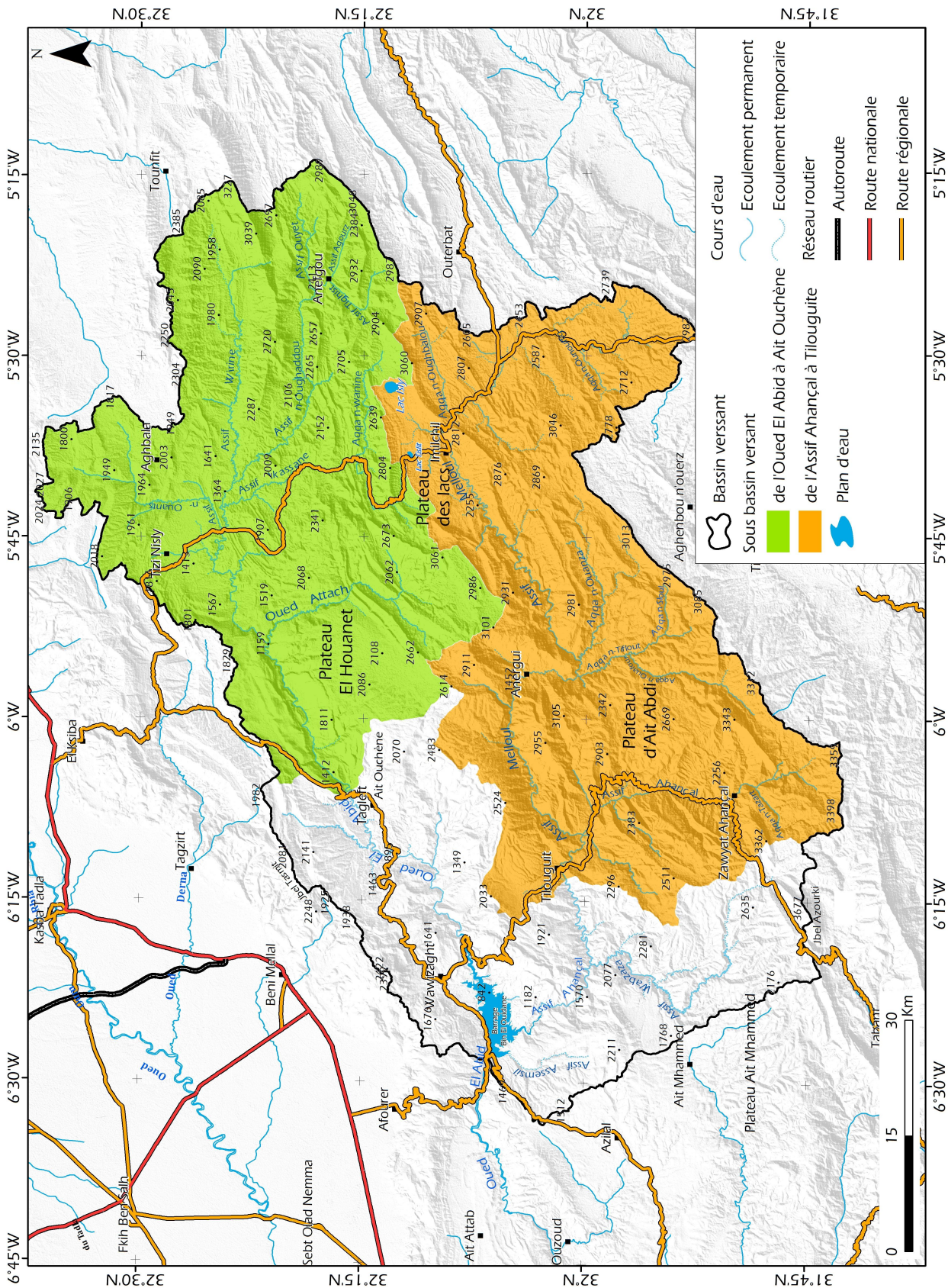


Figure 1.1 : Situation des deux sous bassins versants de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite*

## I. Le contexte général du relief du bassin versant de l'oued *El Abid* : un relief marqué par une topographie accidentée

Le contexte géographique général du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, se caractérise par un relief très diversifié, composé essentiellement des montagnes, de vallées, des escarpements, de vastes plateaux karstifiés et des dépressions. À l'intérieur du bassin versant, on note la présence de trois grandes unités de reliefs, qui sont : les plateaux, les montagnes, les vallées et les dépressions.

### I. 1 Les hauts plateaux

D'après la figure 1.2, le bassin versant de l'oued *El Abid* est marqué par une succession de lambeaux de plateaux très disséqués, avec des formes souvent isolées, témoins d'un processus d'érosion très important. Ces plateaux sont souvent détachés par des crêtes de sommets étroits et des canyons de bords très escarpés, confèrent ainsi aux terrains de ces plateaux une forme ondoyante. Cette morphologie diversifiée est étroitement liée à la fois à la diversité des formations géologiques et aux divers processus géomorphologiques, entre autres l'encaissement des cours d'eau qui ont disséqué profondément ces plateaux, façonnant en bordure des formes d'érosion et des profondes vallées.

Parmi les principaux plateaux qui marquent le relief du bassin versant de l'oued *El Abid*, on trouve :

- **Le plateau des lacs**, *Isly* et *Tislit*, à *Imilchil*, est une vaste cuvette (synclinale) faiblement vallonnée, cernée au Nord par *Jbel Bab n'Ouayad*, constituée par la ride anticlinale *Tassent* (CHARRIERE et al, 2011), à l'Ouest par *Jbel Irghis* et *Jbel Merchid*, au Sud par *Jbel Abarda* et à l'Est par *Jbel Msedrid* et *Assamer n'Inougzane*. Ce plateau présente ainsi un relief rude, désolé, battu par les vents, couvert d'une maigre végétation en coussin (GANDINI, 2006). Le paysage du plateau a un aspect désertique vu la quasi absence de la végétation. Il est bien marqué dans la carte que le cours supérieur de l'oued *El Abid* trouve son origine au Nord du plateau des lacs, tandis que l'*Assif Melloul*, le cours supérieur de l'*Assif Ahançal*, vient buter sur la bordure sud du plateau, et infléchit son cours à 90° vers l'Ouest. Ainsi, ce plateau se



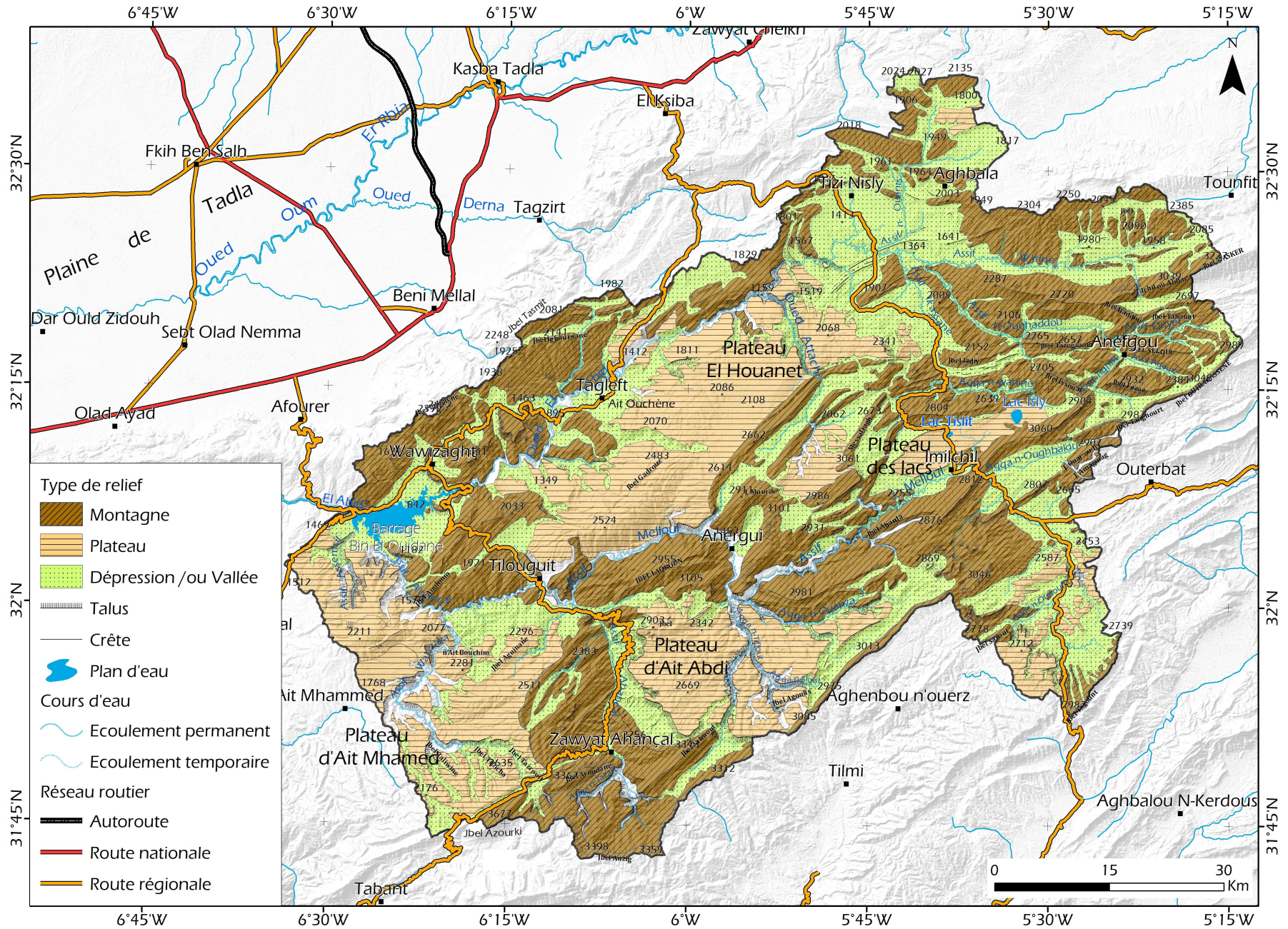


Figure 1.2 : Les grandes unités de relief du bassin versant de l'oued El Abid

considère, pour le bassin versant de l'oued *El Abid*, comme le carrefour le plus important de ses principaux oueds.

- **Plateau d'El-Houanêt**, situé au centre du bassin versant, à une altitude au-dessous de 2200 m, entre oued *El Abid* et *Assif Melloul*, il fait face au *Jbel Tingarlaft*, *Jbel Gadrouz* et *Jbel Chitou*. Au Nord-Ouest, le plateau est délimité par les gorges de l'oued *Attach* qui constituent un canyon pratiquement infranchissable. Les formes les plus caractéristiques du plateau d'*El-Houanêt* sont les sillons et reliefs étroits et peu profonds mais allongés parfois sur plusieurs kilomètres, tantôt parallèles, tantôt anastomosés (COUVREUR, 1988). La topographie du plateau est généralement peu accidentée, ce qui permet à la neige de s'accumuler par l'effet des vents permettant ainsi de former des congères parallèles, ce qui aboutira à l'apparition du phénomène de karstification dans le plateau, en plus du caractère perméable des couches des calcaires massifs qui constituent le fond du plateau et qui permettent le développement de diverses formes karstiques (poljés, dolines, ouvalas, lapiés).

- Entre le plateau des lacs et le plateau d'*El-Houanêt*, il y a deux petits plateaux ; le **plateau d'Askoun** (ou des *Ait Abbou n'ou Ali*), séparé du *Jbel Mourik* (3242 m) par une double chaîne de montagnes (*Assamer n-Tizgat* et *Assamer n-Ijberten*) et du plateau d'*El-Houanêt* par le *Jbel Tingarlaft* (2662m). Le deuxième, est **le plateau d'Isrouta**, qui est caractérisé par une ondulation par le fait du processus de l'érosion et le ravinement. Il est compris entre les gorges de l'oued *Attach*, un des affluents de l'oued *El Abid*, au Sud-Ouest, et *Assif Ikassen* au Nord-Est. Le *Jbel Bab n-Ouayad* (2804 m) et *Jbel Messafragh* (2856 m) constituent sa limite Sud-Est.

- **Le plateau d'Ait Abdi**, au Sud-Est du bassin versant, il a une superficie de 160 km<sup>2</sup>. Il se situe entre 2200 m et 3000 m d'altitude, et il est situé à 800 à 1000 m au-dessus du fond des vallées environnantes. Il est caractérisé par une morphologie karstique typique (PERRITAZ et al, 1998). Le plateau forme un vaste synclinal, en vague, d'une dénivellation plus ou moins faible vers le Nord-Est. Il est caractérisé par un réseau hydrographique très désorganisé et endoréique. On y trouve les vallées sèches, celles de la bordure de l'Ouest sont moins hiérarchisées et plus courtes que celles de l'Est. On y trouve aussi des formes karstiques anciennes, de grandes tailles et de petites tailles (COUVREUR, 1988), très diversifiées et très particulières ; des anciens poljés, des petites dolines en escalier, des seuils lapiazés, des vallons dissymétriques, des ouvalas allongés, etc.



- ***Le plateau d'Ait M'hammed***, constitue la limite Sud-Ouest du bassin versant de l'oued *El Abid*. Il est sous forme d'un synclinal à fond plat de calcaires du Dogger, très aminci vers l'ouest par un biseau d'érosion (COUVREUR, 1988). Il est délimité à l'Est par le cours inférieur de l'*Assif Ahançal* et son affluent *Assif Wabzaza*. Dans cette partie, le plateau est très dégradé et fortement onduleux, tranché par des vallons et ravins très souvent encaissés, présentant ainsi un paysage façonné par un système d'érosion. Le *Jbel Azourki* constitue, quant à lui, sa limite Sud-Est, à partir duquel le plateau est fortement incliné vers le Nord-Ouest. Contrairement aux plateaux d'*Ait Abdi* et d'*El-Houanêt*, le plateau d'*Ait M'hammed* est marqué par la présence de larges couloirs anastomosés, au détriment des dépressions, même mal fermées, totalement absentes (COUVREUR, 1988).

## I. 2 Les montagnes

Les montagnes du bassin versant de l'oued *El Abid*, comme celles du Haut Atlas central, sont constituées essentiellement de dorsales et crêtes de direction principale Sud-Sud-Ouest, Nord-Nord-Est parfois continues sur plusieurs dizaines de kilomètres. Ce sont des reliefs structuraux, surtout des monts atténués et des crêtes taillées dans des anticlinaux, en général étroits, de calcaires mésozoïques (COUVREUR, 1988). Ces massifs montagneux présentent des versants avec des escarpements considérables, des sommets élevés et entaillés de vallées profondes. À l'échelle de tout le bassin versant, c'est le sous bassin de l'*Assif Ahançal* qui comporte des massifs les plus élevés qui culminent au *Jbel Azourki* à 3697 m, partie d'une longue chaîne rectiligne de 45 km de longueur (LEVEQUE, 1952). Et entre *oued El Abid* et l'*Assif Melloul*, le Haut Atlas central dresse une barrière compacte et élevée, formée par les massifs du *Jbel Mourik* (3300 m), les crêtes d'*Ijberten* (2700 m) et *Jbel Issoual* (2800 m). Ces massifs dominant souvent de vastes plateaux, déjà cités, accidentés de collines ou de croupes surbaissées, n'ayant aucun rapport avec la structure. Le réseau hydrographique installé à la surface des massifs, est fréquemment caractérisé par l'inadaptation à la structure.

## I. 3 Les vallées et les dépressions

Les vallées sont omniprésentes dans tout le bassin versant de l'oued *El Abid*. Elles sont souvent profondes, dont les principales, comme celles de l'oued *El Abid*, de l'*Assif Ahançal* et de l'*Assif Melloul*. Elles sont drainées par des cours d'eau permanents bien alimentés par des sources et leur système karstique. Ces vallées, même pour les canyons et les gorges, tranchent à la fois les hautes topographies aplanies, comme les plateaux et les dépressions et cuvettes, et



les reliefs structuraux qui les dominent. Les vallées encaissées, les versants escarpés et les crêtes aiguës restent donc les éléments les plus significatifs du relief des montagnes du bassin versant.

Quant aux dépressions et cuvettes, elles s'étendent essentiellement au long des principaux oueds du bassin versant, et prennent parfois la forme de larges vallées. Ces dépressions correspondent parfaitement aux synclinaux (voir le chapitre II). Les plus vastes cuvettes qui occupent le bassin versant sont la cuvette synclinale de *Ouaouizerht* où s'est édifié le barrage de *Bin El Ouidane*, et la dépression de *Tizi n'Isly* et la partie amont de l'*Assif Ouirine*.

On peut dire, à partir de ce qui précède, que le BVOE dispose de différents types de reliefs ; les plateaux, les montagnes et crêtes, les cuvettes, les vallées, etc. Tout ce relief qui prend des formes très diversifiées occupe des tranches d'altitudes assez importantes, en dépassant le seuil de 2000 m. Ces caractéristiques constituent pour les ressources en eau un facteur très important, car la présence de relief de hautes altitudes (Montagne, crêtes et plateaux) peut jouer le rôle d'une barrière pour les nuages et les flux océaniques, pour générer des précipitations au long d'une importante période de l'année (précipitation hivernale et les orages d'été), de même ils peuvent constituer pour le bassin versant une zone qui reçoit les précipitations nivales pour soutenir les cours d'eau pendant les saisons de printemps et d'été.

## II. Les caractéristiques morphométriques du BVOEA

Pour caractériser la morphologie du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, nous avons étudié les indices les plus utilisés. Ces indices sont élaborés par les différents organismes intéressés à l'hydrologie, comme l'ORSTOM, et certains auteurs hydrologues. L'étude des caractéristiques de forme s'est basée sur les différentes cartes topographiques avec des échelles 1/50000 et 1/100000 couvrant la totalité du bassin versant, ainsi que les Modèles Numériques de Terrain (MNT) téléchargeables à partir du site [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov).

Quant aux cartes topographiques échelle 1/50000, le bassin versant est couvert par 22 cartes, dont 8 cartes sont de nouvelles éditions (2007, 2008 et 2009). Nous remarquons que ces nouvelles cartes sont mal éditées en termes de réseau hydrographique, d'où la difficulté de digitalisation due à la non hiérarchisation du réseau hydrographique de ces cartes.

La délimitation du bassin versant de l'oued *El Abid* et ses deux sous bassins versants, ainsi que la digitalisation du réseau hydrographique ont été faits à partir des 22 cartes

topographiques. Alors que les autres différentes caractéristiques de formes ont été extraites à partir des MNT d'une résolution de 30 m couvrant la totalité du bassin versant.

## II. 1 Les paramètres de forme du bassin versant

L'extraction des informations de formes du bassin versant et de ses deux sous bassins versants élémentaires, a été réalisée par le biais des logiciels des Systèmes d'Information Géographiques (SIG). Après la délimitation du BVOEA et les deux SBV en se basant sur les cartes topographiques échelle 1/50000, et la superposition de cette limite avec le MNT, nous avons fait sortir les différentes caractéristiques de forme.

### II. 1. 1. La superficie et le périmètre

La superficie du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. C'est elle qui donne une première impression sur la quantité d'eau que le bassin versant peut recevoir et les volumes d'eau qui s'écoulent jusqu'à l'exutoire. Les débits vont donc être en partie reliés à sa surface (RIAD, 2003). En revanche, le périmètre n'a aucune influence sur l'état d'écoulement des cours d'eau à l'échelle du bassin versant. Le bassin versant montre une superficie de 6522 km<sup>2</sup> et un périmètre de 505,9 km.

### II. 1. 2. L'indice de Gravélius (K<sub>G</sub>)

Cet indice compare le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle ayant la même superficie S du bassin considéré. L'équation de cet indice est donnée par la formule suivante :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (1)$$

Avec :

K<sub>G</sub> : l'indice de compacité de Gravélius,

S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>),

P : le périmètre (km).

On dit qu'un bassin versant est quasiment circulaire, quand il a un K<sub>G</sub> égale à 1, et plus cette valeur est supérieure à 1, le bassin versant prend une forme plus allongée. Les valeurs de l'indice de compacité sont consignées dans le tableau 1.1. Les valeurs de K<sub>G</sub> montrent que le

bassin versant de l'oued *El Abid* a une forme allongée. Au titre de comparaison, le SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* a une forme très allongée par rapport au SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*. Cette forme allongée permet aux régions très éloignées (de l'amont) de tarder à faire ressentir leur influence sur l'écoulement.

### II. 1. 3. Le rectangle équivalent

Le périmètre (P) des bassins versants n'est généralement pas utilisé directement, mais le plus souvent à travers des valeurs qui en dérivent comme la « longueur L et la largeur l du rectangle équivalent » (LABORDE, 2000). L'utilité de la définition du rectangle équivalent est d'en déduire la longueur L et la largeur l, dont la superficie et le périmètre de ce rectangle sont les mêmes du bassin versant. Les valeurs du « L » et « l » sont données par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (3)$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent en Km,

l : largeur du rectangle équivalent en Km,

$K_G$  : l'indice de compacité de Gravelius,

S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Les valeurs de L et de l du rectangle équivalent consignées dans le tableau 1.1, confirment bien ce que nous avons déduit de la forme des deux SBV à partir de l'indice de compacité de Gravelius. ( $L_{Ahançal} > L_{El Abid}$ ,  $l_{Ahançal} < l_{El Abid}$ ).

Tableau 1.1 : paramètres de surface, de périmètre et de forme des bassins versants étudiés

Bassin versant	Superficie (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	Kc	Longueur (km)	Largeur (km)
BV. Oued <i>El Abid</i>	6522,1	505,9	1.75	223,8	29,1
SBV. Oued <i>El Abid</i> à <i>Ait Ouchène</i>	2392,7	313,6	1,8	139,6	17,1
SBV. <i>Assif Ahançal</i> à <i>Tilouguite</i>	2519,1	348,8	1,94	158,5	15,9

## II. 2 Les caractéristiques hypsométriques

L'étude des caractéristiques hypsométriques du bassin versant, fait appel à l'étude des reliefs et des pentes. Ces deux caractères topographiques sont dictés par la tectonique et le climat. Donc, il s'agit des divers paysages de forme topographique « *créés par l'évolution géomorphologique et géologique et qui influencent l'écoulement* » (BODIAN, 2011), car ils interviennent directement aux aptitudes des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à l'évaporation. Ils sont donc un facteur capital influençant le comportement hydrologique des bassins versants.

### II. 2. 1. La répartition spatiale des tranches d'altitudes

Les caractéristiques hypsométriques nous permettent de faire sortir, d'une part, l'organisation spatiale des reliefs, notamment les altitudes et les pentes à l'échelle du bassin versant, et d'autre part, l'apport des caractères de ces reliefs dans le conditionnement de l'écoulement superficiel. Les différentes caractéristiques hypsométriques du BVOEA ont été extraites à partir des MNT.

Le premier caractère hypsométrique à étudier est les tranches d'altitudes. Nous avons découpé le bassin versant en cinq classes d'altitudes, avec une équidistance de 500 m. La figure n°1.3 illustre la répartition spatiale des tranches d'altitudes retenues. Cette représentation nous permet de faire sortir le pourcentage de chaque classe d'altitude et les reliefs qui les concernent.

Tableau 1. 2 : Les tranches d'altitudes et les types de reliefs correspondants

Tranche d'altitude	Superficie (km <sup>2</sup> )	%	Reliefs
777 - 1000	165,3	2,5	Les synclinaux de , <i>Tagleft</i> , <i>Tizi n'Isly</i> et <i>Tilouguite</i> , les vallées de l'oued <i>El Abid</i> , <i>Assif Ahançal</i> et canyons de <i>Wabzaza</i>
1000 - 1500	921,7	14,1	
1500 - 2000	1962,1	30,1	Vallée de l' <i>Assif Ahançal</i> et <i>Assif Melloul</i> , Moyennes Montagnes, Plateau d' <i>Ait M'hammed</i>
2000 - 2500	2141,7	32,8	Hauts Plateaux des lacs, d' <i>El Houanêt</i> ,
2500 - 3000	1250,7	19,2	D' <i>Ait Abdi</i> et d' <i>Ait M'hammed</i>
3000 -3697	80,6	1,2	Les hautes crêtes, <i>Jbel Azourki</i>

D'après ce tableau, nous pouvons remarquer que les altitudes les plus dominantes dans le bassin versant de l'oued *El Abid* sont celles qui comprises entre 1500 m et 2500 m. Elles occupent 62,9% de la superficie totale du bassin versant. Ceci signifie que le bassin versant de l'oued *El Abid* est occupé par des reliefs très accidentés, dont les monts et les crêtes sont très présentés. Ces classes d'altitudes correspondent bien aux vallées de l'*Assif Ahançal* et *Assif Melloul*, aux montagnes et crêtes de moyennes altitudes, comme *Jbel Abbadine* (2131 m) près du lac de *Bin El Ouidane*, et aux parties dégradées des hauts plateaux des lacs, d'*El Houanêt*, d'*Ait Abdi* et d'*Ait M'hammed*.

En revanche, les altitudes inférieures à 1500 m n'occupent que 16,6% de la superficie du bassin versant. Ces altitudes sont occupées essentiellement par des cuvettes et des grands synclinaux. Il s'agit du synclinal de *Ouaouizerht* et la zone du lac de *Bin El Ouidane*, le synclinal de *Tizi n'Isly* dans la partie Nord du bassin versant, le synclinal de *Tagleft* traversé par l'oued *El Abid* au Nord-Est de la cuvette de *Ouaouizerht*, et du synclinal de *Tilouguite* traversé par *Assif Ahançal* au Sud-Est du lac de *Bin El Ouidane*. Cette tranche correspond aussi au grandes vallées et canyons de l'oued *El Abid*, de l'*Assif Ahançal* et son affluent *Assif Wabzaza* au Sud du lac artificiel de *Bin El Ouidane*. Quant aux hautes altitudes dépassant 2500 m, elles représentent 20,2% du bassin versant. Elles se situent souvent à l'Est, Sud-Est et Sud du bassin versant. Elles correspondent les parties amont du bassin versant et les hautes crêtes et montagnes ; *Jbel Azourki* (3697m), *Jbel Laqroun* (3105m), *Jbel Mouriq* (3101m) et *Jbel Masker* (3227m).

Pour bien caractériser l'apport de chaque sous bassin versant, celui de l'*Assif Ahançal* et celui de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*, il est important de bien connaître les caractéristiques

topographiques des deux SBV, sachant que le relief a un rôle décisif dans l'écoulement des eaux des oueds.

Au titre de comparaison, le tableau 1.3 consigne les superficies des tranches d'altitudes de chacun des deux sous bassins versants de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*.

Tableau 1. 3 : Les caractéristiques hypsométriques des deux sous bassins versants

Tranche d'altitude	<i>SBV de l'oued El Abid à Ait Ouchène</i>		<i>SBV Assif Ahançal à Tilouguite</i>	
	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage
777 - 1000	0,2	0,0	-	-
1000 - 1500	296,6	12,4	99,7	4,0
1500 - 2000	1086,1	45,4	336,0	13,3
2000 - 2500	777,9	32,5	1065,8	42,3
2500 - 3000	215,3	9,0	967,9	38,4
3000 -3697	16,6	0,7	49,9	2,0

D'après ce tableau, le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* est dominé par des altitudes inférieures à 2000 m, dont elles représentent 57,8% de sa superficie totale, tandis qu'elles ne représentent que 17,3% de la superficie du SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite*.

En revanche, les altitudes dépassant 2000 m sont très répondues dans le SBV de l'*Assif Ahançal* avec 82,7% contre 42,2% pour le SBV de l'oued *El Abid*.

On peut dire que le relief du SBV de l'*Assif Ahançal* favorise bien les conditions d'écoulement superficiel par rapport au SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*, qui est dominé par des altitudes plus ou moins faibles voire moyennes, et des formes de relief moins accidentées.

En outre, la figure 1.3 montre que le bassin versant est orienté selon un gradient Nord-Est Sud-Ouest. Les parties Est, Sud-Est et Sud sont les plus montagneuse avec des altitudes dépassant les 2000 m. C'est à ces altitudes que l'oued *El Abid*, *Assif Ahançal* et son affluent *Assif Melloul* prennent leurs sources.



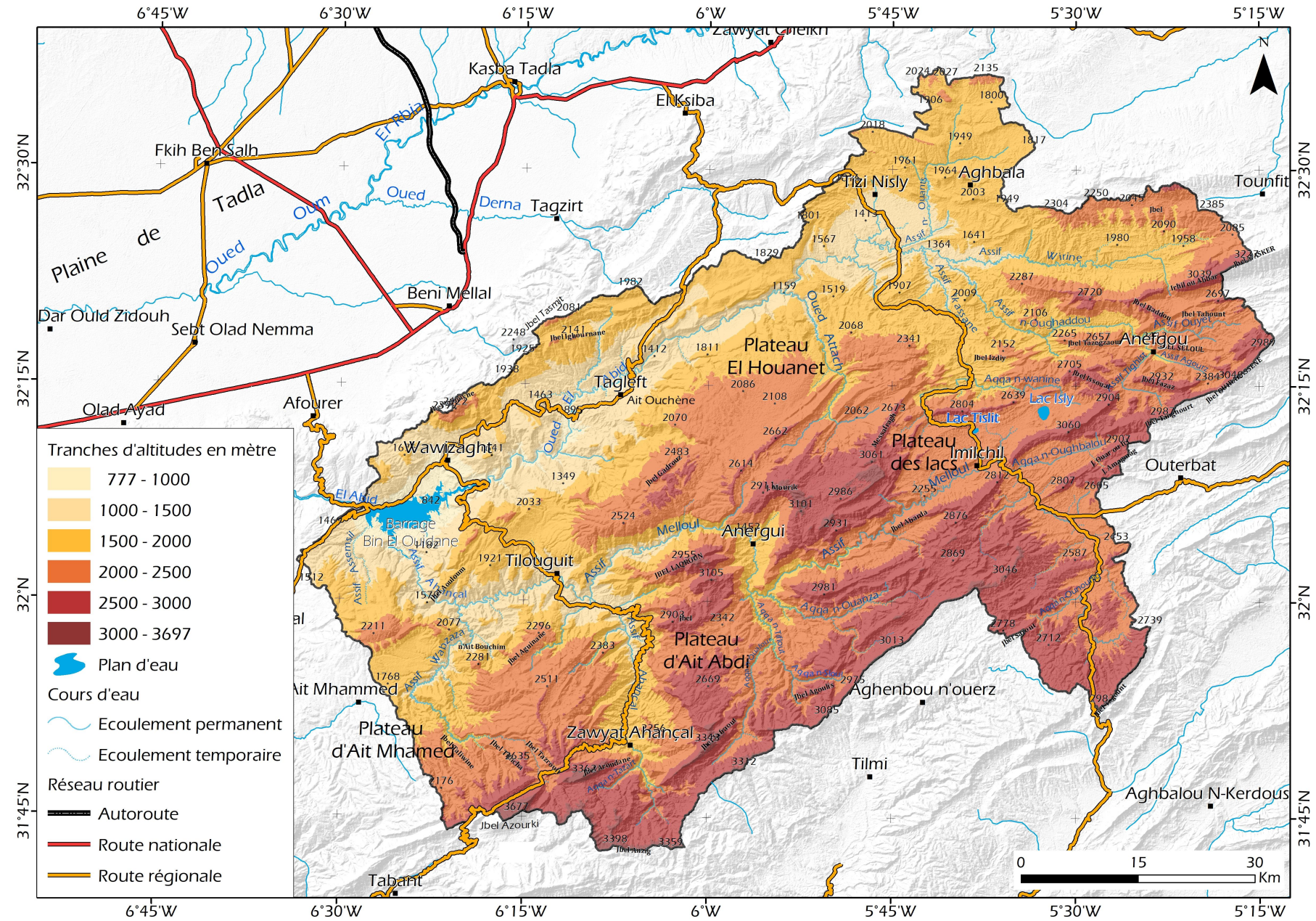


Figure 1.3 : Les tranches d'altitudes à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*

## II. 2. 2. Courbes hypsométriques et altitudes caractéristiques

La courbe hypsométrique nous permet de voir comment se répartissent les altitudes en fonction de leur surface. On l'obtient en reportant les altitudes (en m) en abscisse (X), et la superficie (en %) de chaque classe d'altitude en ordonnée (Y).

L'aspect des courbes hypsométriques du bassin versant et de ses sous bassins élémentaires montrent qu'ils sont jeunes, puisque la superficie est faible par rapport au changement d'altitude initiale, ce qui caractérise les bassins abrupts.

Les différentes altitudes caractéristiques que les courbes hypsométriques nous permettent de ressortir sont consignées dans le tableau n° 1.4.

Tableau 1.4 : Altitudes caractéristiques du bassin versant de l'oued *El Abid* et ses deux sous bassins

Bassin versant	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	H <sub>Moyenne</sub>	H <sub>5%</sub>	H <sub>50%</sub>	H <sub>95%</sub>
BV. Oued <i>El Abid</i>	3697	777	2033	2990	2420	1550
SBV. Oued <i>El Abid</i> à <i>Ait Ouchène</i>	3252	977	1952	3100	2040	1700
SBV. Assif <i>Ahançal</i> à <i>Tilouguite</i>	3439	1076	2358	3550	2480	2080

Ce tableau fait apparaître la différence entre les deux sous bassins versants. Le SBV de l'Assif *Ahançal* présente des altitudes caractéristiques supérieures à celles du SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*. Ceci montre bien que le SBV de l'Assif *Ahançal* est caractérisé par un relief et des pentes qui favorisent l'écoulement des eaux surface.



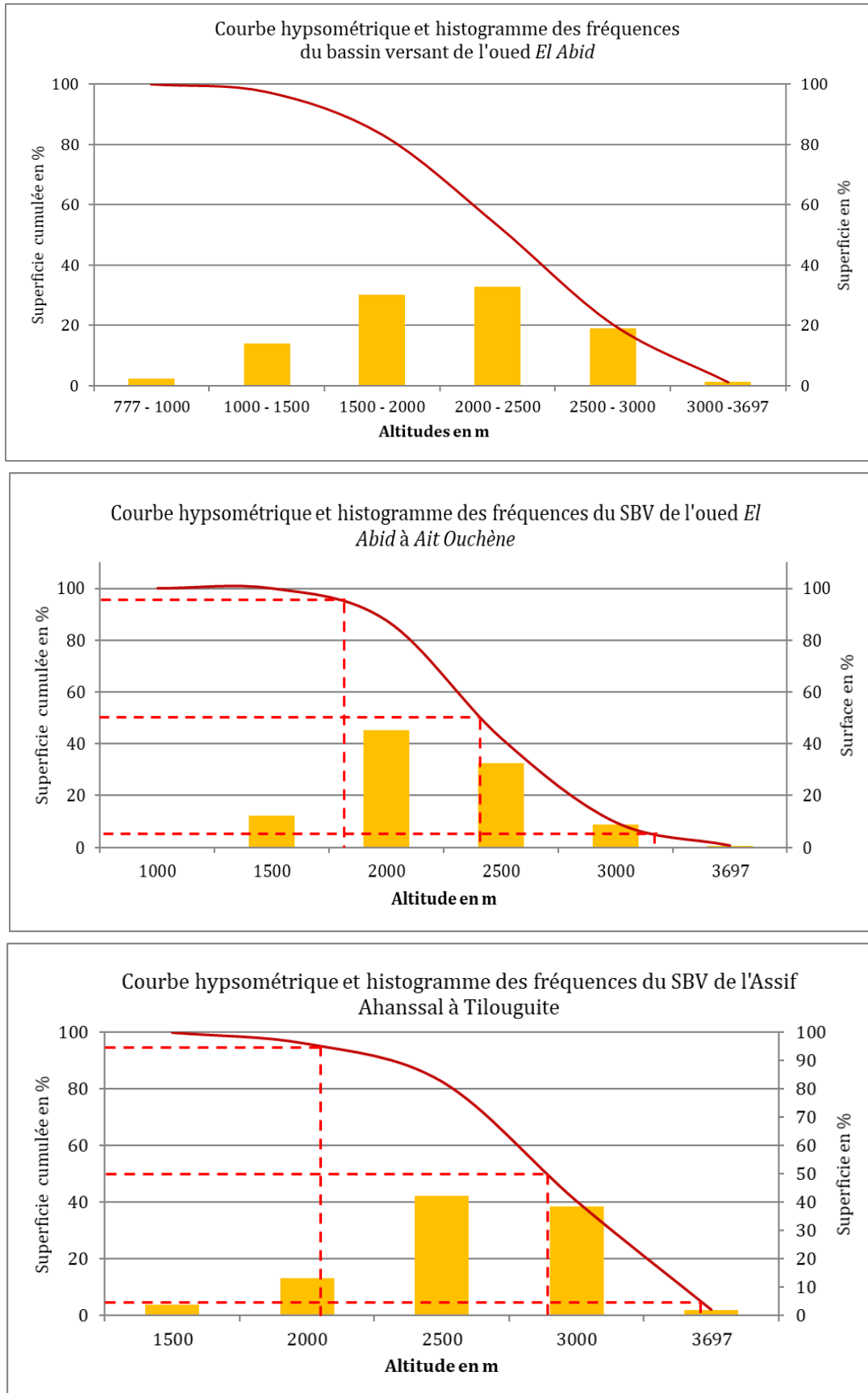


Figure 1.4 : Courbes hypsométriques et histogrammes des fréquences des tranches d'altitudes du bassin versant de OEA et de ses sous bassins.

## II. 3 Pentés et leurs caractéristiques

### II. 3. 1. La pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin versant. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct (MUSY *et al*, 2003) des cours d'eau et influence le débit d'apport et d'alimentation des barrages.

Plusieurs auteurs ont proposé des méthodes pour estimer la pente moyenne d'un bassin versant, en se basant sur une lecture directe des cartes topographiques. ROCHE (1963) a proposé une formule simple dans laquelle il a exploité le rectangle équivalent et les caractéristiques hypsométriques afin d'avoir une valeur proche de la pente moyenne « réelle » du bassin versant. La pente moyenne est donnée par la relation suivante :

$$S_{(Pente\ moyenne)} = \frac{\Delta H}{L} \quad (4)$$

Avec :

$S$  : est la pente moyenne du bassin versant.

$\Delta H$  : est la différence d'altitudes maximal et minimal du bassin versant (m)

$L$  : est la longueur du rectangle équivalent (km).

Tableau 1.5 : La pente moyenne du BV de l'oued *El Abid* et ses sous bassins élémentaires

	$\Delta H$	$L$	<i>Pente moyenne</i>
<i>BVOEA</i>	2920	223,8	13 m/km
<i>SBV oued El Abid à Ait Ouchène</i>	2275	139,6	16,3m/km
<i>SBV Assif Ahançal à Tilouguite</i>	2363	158,5	14,9 m/km

D'après le tableau n° 1.5, nous constatons que le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* présente une pente moyenne un peu plus forte que celle du SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* et du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage de *Bin El Ouidane*. Ceci signifie que le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* permet un écoulement superficiel un peu plus accéléré par rapport au SBV de l'*Assif Ahançal*.

### II. 3. 2. L'indice de pente global

L'indice de pente global, exprimé en m/km, est basé sur la fonction de répartition des altitudes du bassin versant. Il reste en général plus proche de la pente moyenne. Cet indice peut être estimé à partir de l'équation suivante :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (5)$$

Avec :

$I_g$  : Indice de pente global

$H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  : représentent respectivement les hauteurs qui correspondent à 5% et 95% de la superficie du bassin.

$L$  : est la longueur du rectangle équivalent en km

D'après la classification de l'ORSTOM, l'indice de pente globale du bassin versant de l'oued *El Abid* et de ses deux sous bassins versants élémentaires, montre des valeurs moyennes. Ces valeurs sont de l'ordre de 6,4 m/km pour la totalité du BVOEA, 10 m/km pour le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*, et de 9,3 m/km pour le SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite*. Ceci signifie que le relief dans le BVOEA est assez modéré, et l'importance des pentes traduit une variété considérable de l'écoulement superficiel des eaux.

### II. 3. 3. La dénivelée spécifique

Le calcul de cet indice a pour objectif de confirmer le résultat de  $I_g$ . Afin d'avoir une comparaison significative entre les deux sous bassins versants. L'indice  $I_g$  semble inutile en termes de comparaison entre les bassins versants car il décroît pour un même bassin versant lorsque la superficie de ce dernier augmente. C'est pour cela que l'indice  $I_g$  est corrigé par l'effet de la surface prise en compte par la dénivelée spécifique. Cet indice ( $D_s$ ) peut être calculé par l'équation suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} \quad (6)$$

Avec  $I_g$  est l'indice de pente global

$A$  : la superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ )

Tableau 1.6 : Classification du relief selon la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) par l'ORSTOM

Classe	Type de relief	Dénivelée spécifique
R1	Relief très faible	$D_s < 10m$
R2	Relief faible	$10 m < D_s < 25m$
R3	Relief assez faible	$25 m < D_s < 50m$
R4	Relief modéré	$50 m < D_s < 100m$
R5	Relief assez fort	$100 m < D_s < 250m$
R6	Relief fort	$250 m < D_s < 500m$
R7	Relief très fort	$500 m < D_s$

En comparant les valeurs de  $D_s$  obtenues pour chaque sous bassin versant avec la classification de l'ORSTOM, on peut noter que la forte valeur de  $D_s$  concerne le sous bassin versant de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* qui est de l'ordre de 490 m contre 465m pour le SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouquite*. Quant à la totalité du bassin versant de l'oued *El Abid*, la  $D_s$  présente une valeur importante (519 m). D'après ces valeurs obtenues, et en se référant au tableau de l'ORSTOM, on peut dire que les reliefs du bassin versant ont un caractère fort à très fort. Cela signifie que le système des pentes du bassin versant a un rôle important dans l'écoulement des eaux et de leurs concentrations.

Le tableau n° 1.7 suivant récapitule tous les paramètres de pente du bassin versant de l'oued *El Abid* et de ces deux sous bassins versant.

Tableau 1.7 : Paramètres de pente du bassin versant de l'oued *El Abid*

Bassin versant	$S_{(Pente\ moyenne)}$	$I_g$ (m/km)	$D_s$ (m)
BVOEA	13,0 (m/km)	6,4	519
SBV de l'oued <i>El Abid</i> à <i>Ait Ouchène</i>	16,3 (m/km)	10,0	490
SBV de l' <i>Assif Ahançal</i> à <i>Tilouquite</i>	14,9 (m/km)	9,3	465

### II. 3. 4. Répartition spatiale des pentes

La figure 1.5 représente la répartition spatiale des pentes. Cette carte a été extraite directement des MNT qui couvrent la totalité du bassin versant de l'oued *El Abid*. Nous avons affecté aux pentes quatre classes ; Pentas faibles (inférieure à 10%), pentes moyennes (entre 10

et 33%), pentes fortes (entre 33 et 50%) et pentes très fortes dont l'inclinaison est supérieure à 50%.

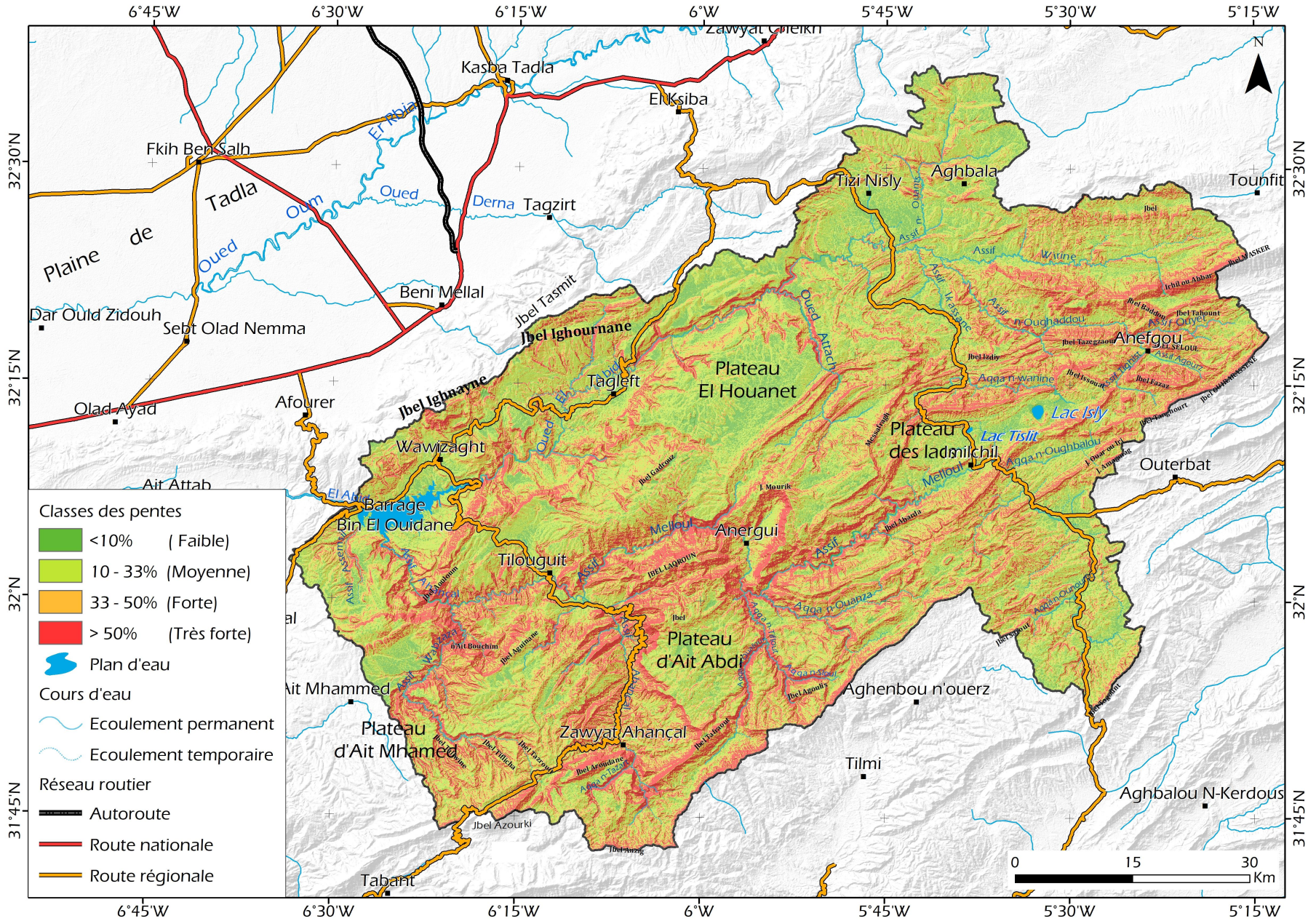
D'après la figure 1.5, on peut constater que le bassin versant de l'oued *El Abid* présente des versants ayant des pentes très différenciées et très hétérogènes. On remarque que la partie Nord du bassin versant est caractérisée par la prédominance des pentes faibles et moyennes. Cependant, ces deux classes sont plus ou moins présentées dans tout le bassin versant, elles correspondent aux reliefs de dépressions et cuvettes, comme celles de *Ouaouizerht*, de *Tizi n'Isly* et synclinal de *Tagleft*, aux replats structuraux qui sont situés souvent dans les zones montagneuses, comme le cas de la bordure de *Tadla*. Ces classes de pentes faibles et moyennes, qui représentent 50,8% de la superficie totale du bassin versant, concordent bien avec les hauts plateaux situés dans le bassin versant, aux terrasses et fonds de vallées.

Quant aux pentes fortes et très fortes, elles sont bien développées dans les parties Sud, Nord-Est et Sud-Ouest du bassin versant. La partie Sud concerne la zone amont du sous bassin versant de l'*Assif Ahançal*, et la partie Est, quant à elle, représente la partie amont du sous bassin versant de l'oued *El Abid*. Ce caractère fort et très fort des pentes est bien présent dans le reste du bassin versant. Ces deux classes représentent 49,2% de la surface du bassin versant, et elles correspondent aux zones mixtes qui regroupent les montagnes et leurs hauts piémonts, les reliefs moyennement et fortement accidentés, les escarpements rocheux et les vallées et canyons.

Classe de pente	BVOEA	SBV Oued <i>El Abid</i>	SBV Assif <i>Ahançal</i>
Pente faible	12,8 %	16,0 %	10,2 %
Pente moyenne	38,0 %	41,1 %	34,7 %
Pente forte	27,5 %	25,2 %	29,3 %
Pente très forte	21,7 %	17,6 %	25,8 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>

Tableau 1.8 : Classes de pentes en pourcentage dans le BVOEA et ses deux SBV





D'après le tableau n° 1.8, et en termes de comparaison entre les deux sous bassins versants, on peut dire que le SBV de l'*Assif Ahançal* dispose d'une portion importante de reliefs très accidentés présentant des pentes fortes à très fortes (55,1%). En revanche, le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* est bien dominé par des reliefs plus ou moins aplatis et moins accidentés ; il s'agit des plateaux et des cuvettes de faibles et moyennes pentes qui représentent 57,2 % de sa surface. Cela aura une grande influence sur l'écoulement des eaux des deux sous bassins versants car une pente plus forte correspond à une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage, et de là dans les affluents et le cours principal (ROCHE, 1963).

Il s'avère donc que les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* montrent une superficie (6522 km<sup>2</sup>) et une forme (allongée) qui permettent de recevoir et de drainer des volumes d'eau précipitées très considérables. Ces caractéristiques montrent aussi que le BVOEA présente des reliefs occupant souvent les altitudes dépassant le seuil de 2000 m, et des reliefs très accidentés. Les pentes fortes et très fortes à l'échelle de tout le BVOEA constituent presque la moitié de sa superficie totale (49,2%), alors qu'à l'échelle du SBV de l'*Assif Ahançal*, ces deux classes de pentes occupent 55,1%, et 42,8% pour le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*. Ce qui signifie que le terrain du SBV de l'*Assif Ahançal* joue un rôle très important pour l'écoulement des eaux superficielles par rapport à SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*.

### III. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique, considéré l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin versant, se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement (MUSY *et al*, 2004) des eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (ROCH, 1963). Cependant, l'agencement et l'organisation spatiale desdits réseaux est conditionnée par plusieurs facteurs naturels, à savoir, la géologie, les reliefs et leurs pentes, le climat et la présence humaine.

#### III. 1 Cartographie du réseau hydrographique

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate (BENTEKHICI, 2006), et l'échelle 1/50000 reste la plus pratique pour le bassin versant de l'oued *El Abid*. Selon DUBREUIL (1974), la reproduction



cartographique du réseau hydrographique est d'autant plus fidèle que l'échelle de la carte est grande et que la région représentée est peu peuplée ou économiquement peu développée.

La cartographie du réseau hydrographie du bassin versant de l'oued *El Abid* a été réalisée à partir des cartes topographiques 1/50000 qui couvrent la totalité de sa surface, elles sont au nombre de 22 cartes topographiques. Les paramètres les plus utilisés pour la caractérisation du réseau hydrographique sont la densité de drainage, les rapports de longueur et de confluence. Leur détermination exige que soit définie une classification des thalwegs par ordres et que soient mesurés pour chaque ordre les nombres de thalwegs et les longueurs totales de ceux-ci (DUBREUIL, 1974).

### III. 2 Classification du réseau hydrographique

L'utilité de la classification du réseau hydrographique réside dans la facilité de la détermination de plusieurs caractéristiques de ce réseau. Il s'agit du cours d'eau principal et sa longueur caractéristique, le profil en long du cours d'eau principal, le rapport de confluence et d'autres paramètres quantitatifs.

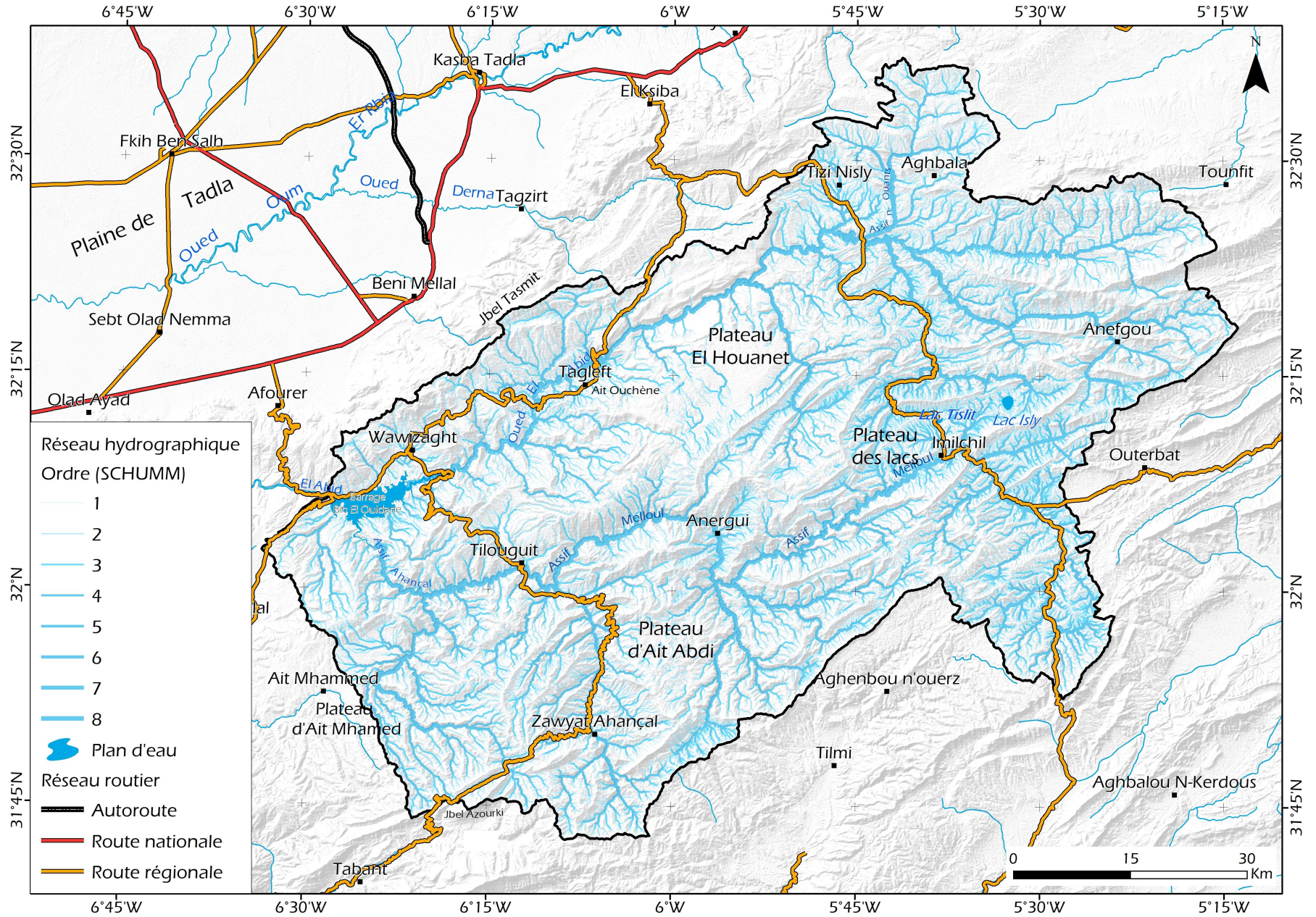
La classification topologique du réseau hydrographique peut être procédée d'une façon simple, par la méthode de HORTON proposée en 1945, puis modifiée par STRAHLER en 1957. Selon DUBREUIL (1974), la classification de HORTON est souvent écartée, que ce soit par les hydrologues américains ou français, quoique plus ancienne, au profit de celle de SCHUMM (STRAHLER) après avoir procédé à plusieurs essais comparatifs.

Les principes de la méthode de STRAHLER sont les suivants (MUSY, 2004) :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordres différents prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1.

La figure 1.6 représente la classification du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*. D'après cette carte, les deux cours d'eau principaux du bassin versant (Oued *El Abid* et *Assif Ahançal*), sont d'ordre 8.





### III. 3 Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique

#### III. 3. 1. Le cours d'eau principal

Le cours d'eau principal peut être déterminé en suivant, depuis l'exutoire jusqu'à l'amont du bassin versant, le tracé du cours d'eau ayant l'ordre le plus élevé à une confluence donnée et par extension du dernier jusqu'à la ligne de partage des eaux du bassin versant. Si deux cours d'eau ont un même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

Sur cette base, le cours d'eau principal de l'oued *El Abid* et le cours d'eau principal de l'*Assif Ahançal* ont été caractérisés sur la carte de la figure 1.7. Le cours d'eau principal de l'oued *El Abid* a une longueur totale de 169,4 km, alors que celui de l'*Assif Ahançal* a une longueur plus grande, elle est de 195,1 km.

#### III. 3. 1. Le profil en long

Le profil en long est un graphique dont on porte en abscisse la distance à l'exutoire et en ordonnée l'altitude du point correspondant. Les chutes brutales apparaissent sous forme d'un trait vertical, les chutes échelonnées et les rapides importants se traduisent par une courbe à très forte pente (ROCHE, 1963). L'intérêt du profil en long d'un cours d'eau réside dans la caractérisation de la pente que suit le fond d'un cours d'eau de l'amont à l'aval.

Le profil en long peut être produit à partir de la carte topographique. Les techniques des Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent également d'établir facilement les différents profils en longs des cours d'eau à partir des MNT. Néanmoins, le profil ainsi créé peut présenter des anomalies et des défauts qui nécessitent un traitement et des corrections. Ainsi, en partant de l'MNT couvrant le bassin versant de l'oued *El Abid*, nous avons établi le profil en long de l'oued *El Abid* et de ses principaux affluents, et celui de l'*Assif Ahançal* et de ces principaux affluents. Les figures n° 1.8 et 1.9 présentent les profils des deux cours d'eau.

Le profil en long du cours d'eau principal de l'oued *El Abid* illustré dans la figure 1.9, fait apparaître :

- i) le caractère très fort des pentes du fond du cours d'eau le long des premiers 20 km de son trajet,
- ii) le caractère fort jusqu'au 60 km de son cours à partir de l'amont. Le reste de son trajet, l'oued *El Abid* a trassé son chemin dans des terrains à pente faible.



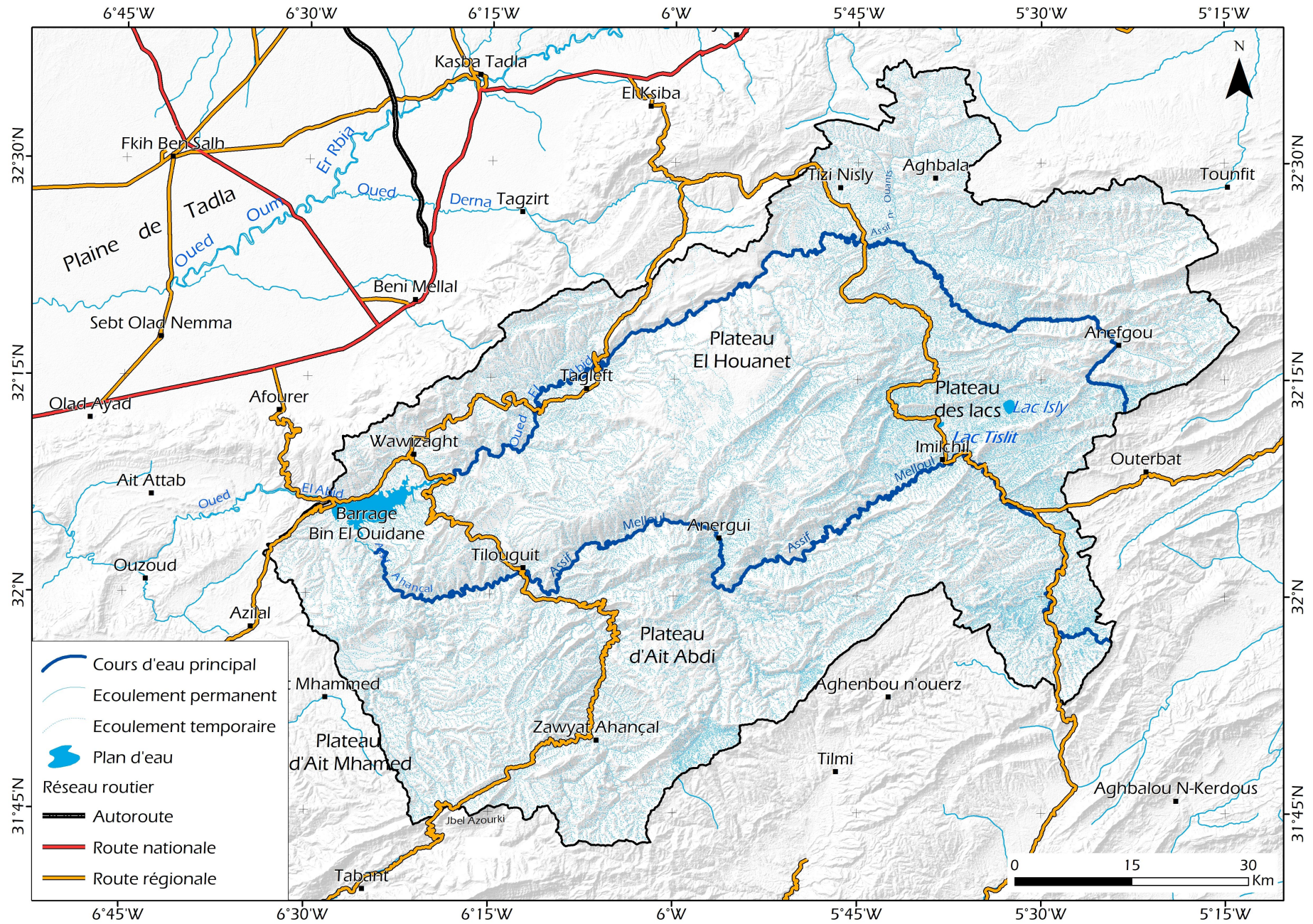


Figure 1.7: Cours d'eau principal des deux sous bassins versants de l'oued *El Abid* et de l'Assif *Ahançal*



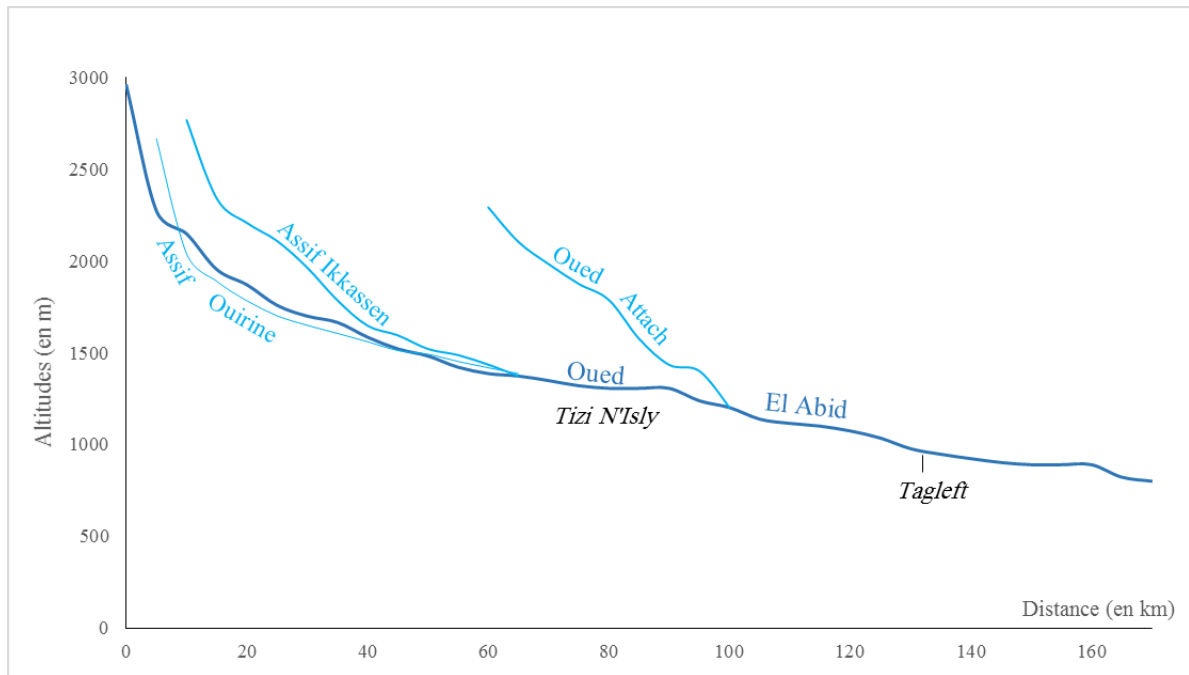


Figure 1.8 : Le profil en long du cours d'eau principal de l'oued *El Abid* et de ses principaux affluents

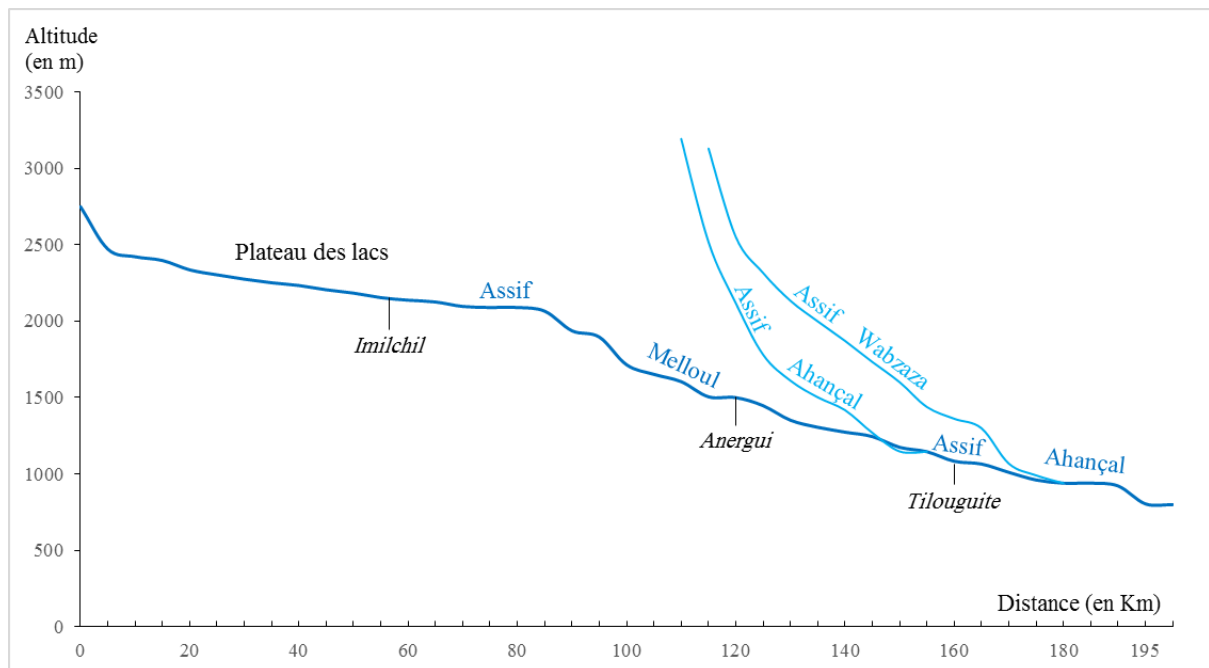


Figure 1.9 : Le profil en long du cours d'eau principal de l'*Assif Ahançal* et de ses principaux affluents

iii) le caractère moyen et faible commence après la confluence de l'oued *El Abid* avec son affluent oued *Attach*. Cette caractéristique topographique correspond essentiellement aux dépressions de *Tizi n'Isly* et de *Tagleft*, qui sont des zones déprimées, jalonnées de synclinaux crétaqués dites « zone de synclinaux de l'oued *El Abid* » ou « Sillon de l'oued *El Abid* » (ROLLEY, 1973) et entre ces deux reliefs, le cours de l'oued *El Abid* suit des pentes moyennes. quant aux principaux affluents de l'oued *El Abid*, ils coulent, dans des vallées et canyons traversant des reliefs très forts. Par exemple, l'oued *Attach* traverse le haut plateau d'*EL-Houanêt* ; situé à des altitudes qui dépassent souvent 2000 m, avant sa confluence avec oued *El Abid* à une altitude de 1201 m.

D'après la figure 1.9, qui représente le profil en long du cours d'eau principal de l'*Assif Ahançal*, il apparaît que l'*Assif Melloul*, qui constitue sa partie amont, coule dans le relief des plateaux des lacs, en adoptant un fond caractérisé par une platitude légèrement inclinée vers le Sud-Ouest. A 80 km de sa côte de descente, le cours principal coule dans des vallées et canyons souvent caractérisés par des pentes assez fortes jusqu'à son débouché dans le barrage de *Bin El Ouidane*. En revanche, les deux grands affluents du cours d'eau principal, *Assif Wabzaza* et *Assif Ahançal*, présentent un profil ayant des pentes fortes à très fortes, depuis leurs origines jusqu'à leurs confluences avec le cours principal.

### III. 3. 2. La pente moyenne des cours d'eau principaux

Les profils en long des principaux cours d'eau du bassin versant de l'oued *El Abid* permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant (LABORD, 2009) et détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol, si le substratum le permet (BENTEKHICI, 2006).

Ce paramètre peut être estimé à partir du profil en long du cours d'eau principal, en divisant la différence d'altitudes maximale et minimale du cours d'eau principal par sa longueur totale. La pente moyenne est donnée par la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L} \quad (7)$$

Avec :

$P_{\text{moy}}$  : Pente moyenne du cours d'eau (m/km)

$\Delta H$  : Dénivelée maximale du cours d'eau, c'est-à-dire, la différence d'altitude entre le point le plus éloigné du cours d'eau et son exutoire, elle est donnée en m.

L : La longueur du cours d'eau principal.

Les valeurs des pentes moyennes des deux cours d'eau principaux de l'oued *El Abid* et *Assif Ahançal* sont représentées dans le tableau 1.9. Les pentes moyennes calculées montrent que le cours d'eau principal de l'oued *El Abid* a une valeur plus élevée (12 m/km) par rapport à celle de l'*Assif Ahançal* qui a une pente moyenne de l'ordre de 10 m/km.

Tableau 1.9 : la pente moyenne des deux cours d'eau principaux de l'oued *El Abid* et *Assif Ahançal*

	$H_{\text{max}}$	$H_{\text{min}}$	L	$P_{\text{moy}}$
<i>Oued El Abid</i>	2956	800	169,4	12,7
<i>Assif Ahançal</i>	2748	800	195,1	10,0

### III. 4 La densité du réseau hydrographique

#### III. 4. 1. La Densité de drainage

La densité de drainage ( $D_d$ ) dépend de la géologie (surtout la perméabilité), des caractéristiques topographiques à l'échelle du bassin versant et des conditions climatologiques. Elle est définie comme le rapport de la longueur totale du réseau hydrographique par la superficie totale du bassin versant. Il est exprimé en (km/km<sup>2</sup>) ou en (km<sup>-1</sup>). Elle est donc :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (8)$$

Avec :

$L_i$ : Longueur totale des cours d'eau en km

A : La superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

La densité de drainage obtenue pour le SBV de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* montre une valeur moins importante ( $3.8 \text{ km}^{-1}$ ) par rapport à celle du SBV de l'*Assif Ahançal* ( $4.6 \text{ km}^{-1}$ ). Pour la totalité du bassin versant de l'oued *El Abid*, elle est de l'ordre de  $3.9 \text{ km}^{-1}$ .

On peut dire, à partir de ces valeurs de  $D_d$ , que le SBV de l'*Assif Ahançal* à la station de *Tilouguite* dispose d'un réseau hydrographique un peu plus important par rapport au SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*, ce qui peut signifier que la lithologie de ce dernier est un peu plus perméable par rapport au SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite*.

### III. 4. 2. La densité hydrographique

Elle est définie comme le nombre des cours d'eau par unité de surface, elle est donnée par la formule suivante :

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (9)$$

Avec :

F : Densité hydrographique exprimée en  $\text{km}^{-2}$

$N_i$  : Nombre des cours d'eau

A : la superficie du bassin versant exprimée en  $\text{km}^2$

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued *El Abid* présente une densité hydrographique de  $10,7 \text{ km}^{-2}$ , c'est-à-dire que dans chaque kilomètre carré du bassin versant on ne trouve que 10 cours d'eau permanents ou temporaires (seulement les cours d'eau digitalisés à partir des cartes topographiques au 1/50000). Pour les deux sous bassins versants élémentaires, le SBV de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* présente une densité hydrographique assez importante ( $14,9 \text{ km}^{-2}$ ) par rapport à celle du SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* qui est de  $9,4 \text{ km}^{-2}$ , valeur inférieure à celle du bassin versant de l'oued *El Abid*. Ces valeurs sont généralement faibles. En effet, ces faibles densités hydrographiques ainsi que celles de drainage, montrent que le bassin versant est dominé par un substratum perméable, c'est le caractère qu'on mettra en évidence dans le chapitre suivant.

Le tableau 1.10 synthétise les valeurs des différents paramètres physiographiques calculés pour le bassin versant et ses deux sous bassins élémentaires.

Tableau 1.10 : Récapitulation des paramètres morphométriques des trois bassins versants

Bassin versant	S (km <sup>2</sup> )	P (km)	Kc	L (km)	l (km)	Ig (m/km)	Ds (m)	Lcp (km)	Dd (km <sup>-1</sup> )
BV. Oued <i>El Abid</i>	6522,1	505,9	1,75	223,8	29,13	17,24	1392,5	169,3	3,9
SBV oued <i>El Abid</i>	2392,7	313,6	1,8	139,6	17,1	17,74	868	128,2	3,8
SBV. <i>Assif Ahançal</i>	2519,1	348,8	1,94	158,5	15,9	14,6	731,8	162	4,6

Toutes ces caractéristiques physiographiques et morphométriques, caractérisées et calculées pour le bassin versant de l'oued *El Abid* et ces deux sous bassins versants, prédisent une réponse hydrologique très variée entre les deux sous bassins, avec un apport assez important du cours d'eau de l'*Assif Ahançal* par rapport à celui de l'oued *El Abid*. Le SBV de l'*Assif Ahançal* est caractérisé par une superficie assez large, des altitudes très importantes, un relief fort et abrupte, un réseau hydrographique assez dense et par un cours d'eau principal très long. Toutes ces caractéristiques, qui sont un peu plus importantes par rapport au SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*, nous permet de dire que le SBV de l'*Assif Ahançal* peut avoir un apport très significatif en termes de ressources en eau, au moins dans l'écoulement des eaux des oueds et cours d'eau (sans parler de l'apport quantitatif).

### Conclusion

En général, le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* dispose de toutes les caractéristiques de reliefs et de forme qui permettent la disponibilité et l'écoulement des eaux de surfaces. Les reliefs du bassin versant sont caractérisés par une diversité très remarquable. On y trouve des plateaux qui se développent dans des altitudes assez importantes et occupent une partie considérable de la superficie du bassin versant ; on trouve aussi des crêtes très élevées et très longues, notamment dans la partie Nord-Est et Est du bassin versant, ainsi que des sommets de montagnes massives situées plus précisément dans le SBV de l'*Assif Ahançal*. Au long des deux cours d'eau principaux du bassin versant et leurs grands affluents, on trouve une multitude de cuvettes et vallées.

Du point de vue morphométrique, le bassin versant de l'oued *El Abid* est caractérisé par un relief très accidenté et un réseau hydrographique assez dense. Ces caractéristiques montrent que le bassin versant est un milieu propice pour recevoir des quantités très importantes de précipitations et par la suite un écoulement d'eau superficielle, ce qui assure l'accumulation des eaux précipitées d'une façon plus ou moins immédiates dans le barrage de *Bin El Ouidane* si les facteurs lithologiques et de l'occupation des sols le permet.



**Chapitre**  
**II**

**CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET  
HYDROGEOLOGIQUES**

**I**

**Les grands ensembles lithologiques**

**II**

**Les grands aspects structuraux**

**III**

**La perméabilité et les ensembles karstiques**

## Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire une synthèse bibliographique concernant les ensembles lithologiques, tectoniques, structurales, et karstiques à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont du barrage de *Bin El Ouidane*.

La connaissance de la structure géologique à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de l'oued *El Abid* amont du barrage de *Bin El Ouidane* trouve son importance dans la nécessité de comprendre le comportement du substratum dans ses relations avec les écoulements superficiels et avec les infiltrations souterraines. Le Haut Atlas central a été l'objet des recherches géologiques depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Ces études ont concerné l'évolution stratigraphique, lithologique, paléogéographique, tectonique et structurale. Parmi les géologues que cette partie de la chaîne atlasique a attiré leur curiosité, on trouve (BOURCART, 1931-1936, E. ROCH, 1939 ; P. LEVEQUE, 1952, 1961 ; G. DUBAR, 1952, 1960,1963 ; G. CHOUBERT et FAURE-MURET, 1960-1962 ; R. DU DRESNAY, 1971 ; ROLLEY, 1973, 1978 ; M. MONBARON & al, 1980 ; J. JENNY, 1981, 1988 ; M. ELYOUSSI, 1986 ; A. SOUHEL, 1987, 1994 ; G. COUVREUR, 1988 ; H. IBOUH et al., 2001 ; ... etc). Nous allons tirer de ces travaux l'essentiel des caractéristiques géologiques à l'échelle du bassin versant, nous allons, en outre, donner de l'intérêt à leurs extensions spatiales et leurs processus de formation.

Les résultats de cette synthèse seront exploités pour identifier l'extension spatiale des terrains perméables, semi-perméables et imperméables. La dominance de l'une des trois classes de perméabilité doit nous renseigner sur le comportement du substratum géologique du bassin versant vis-à-vis de la ressource en eau.

### **I. Géologie du Haut Atlas central : une diversité de roches, mais dominée par les roches carbonatées**

Le Haut Atlas central au Maroc est un segment d'une vaste chaîne intracontinentale, qui s'étend depuis l'océan Atlantique dans la région d'Agadir au Maroc jusqu'au golfe de Gabès en Tunisie (GUEZAL, 2011). Il correspond à un vaste bassin mésozoïque subsident ouvert vers l'Est, déformé et surélevé par la tectogénèse atlasique. Il est séparé du Haut Atlas occidental par le Massif ancien haut atlasique (ou Haut Atlas de Marrakech), lequel est constitué essentiellement par un socle cristallin précambrien (El YOUSSE, 1986)

La structuration du Haut Atlas central est le résultat de la succession de deux étapes majeures (d'après IBOUH, 2000) :

1) ouverture liée à l'amincissement crustal, lors de la fragmentation de la Pangée contemporaine de l'ouverture de l'Atlantique central. Cette étape est marquée par des épisodes de distensions discontinus notamment pendant la période de Trias et du Jurassique parfaitement enregistrée dans la sédimentation du Haut Atlas central.

2) fermeture du bassin ainsi créée avec un paroxysme au passage paléogène- néogène, liée à la compression atlasique déterminée par la collision entre les plaques Afrique et Europe.

Le Haut Atlas central pendant la première étape était le stade d'un grand processus de sédimentation. Cette sédimentation a reposé sur un Trias volcano-détritique, et a composé des formations carbonatées du Lias inférieur et moyen, par la suite, elle a été succédée par des sédiments détritiques terrigènes du Lias supérieur. Et pendant le Dogger les marnes et les carbonates ont été largement précipitées, suivies par des formations détritiques rouges du Bathonien au Crétacé inférieur. Enfin, le Crétacé supérieur a envahi les bordures Nord et Sud de l'aire sédimentaire, en déposant des roches carbonatées blanchâtres. Et pendant la deuxième étape, la chaîne montre une importante succession des synclinaux larges et à fond presque plat, séparant des anticlinaux étroits. Les anticlinaux montrent un amincissement des séries syntectoniques parfois érodées jusqu'au Lias carbonaté où des formes en plis éjectifs à cœur bourré de matériaux volcano-détritiques d'âge triasique et des massifs subvolcaniques jurassiques. Les synclinaux quant à eux, sont comblés par une épaisse série jurassique horizontale au centre, fortement redressée et disposée en éventail à proximité des anticlinaux (IBOUH, 2000). Dans ce qui suit, nous décrirons les différentes formations géologiques et lithologiques qui marquent les terrains du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*.

### **I. 1 Le Trias supérieur**

Le Trias affleure étroitement au centre du bassin versant (cirque d'*Anergui*, bordures Nord et Sud du plateau des lac, au Sud-Est du plateau d'*El-Houanêt*) et au Sud (dans la région de *Zawyat Ahançal*) (figure 2.1), constituant des anticlinaux à l'occasion de failles, de diapirs ou de quelques boutonnières. Les affleurements du Trias sont constitués essentiellement de deux ensembles, à la base domine une série rouge détritique et évaporitique composée des grès massifs quartzitiques, des marnes et argiles roses riches en sel et gypses, affleurant uniquement

en association avec les roches magmatiques au niveau des principales rides anticlinales. Au-dessus, dominant des roches volcaniques composées des basaltes doléritiques en général très altérés.

La masse triasique emboîte par ailleurs des lambeaux décamétriques voire hectométriques de Lias inférieur calcaire ou dolomitique. Ces derniers sont fortement déformés et recristallisés, indiquant le développement d'un léger métamorphisme lors de leur remobilisation au sein du complexe chaotique (SOUHEL et al, 2011).

## **I. 2 Le Jurassique**

À la fin des dépôts de la série triasique (qui comprend des niveaux infraliasiques), une transgression d'origine orientale établit sur le domaine atlasique des conditions marines franches, dans un bras de mer relié à la Tethys. Cette invasion marine, relativement rapide, est due à la combinaison d'un soulèvement isostatique du niveau marin et de la subsidence du domaine atlasique. Le bras de mer se termine en cul-de-sac contre le bloc ancien du Haut Atlas, alors en position haute, et il ne communique pas avec le sillon atlantique (PIQUE, 1994).

### **I. 2. 1. Le Lias**

Le Lias inférieur et moyen, à faciès profond, est constitué, dans sa globalité, du calcaire en bancs minces, intercalé par des lits de marnes. Ces faciès sont très répandus dans la région d'*Anergui*, aux *Ait Haccine (Ifers)* au voisinage du Haut-fond de *Talmest* et jusqu'à *Jbel Abbadine*, où le Lias inférieur a encore fourni des ammonites et apparaît plus franchement marin que vers *Bin El Ouidane*, à quelques kilomètres à peine, de l'autre côté de la cuvette d'*Ouaouizerht* (Couvreur, 1988). Alors qu'au Nord du bassin versant, dans la région d'*Aghbala*, la base de la série liasique est constituée des séries calcaires massives et des dolomies.

Dans la région de la vallée de *Zawyat Ahançal*, le Lias est largement affleuré, composé des assises marneuses et des faciès marneux et gréseux colorés et interstratifiés avec des calcaires. Ces calcaires du Lias surtout celui du Lias moyen sont construits, massifs formant la plupart des hauts sommets. Ainsi, le *Jbel Azourki* situé dans la limite Sud du bassin versant est constitué des formations de Lias inférieur et moyen. Même chose pour le *Jbel Timghazine* qui est formé de 500 m de calcaire très massif. (COUVREUR, 1988).

Le passage du Lias moyen au Lias supérieur, dans tout le domaine atlasique marocain, est marqué par un changement brutal dans les conditions de la sédimentation. Ce changement se marque essentiellement par le passage d'une sédimentation carbonatée à une sédimentation terrigène (SOUHEL, 2011). Les formations du Lias supérieur affleurent souvent dans les secteurs où s'est installé le bassin du Lias moyen.

Au Nord du plateau des lacs, le long de l'oued *Ikkassen*, le Lias supérieur est formé par une alternance de calcaires en plaquettes et de marnes très monotones d'une grande épaisseur (plus de 1500 m) à *Tassent*. (COUVREUR, 1988).

### **I. 2. 2. Le Dogger**

Le Dogger commence par des calcaires noirs, en partie encore Aaléniens, plus épais sur les bords, surtout au Sud. Vient ensuite une série marneuse qui n'atteint que quelques dizaines de mètres sur le bord Sud. Puis des calcaires corniches qui dateraient de la limite Bajocien-Bathonien. Enfin, des marnes alternent avec des calcaires sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur à l'Est, c'est le Bathonien déjà régressif avec apport de matériel argileux dans une mer très profonde (COUVREUR, 1988).

Le Dogger est constitué sur plusieurs centaines de mètres par des marnocalcaires puis par la série de calcaires récifaux la plus épaisse (150 à 300 m) et la plus massive qu'il offre dans le Haut Atlas central, recouverte par les couches supérieures marno-calcaires ; l'épaisseur dépasse nettement les 200 m. Sur la rive gauche de l'*Assif Ahançal*, le faciès récifal a presque disparu : il n'en subsiste que quelques témoins qui se fondent latéralement dans une alternance de marne et de calcaire.

Les couches rouges supérieures ont une extension plus ou moins limitée que les précédentes. Ces formations occupent souvent le fond des synclinaux. Elles sont formées par, à la base, des grès de *Guettioua* avec des venues volcaniques associées au-dessus celle des *Iouariden* plus marneuse et argileuse. Enfin, au sommet, celle du *Jbel Sidal* à nouveau plus gréseuse. Elles ne sont toutes présentes que dans les cuvettes des *Iouariden* et d'*Ouaouizerht*. Il s'agit de formations fluvio-déltaiques, au moins à la partie inférieure. Vers l'Est, cependant la base est nettement marine avec des grès et des calcaires près de *Msemrir*, des marnes rouges et vertes dans le synclinal du plateau des lacs. Dans l'ensemble, les changements de faciès dans le sens vertical sont plus fréquents que dans les séries calcaires. (COUVREUR, 1988).

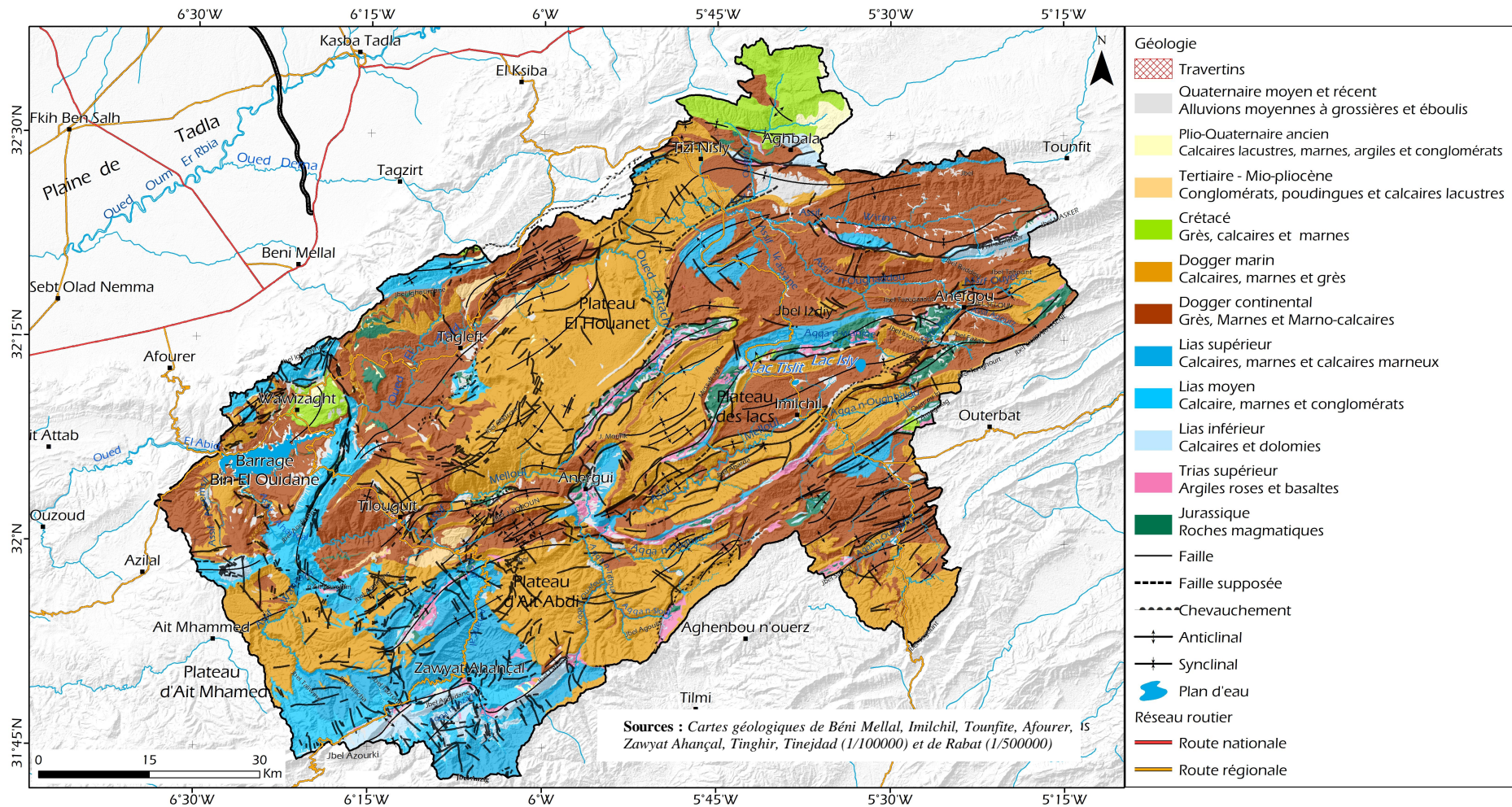


Figure 2.1 : Carte géologique du BVOEA amont barrage *Bin El Ouidane*



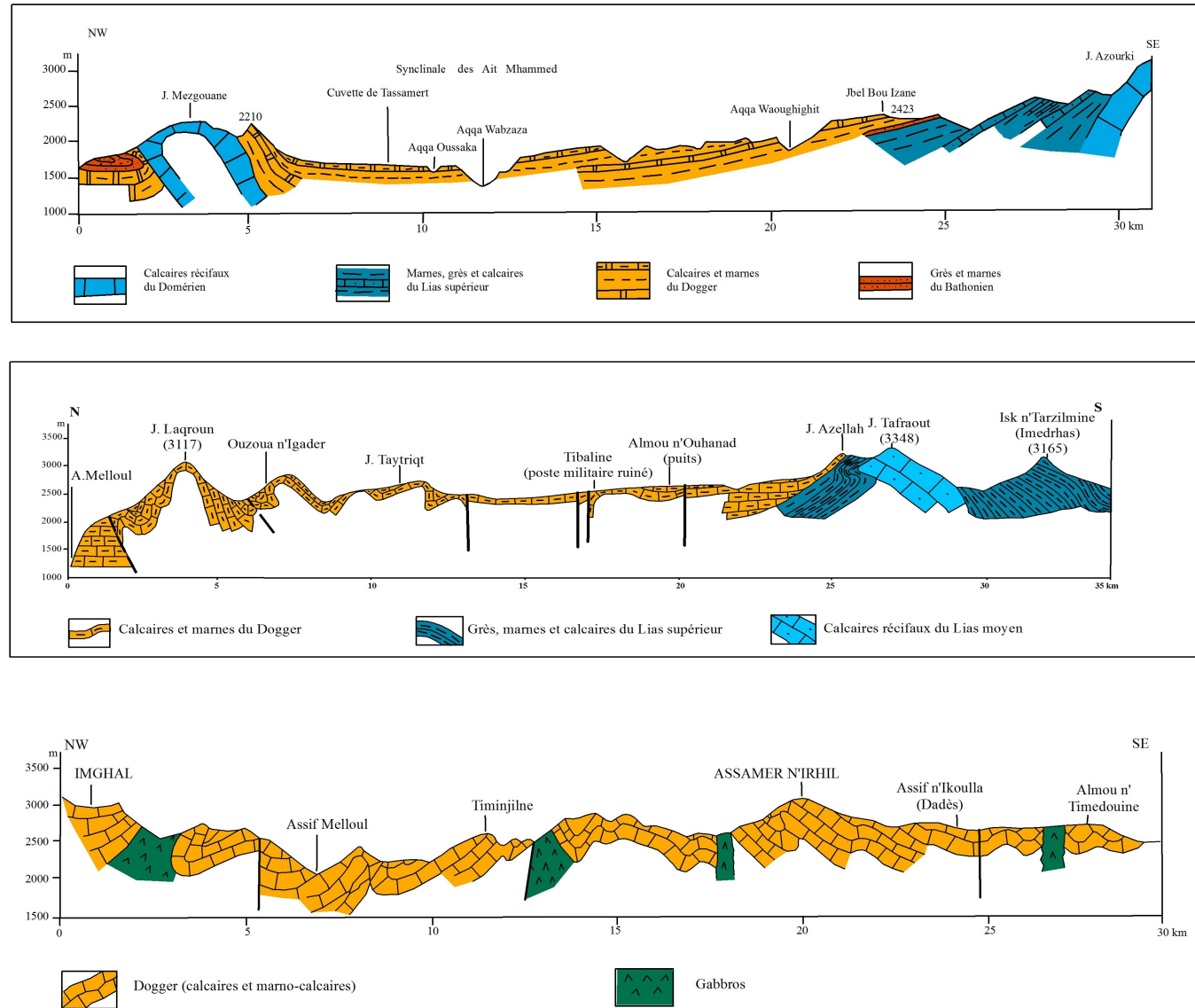


Figure 2.2 : Coupes géologiques de différents endroits du bassin versant de l'oued *El Abid* (COUVREUR, 1988)



Signalons de même, la présence de coulées basaltiques interstratifiées et assez épaisses dans les « couches rouges ». D'autres roches intrusives magmatiques et des Sills (gabbros, dolérites, etc...) se trouvent surtout dans la série carbonatée bajocienne. Elles occuperaient des mégas fentes de tension créées lors d'une phase tectonique intra-jurassique moyenne. Ces Sills se développent bien dans les calcaires-corniches autour des bassins de *Tagleft* et de *Bencharrou*, et aussi près du col de *Tizi Rhnim* au Sud-Ouest de *J. Ighmayène*. Enfin, notons qu'au Jurassique moyen la mer se retire de l'Atlas, pour n'y revenir qu'à l'Aptien (Crétacé inférieur). Elle n'atteint le domaine étudié qu'au Cénommanien. (BAHZAD, 1982).

### I. 2. 3. Le Crétacé

Le Crétacé, d'extension réduite, offre une série classique à trois termes : grès et marnes rouges (Crétacé inférieur) – marnes bariolées (Cénommanien) – calcaire (Turonien) et s'achève par des formations continentales rouges du Crétacé supérieur (COMBE, 1977). Cette série constitue l'essentiel des synclinaux à « couches rouges » jurassico-crétacées de la partie septentrionale du Haut Atlas (*Ouaouizerht*, *Naour* et *Aghbala*). Il s'agit de l'Accident *Aghbala-Afourer* (AAA), limite entre le Haut Atlas central et l'Atlas bordier (CHARRIERE et al, 2011).

La série céno-mano-turonienne a été plissée presque en concordance. Mais dans la région du bassin versant qui nous occupe, par suite d'un plissement transversal très important, le remplissage crétacé du synclinal d'*Ouaouizerht*, est resté en inversion du relief, culminant à plus de 2300 mètres dans le *Jbel R'Nim* (LEVEQUE, 1952).

### I. 3 Le Tertiaire et le Quaternaire

Le Tertiaire et le Quaternaire sont représentés par des formations continentales de remblayage. Ils s'étendent étroitement dans les vallées et en bas des versants sous formes des éboulis et des alluvions.

Le Tertiaire est constitué d'un ensemble phosphaté qui se repose en concordance sur les marnes supérieures plus ou moins phosphatées du Sénonien dans les synclinaux d'*Ouaouizerht* et d'*Aghzif - Naour*. Dans cette zone, il est, soit surmonté par les conglomérats du Mio-Pliocène, soit chevauché par le Lias. Cette série, généralement tronquée et altérée, atteint une épaisseur de 100 m (SOUHEL et al, 2011).

Au-dessus du bassin de *Bin El Ouidane*, le Plio-vilafranchien est constitué des dépôts formant une nappe de blocs dissociés souvent dolomitiques et recimenté par la dolomie. Ces blocs atteignent souvent plusieurs mètres d'arête sur une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres. (COUVREUR, 1988). Au confluent de l'*Assif Ahançal* et de l'*Assif Melloul*, les dépôts quaternaires sont très intéressants. Sur la rive droite de l'*Assif Melloul*, une formation de terrasse très consolidée domine l'oued. Elle est épaisse, jusqu'au 20 m, et peu litée et constituée d'un matériel très hétérométrique, du gravier aux blocs de plusieurs décimètres d'arête assez arrondis et allongés et un ciment grossier. D'autres terrasses dominent dans la rive droite de l'*Assif Ahançal*, d'âge Moulouyen. Dans l'autre côté, les terrasses sont sous forme de glacis, et s'installent aux pieds des conglomérats de l'*Amsefrane*.

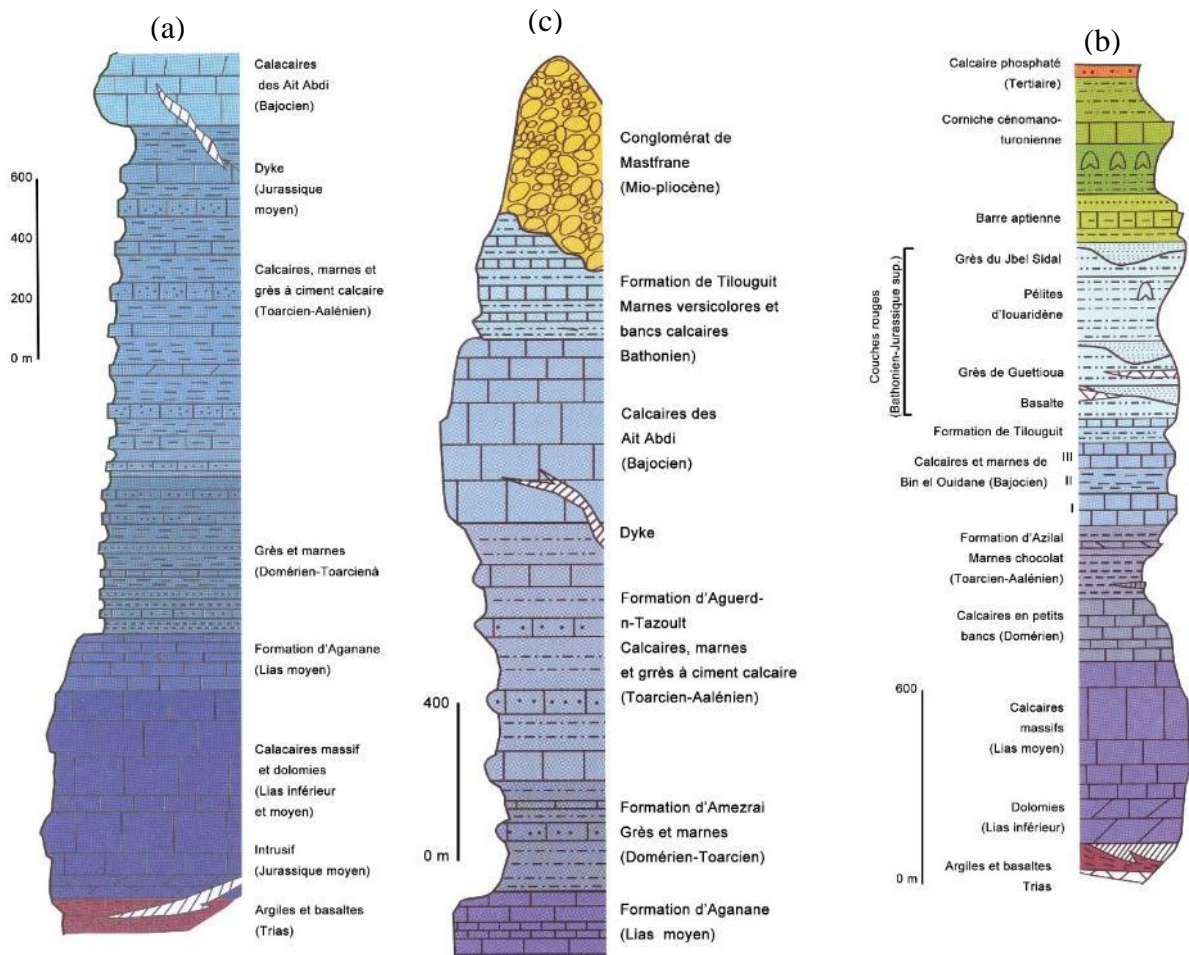


Figure 2.3: Colonnes stratigraphiques du : (a) Autour du Jbel Azourki, (b) Synclinale de *Ouaouizerht*, (c) : Vallée de l'*Assif Ahançal* (Monbaron et al, 2015).

## II. La tectonique et les grands ensembles structuraux

### II. 1 La tectonique

#### II. 1. 1. Les failles

Le réseau de la structure tectonique à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, comme à l'échelle du Haut Atlas central calcaire, est constitué d'un ensemble de failles et de décrochements d'une direction générale Nord-Nord-Est Sud-Sud-Ouest et Nord-Ouest Sud-Est, avec présence d'autres failles ayant une direction Nord-Ouest Sud-Est. C'est au Jurassique moyen (Bajocien-Bathonien), que le bassin haut-atlasique était globalement affecté d'une compression maximale horizontale de direction Ouest-Nord-Ouest Est-Sud-Est (JENNY, 1984).

La structure des failles se répartit selon trois types et trois directions principales : des failles normales N40-70°, des failles normales N80-90° et des failles décrochantes N110-120° (SARIH, 2008). La disposition de ces failles a fortement influencé la morphologie du Haut Atlas central, dont la compression a donné naissance à deux formes structurales qui s'étendent entre ces accidents tectoniques ; i) des bassins allongés qui prennent souvent la forme des cuvettes et des synclinaux, et ii) des anticlinaux souvent accompagnés des bassins en distension dont les dépôts du Trias qui jalonnent ces grandes failles.

#### II. 1. 2. Plissement

Les plis, à l'échelle du bassin versant, d'âge Bajocien à Bathonien (Dogger), sont souvent associés aux accidents majeurs qui y en dominant (surtout les anticlinaux). Ils suivent généralement l'axe Nord-Nord-Est/Sud-Sud-Ouest.

La déformation atlasique s'exprime par un plissement de style jurassien de direction majeure E-W à N70, qui résulte de la réactivation de failles normales en failles inverses ou pli-failles sous forme d'anticlinaux étroits, aigus et parfois sans charnières en forme de plis éjectifs (CHOROWICZ et al, 1982 cité par IBOUH et al, 2001).

Les plis, comme les cassures et les failles, ont bien contribué à la formation et à la différenciation des reliefs à l'échelle du bassin versant, comme à l'échelle du Haut Atlas central. Ces plis sont généralement courts, cassés et concentriques, ce sont souvent des plis-failles, parfois chevauchants (COUVREUR, 1988). Ils sont caractérisés par un style souvent rigide, et par

un espacement considérable, car le bassin est modérément plissé, cela est bien apparait par le nombre faible des axes anticlinaux. Un grand nombre de plis, à l'échelle du bassin versant est orienté Sud-Ouest Nord-Est ou Ouest-Sud-Ouest Est-Nord-Est qui est la même direction de la chaîne du Haut Atlas central. En revanche, les plis ayant la direction Nord-Ouest Sud-Est sont moins nombreux. Toutes ces caractéristiques du plissement conditionnent certainement l'aspect de tous les reliefs du bassin versant. Cette diversité et personnalité de ces plis venaient de la variété des faciès, tendres et durs, autant que de la tectonique qu'a subie la chaîne.

### II. 1. 3. Les chevauchements

Les forces tectoniques qui sont survenues pendant le secondaire, ont provoqué des accidents tantôt majeurs d'une grande extension, tantôt des accidents locaux et à petite échelle. Les chevauchements constituent l'une des accidents tectoniques qui prennent différentes extensions, et partagent avec les autres accidents (failles et plis) les mêmes caractéristiques de direction et d'âges. Ils suivent donc généralement la direction Nord-Est Sud-Ouest. Ils sont très peu nombreux à l'échelle du bassin versant, et s'étendent à l'Est, au Sud-Est, au Centre et au Nord-Ouest du bassin versant.

L'Accident *Aghbala-Afourer* (AAA) (LAVILLE, 1978 ; MONBARON, 1981 ; BAHZAD, 1982 ; CHARRIERE et al, 2011) est l'un des chevauchements les plus remarquables du Haut Atlas central. Il s'étend de la région d'*Aghbala* au Nord du bassin versant jusqu'à *Afourer* au Sud-Ouest de l'Atlas de *Béni Mellal*, séparant ainsi l'Atlas bordier de *Béni Mellal* (considéré comme le prolongement méridional du Moyen Atlas) du Haut Atlas central. Ce chevauchement prend une direction Ouest-Sud-Ouest/Est-Nord-Est, chevauchant vers le Nord-Nord-Ouest. Cet accident tronque, sous un angle significatif, toutes les formations du compartiment septentrional, du Lias au Pontico-Pliocène (MONBARON, 1981) dont il est bien visible dans le bassin de *Ben Cherrou* à l'ouest du bassin versant de l'oued *El Abid*, et dans le synclinal de *Ouaouizerght* près du *Jbel R'Nim* jusqu'à *Timoulilt* près d'*Afourer*, où il se disparaît progressivement sous les dépôts quaternaires.

Selon BAHZAD (1982), la ligne de cet accident constitue une limite hydrogéologique entre deux compartiments bien distincts :

- D'un côté, l'Atlas de *Béni Mellal* et le bassin de *Ben Cherrou*,
- Et de l'autre, les deux bassins de *Tagleft* et d'*Ouaouizaght*.

## II. 2 Les grands ensembles structuraux

### II. 2. 1. Les synclinaux

Les grands synclinaux, situés dans le bassin versant de l'oued *El Abid*, sont faits de Dogger rouge (anciennes vases) avec basalte (LEVEQUE, 1952). Ces synclinaux, ayant la forme des bassins à fond plat, sont caractérisés par une importante variation d'épaisseurs ayant pour origine une dissymétrie du remplissage initial. La plupart des synclinaux situés dans le bassin versant, comme ceux du Haut Atlas central, sont souvent associés, soit à des rides anticlinales longitudinales soit à des failles transverses.

Les cuvettes synclinales les plus importantes sont souvent liées à la vallée de l'oued *El Abid*, il s'agit de trois grandes cuvettes de *Ouaouizerht*, de *Tagleft* et de *Tizi n'Isly*. D'autres sont liées au cours de l'*Assif Ahançal*, comme le synclinal de *Tilouguite* et le synclinal des lacs.

*Le synclinal d'Ouaouizerht* s'inscrit dans le seuil d'*Abbadine* et les hauteurs de *Bin El Ouidane*. Il est aussi occupé par la série argilo-gréseuse bathonienne qui sert de soubassement étanche à la retenue du barrage de *Bin El Ouidane*. Des couches du Crétacé et de l'Éocène occupent la partie septentrionale de ce bassin.

*Le synclinal de Tagleft* est une vaste cuvette de forme triangulaire remplie de sédiments détritiques continentaux (les couches rouges de Bathonien). Son axe correspond approximativement à l'oued *El Abid* qui le traverse du Nord-Est au Sud-Ouest. Les couches Bajociennes sous-jacentes constituent un aquifère important qui draine les eaux du secteur d'*Ait Oukabli*. Ce bassin est séparé de celui de *Ouaouizerht* par le seuil de *Jbel Bou Tachtuine-Abbadine*, qui est une ride anticlinale complexe et étroite, de direction Nord-Sud, se déversant vers l'ouest. Les couches rouges des deux bassins se redressent et se terminent en biseau à l'approche de ce seuil (BAHZAD, 1982).

*Le synclinal de Tizi n'Isly* est bordé au Nord par l'Accident *Aghbala Afourer* (AAA), et par des failles moins importantes au Sud. À l'Est, la terminaison périclinale apparaît peu dérangée, il marque la discordance du Jurassique continental sur les calcaires-corniches. (CHARRIERE, 2011). Le synclinal est occupé par des couches rouges lagunaires particulièrement développées, constituées par une épaisse formation à dominante marneuse et silto-gréseuse.

*Le synclinal de Tilouguite* est situé au Sud de celui d'*Ouaouizerht*, et séparé de celui-ci par l'anticlinal du *Jbel Abbadine*. Il est occupé par des sédiments détritiques constituant des

couches rouges gréseuses du Bathonien. Le synclinal est tronqué sur son flanc sud par un grand accident chevauchant Est-Ouest.

*Le synclinal des lacs* ou synclinal d'*Imilchil* (figure 2.4) est situé entre la ride anticlinale de *Tassent* au Nord et l'anticlinale de *Msadrid* au Sud. Il est occupé par des alternances de marnes gréseuses rouges, d'argiles et de carbonates détritiques, d'âge Bajocien et Bathonien. Le synclinal a pris son nom de l'existence de deux lacs permanents, *Isly* et *Tislit*.

## II. 2. 2. Les anticlinaux

Le bassin versant de l'oued *El Abid* se caractérise par la présence des axes anticlinaux étroits, fréquemment injectés de corps magmatiques, dont la direction est généralement de Sud-Ouest au Nord-Est. C'est au Nord-Est du bassin versant, dans la région d'*Imilchil*, qu'on trouve les plus importants axes anticlinaux (*Tassent* et *Tasraft*) qui sont recouverts de « couches rouges » continentales discordantes (CHARRIERE et al, 2009) et l'anticlinal *Abbadine*, près du barrage de *Bin El Ouidane*.

- **Anticlinale de Tassent** ou Ride<sup>1</sup> anticlinale de *Tassent* (figure 2.4), est constitué des roches magmatiques diverses : diorites, gabbros et troctolites, intrusives dans des basaltes altérés verdâtres (Trias terminal) et des formations sédimentaires : argilites roses triasiques et masses calcaires liasiques. Toutes ces roches sont disposées de façon chaotique dans l'axe de la ride (CHARRIERE et al, 2011). Il délimite le plateau des lacs au Nord, et s'étend depuis le *Jbel Issouel* (2922m), situé juste au Nord du lac *Isly*, jusqu'à l'Est du Cirque (Combe) d'*Anergui*. Il est dissymétrique, dont son flanc Nord est bien dominé par celui du Sud.

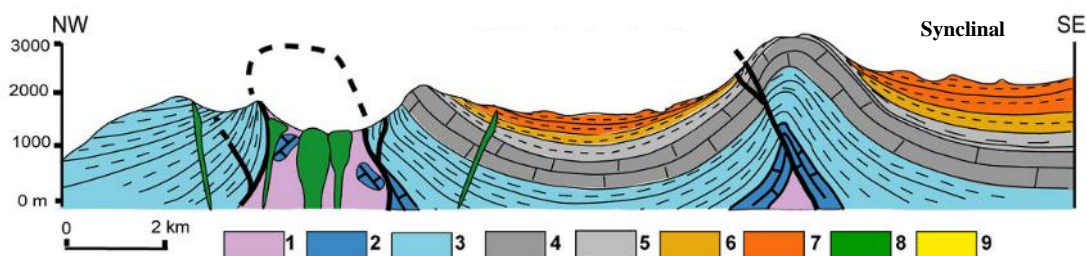


Figure 2.4. Coupe géologique de la région des plateaux des lacs.

<sup>1</sup> Les Rides sont des anticlinaux pincés de calcaires du Lias constituant des hauts fonds contre lesquels les couches du Lias supérieur ou du Dogger se terminent en biseau avec parfois des discordances progressives (DUBAR, 1938 (cité par JENNY, 1984))

1: Basaltes et argilites du Trias, 2: Calcaires du Lias inférieur, 3: Formation de Tassent, Lias Supérieur : Aalénien, 4: Fm Bab n'Ouayad. (" Calcaire Corniche "), Bajocien inférieur, 5: Fm Tislit, Bajocien Moyen et supérieur, 6: Fm. Imilchil, Bathonien inférieur, 7: Fm. Isly, Bathonian?-Callovien, 8: Roches magmatiques, principalement gabbroïque (Jurassique Moyen), 9: Thanetian-? Yprésiens, lits rouges et basaltes (Ride de Tassent) (d'après IBOUH et al, 2014).

- **L'anticlinal de Tasraft**, il est situé plus près au Nord et en parallèle à celui de Tassent. Son cœur montre un affleurement des roches basaltiques massives, fortement altérées et fracturées. Elles sont associées à des niveaux sédimentaires intercalés entre les coulées, de nature détritique (argilites, pélites et grès) ou carbonaté (IBOUH, 2002).

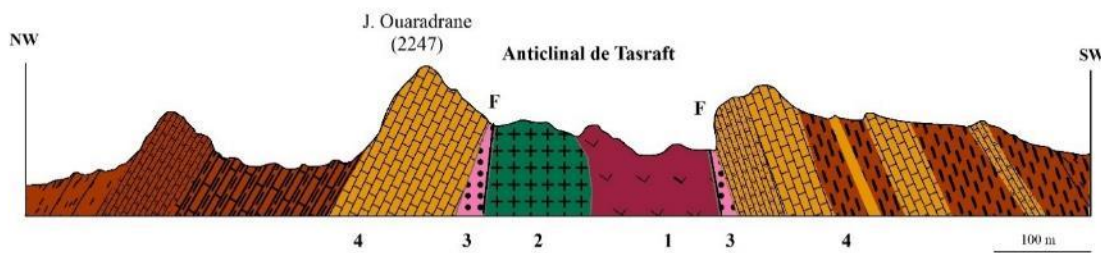


Figure 2.5 : Coupe structurale de la ride de Tasraft.

1 : Roche volcaniques, Triasico-liasique, 2 : Gabro et diorite jurassique, 3 : Brèche et argile du Trias, 4 : Série sédimentaire marno-calcaire du Jurassique (d'après IBOUH et al, 2002)

- **L'anticlinal du Jbel Abbadine** est la principale structure active au Jurassique moyen dans ce secteur atlasique (MONBARON, 1982). Il se trouve dans la cluse traversant le *Jbel Abbadine* surplombant la cuvette de *Ouaouizerht* dans la partie Sud-Est, et compris entre les embouchures de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal* dans le barrage de *Bin El Ouidane*. On y trouve un relief en cuestas et combes comblées par des dépôts continentaux rouges du Bathonien.

Le Haut Atlas central apparaît ainsi comme une chaîne aux caractères complexes, en raison d'une longue histoire au cours de laquelle des failles d'abord normales ont pu devenir inverses et des anticlinaux érodés chevauchants, tandis que se mettaient en place des intrusions. Mais beaucoup de traits de la structure du Haut Atlas ; le décollement, le style des accidents et en particulier de certains chevauchements, sont liés aussi à la nature des roches.

### III. Les caractéristiques hydrogéologiques

#### III. 1 La perméabilité

La perméabilité d'un substratum ou d'une roche donnée, peut être définie comme son aptitude à se laisser traverser par un fluide (FOUCAULT et al, 2010). On distingue généralement



la perméabilité en petit (roches semi-perméables et imperméables) qui est celle des roches qui ne présentent comme vides que des pores de petite taille (e.g. sables et grés) et la perméabilité en grand (roches perméables) qui est celle des terrains fissurés ou diaclases, ou même creusés de cavités.

À l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, l'hétérogénéité des formations lithologiques et le contraste des structures et reliefs lui confère un comportement hydrologique et hydrogéologique très particulier. Le substratum du bassin versant est constitué essentiellement des roches carbonatées, composées des calcaires du Lias et du Dogger marin et des dolomies. Cette constitution en roches carbonatées perméables (51% de la superficie du BVOEA) accorde au bassin versant un réservoir des ressources en eau souterraines très considérables, mais très peu connues.

La classification lithologique et géologique précédente, nous a permis de déterminer trois grandes catégories de roches en termes de perméabilité :

***Roches perméables*** : Il s'agit des roches carbonatées, constituées essentiellement des calcaires et dolomies, ces roches favorisent l'infiltration des eaux par le biais des interstices et les fissures.

***Roches semi-perméables*** : il s'agit des couches imperméables sédimentées en alternance avec les roches perméables.

***Roches imperméables*** : elles sont constituées de roches sédimentaires imperméables (marnes, argiles, ...) et des roches magmatiques (gabbro et basaltes).

### **III. 1. 1. Les formations perméables**

Les formations hydrogéologiques perméables, constituent les gisements d'eau souterraine ou aquifères, dont elles identifient la configuration et la structure du réservoir (CASTANY, 1982), composé des matériaux présentant des porosités permettant de se laisser traverser par l'eau. Les formations hydrogéologiques perméables du bassin versant de l'oued *El Abid* sont constituées des roches carbonatées, qui sont souvent marquées par des fissures, de porosité et d'interstices, ce qui peut donner dans la plupart des cas des formes karstiques superficielles et souterraines.

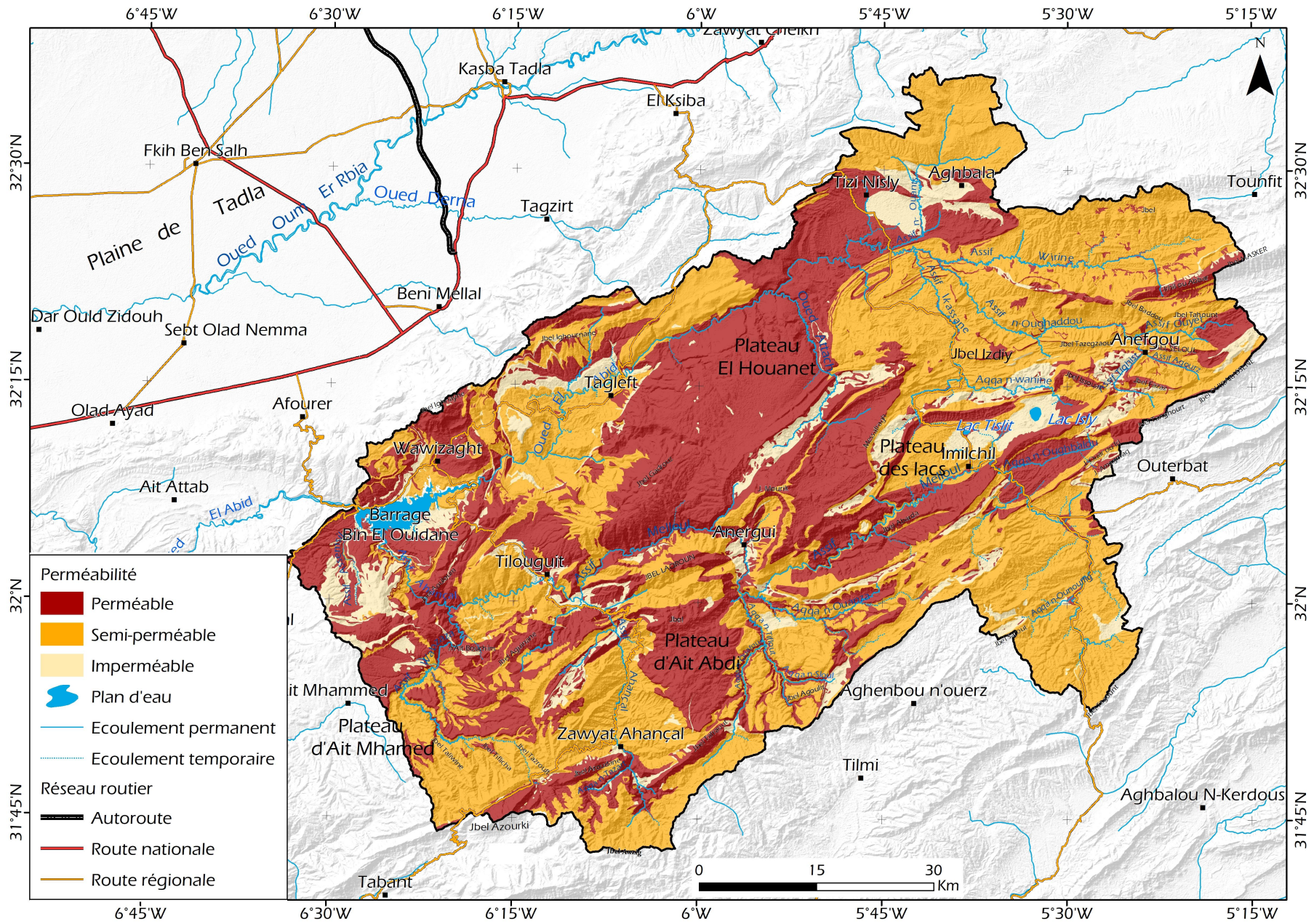


Figure 2.6 : Carte de perméabilité du substratum du bassin versant de l'oued *El Abid*

À l'échelle du bassin versant, ces formations perméables sont constituées essentiellement de plusieurs centaines de mètres de calcaires et de dolomies d'aspects divers et surmontées de calcaires du Domérien (Lias). De même, les terrains constitués des calcaires massifs du Jurassique supérieur remplissant quelques cuvettes synclinales du bassin de l'oued *El Abid*, sont aussi considérés des zones ayant une perméabilité très forte.

Les eaux superficielles profitent, d'une part, des accidents tectoniques développés à l'échelle du bassin versant, comme les failles et les chevauchements, et de l'autre part, les affleurements des couches ayant des pendages très importants dans les bordures des synclinaux et des anticlinaux, pour s'infiltrer en suivant les interstices et les vides entre les couches lithostratigraphiques, que ce soit perméables ou imperméables. Ces eaux s'écoulent profondément jusqu'à ce qu'elles gagnent les réservoirs souterrains, qui alimentent les sources.

La classe des formations perméables, constitue 41,2% de la superficie totale du bassin versant de l'oued *El Abid* ; elle s'étend fortement au centre du bassin versant et dans sa partie ouest (figure 2.6). En effet, elle correspond aux plateaux d'*El Houanêt*, d'*Ait Abdi* et d'*Ait M'hamed*, considérés comme des zones purement karstiques, où dominent les formes karstiques de différentes tailles et formes.

Cette perméabilité entraîne certainement un écoulement intermittent de surface qui est bien remarqué dans les vallées sèches en amont du bassin versant. En revanche, il témoigne de l'incidence d'une nappe souterraine (sources et suintements) qui peut participer au ralentissement de la sécheresse hydrologique (NEJJARI, 2002) lorsque la sécheresse climatique est bien ressentie.

### **III. 1. 2. Les formations semi-perméables**

Ces formations sont constituées des formations perméables intercalées des couches imperméables, ou parfois des formations géologiques ne facilitant pas une infiltration rapide des eaux. Il s'agit essentiellement des calcaires-marneux, marnes gréseuses et des grès du Lias moyen et supérieur, des conglomérats, des marno-calcaires et des grès du Dogger et des intercalations des calcaires et marnes du Crétacé.

Cette classe de perméabilité représente 50,1% de la superficie totale du bassin versant. Ces formations semi-perméables se répartissent fortement dans les parties Est, Sud-Est et Sud



du bassin versant, avec présence de quelques formations au centre ; dans la cuvette de *Tagleft* et au Nord dans la région d'*Aghbala*. En effet, ces formations semi-perméables constituent les fonds des terrains sur lesquels s'écoulent les principaux cours d'eau du bassin versant, notamment dans leurs parties amont. Ceci est bien marqué pour la partie amont de l'oued *El Abid*, avec ses trois principaux affluents ; *Ouirine*, *Ikkassen* et *Oughaddoud* qui drainent des terrains semi-perméables. De même, l'*Assif Melloul*, le principal affluent de l'*Assif Ahançal*, adopte, dans une grande partie de son cours, un trajet traversant des formations semi-perméables. Cette relation entre les cours d'eau et ces formations semi-perméables peut aboutir à une alimentation plus ou moins considérable et au contraire à une alimentation ralentie des ressources en eau souterraine, selon le degré de friction et de karstification de ces formations.

En termes de comparaison, le sous bassin versant de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* représente une partie très considérable de ces formations semi-perméables (52,1%), et celui de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* représente 53%. Même remarque est constatée pour les formations perméables (roches carbonatées) qui constituent 39,3% de la surface totale du SBV de *Tilouguite*, et 39,4% de celle du SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* (figure 2.7). Généralement, les deux sous bassins élémentaires favorisent presque de la même manière l'infiltration et l'alimentation des aquifères. Cette dominance des formations perméables et

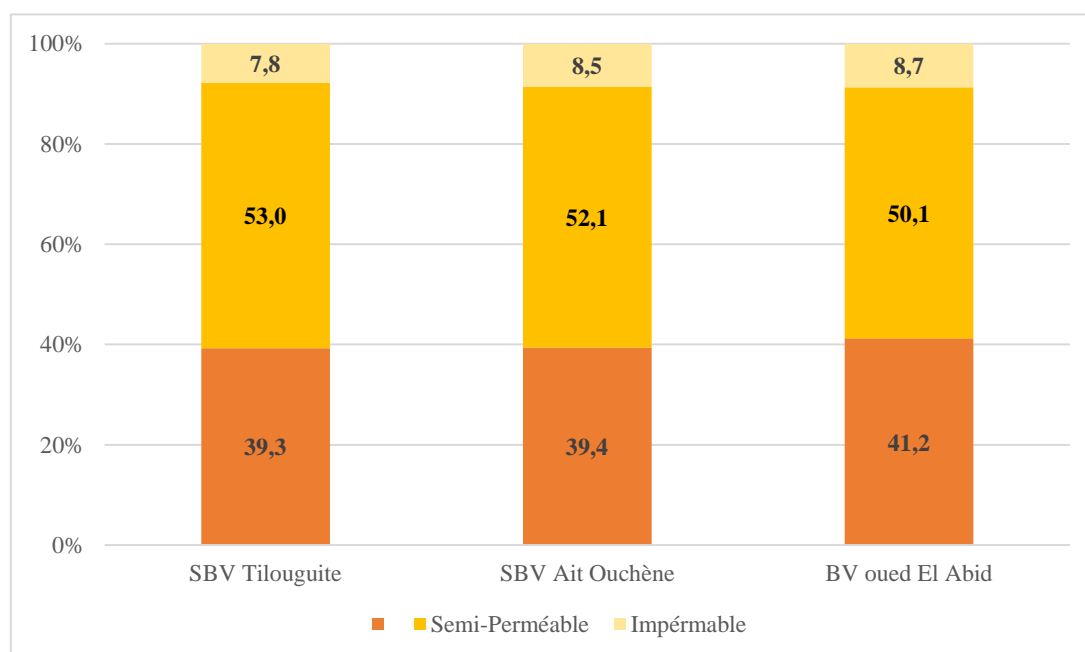


Figure 2.7 : Perméabilité (en %) des formations lithologiques du bassin versant de l'oued El Abid et de ses deux sous bassins versants

semi-perméables a favorisé le développement d'un modelé karstique à l'échelle de tout le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*.

### III. 1. 3. Les formations imperméables

Les formations imperméables concernent généralement les affleurements du Trias supérieur constitués des basaltes altérés, des coulés basaltiques interstratifiés et des argiles roses. Cette classe recouvre aussi les massifs intrusifs du Dogger constitués des complexes gabbroïques, des basaltes interstratifiés et des Dykes.

Ces formations imperméables (roches intrusifs et volcaniques) se manifestent nettement au niveau des anticlinaux qui se répartissent au centre, à l'Est et au Sud du bassin versant. Il s'agit essentiellement des anticlinaux de *Tassent* et de *Tasraft*, de *Jbel Abbadine*, du Cirque (combe) d'*Anergui*, et les autres affleurements triasiques.

Les formations imperméables du bassin versant de l'oued *El Abid* sont constituées aussi des roches sédimentaires du Dogger, il s'agit généralement des terrains marneux. Ces formations imperméables occupent ainsi des surfaces limitées par rapport aux autres formations. Elles constituent respectivement 8,7%, 8,5% et 7,8% des surfaces du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, du SBV d'*Ait Ouchène* et du SBV de *Tilouguite*.

### III. 2 Les géo-systèmes karstiques

Dans le Haut Atlas central, les formes karstiques occupent une large place en raison de sa nature géologique et lithologique caractérisée par la dominance des roches carbonatées. Les formes karstiques s'organisent d'une façon dispersée et parfois en groupe. Le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* connaît un développement très important des formes karstiques. Cependant, ces dernières n'ont pas fait l'objet des études très approfondies. Les seules études bien connues sont celles qui ont été menées par COUVREUR (1974, 1988) sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central, dans laquelle il a inventorié les différents karsts développés dans la chaîne, et, MONBARON et PERRITAZ (1993, 1994) et PERRITAZ (1995, 1996) qui ont examiné profondément les modelés et formes karstiques du plateau perché d'*Ait Abdi*, où ils ont identifié une morphologie karstique typique et très particulière à l'échelle mondiale « Karst en vague ». Mis à part ces études, nous n'avons pas pu trouver d'autres études qui traitent les autres géo-systèmes karstiques, leurs potentialités et réserves souterraines et les

rôles qu'elles peuvent jouer dans l'approvisionnement en ressources en eau d'une façon continue ainsi que leurs caractéristiques dynamiques et géochimiques.

Dans ce qui suit, et à partir des études citées ci-dessus, nous présenterons l'essentiel de ces géo-systèmes karstiques, en nous focalisant sur leurs modelés, formes et leurs rôles comme une source d'alimentation des oueds d'une façon permanente à travers les sources karstiques. Parmi les karsts les plus connus au niveau du bassin versant, il y a le karst perché d'*Ait Abdi*, le karst d'*El Houanêt*, d'*Ait Mazigh* et d'*Imghal* (figure 2.8).

### III. 2. 1. Le karst d'*Ait Abdi*

Situé entre la partie supérieure de l'*Assif Ahançal* et la partie inférieure de son principal affluent *Assif Melloul*, le karst d'*Ait Abdi* renferme une multitude de formes karstiques particulières et très variées. On y trouve des vallées sèches ou « karst en vague », qui confèrent au plateau d'*Ait Abdi* une morphologie typique du karst, marquée par une présence très intéressante des karsts nivaux. En parallèle à ces « vallées-dépressions en vague », il y a des dolines asymétriques ayant une forme ovale de grand diamètre, dont la cause est due à la structure, aux mécanismes morphodynamiques affectant les couches de calcaire inclinées et aux conditions d'exposition (PERRITAZ, 1996). Le karst du plateau d'*Ait Abdi* connaît aussi la présence d'autres reliefs karstiques, il s'agit ici des « poljés » qui peuvent contenir des petits lacs temporaires notamment pendant la saison de dégel, il est également possible d'observer toutes sortes de « ponors » parfois typiques et des « lapiazs » de karsts. Toutes ces formes karstiques constituent des zones d'infiltration préférentielle et drainent leurs eaux par des sources au contact avec des couches et formations imperméables, surtout au niveau de la vallée de l'*Assif Ahançal* et de *Tafraout*.

### III. 2. 2. Le karst du plateau d'*El Houanêt*

Il est considéré comme le plus vaste karst du Haut Atlas central ; il est situé entre l'oued *El Abid* et *Assif Melloul*. Oued *Attach* et *Taghia n'Ait Boulmane* ; ces deux oueds traversent en entier le plateau du Sud au Nord, avec leurs vallées rectilignes. Le plateau d'*El Houanêt* est caractérisé par une altitude plus basse, au-dessous de 2200m, et par l'importance des calcaires marneux très gélifs et peu karstiques (COUVREUR, 1988). Ce karst est composé d'une multitude de formes karstiques de petite taille et d'autres de grande à très grande taille. La karstification des calcaires massifs, favorisée par les couches de calcaires marneux qui couvre le plateau,



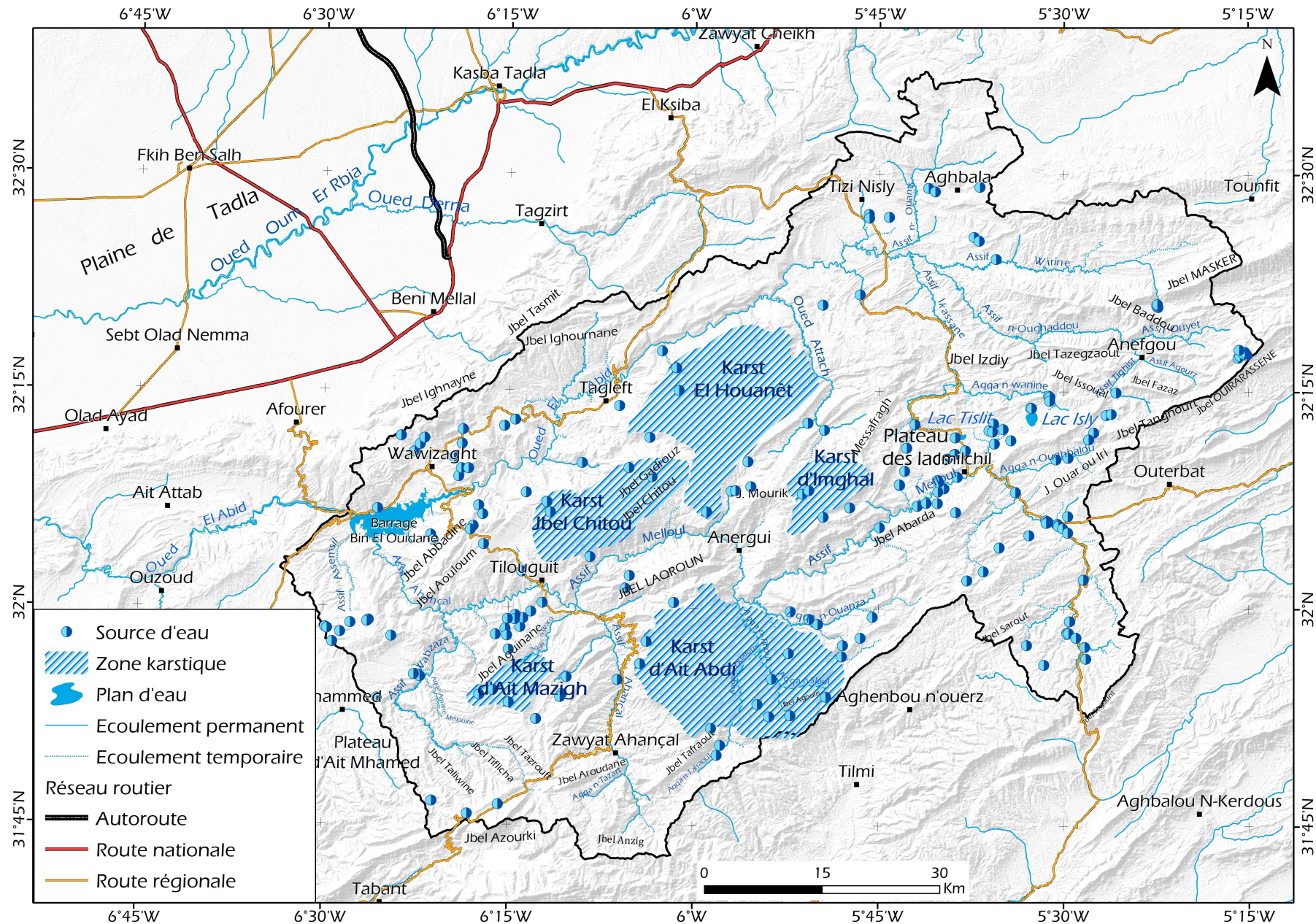


Figure 2.8 : les sources d'eau et les principales zones karstiques du bassin versant de l'oued *El Abid*



permet le développement des poljés et des dolines. La présence d'un faciès dolomitique a favorisé le développement d'un karst qui tend vers l'aspect ruiniforme avec de profondes dolines à bords raides. Les lapiazs ont fait partie de ce paysage karstique ruiniforme, et ce sont développés dans un espace très vaste, et prennent des tailles très diversifiées. En revanche, les formes les plus caractéristiques dudit karst, sont les sillons, qui sont des reliefs méridiens étroits, peu profonds et allongés sur plusieurs kilomètres, tantôt parallèles tantôt anastomosés, avec présence de dolines profondes alignées. En effet, le karst d'*El-Houanêt* fournit des indications d'existence d'un réservoir karstique très considérable, vue la présence :

- i) d'un volume notable de caverne,
- ii) de très importante grotte-ponor de ce karst est souvent vite obstruée,
- iii) des dolines d'effondrement plus ou moins anastomosées qui esquissent le dessin d'un drain souterrain et l'absence d'inondation dans le polié en amont.

Tout ceci, implique l'existence d'un réseau souterrain assez volumineux. L'importance de ces réserves souterraines peut aussi confirmer la présence des grosses exurgences, exprimées par les débits importants de l'oued *El Abid* en période d'été.

Autour de ce karst d'*El-Houanêt*, sont situés d'autres karsts ayant presque les mêmes caractéristiques. Il s'agit des karsts qui dominent la région du *Jbel Chitou*, située au Sud-Ouest du plateau d'*El-Houanêt*, et limitée au Sud par l'*Assif Melloul*. Plus à l'Est, le karst de l'*Imghal* qui domine à l'Ouest le cirque d'*Anergui* et en Est le plateau des lacs. Ce karst est caractérisé par la présence d'une cuvette-couloir dont le fond est crevé par une série de dolines, et occupé par des dépôts fluviatiles. Ces deux karsts, vue leur situation et le drainage de leurs système karstique interne, soutiennent d'une façon plus ou moins continue le débit du cours d'eau de l'*Assif Melloul*.

### III. 2. 3. Le karst d'*Ait Mazigh*

Ce karst est situé entre *Assif Ahançal* et *Assif n'Wabzaza*, plus précisément, entre *Aqqa<sup>1</sup> n-Warg* et *Aqqa Amane-Melloulne<sup>2</sup>*. Le karst d'*Ait Mazigh* est développé dans un plateau de Dogger qui chevauche les conglomérats de l'*Amsefrane*. Il est constitué d'une série de poljés allongés du Sud au Nord, drainés souterrainement par un émissaire aérien en suivant la direction

---

<sup>1</sup> Aqqa : terme Amazigh local, désigne cours d'eau temporaire

<sup>2</sup> *Amane-Melloulne* : terme Amazigh local signifie 'eaux elanches'

de l'axe Est Ouest du synclinal (COUVREUR, 1988). Ce karst d'une taille limitée, comporte un réseau souterrain qui se déverse vers l'Est étant donné la localisation des ponors de certains poljés, et l'existence d'une source notable sur le bord ouest.

Il est notable que presque tous les karsts qui se présentent à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* disposent des formes de grande taille (parfois plurikilométriques) comme des ouvalas et des poljés. Ces grandes dimensions impliquent une longue évolution. En revanche, le réseau souterrain de ces karsts reste mal étudié et mal connu, mais nous ne pouvons, au moins pour le moment, reconnaître les réserves souterraines qu'à travers leurs résurgences et sources.

L'importance des karsts souterrains peut être déduite du régime saisonnier et annuel de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* et *Assif Melloul* à la station de *Tilouguitte* (Chapitre IV), où nous avons noté que même pendant les années sèches, ces oueds ont des débits très importants, soutenus et indépendant des précipitations des années correspondantes.

## Conclusion

La géologie du bassin versant de l'oued *El Abid* est marquée par la dominance des roches carbonatées composées essentiellement des calcaires du Lias, du Dogger et du Crétacé. Ces roches calcaires se trouvent dans la zone du bassin versant soit isolées ou en alternance avec d'autres formations (Dolomies, marnes ou grès). L'étude comparative entre les deux sous bassins versants de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguitte* montre que ce dernier dispose d'une portion très remarquable de roches perméables par rapport au premier SBV. Alors que le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* connaît une dominance des roches semi-perméables et perméables constituées essentiellement des Marnes, grès et marno-calcaires.

Les événements géologiques qui marquent l'histoire du bassin versant et durant lesquels toutes les formations lithologiques ont été produites, s'étendent de la période du Trias (Trias supérieur) au Quaternaire. La tectonique à l'échelle du BVOEA est constituée des failles, (normales et supposées), des plis et des chevauchements. Cette tectonique est aussi responsable de la mise au point d'un ensemble structural constitué d'une série de synclinaux et anticlinaux à l'échelle de tout le bassin versant.

Ces caractéristiques géologiques et tectonique confèrent au BVOEA le caractère d'un grand réservoir des ressources en eau, car les eaux de précipitations profitent du caractère

imperméable des roches pour s'écouler et finalement arriver au lac du barrage de *Bin El Ouidane*, ou bien elles profitent du caractère perméable et semi-perméable d'une part, et d'autres part des interstices, les failles et les chevauchements pour s'infiltrer et alimenter les hydrosystèmes karstiques. Ce réservoir très immense doit être étudié, protégé, mobilisé et valorisé d'une façon intégrée et durable.

**Chapitre**

**III**

**LE COUVERT VEGETAL  
ET LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL**

**I**

**LES PRINCIPALES FORÊTS DU BASSIN  
VERSANT**

**II**

**LES ESSENCES FORESTIERES**

**III**

**ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE  
L'OCCUPATION DU SOL**

## Introduction

L'étude des caractéristiques végétales et de l'occupation du sol s'avère une étape très importante dans les études des ressources en eau. Car la présence ou l'absence du couvert végétal dans un terrain donné détermine le fonctionnement et le comportement de ce terrain vis-à-vis des eaux de ruissellement. Partons de cette réalité, nous allons consacrer ce chapitre à l'étude de l'extension spatiale des forêts à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* ainsi que les différentes essences forestières qui se développent dans le bassin versant et leurs répartitions spatiales et altitudinales.

Dans ce chapitre, nous allons étudier la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol, en traitant l'état spatiale du couvert forestier en trois dates, 1984, 2000 et 2014. Les résultats obtenus à partir de cette étude multi-chronique sera exploitée pour déduire le comportement du bassin versant en termes de l'écoulement superficiel des eaux, et voir ainsi, si le bassin versant est propice pour un écoulement superficiel violent ou une infiltration souterraine des eaux. Cette étude sera basée sur les techniques de la télédétection spatiale et des formules mathématiques bien connues.

### I. Les principales forêts du bassin versant

Le bassin versant de l'oued *El Abid* amont du barrage de *Bin El Ouidane*, compte tenu de son étendue et sa situation dans la plus longue chaîne de montagne du Maroc, et vu sa diversité de reliefs, renferme un ensemble de forêts ayant une diversité végétale très considérable. Ces forêts (figure 3.1), en dépit de leur faible densité et étendu, sont caractérisées par des essences qui sont étroitement influencées par l'altitude, l'exposition et les conditions édaphiques. Le type de forêt le plus dominant dans le bassin versant, est constitué essentiellement de la série du chêne vert (*Quercus rotundifolia*), souvent en formation forestière ou préforestière (TAIBI *et al*, 2015). D'autres espèces végétales sont fréquentes mais souvent en association avec le chêne vert, ou seules dans des reliefs particuliers (hautes montagnes, versants très forts ou escarpements ou fonds de vallées).

#### I. 1 Forêt des Ait Isha et SIB de Tamga

La forêt d'*Ait Isha* est la plus vaste forêt du bassin versant de l'oued *El Abid*. Elle est constituée de deux forêts ; la forêt d'*Ait Isha* Nord et la forêt d'*Ait Isha* Sud. La première, de

petite taille par rapport à la deuxième, est située dans la rive gauche de la partie inférieure de l'oued *El Abid* avant son déversement dans le barrage de *Bin El Ouidane*, et au Sud par les versants Nord du *Jbel Abbadine*, le plus important douar dans la forêt est le *Douar Tabaroucht*, qui est constitué de plusieurs habitats traditionnels très dispersés au cœur de la forêt. Quant à la forêt des *Ait Isha Sud*, elle est occupée par une population très importante par rapport aux autres forêts. Elle occupe presque 52218 ha, constituant ainsi 8% de la superficie totale du bassin versant. Elle s'étend depuis *Jbel Abbadine* jusqu'à la vallée de *Wabzaza* au Sud et *Assif Ahançal* à l'Est en passant par le site de *Tamga* et la cathédrale d'*Amsefrane*. Le centre de *Tilouguite* constitue le chef-lieu qui occupe le domaine forestier d'*Ait Isha Sud*, situant ainsi au centre de la forêt. En outre, elle abrite plusieurs douars qui se dispersent dans son domaine en exerçant une forte pression sur ses ressources.

La forêt des *Ait Isha Sud* est composée essentiellement du chêne vert qui constitue 52% de sa superficie, le genévrier (27%) le pin (18%) (ZOUBIR et al, 2007) avec d'autres essences secondaires, comme le sous-bois qui est constitué des plantes médicinales et aromatiques (*thym*). La forêt abrite, prenons en considération sa diversité floristiques et faunistique, le Site d'Intérêt Biologique et Écologique (SIBE) de *Tamga*, classé comme un SIBE de priorité 1 à l'échelle régionale.

La forêt s'étale dans les versants des montagnes et des crêtes, et au fond des grandes vallées de l'*Assif Ahançal* et de la partie aval de l'*Assif Melloul*.

## I. 2 La forêt des Ait Daoud Ou-Ali

La forêt d'*Ait Daoud Ou-Ali* occupe la totalité du synclinal de *Tagleft* et la moitié du plateau d'*El Houanêt*. Elle est traversée par l'oued *El Abid*, qui la découpe en deux. La forêt s'étend sur trois communes territoriales, il s'agit des communes de *Tagleft*, de *Larbaa n'Ait Ouqabli* et de *Tifert n'Ait Hamza*. Sa superficie totale est de l'ordre de 53785 ha. La densité du couvert végétal de la forêt est souvent considérable seulement au niveau des versants d'orientation Nord et Nord-Ouest, et au long de la vallée profonde de l'oued *El Abid*, et quelques vallées de ses affluents (*Aqqa n'Tzanit*). Alors que les terrains presque plats sont souvent occupés par des champs de cultures. La pression anthropique sur la forêt des *Ait Daoud Ou-Ali* est très remarquable, plusieurs îlots de bâties sont dispersés dans la forêt dont la dégradation du couvert végétal est très notable.



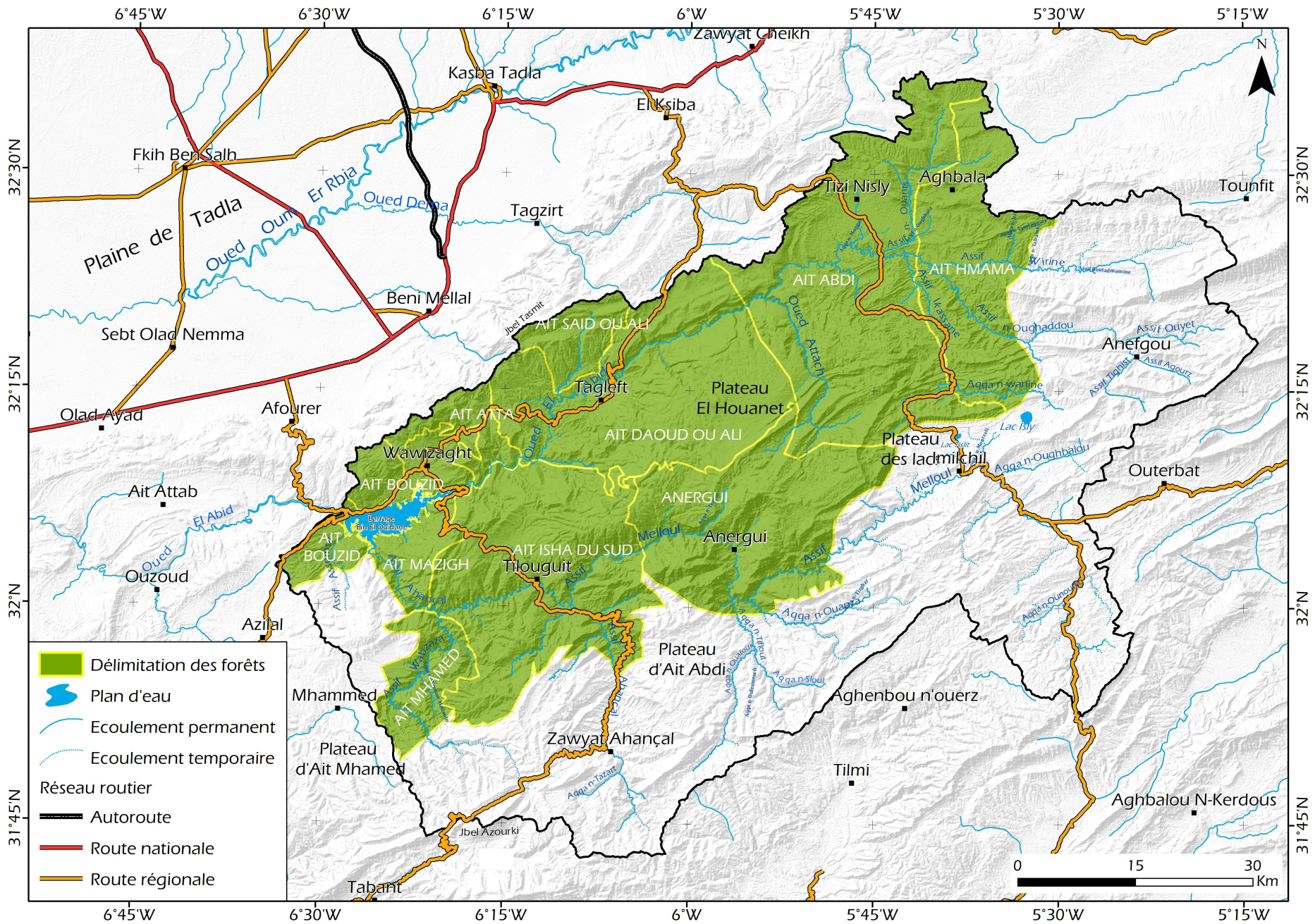


Figure 3.1 : Les principales forêts du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*



### **I. 3 La forêt des *Ait Abdi* de l'Est**

La forêt des *Ait Abdi* de l'Est s'étend dans les deux communes territoriales de *Tizi n'Isly* et de *Boutferda*, dont la population selon le Recensement Générale de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2014 est de l'ordre de 19303 habitants. La superficie totale de la forêt à la limite du bassin versant de l'oued *El Abid* est de l'ordre de 73455 ha. Elle est délimitée au Nord-Ouest par la forêt d'*Ait Ouirra* (ou d'*El Ksiba*), au Sud par le haut plateau des lacs et l'anticlinal de *Tassent*, à l'est par la commune rurale d'*Aghbala*, et à l'Ouest par la forêt d'*Ait Daoud Ou-Ali*. La forêt d'*Ait Abdi* de l'Est est bien développée dans des reliefs très diversifiés, dans sa partie Nord, elle occupe le synclinal de *Tizi n'Isly*, dans la partie Ouest elle occupe les gorges de l'oued *El Abid* et de son affluent oued *Attach*, et les plateaux d'*El Houanêt* et d'*Issrouta*, au Sud, les très longues crêtes délimitant l'anticlinal de *Tassent*. Au centre de la forêt, dans la région de *Tizi n'Isly*, une activité agricole souvent irriguée s'est bien développée récemment, il s'agit essentiellement des pommiers.

### **I. 4 La forêt des *Ait Hmama***

Les limites de la forêt correspondent généralement aux limites de la commune territoriale d'*Aghbala*. Le couvert végétal de la forêt est souvent dense seulement dans les versants Nord, alors qu'il est très maigre dans les versants Sud et dans les zones cuvettes de l'oued *Ouirine* et d'*Aghbala*. La forêt d'*Ait Hmama* s'étend sur une superficie de l'ordre de 38825 ha, couvrant ainsi une dizaine de localités et de petits villages (*Aghbala*, *Lamsid*, *Qsar Oumchicha*, *Ta'adlount*, *Sidi Ammar*, etc.) dont la population totale est de l'ordre de 44863 habitants. Au sein de la forêt on trouve des plantations fruitières constituées essentiellement des pommiers et des oliviers et de maraichages irrigués par les eaux de l'oued *Ouirine* et oued *Ouantess*, par les eaux des sources, et par les eaux de puits dans la région d'*Aghbala* (HSSAINI, 2002).

### **I. 5 La forêt d'*Ait Bouzid***

Avec une superficie totale de l'ordre de 25373 ha, la forêt qui fait partie du BVOE ne couvre que 6323 ha. Elle se situe dans la partie Est de la cuvette synclinale d'*Ouaouizerht*, la partie aval du bassin versant. La forêt d'*Ait Bouzid* s'étend sur deux communes territoriales de *Bin El Ouidane* et d'*Ait Ouârda*, dont le nombre de la population selon le RGPH de 2014 est de 7058 habitants.

D'autres forêts, dont l'extension spatiale et la richesse floristique et faunistique sont plus ou moins importantes, existent bien dans le bassin versant de l'oued *El Abid*. Cependant, les forêts précédemment évoquées restent les plus importantes en termes de richesse et diversité faunistique, superficie et en termes de la densité du couvert végétal.

La partie Est et Sud-Est du bassin versant est généralement dépourvue de toute sorte de forêt. Les terrains sont presque désertiques, à considérer les altitudes très élevées qui dépassent souvent 2600 m d'une part, et d'autre part, le climat caractérisé par des précipitations nivales dont les températures sont très basses.

## II. Les essences forestières

Très rares sont les études qui ont fait l'objet des forêts ou les caractéristiques du couvert végétal du Haut Atlas central ou bien précisément à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, malgré la richesse floristique et faunistique qu'il détient. Nous n'avons pu citer aucune étude qui traite la diversité du couvert végétal ou son évolution dans le temps et dans l'espace du bassin versant, mis à part quelques études qui ont donné un aperçu global sur des espèces végétales ou certaines qui n'ont traité qu'une seule essence forestière.

Les essences principales qui constituent le couvert forestier du bassin versant de l'oued *El Abid* sont :

### II. 1 Le chêne vert

Le chêne vert (*Quercus rotundifolia*) est la première essence forestière par sa surface et par sa production en bois de feu. Par ailleurs, ses rôles écologiques et socio-économiques sont partout très importants (MARDAGA, 1999). À l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, cette essence constitue le trait phytogéographique le plus original et le plus constant. On la trouve soit à l'état pur dans quelques endroits de la plupart des forêts du bassin versants, notamment dans la partie Nord-Ouest, ou bien souvent associée au genévrier rouge, au thurifère et au thuya au Sud-Est, à l'Est et au Nord du bassin. Le chêne vert se développe dans le bassin versant à une tranche altitudinale qui se situe entre 700 et 2700 mètres. Il est généralement très abondant sur les versants Nord correspondant aux étages bioclimatiques de type humide, subhumide, localement semi-aride, tempéré, frais et froid. En outre, cette espèce végétale est caractérisée par sa capacité de coloniser tous les types de substrat géologique, du fait de sa plasticité écologique et sa résistance.

Les meilleures forêts qui abritent des superficies considérables de cette essence sont celles qui se développent le long des versants de la vallée de l'oued *El Abid*. Il s'agit des forêts d'*Ait Daoud Ou-Ali*, des *Ait Abdi* de l'Est et d'*Ait Hmama*. Alors que les vallées de l'*Assif Ahançal* et de l'*Assif Melloul* abritent des superficies moyennement restreintes de chênes verts, mis à part la partie Sud du sous bassin versant où se développent des forêts très importantes de chêne vert (*Azilal*, *Wabzaza* et *Zawyat Ahançal*).

## II. 2 Les Juniperaies

Les juniperaies ou les genévriers constituent la deuxième essence forestière dominante dans le bassin versant de l'oued *El Abid* après les chênaies vertes. Elles se présentent dans le bassin sous trois espèces, qui sont :

### II. 2. 1. Le genévrier rouge

Le genévrier rouge (*Juniperus turbinata*) est l'un des caractères du bioclimat semi-aride, vu sa capacité de supporter mieux les climats rudes. Dans le bassin versant, cette espèce occupe fortement une grande partie des deux vallées de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*, depuis l'aval jusqu'à la partie médiane. Les forêts à dominance genévrier rouge sont les forêts d'*Ait d'Aoud Ou Ali*, la forêt d'*Ait Mazigh* et la forêt d'*Ait Bouzid*.

Ce résineux est caractérisé par une forte plasticité et résistance qui lui permettent de coloniser les différents types de substrats (BENABID, 2000). Il se développe dans le bassin versant dans des altitudes qui sont comprises entre 1000 m et 2200 m. Nous avons remarqué que les forêts des genévriers rouges sont généralement ouvertes et ne prennent leur caractère dense qu'au long des versants des vallées, et elles sont dégradées d'ailleurs. Ce caractère permet aux éléments steppiques d'être infiltrés dans ces forêts en leur conférant une structure très aérée.

### II. 2. 2. Le genévrier thurifère

Le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) (Noms vernaculaires : *Arar*, *Aoual*, *Taoualt*, *Adroumam*) est une espèce essentiellement méditerranéenne où elle se cantonne surtout au Maroc en raison de la présence des montagnes d'altitudes élevées. Dans le bassin versant de l'oued *El Abid*, le genévrier thurifère longe le plateau d'*El-Houanêt*, la région d'*Anergui*, les hauts plateaux d'*Ait Abdi* du *Kousser* et *Zawyat Ahançal*, où il constitue les plus importants peuplements. Et il se trouve à l'état très disséminé au Sud du bassin dans les régions du *Jbel Azourki* et les autres versants Sud. Généralement, cet arbre est souvent en contact avec son

congénère ; le genévrier rouge, c'est le cas parant dans les versants des gorges de l'*Assif Melloul* au-dessous du *Jbel Chitou*.

Les thurifères sont considérés comme « *les arbres des situations extrêmes* » (MARDAGA, 1999) car certains peuplements résiduels peuvent monter jusqu'à la limite de la végétation forestière vers 3000 m, c'est le cas de sa situation dans les hauts plateaux d'*Ait Abdi* du *Kousser*. Cette répartition altitudinale lui confère un attachement au climat continental semi-aride et subhumide froid et très froid. Il est indifférent vis-à-vis de la nature du sol quoiqu'on le retrouve le plus souvent sur des calcaires.

### II. 2. 3. Le genévrier oxycède

Le genévrier oxycède (*Juniperus oxycedrus*) organise des écosystèmes préforestiers qui dérivent par dégradation des chênaies vertes (BENABID, 2000), et se développe aussi en dessous du genévrier rouge, c'est ce qu'on remarque à l'échelle du bassin versant, où il est fréquemment entouré par les forêts de son congénère le genévrier rouge et les forêts de chêne vert. Les Oxycèdres sont situés seulement dans la région de *Tizi n'Isly* dans la partie amont de l'oued *El Abid*, occupant ainsi une superficie limitée, de l'ordre de 4215 hectares.

## II. 3 Les pins

Les pins (*Pinus*) organisent des peuplements exigus dans le Haut Atlas central, voire dans le bassin versant de l'oued *El Abid*. Ce dernier abrite l'une des pinèdes les plus étendues du Maroc. Ils se manifestent dans le bassin versant sous deux espèces ; pin d'Alep et pin maritime. Ces deux pins constituent des faciès de substitution des sylves potentielles et s'observent surtout dans la frange altitudinale occupée par les groupements forestiers thermophiles des étages thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen. Le pin maritime apparaît aussi dans les groupements préforestiers dérivant des unités potentielles forestières d'altitude situées aux étages méso-méditerranéens et supra-méditerranéens (BENABID, 2000).

- Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*)

Il est une essence forestière essentiellement méditerranéenne, et il est considéré comme le résineux le plus répandu et le plus connu dans le bassin méditerranéen (MARDAGA, 1999). Les pinèdes les plus étendues de cette essence sont situées dans la vallée de l'*Assif Ahançal* dans la forêt de *Tamga* entre *Tilouguite* et *Zawyat Ahançal*, souvent en contact avec le chêne vert et

le genévrier rouge. Autre massif étendu de cette essence est aussi situé dans la partie amont de l'oued *El Abid*, au Nord des plateaux des lacs, où il se développe dans les versants Nord en îlots et en mélange avec les chênes verts et genévriers rouges, et en extension très limitée en contact avec les cèdres, dans la partie supérieure de l'oued *Ouirine*. Dans cette partie amont du bassin versant, des superficies importantes de boisements artificiels du pin d'Alep s'ajoutent à ces peuplements naturels.

- Les peuplements du pin maritime (*Pinus pinaster*)

Ils ne prennent pas la forme d'une forêt pure, ils sont nettement moins étendus et en état très dégradé que les pins d'Alep. Ainsi, ils n'occupent que quelques versants Sud de quelques montagnes de la partie amont de l'oued *El Abid* (l'affluent *Assif Oughaddou*). Dans cette partie orientale du bassin versant, ces peuplements du pin maritime se trouvent en mélange avec les peuplements du chêne vert et du cèdre de l'Atlas.

## II. 4 Le cèdre

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica*) façonne en grande étendue le paysage des montagnes de la partie orientale du bassin versant de l'oued *El Abid*. C'est cette partie qui appartient au Haut Atlas oriental qui abrite l'une des cédraies les plus grandes du Maroc après les cédraies du Moyen Atlas. Cette essence forestière qui constitue le caractère propre des forêts de la partie amont de l'oued *El Abid* (Forêt de *Tounfite*) est souvent associé au chêne vert, et d'une façon très limitée au genévrier thurifère.

Dans le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage de *Bin El Ouidane*, le cèdre se développe dans une frange altitudinale comprise entre 1600 et 2400 mètres, et dans des cas très rares, il atteint 2600 mètres. Du point de vue étage bioclimatique, les cèdres s'encartent dans des bioclimats humides et subhumides froids, et affichent une indifférence vis-à-vis de la nature chimique des substrats (MARDAGA, 1999), présentant ainsi une large amplitude écologique et une grande plasticité par rapport aux différents peuplements. Cependant, les cédraies y constituent un écosystème forestier qui vive en équilibre très fragile en raison de leurs âges (présence des cèdres très âgés), des conditions climatiques difficiles accentuées par les effets des altitudes élevées, de la sécheresse pluviométrique et de la forte pression anthropique. Ces cèdres sont donc en voie de disparition, dont de vastes surfaces abritant un grand nombre de ces arbres sont morts sur pieds, atteignant ainsi les stades de steppisation.

## II. 5 Le thuya de berberie

Le thuya de berberie (*Tetraclinis articulata*) se situe uniquement dans la partie aval du bassin versant, au bord de l'oued *El Abid*, et plus précisément dans la partie inférieure du bassin de *Tagleft* et d'*Ouaouizerht*. Cette localisation traduit fortement le caractère de cette essence qui se développe généralement dans les terrains de basses altitudes. Le thuya s'étend dans des surfaces très réduites, constituant des îlots au sein des massifs du genévrier rouge et du chêne vert. Cependant, ces îlots, connaissent une forte régression sous l'effet de l'action anthropique, ce qui est bien remarqué par l'extension des terrains non boisés à la limite de ces îlots.

Ses peuplements sont remarquablement liés aux variantes chaudes et tempérées du thermoméditerranéen semi-aride et localement subhumide inférieur (BENABID, 2000) et présentent une forte plasticité et résistance écologique qui leurs permettent de coloniser tous les types de substrats géologiques.

## II. 6 Autres essences

Au sein des écosystèmes forestiers, on trouve souvent d'autres essences minoritaires, qui intercalent ces différents peuplements et qui se développent conjointement dans ces forêts. Il s'agit des peuplements qui ne sont pas caractéristiques des étages bioclimatiques, comme le caroubier (*Ceratonia siliqua*) et l'oléastre (*Olea europaea*).

Les essences steppiques et les épineux constituent les peuplements non arborescents les plus répandus. Ces steppes s'étalent souvent dans des hautes altitudes, sur les rocailles des falaises et sur les sommets des montagnes qui dépassent souvent 2700 m d'altitudes.

Il s'agit essentiellement de la partie Est du bassin versant caractérisée par la dominance des terrains qui s'individualisent par l'absence d'arbres, ce qui permet un important développement des steppes froides. Cette dominance des steppes dans la partie Est du bassin versant est due au caractère sévère du climat (froid, rude), qui règne sur les plus hautes altitudes du bassin versant et qui reçoivent des précipitations nivales très importantes.

Les steppes à armoise se manifestent dans le bassin versant au niveau des hautes vallées de l'*Assif Ahançal* et de l'*Assif Melloul* sous deux formes, selon la frange altitudinale. Le type d'armoise (*Artemisia herba-alba*) se développe dans les altitudes inférieures à 1900 m, et forme dans le bassin versant les peuplements d'armoises les plus étendus, tandis que le deuxième type



d'armoise (*Artemisia mesatlantica*), remonte les altitudes qui dépassent 1900 m, et offre une aire d'extension limitée (plateaux d'*Ait Abdi* du *Kousser*). Ces paysages à armoises sont caractérisés par une végétation dense mais très pauvre floristiquement, ce qui traduit un état d'équilibre entretenu par un pâturage intense mais non excessif (BENABID, 2000).



Photo 3.1: forêt de Chêne vert (Près de *Tagleft*)

BISSOUR R., 2016



Photo 3.2 : forêt du Genévrier rouge dans les versants sud du jbel Chittou (gorges de l'*Assif Mellou*)

BISSOUR R., 2016



Photo 3.3 : Arbres de Genévrier thurifère très dispersées dans le haut plateau d'*Ait Abdi*

Cliché Hadou et Ait Omar, 2014



Photo 3.4 : Mélange de forêts de Genévrier rouge et de Chêne vert dans le bassin de *Tagleft*

BISSOUR R., . 2016



Photo 3.5: forêt de Genévrier thurifère dans le plateau d'El Houanêt

BISSOUR R., 2016



Photo 3.6: armoise des hautes altitudes froides sèches (près du Jbel Azourki)

Cliché Hadou et Ait Omar, 2014



Photo 3.7 : forêt du Pin d'Alep dans le SIB de Tamga (près de la Cathédrale d'*Amsefrane*)

BISSOUR R.. 2016

### III. Étude de la dynamique de l'occupation du sol

L'étude de l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* a nécessité l'utilisation des techniques de la télédétection afin de faire une analyse multi-chronique. Cette approche nous permet de montrer la dynamique spatiale et temporelle du couvert végétal, et d'en déduire s'il a subi un développement ou une régression pendant la chronique retenue.

La télédétection spatiale est un outil géographique qui a montré son efficacité et sa puissance en termes du suivi de la dynamique de l'occupation du sol depuis plusieurs décennies. C'est pourquoi cette technique est plus souvent utilisée pour surveiller et évaluer la dynamique des différentes composantes de l'occupation du sol, et plus particulièrement le couvert végétal.

Les images Landsat sont des données de télédétection spatiale les plus utilisées, notons leur gratuité, leur qualité, et leur efficacité dans ce genre d'étude. Ces données satellitaires sont donc très reconnues comme des sources de données réalisables et prometteuses pour documenter la dynamique de l'occupation du sol pour des études régionales, voire globales.

#### III. 1 Les données utilisées

L'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued *El Abid* par télédétection spatiale s'est basée sur l'utilisation des images satellitaires. Les données satellitaires choisies pour ce travail proviennent du Satellite LandSat, et sont prises durant trois dates différentes. Le tableau 3.1 montre les caractéristiques temporelles, spatiales et spectrales des images utilisées.

Les images LandSat utilisées sont téléchargeables à partir du site ([www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)). Ces images LandSat ont une résolution spatiale de 30 mètres. Les images de TM (1984) et ETM (2000) sont constituées de 7 bandes spectrales, alors que les images OLI (2014) sont composées de 11 bandes (tableau 3.1).

Tableau 3.1 : les caractéristiques des images Landsat utilisées.

<b>Images</b>	<b>date</b>	<b>Scène (Path/Raw)</b>	<b>bandes</b>
1984	18 Aout	P : 200 ; R : 038 P : 201 ; R : 038 P : 201 ; R : 037	7 bandes
2000	02 Mai	P : 201 ; R : 038 P : 201 ; R : 037	7 bandes
2014	20 juillet	P : 201 ; R : 038 P : 201 ; R : 037	11 bandes

### **III. 2 Méthodologie de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol**

La dynamique de l'occupation du sol, à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, a été réalisée en poursuivant une méthodologie bien précise (figure 3.2), qui a pour finalité une cartographie très réaliste et concrète.

Les images choisies pour cette étude sont bien nettes, et dépourvues des nuages qui peuvent masquer les données et les informations de terrain. Ainsi, la taille du pixel des images (30 m) a permis de détecter des informations de petites tailles (agriculture irriguée, cours et plans d'eau, et la végétation). Pour ce travail, trois dates sont retenues pour suivre la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant. Ces dates choisies appartiennent à la même saison (été), pour arriver à identifier de manière satisfaisante les variations de chaque classe d'occupation du sol retenues.

Le bassin versant de l'Oued *El Abid* amont *Barrage Bin El Ouidane* est recouvert par deux scènes, c'est-à-dire que chaque date est composée de deux images satellites qui nécessitent une procédure de mosaïquage. Après la préparation des données, nous avons procédé à un processus d'interprétation de ces images. En première étape nous avons identifié visuellement les classes d'occupation des sols, à l'aide d'une composition fautive colorée, afin de déterminer les classes d'occupation du sol à étudier et qui sont nettement visibles à l'échelle du bassin versant. Cinq classes ont été identifiées, il s'agit des "forêts denses", "forêts dégradées et matorral", "agriculture", "plan d'eau" et "sols nus". Par la suite nous avons effectué une classification supervisée de ces images en se servant de la méthode de « maximum de vraisemblance ». Cette classification a été validée par le biais des images de haute résolution de "Google Earth" et notre connaissance de terrain. Cette vérification de la précision de la classification a été validée par le calcul de l'indice de kappa qui est calculé à partir d'une matrice de confusion de chaque date.

La validation de la classification par l'indice de Kappa nous a permis de faire une étude de la dynamique de l'occupation des sols, qui a été évaluée à partir du calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale (T). La formule utilisée pour l'étude de l'évolution spatio-temporelle est l'une des formules appliquées par BERNIER (1992) (cité par OLOUKOI et *al.* (2006)) dont la variable considérée est la superficie (S). La formule de calcul de cet indice est:

$$T = \frac{[\ln(S2) - \ln(S1)]}{t * \ln(e)} * 100$$

Où :  $\ln$  est le logarithme népérien, S1 et S2 correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation du sol à la date t1 et t2,  $t$  est le nombre d'années d'évolution,  $e$  est la base des logarithmes népériens ( $e = 2,71828$ ).

Par la suite, nous avons évalué l'impact de la dynamique de l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* sur les écoulements superficiels de l'eau. Cette évaluation a été faite en calculant un indice dit « capacité de rétention » en eau (Cr) pour chaque classe d'occupation du sol. La formule de calcul de Cr est :

$$Cr = \sum P_i * a_i$$

Où :  $P_i$  est le pourcentage en superficie de la zone d'étude occupée par la classe d'occupation du sol  $i$ ,  $a_i$  un coefficient de pondération représentant la capacité de rétention en eau effective de la classe  $i$  ;

Les coefficients de pondération ( $a_i$ ) ont été définis pour chaque classe entre 0, qui représente les classes ayant une capacité de rétention nulle, et 2, qui représente les classes d'occupation ayant une capacité maximale de la rétention des eaux (tableau 3.2). Cette définition signifie que le coefficient Cr est compris entre 0 et 200. Si Cr est supérieur à 100, cela signifie que le bassin versant est encore sauvage et doté d'une importante couverture végétale, et peu propice à l'intensification de l'écoulement des eaux de surface. Par contre, s'il est inférieur à 100, le bassin est très dégradé (CECCHI et *al.*, 2009) et propice à un écoulement superficiel très important des eaux.



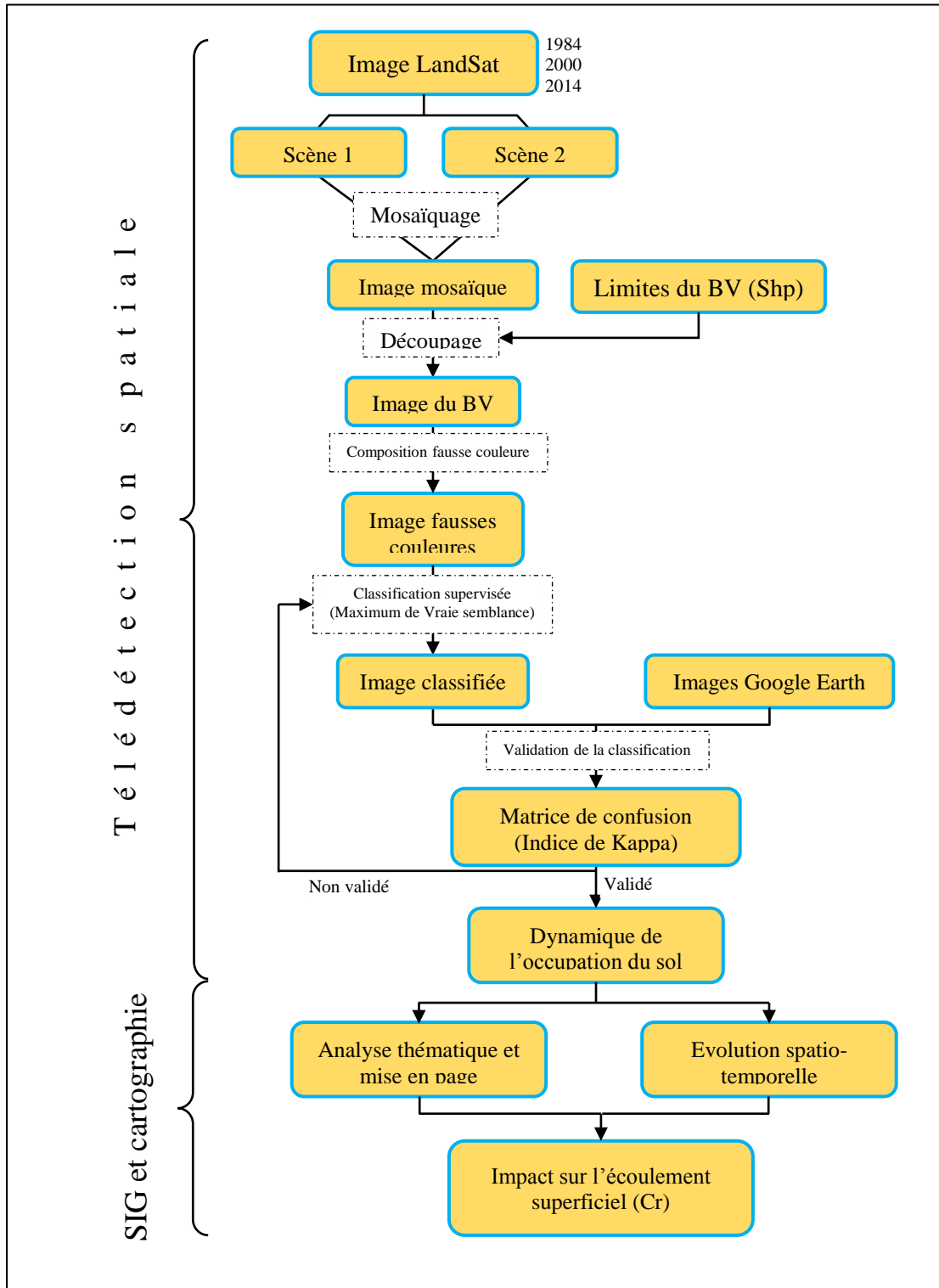


Figure 3.2 : Organigramme de la méthodologie adoptée pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol



Tableau 3.2 : Coefficients de capacité de rétention pour chacune des classes d'occupation des sols

Classe d'occupation des sols	<i>ai</i>
Sols nus ou dégradés	0
Forêts dégradées	1
Forêts non dégradées	2
Cultures irriguées	2

### III. 3 Les classes de l'occupation du sol

La détermination des classes d'occupation du sol à étudier et à suivre spatialement et temporellement s'est basée sur l'objectif de notre travail, sur les images satellites et sur notre connaissance du terrain. L'objectif est de faire sortir la répartition spatiale du couvert végétal à l'échelle de tout le bassin versant, afin de distinguer les zones disposant d'une végétation dense qui permet une régularisation de l'écoulement superficiel et l'infiltration des eaux de pluie. Plus les terrains sont végétalisés, plus l'infiltration des eaux est importante par rapport à l'écoulement superficiel, et si les terrains sont dépourvus d'une végétation dense, l'écoulement de surface devient très important et très violent, et le milieu devient très dégradé, et la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* à l'aval du bassin versant connaîtra un phénomène d'envasement très important. En effet, c'est la végétation et les sols nus qui nous intéressent pour les suivre spatio-temporellement.

Les classes d'occupation du sol que nous avons proposé pour un suivi spatio-temporel sont au nombre de cinq (5) classes. La première classe est celle des forêts denses, qui se composent des arbres très rapprochés et très denses. La deuxième est constituée des forêts dégradées ou matorral, il s'agit des terrains disposant des arbres très dispersés et très aérés. La troisième classe concerne l'agriculture irriguée. Nous signalons ici que nous n'avons pas fait un intérêt à l'agriculture de Bour (non irriguée), car cette agriculture se développe pendant la saison du printemps durant laquelle nous ne pouvons pas distinguer entre cette agriculture et les herbes du printemps. La quatrième classe concerne les sols nus où il n'y a pas de végétation. La dernière classe c'est celle des plans d'eau, lacs naturels : lac *Isly* et lac *Tislit*, et lac artificiel de *Bin El Ouidane*. La classe bâtie a été évitée, car les constructions ne sont pas visibles à l'échelle de tout le bassin versant d'une part, et d'autre part, car la signature spectrale de la plupart des constructions est souvent confondue avec les sols nus. Ces cinq classes d'occupation du sol sont caractérisées et affichées sur les images de LandSat par la composition

fausse couleur RVB, qui permet de rehausser la réflectance du couvert végétal. Toutes les classes sont bien distinguées sur toutes les images utilisées.

La vérification de ces classes a été faite par une visite de terrain, dans laquelle nous avons identifié l'état actuel des échantillons de chaque classe d'occupation du sol faisant des prises de photos afin de valider la classification adoptée dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol.

### **III. 4 L'indice de validation de la classification**

La validation est une étape nécessaire pour perfectionner la classification des images et établir l'exactitude des résultats de la classification. Cette étape permet d'identifier les sources d'erreur à corriger et d'améliorer la qualité de l'information sur la carte (HOANG, 2007). L'évaluation de la précision est un processus qui se fait à l'aide de la matrice de confusion, qui est obtenue après la comparaison de l'image classifiée avec d'autres sources d'information, qui peuvent être des informations collectées sur le terrain, des photos aériennes, des images satellites de haute résolution, ou des cartes thématiques de la même période que l'image classifiée.

La validation de la classification a été faite par le biais des enquêtes de terrains. Nous avons visité une dizaine de sites dont nous avons vérifié les types d'occupation du sol concernés et leur état actuel. Cette validation est complétée par la vérification des différentes classes sur des images satellites à haute résolution de « Google Earth ».

La procédure de validation de la classification utilisée a permis de calculer l'indice de "Kappa" à partir d'une matrice de confusion dont les résultats sont consignés dans le tableau 3.3. Les trois matrices montrent que les trois images présentent des précisions globales très satisfaisantes. Ainsi, la classification effectuée à partir des images TM (1984) montre une précision globale de 87.50% avec un indice de Kappa de 69,51%, pour la classification de l'image ETM (2000), la précision est de 84,8 % avec (Kappa = 70,75 %), et pour la classification de l'image OLI8 (2014) la précision est de 97.41 % avec un Kappa de 92,54 %. Les valeurs satisfaisantes de l'indice de validation (kappa) des trois images montrent que la classification est correcte avec une meilleure classification de l'image OLI8 (2014).

Tableau 3.3 : Matrice de confusion de la classification des images LandSat (1984, 2000 et 2014)

		Pixels de vérification (1984)					Pixels de vérification (2000)					Pixels de vérification (2014)				
		Sn	Fdm	C	Eau	Fd	Sn	Fdm	C	Eau	Fd	Sn	Fdm	C	Eau	Fd
Pixels affectés (classification)	Sn	86,86	22,02	6,47	19,41	0,00	82,58	4,53	0,00	14,12	0,00	98,22	4,78	0,00	5,3	0,00
	Fdm	0,47	53,57	0,65	0,00	0,00	16,36	95,47	13,79	5,24	4,37	1,78	95,22	15,52	0,00	1,26
	C	12,66	24,40	92,48	0,11	3,32	1,06	0,00	86,21	0,00	0,00	0,00	0,00	84,48	0,00	4,87
	Eau	0,00	0,00	0,00	80,48	0,00	0,00	0,00	0,00	80,64	0,00	0,00	0,00	0,00	94,7	0,00
	Fd	0,00	0,00	0,40	0,00	96,68	0,00	0,00	0,00	0,00	95,63	0,00	0,00	0,00	0,00	93,87
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*Sn : Sol nu, Fdm : Forêt dégradée et matorral, C : Culture, Fd : Forêt dense*

### III. 5 La dynamique de l'occupation du sol

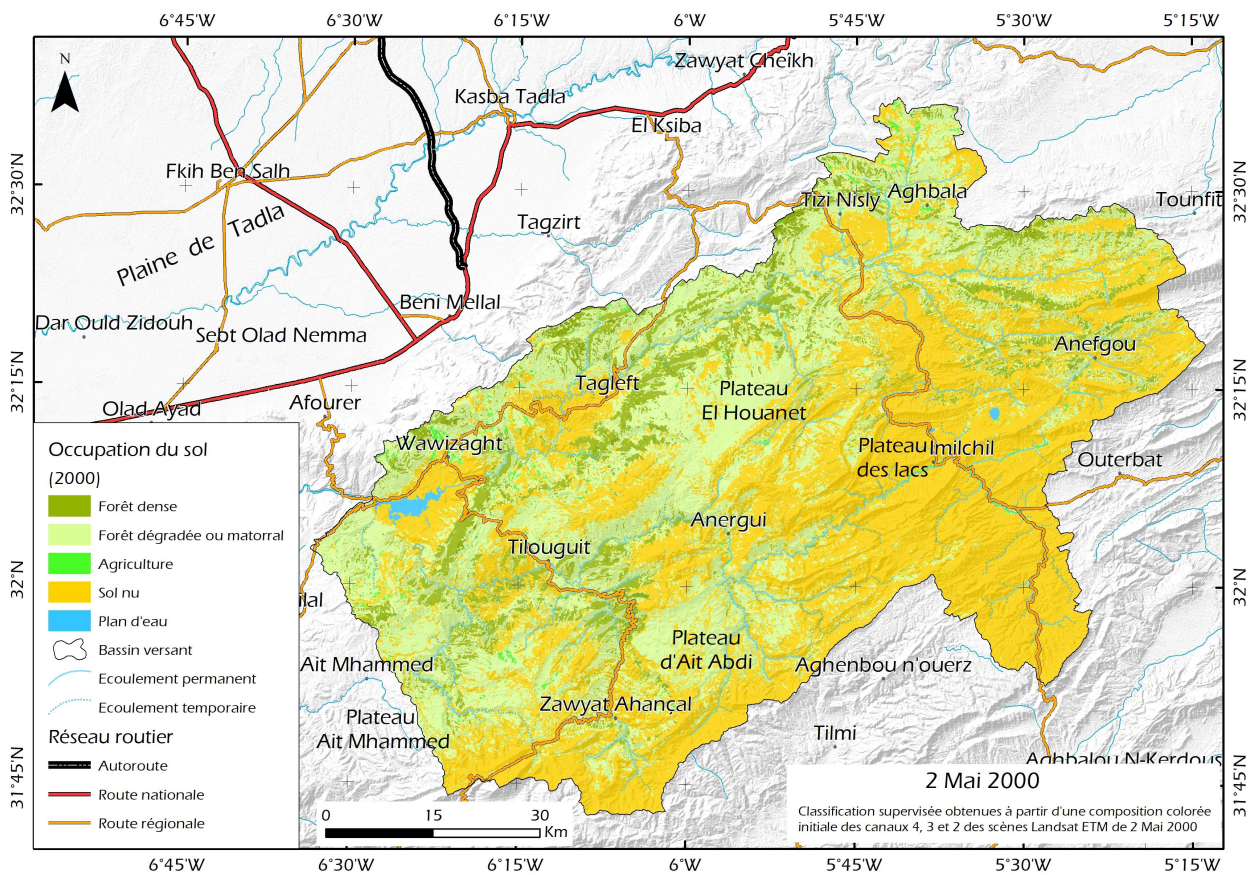
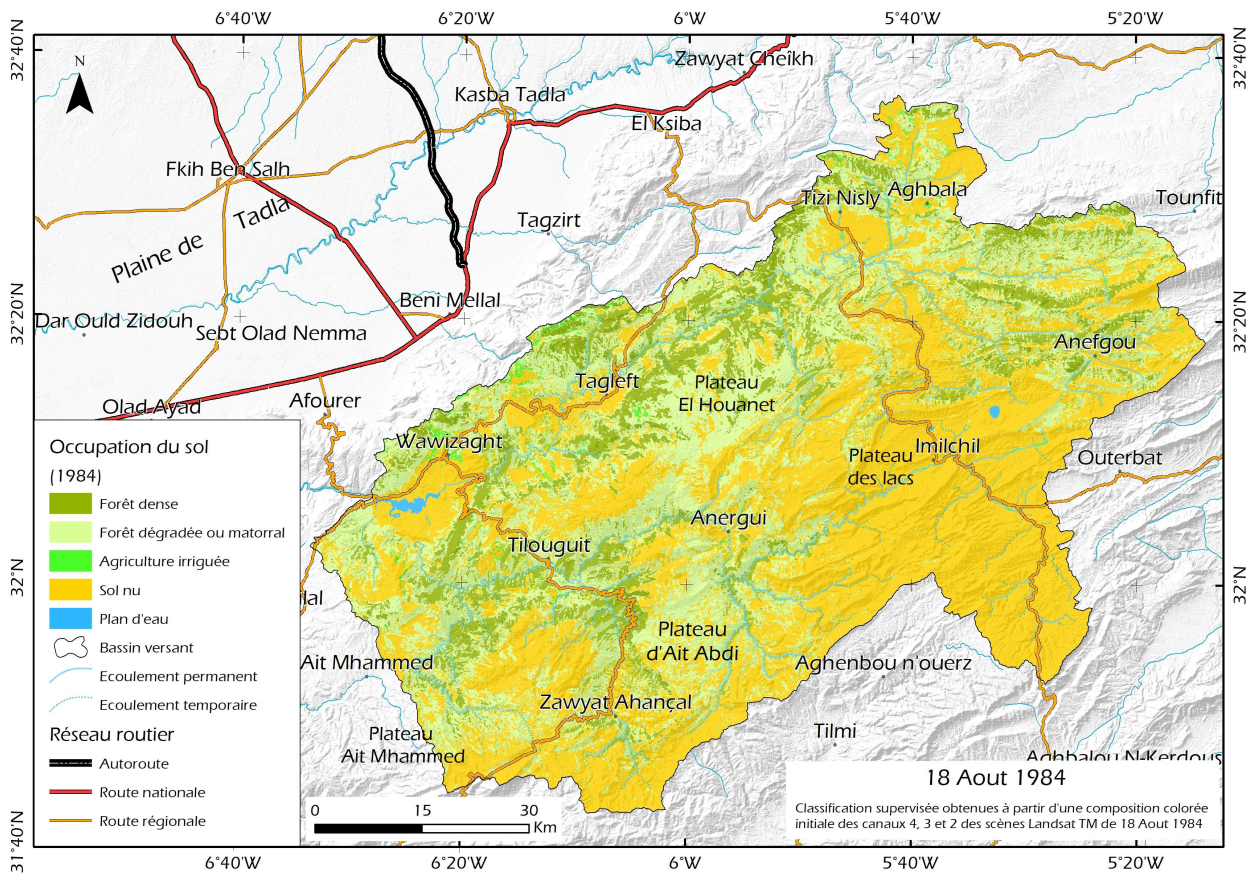
Après avoir validé la classification des trois images en obtenant des valeurs très satisfaisantes de l'indice de Kappa, l'étude de la dynamique de l'occupation du sol et du couvert végétal a été réalisée. Par la suite, la méthode de classification choisie est la classification supervisée, qui a pour fonction de reproduire au mieux la réalité de terrain perçue à travers les images satellitaires. Par la suite, nous avons procédé à la classification par le « maximum de vraisemblance », qui permet l'élimination des pixels isolés. La classification par le « maximum de vraisemblance » est très utilisée dans les classifications supervisées et elle est considérée comme le plus performant des algorithmes dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol (BONN, 1992 in KANGAH, 2006).

L'application de la méthode de classification supervisée par le maximum de vraisemblance nous a permis d'obtenir une évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol entre 1984 et 2014 (voir les cartes de la figure 3.3). L'étude des cartes de la dynamique de l'occupation des sols obtenues, à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, montre des changements spatio-temporels qui s'observent clairement entre toutes les dates pour toutes les classes.

La comparaison entre les trois cartes obtenues, montre une forte dégradation du couvert végétal dense (forêts denses) au profit d'une végétation claire, voire dégradée dans certains endroits où elle prend la forme d'un matorral très dégradé, et très souvent au profit des sols nus.



### Chapitre III : le couvert végétal et la dynamique de l'occupation du sol





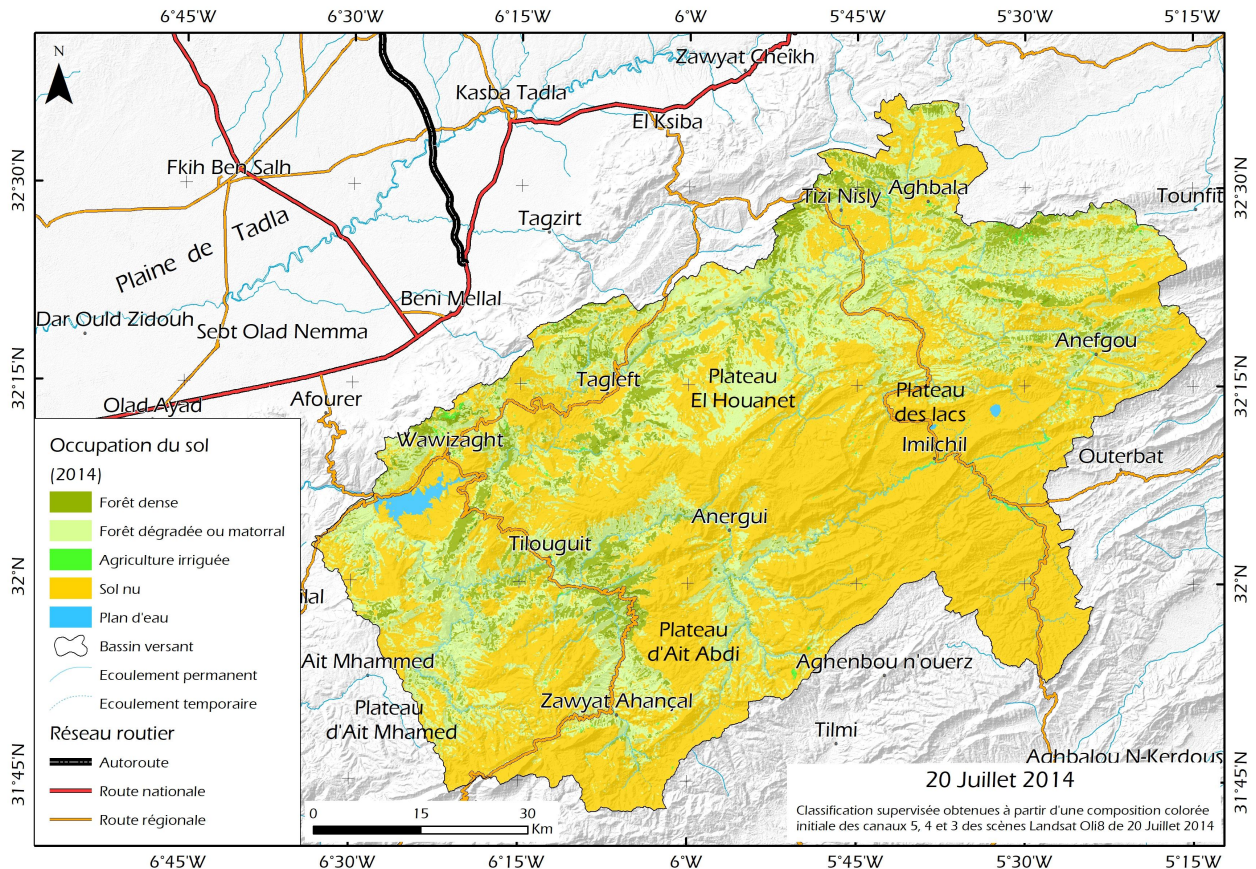


Figure 3.3 : Évolution de l'occupation du sol dans le BV de l'oued *El Abid* entre 1984 et 2014.

Entre 1984 et 2000, le couvert végétal a subi une dégradation très remarquable, dont les terrains qui ont été couverts par une végétation dense sont occupés par une végétation très dégradée ou par des matorrals. De même, les sols nus ont connu une importante expansion au détriment des forêts denses et des forêts dégradées ou matorral. D'où la grande étendue des terrains dépourvus de toute sorte de végétation, que ce soit sous forme des arbres ou de steppes. Notons que les forêts dégradées et les matorrals sont très répondus dans le bassin versant en 2000 par rapport à 1984. Il se peut qu'une partie de ces extensions peut correspondre à la strate herbacée du printemps car l'image utilisée est de 2 Mai.

Entre les années 2000 et 2014, nous pouvons constater une progression nette des extensions de la classe des sols nus qui est consécutive à la forte régression de la classe des forêts denses, et de la classe des forêts dégradées et les matorrals. Cependant, ces constats ne peuvent pas être généralisés sur l'ensemble du bassin versant mais à une grande partie de sa superficie comme le montrent les cartes précédentes.

Généralement, pendant trente et un ans (1984-2014), les modifications de l'occupation du sol et plus particulièrement les extensions du couvert végétal, sont assez nettes et se traduisent de façon qualitative et quantitative par les changements dans l'espace géographique et l'évolution des superficies.

Les principales zones du bassin versant qui ont été touchées par cette modification de l'occupation du sol sont les deux vallées de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*. En effet, nous constatons que les forêts denses qui longent la vallée de l'oued *El Abid* ont subi une forte dégradation au cours de toute la chronique retenue. Cette dégradation concerne les forêts de chêne vert et de genévrier. Notons aussi que la forêt du cèdre de l'Atlas située au Nord-Est du bassin versant a subi aussi une régression notable entre 1984 et 2014 qui est arrivée actuellement à un stade de steppisation très remarquable. De même, les forêts les plus reconnues qui occupent la vallée de l'*Assif Ahançal* et les vallées de ses principaux affluents, qui sont constituées essentiellement des genévriers rouges, genévrier thurifères, chênes verts, pins d'Alep, ont subi également une forte dégradation entre 1984 et 2014.

Tableau 3.4 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 1984 et 2000

Classes d'occupation du sol	Année 1984		Année 2000		Variation (%)	Taux d'expansion spatiale moyen annuel (%)
	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)		
Forêts denses	888,9	13,6	625,0	9,6	-4,0	-2,20
Forêt dégradée ou matorral	3317,8	50,8	2538,6	38,9	-11,9	-1,67
Agriculture irriguée	67,0	1,0	73,4	1,1	0,1	0,57
Sols nus	2241,8	34,3	3274,7	50,2	15,8	2,37
Plan d'eau	12,9	0,2	18,9	0,3	0,1	2,37

Tableau 3.5 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 2000 et 2014

Classes d'occupation du sol	Année 2000		Année 2014		Variation (%)	Taux d'expansion spatiale moyen annuel (%)
	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)		
Forêts denses	625,0	9,6	573,1	8,8	-0,8	-0,54
Forêt dégradée ou matorral	2538,6	38,9	1988,3	30,4	-8,4	-1,53
Agriculture irriguée	73,4	1,1	41,4	0,6	-0,5	-3,58
Sols nus	3274,7	50,2	29,4	0,5	9,6	1,09
Plan d'eau	18,9	0,3	3900,0	59,7	0,2	2,77



Tableau 3.6 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 1984 et 2014

Classes d'occupation du sol	Année 1984		Année 2014		Variation (%)	Taux d'expansion spatiale moyen annuel (%)
	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Proportion (%)		
Forêts denses	888,9	13,6	573,1	8,8	-4,8	-1,46
Forêt dégradée ou matorral	3317,8	50,8	1988,3	30,4	-20,4	-1,71
Agriculture irriguée	67,0	1,0	41,4	0,6	-0,4	-1,60
Sols nus	2241,8	34,3	3900,0	59,7	25,4	2,74
Plan d'eau	12,9	0,2	29,4	0,5	0,3	1,85

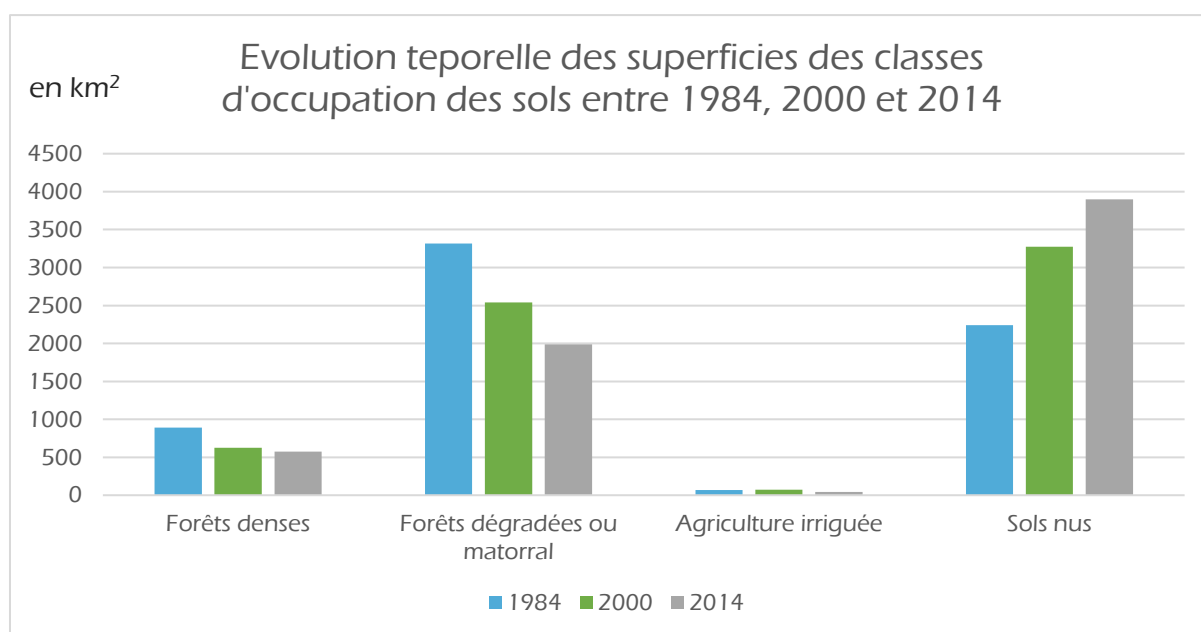


Figure 3.4 : Evolution temporelle des superficies des classes d'occupation des sols entre 1984, 2000 et 2014

La figure 3.4 montre une importante régression du couvert forestier (forêts denses et forêts dégradées ou matorral) entre 1984 et 2014 au profit des sols nus. Cette dynamique spatiale et temporelle entre les trois années retenues a été évaluée quantitativement par les variations des superficies et des Taux d'expansion spatiale moyens annuels (T).

Le tableau 3.6 montre que les superficies des sols nus ont évoluées de 25,4 %. En revanche, les superficies des espaces végétales ont enregistré respectivement une baisse d'occupation de l'ordre de -25,6% entre 1984 et 2014.

Le (T) montre une variation très contrastée entre les différentes classes d'occupation du sol. Pour les classes des forêts denses et forêts claires, les valeurs de (T) sont respectivement de -1.46 et -1,71, alors que les sols nus présentent un T de 2,74.

L'apport de la télédétection spatiale peut être résumé donc dans la mise en évidence de la tendance générale de la dynamique de l'occupation des sols. Cette tendance révèle une forte régression des forêts denses et des forêts claires ou dégradées aux profits des sols nus. Cette dégradation notable des vastes forêts de la zone d'étude a pour origine le surpâturage, l'exploitation abusive du bois pour le chauffage et la cuisine, ainsi que par l'extension des zones agricoles.

### III. 6 L'impact de la dynamique de l'occupation sur les écoulements de l'eau

L'impact de la dégradation du couvert végétal sur l'écoulement des eaux de surface à l'échelle du bassin versant a été quantifié par le coefficient de rétention (Cr). Les résultats de cette quantification sont consignés dans le tableau 3.7.

Tableau 3.7 : Évolution du coefficient de rétention (Cr) dans le bassin versant entre 1984 et janvier 2014

Classes d'occupation du sol	Cr (1984)	Cr (2014)
Forêts denses	27,2	17,5
Agriculture	2,1	1,3
Forêts dégradée ou matorral	101,6	60,9

D'après le tableau 3.7, nous constatons qu'entre les années 1984 et 2014, les valeurs de Cr sont inférieures à 100 sauf la classe des forêts dégradées ou matorral. Le bassin versant est donc généralement un milieu propice à l'écoulement des eaux de surface. Ces faibles valeurs rendent compte d'une forte dégradation du milieu, et ceci peut aboutir à une expansion très intense du phénomène de l'érosion des versants et l'envasement du barrage *Bin El Ouidane*.

La forêt agit sur le cycle de l'eau, aussi bien sur le plan du bilan hydrologique général que sur l'alimentation hydrique des sols forestiers (AUSSENAC, 1969). Les modifications affectant la couverture végétale d'un territoire donné, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle, ont une influence plus ou moins directe sur la relation existante entre les précipitations et les écoulements de surface (GREGOIRE et al, 1990, cité par KOUASSI, 2007).

L'ampleur de l'effet anthropique sur l'écoulement des eaux de surface à l'échelle du bassin versant a été abordée en calculant l'indice de rétention. Les valeurs obtenues de cet indice sont en totalité inférieures à 100, ce qui veut dire que le bassin versant connaît une forte dégradation. Dans ce cas, le sol du BVOEA est doté d'une "faible capacité de rétention", mais le caractère perméable de son substratum agit d'une façon plus ou moins "positive" pour retenir et faire infiltrer les eaux de pluie pour les restituer à travers les sources, et ainsi, soutenir le régime hydrologique des cours d'eau. Par conséquent, l'écoulement de surface est important et les phénomènes d'érosion hydrique auront tendance à se développer.

## Conclusion

D'après ce qui précède, nous pouvons dire que le couvert végétal à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont du barrage de *Bin El Ouidane* est caractérisé par une répartition spatiale hétérogène. Elle se concentre dans les parties avales et médianes du bassin versant, alors que dans les parties amont (Nord-Est), les terrains sont souvent dépourvus de toute sorte de végétation mis à part quelques essences steppiques et désertiques. Le même caractère a été observé dans les zones de hautes altitudes (les hauts sommets et hauts plateaux).

Les types de forêts les plus répandus dans le bassin versant sont les forêts de chêne vert, constituant ainsi le trait phytogéographique le plus original et le plus constant pour le bassin versant et le Haut Atlas central. Cette essence est souvent associée avec d'autres espèces selon leurs caractères de répartition altitudinale. Parmi les autres essences qui se développent dans le bassin versant et occupent une place très importante sont les pins d'Alep et les cèdres. La forêt des pins d'Alep est associée uniquement au sous bassin versant de l'*Assif Ahançal*, et est fortement concentrée dans la forêt SIBE de *Tamga* et les environs de la cathédrale de l'*Amsefrane*. Alors que la forêt de cèdre est située uniquement dans la partie Nord-Est du bassin versant. Cette cédraie connaît depuis des dizaines d'années une dégradation très accentuée vue les conditions climatiques sévères et la forte pression humaine. En effet, le couvert forestier, selon l'étude de la dynamique de l'occupation des sols réalisée à l'échelle de tout le bassin versant entre 1984 jusqu'à 2014, montre qu'il a subi une régression inquiétante. La couverture forestière a passé de 64.4% à 39.2% de la superficie du bassin versant. Cette régression des espaces forestiers est due à la pression humaine. La population du bassin versant utilise le bois pour le chauffage (effet du climat froid en hiver), la cuisine et la production du charbon (facteur économique). Il s'avère donc que le couvert forestier doit être protégé pour qu'il joue son rôle

de protecteur du milieu naturel du bassin versant de l'oued *El Abid* en termes de ressources en eau.

L'impact de cette dégradation des espaces forestiers dans le bassin versant réside dans l'aggravation de l'écoulement superficiel des eaux pluviales et des cours d'eau. Le coefficient de rétention des eaux calculé à partir des données extraites de la dynamique du couvert forestier entre 1984 et 2014 montre des valeurs généralement inférieures à 100, ce qui désigne que le terrain du bassin versant est un espace qui permet un écoulement superficiel plus ou moins accentué par rapport à l'infiltration souterraine. Cependant, les fissures et les failles peuvent favoriser une infiltration vers les aquifères karstiques u Haut Atlas central.

## Conclusion de la première partie

L'étude des caractéristiques physiques du bassin versant de l'oued *El Abid* amont du barrage de *Bin El Ouidane* a montré qu'elles jouent un rôle très important dans la disponibilité des ressources en eau. Généralement, toutes ses caractéristiques topographiques, géologique et de l'occupation des sols, se réunissent pour offrir au BVOEA le caractère d'un réservoir d'eaux superficielle et souterraines.

La diversité des reliefs et les caractéristiques topographiques du bassin versant permettent d'accueillir, d'accumuler les ressources en eau d'une part, et d'autre part, et de ralentir l'écoulement des eaux des oued et des cours d'eau jusqu'à l'exutoire (lac du barrage de *Bin El Ouidane*). Quant à la géologie, elle montre des degrés de perméabilité qui permettent un écoulement superficiel très important des eaux pluviales (roches imperméables) d'une part, et d'autre part, une infiltration plus ou moins accentuée des eaux. Ces caractéristiques de perméabilité ont un effet double, une alimentation presque immédiate du lac de *Bin El Ouidane*, et une alimentation à long terme en eau souterraine dans les périodes hors de la saison d'hiver et pendant les périodes sèches. Le caractère perméable des roches carbonatées dominante a donné l'occasion de la mise au point des formes et systèmes karstiques à l'échelle de tout le bassin versant.

## **PARTIE 2 :**

### **ETUDE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID ET MODELISATION PLUIE-DEBIT**

#### CHAPITRE IV :

**ETUDE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET HYDROMETRIQUE  
DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID**

-----

#### CHAPITRE V

**LA MODELISATION PLUIE DEBIT**

-----

#### CHAPITRE VI :

**BARRAGE DE BIN EL OUIDANE : APERÇU HISTORIQUE ET  
EVOLUTION DES VOLUMES D'EAU DE LA RETENUE**

-----



## Introduction de la deuxième partie

Après avoir caractérisé les conditions plus ou moins favorables de l'écoulement des eaux de surface dans le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* dans la partie une, nous allons aborder dans cette deuxième partie les conditions climatiques qui régissent l'abondance ou la rareté des ressources en eau. Le premier chapitre de cette partie porte sur la classification climatique au niveau du bassin versant et l'étude de la variabilité pluviométrique. L'étude climatique sera basée sur des données pluviométriques et thermométriques issues des différentes stations installées dans le bassin versant et ses alentours. En première étape, une étude critique de ces données sera réalisée pour combler les lacunes présentes dans certaines séries pluviométriques, puis, par le biais de certaines méthodes, un test de l'homogénéité des différentes séries sera mené. Par la suite, une étude de la variabilité pluviométrique sera effectuée pour identifier les séquences humides et sèches ayant marqué les 33 années précédentes (1980-2011). Pour finir le chapitre, nous allons étudier les variations qui ont subi le régime hydrologique des deux principaux cours d'eau, oued *El Abid* et *Assif Ahançal*, afin de tester le degré de corrélation entre les régimes pluviométriques et hydrométriques.

Le deuxième chapitre de cette partie teste et valide la performance des deux modèles pluie-débit choisis pour simuler les débits des deux cours d'eau. Nous allons présenter les résultats de l'étude de la performance du modèle GR1A qui simule les débits annuels du cours d'eau de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*, et du modèle GR2M qui permet aussi de simuler les débits mensuels. Une étude comparative entre les deux principaux cours d'eau sera effectuée pour caractériser l'apport de chaque cours d'eau à l'alimentation de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*.

Le dernier chapitre de cette partie sera dédié à l'étude des ressources hydriques du barrage *Bin El Ouidane*. Pour se faire, nous allons faire un recours historique pour identifier les événements qui ont contribué à la construction du barrage, et la priorité qu'a occupé cet aménagement hydraulique chez les autorités et les gestionnaires. Puis nous allons suivre l'évolution des apports d'eau au barrage, les différentes sortes de pertes d'eau et leurs volumes, les lâchers d'eau destinée à la production électrique, l'irrigation, et pour le soutien du régime hydrologique de l'oued *El Abid* à l'aval. En se basant sur les résultats obtenus, nous allons estimer le bilan hydrique de la retenue du barrage.

**Chapitre  
IV**

**ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET  
HYDROMÉTRIQUE DU BASSIN VERSANT DE  
L'OUED EL ABID**

**I**

**Critique des données et  
homogénéisation des séries  
pluviométriques**

**II**

**L'étude des fluctuations  
pluviométriques**

**III**

**Le régime hydrométrique du bassin  
versant**

## Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'étude des fluctuations des régimes pluviométriques, thermométriques et hydrométriques à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*. Cette étude sera basée sur des données issues des différentes stations de mesure des paramètres de précipitation, des températures et des débits installés dans le bassin versant et ses alentours. La période retenue s'étale sur une durée de 33 années. Au début nous nous intéressons à la critique des données utilisées, en testant leur homogénéité et en comblant les lacunes présentant dans certaines séries pluviométriques. Par la suite nous allons aborder le traitement des fluctuations qu'a subi le régime pluviométrique au fil de la période à traiter en se basant sur des différentes méthodes et paramètres les plus utilisés à ce propos. Par la suite, nous allons étudier les variations qu'ont pu subir les débits des deux principaux cours d'eau du bassin versant ; le cours de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*. Pour finir le chapitre, une comparaison entre les fluctuations du régime pluviométrique et hydrométrique des deux cours d'eau sera procédée pour établir la relation qui peut exister entre les deux régimes, et pour déduire le degré de l'impact du régime pluviométrique sur les débits des oueds du bassin versant.

## I. Critique des données et homogénéisation des séries pluviométriques

### I. 1 Répartition géographique des stations hydro-climatiques retenues

Les stations de mesures hydro-climatologiques sont très rares dans le bassin versant de l'oued *El Abid*, où l'on relève 5 postes hydrométriques et pluviométriques soit un poste pour chaque 1300 km<sup>2</sup> et une seule station pluvio-hydro-thermométrique (station de *Tilouguite*). Les données hydrométriques et pluviométriques issues de ces postes et qui ont été utilisées dans cette étude s'étalent sur la période 1974-2011, tandis que pour les mesures thermométriques, les données s'étalent sur la période 1990-2011.

La répartition des postes hydro-climatiques à l'échelle du bassin versant est très irrégulière ; toutes les stations ont été installées le long des deux cours d'eau principaux. Aucune station n'est située dans la partie amont du bassin versant ou dans les principaux affluents comme *Assif Melloul* qui est considéré comme le plus grand affluent du cours d'eau de l'*Assif Ahançal*. Nous remarquons aussi qu'aucune station n'est installée à des altitudes qui dépassent 2000 m. La station de *Zawyat Ahançal* est la station culminante avec une altitude de

1612 m, tandis que le point culminant du bassin versant est le sommet du *Jbel Azourki* (3697m). La tranche d'altitude [1500 m - 3200 m], représente 80% de la superficie totale du bassin versant. Ce qui montre une répartition spatiale irrégulière des stations.

Pour faire une étude spatiale des précipitations à l'échelle du bassin versant et caractériser son contexte régional, nous avons eu recours aux données des stations pluviométriques situées dans les périphéries du bassin. Cependant, la répartition spatiale de ces stations montre que la majorité des postes pluviométrique sont concentrés dans la partie Nord, Nord-Est et Ouest du bassin versant, alors que dans les parties Est et Sud du bassin étudié, les stations sont plus rares.

Cette répartition spatiale hétérogène des stations hydro-pluviométriques est due principalement aux contraintes des reliefs et d'infrastructures. La carte de la figure 4.1 montre cette répartition spatiale non régulière des stations retenues pour cette étude.

Les données issues des stations retenues pour cette étude ont été collectées auprès des Agences des Bassins Hydrauliques de l'*Oum Er Rbia*, de *Ziz Gheris*, de *Daraa* et de *Moulouya*. Une première lecture de ces données a permis de détecter plusieurs lacunes, et nous a obligé à procéder à un exercice de critique de ces données où nous allons essayer de combler les lacunes. Le tableau 4.1 montre la typologie et les sources des données des stations utilisées dans cette étude.

Tableau 4.1 : les stations hydroclimatiques utilisées et leurs sources

Stations	Type de station	ABH
<i>Tilouguite</i>	P, Q, T	O.E.R.
<i>Ait Ouchène</i>	P, Q	O.E.R.
<i>Tizi n'Isly</i>	P, Q	O.E.R.
<i>Zawyat Ahançal</i>	P, Q	O.E.R.
<i>Bin El Ouidane</i>	P	O.N.E
<i>Béni Mellal</i>	P	O.E.R.
<i>Tagzirt</i>	P	O.E.R.
<i>Dcher Elouad</i>	P	O.E.R.
<i>Chacha n'Amellah</i>	P	O.E.R.
<i>Oulad Gnaou</i>	P	Station Olad Gnaou
<i>Ouaouirinth</i>	P	O.E.R.
<i>Sgat</i>	P	O.E.R.
<i>Louggagh</i>	P	M.
<i>Msamrir</i>	P	D



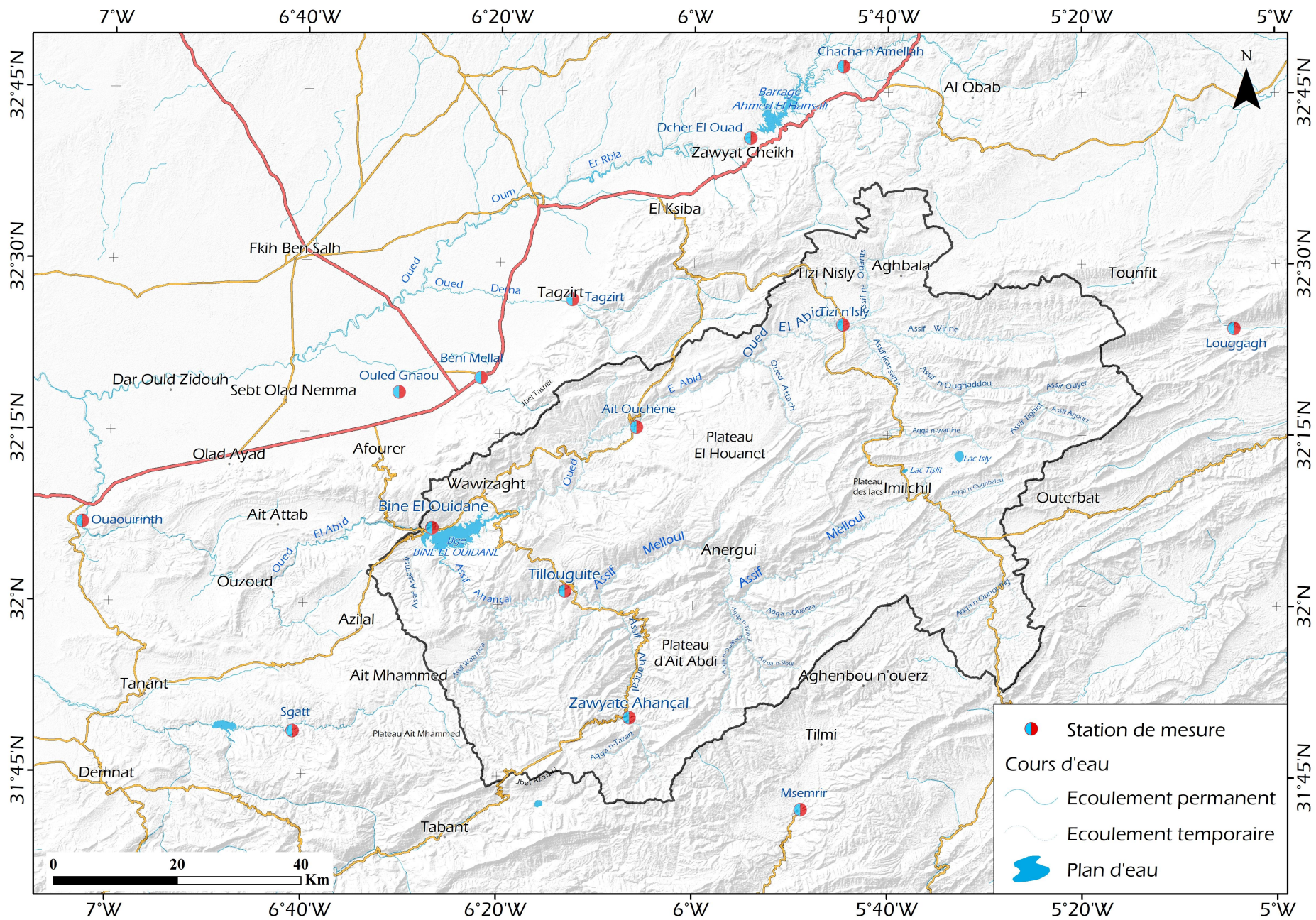


Figure 4.1 : Carte de situation des stations hydroclimatiques utilisées

P : pluviométrique, Q : Hydrométrique, T : Thermométrique, ABH : Agence du Bassin Hydraulique, O.E.R : *Oum Er Rbia*, M : *Mouluya*, D : *Daraa*, O.N.E. Office national de l'électricité.

## I. 2 Comblement des lacunes

Dans cette étude, 14 stations ont été retenues. La situation géographique de ces stations est diverse, la moitié des stations sont situées dans la partie Ouest du bassin versant dominée par la plaine du *Tadla*, alors que le reste est situé dans les différents alentours du bassin versant (montagnes).

Le tableau 4.2 montre le nombre de lacunes présentes dans les séries de données hydro-climatiques obtenues et les années manquantes.

Tableau 4.2 : nombre des années présentant des lacunes

Stations	Nombre de lacunes (années)	Les années lacunaires
<i>Tilouguite</i>	3	1987, 1988, 1989
<i>Zawyite Ahançal</i>	6	1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985
<i>Béni Mellal</i>	3	1980, 1981, 1982
<i>Tagzirt</i>	3	1980, 2005, 2006
<i>Dcher El Ouad</i>	6	1980, 1981, 1982, 1983, 2001, 2002
<i>Chacha n'Amellah</i>	3	1980, 1987, 1988
<i>Sgatt</i>	1	1982

## I. 3 Choix de la chronique

Toutes les données collectées s'étendent sur une période qui dépasse les 30 ans, mis à part les données de la température qui ne couvrent que 23ans. La plus grande concentration de lacunes a été remarquée dans les années 80. La chronique obtenue pour les données pluviométriques est [1980-2011], alors que pour les données de température est [1990-2011].

### I. 3. 1. Comblement des lacunes par vecteur régional

Avant de manipuler les données des stations recueillies et faire une étude des caractéristiques pluviométriques et hydrométriques, il est nécessaire de combler les lacunes que



présentent les séries de certaines stations pluviométriques. Les données des stations hydrométriques et thermométriques ne présentent aucune lacune.

Les lacunes ou les erreurs qui interviennent souvent dans les séries peuvent être liées aux instruments (panne, transcription, etc), l'observateur (oubli, erreurs de manipulation, absence, etc.). Nous allons donc procéder à une analyse des séries de la pluviométrie annuelle, afin de juger la qualité des données disponibles.

Le comblement des lacunes et la vérification de la qualité des données des séries pluviométriques ont été réalisés par la méthode du Vecteur Régional (MVR). Cette méthode a été établie par HIEZ (1977), et améliorée par BRUNET-MORET (1979 ; 1994). La MVR répond au double objectif de critique et de synthèse de l'information pluviométrique à l'intérieur d'une région climatique homogène du point de vue des processus et facteurs générant les précipitations et peut s'appliquer à tout un ensemble de séries d'observations d'une même variable, liées statistiquement entre elles par des rapports de proportionnalité (LAAROUBI, 2007, cité par BODIAN, 2011).

Le vecteur régional se définit comme « une série chronologique d'indices pluviométriques, issus de l'extraction de l'information la plus "probable" au sens de la plus fréquente contenue dans les données d'un ensemble de stations d'observation groupées en "région". Le vecteur régional est donc une suite chronologique d'indices annuels de précipitations prenant en compte les effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles de la zone climatique, mais homogène dans le temps » (BRUNET-MORET, 1979).

Pour appliquer la MVR, nous avons utilisé le logiciel Hydraccess (VAUCHEL, 2000 et 2004) de l'IRD. L'Hydraccess produit une suite chronologique d'indices annuels représentant la pluviosité et une moyenne interannuelle étendue pour chaque station analysée. C'est à partir de ces deux valeurs (indice de pluviosité et moyenne interannuelle) que le logiciel peut reconstituer les valeurs de la pluviométrie annuelle manquante pour les séries des stations présentant des lacunes. L'annexe I présente les valeurs pluviométriques qui ont été comblées.

L'incomplétude des données mensuelles a fait en sorte que les moyennes annuelles ne soient pas précises. Cette incomplétude est due aux pannes fréquentes ou à l'absence du gardien de la station. Ainsi le comblement des lacunes a été réalisé pour les stations situées dans la plaine d'une part, et d'autre part pour les stations situées dans la montagne.

Le premier comblement a concerné les lacunes au niveau des stations situées dans la plaine de *Tadla*, soit les stations de *Tagzirt*, *Béni Mellal*, *Chacha N'Amellah* et *Dechar El Oued*. Cette reconstitution s'est faite à partir des stations de *Moulay Bouzekri*, et *Mechra Eddahk et Olad Gnaou*.

Le deuxième comblement a concerné les lacunes des moyennes annuelles des stations de *Tilouguite*, *Zawyat Ahançal*, *Sgatt*. L'estimation des moyennes pluviométriques annuelles de ces stations a été réalisée à partir des stations d'*Ait Ouchène*, *Tizi n'Isly*, *Ouaouirinth* et *Bin El Ouidane*.

Cet exercice de critique de données nous a permis de détecter les valeurs aberrantes et d'homogénéiser les échantillons de pluies annuelles pour la période 1980-2012. C'est à partir de ces données homogénéisées, que la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie annuelle a été analysée.

### **I. 3. 2. Détection des ruptures dans les séries pluviométriques**

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (LUBES et *al*, 1994). Pour détecter les ruptures dans les séries des données pluviométriques, plusieurs méthodes et tests sont utilisés. Il s'agit des tests de vérification du caractère aléatoire de l'échantillon (test d'autocorrélation et test de corrélation sur le rang) et de détection de rupture. Les tests les plus utilisés dans telle étude sont le test de BUISHAND et l'ellipse de Bois, la méthode non paramétrique de PETTIT, l'approche bayésienne de Lee et HEGHINIAN et la méthode de HUBERT (LUBES et *al*, 1994). Le choix de ces méthodes repose sur la robustesse de leur fondement vu qu'elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série.

En effet, nous avons utilisé toutes ces méthodes pour détecter des ruptures dans les séries pluviométriques des cinq stations situées dans le bassin versant. La détection des ruptures dans les séries des données pluviométriques homogénéisées a été réalisée par le biais du logiciel KhronoStat (IRD, 1998), qui regroupe tous ces tests. Dans ce qui suit, on présentera brièvement les tests utilisés et les résultats obtenus.

### I.3.2.1. Test de Pettitt (Pettitt, 1979)

L'approche de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série  $(x_i)$  de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques  $(x_i)$   $i = 1$  à  $t$  et  $t + 1$  à  $N$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$  définie par:

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - x_j)$  avec  $\text{sgn}(x) = 1$  si  $x > 0$ ;  $0$  si  $x = 0$  et  $-1$  si  $x < 0$ .

Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$ .

### I.3.2.2. Méthode bayésienne de LEE & HEGHINIAN (LEE et al, 1977)

La méthode bayésienne de LEE & HEGHINIAN propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. La méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

### I.3.2.3. Statistique U de Buishand (BUISHAND, 1982, 1984)

La procédure de BUISHAND fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de LEE et HEGHINIAN. Elle est un test paramétrique, dérivé d'une formulation originale donnée par GARDNER (1969). Le test suppose la normalité de la série, non autocorrélation et constance de la variance de part et d'autre du point de rupture éventuel. Ce test est performant pour détecter une rupture dans une série statistique sans fournir le point de rupture.

### I.3.2.4. Segmentation de HUBERT (HUBERT et al, 1989)

La procédure de segmentation de séries chronologiques est, quant à elle, appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série. Elle fournit au moyen d'un

algorithme spécifique une ou plusieurs dates de rupture (éventuellement aucune) qui séparent des segments contigus dont les moyennes sont significativement différentes au regard du test de Scheffé (DAGNELIE, 1975).

Nous avons appliqué ces différents tests en utilisant le logiciel KhronoStat de l'IRD. Ces tests sont appliqués seulement sur les stations pluviométriques situées dans le bassin versant de l'oued *El Abid*. Il s'agit des stations de *Bin El Ouidane*, de *Tilouguite*, d'*Ait Ouchène*, de *Tizi n'Isly* et de *Zawyat Ahançal*. Les différents résultats obtenus pour chaque série de chaque station sont présentés dans la figure 4.2, dans le tableau 4.3 et dans l'annexe II. Nous constatons, à partir de ces résultats, que toutes les séries pluviométriques traitées suivent une loi normale. Seules les stations d'*Ait Ouchène* et *Tilouguite* présente une rupture comprise entre 2007 et 2008. D'une rupture à l'autre, la moyenne et l'écart-type diminuent.

Tableau 4.3 : Segmentation de HUBERT appliquée à la pluviométrie annuelle des stations du bassin de l'oued *El Abid*

	Début	Fin	Moyenne	Ecart type
<i>Ait Ouchène</i>	1980	2007	377	119,7
	2008	2012	555,9	58,2
<i>Bine El Ouidane</i>	1975	2009	399	127,9
	2010	2013	747,6	152
<i>Tizi n'Isly</i>	1980	2012	440,9	163,5
<i>Zawyite Ahançal</i>	1980	2012	363,6	116,7
<i>Ait Segmine</i>	1972	1977	720,1	137,4
	1978	2013	492,1	147,4
<i>Ouaouirinth</i>	1970	1979	346,7	63,6
	1980	2013	253,2	65,8

#### I. 4 Relation entre la pluviométrie moyenne annuelle et l'altitude des stations

Après avoir comblé, homogénéisé et vérifié les données des différentes stations étudiées, nous allons ensuite étudier la relation entre les moyennes pluviométriques annuelles de ces stations et leurs altitudes. La figure 4.3 montre cette relation.

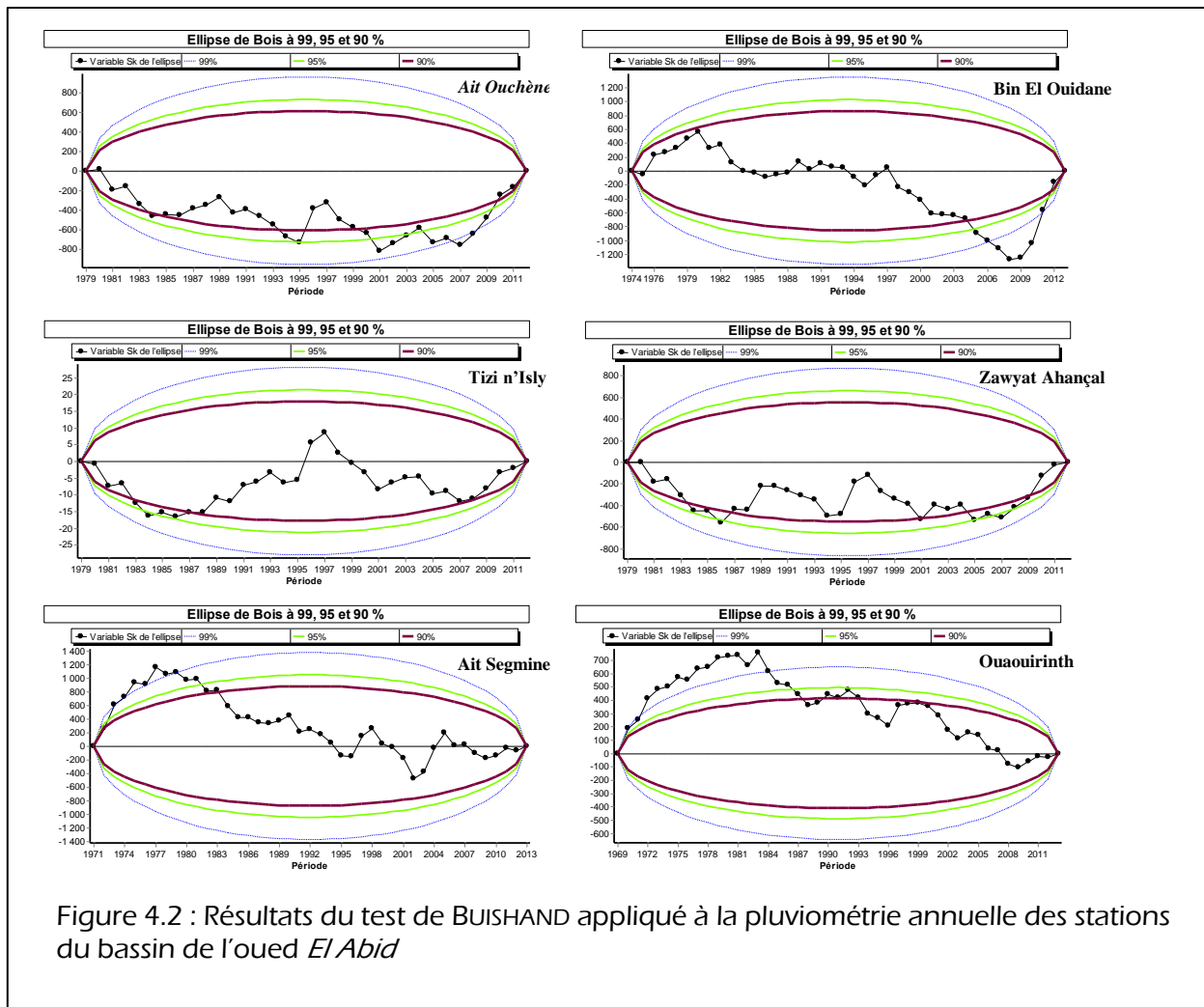


Figure 4.2 : Résultats du test de BUISHAND appliqué à la pluviométrie annuelle des stations du bassin de l'oued El Abid

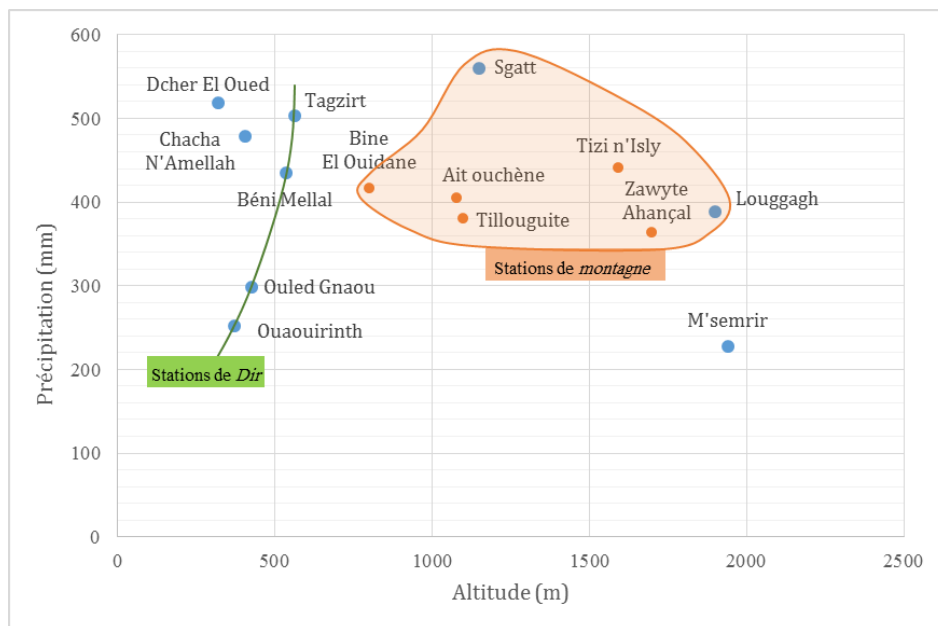


Figure 4.3 : Répartition altitudinale des stations pluviométriques par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle

D'après cette figure, on remarque que les stations situées dans la plaine du *Tadla* et le *Dir* sont en relation entre eux ; la pluviométrie moyenne annuelle est proportionnelle avec l'altitude, alors que les stations de montagne n'établissent aucune relation avec l'altitude. On remarque que les moyennes annuelles des précipitations fournies par les stations situées dans la zone du bassin versant (points marrons) ont presque la même moyenne annuelle de la station de *Béni Mellal* située dans une altitude moins de 600 m. on remarque aussi que les stations situées à l'amont du bassin versant (*Tizi n'Isly* et *Zawyat Ahançal*) enregistrent des moyennes pluviométriques presque égales aux moyennes enregistrées par la station de *Bin El Ouidane* installée à l'aval. En effet, ce graphique peut nous montrer deux zones distinctes, zone climatique de la montagne et la zone climatique de la plaine et de *Dir*.

## **I. 5 Classification climatique selon GAUSSEN et EMBERGER**

La définition du type du climat qui règne dans le bassin versant de l'oued *El Abid* sera par le biais des données de la seule station qui mesure les températures. Il s'agit de la station de *Tilouguite* située sur le grand cours d'eau de l'*Assif Ahançal*. La chronique dont on dispose s'étend de 1990 jusqu'à 2012.

### **I. 5. 1. Classification du GausSEN**

GAUSSEN et BAGNOULS (1957) ont défini les mois secs ; tous mois ayant une pluviométrie mensuelle inférieure au double de la température mensuelle ( $P < 2T$ ). Donc, ils utilisent deux facteurs climatiques, la pluviométrie (P) et les températures (T) exprimées en (°C).

D'après la figure 4.4, on constate que la station étudiée montre une sécheresse très remarquable dans la région de *Tilouguite*, qui s'étend sur six mois, du mois de Mai au mois d'Octobre, le restant de l'année, la zone connaît une période pluvieuse avec une quantité de précipitations très importantes par rapport à la température. Donc, la station de *Tilouguite* montre que le bassin peut être reconnu par deux phases climatiques dans la même année, une phase de sécheresse où le déficit hydrique est très important, et l'autre phase est pluvieuse, caractérisée par un excédent hydrique remarquable.



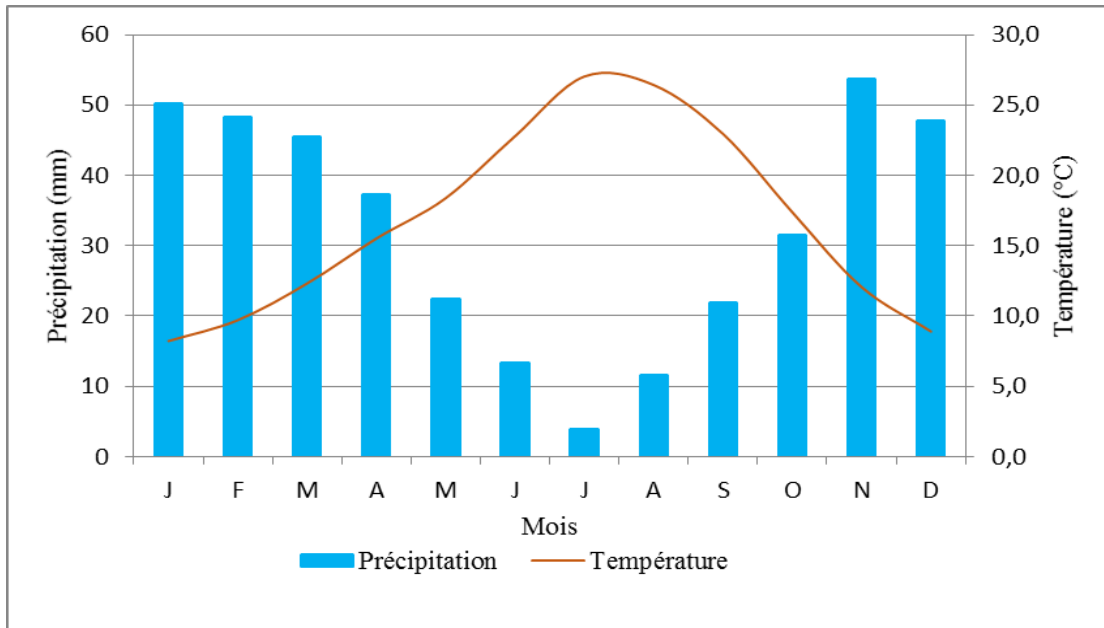


Figure 4.4 : Diagramme ombrothermique de la station de Tilouguite

### I. 5. 2. Classification d'EMBERGER

EMBERGER a proposé, en 1930, l'équation à partir de laquelle on peut déduire un climagramme d'EMBERGER et à partir duquel on peut déterminer les étages bioclimatiques, toutefois, cette équation sera modifiée en 1955 (MOUNIR, 2005) donnant ainsi l'équation suivante :

$$Q = \frac{2000 * P}{T_{max} - T_{min}}$$

Avec ; Q : le quotient pluviothermique d'EMBERGER

P : la pluviométrie moyenne annuelle en mm

T<sub>max</sub> : la moyenne des maxima du mois le plus chaud, en K\*

T<sub>min</sub> : la moyenne des minima du mois le plus froid, en K

Les données enregistrées durant la période allant de 1990 à 2012, montrent des précipitations moyennes annuelles (P = 387,6 mm), la moyenne des maxima du mois le plus

\* K désigne l'unité de température en Kelvin qui est l'équivalent de dont 1 k = -273,2 °C

chaud ( $T_M = 41,1^\circ\text{C}$ , ou 314,3 k) et la moyenne des minima du mois le plus froid ( $T_m = -3,2^\circ\text{C}$  ou 270,0 k) ont permis de calculer le quotient pluviothermique d'EMBERGER. La valeur du Q obtenue est de l'ordre de 29,9. D'après cette valeur et la valeur de la température moyenne des minima du mois le plus froid ( $T_m = -3,2^\circ\text{C}$ ), on peut constater que la région de *Tilouguite* fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride à hiver très froid (Figure 4.5\*).

Cette classification obtenue est étroitement liée au type de végétation qui règne dans la région de *Tilouguite*, définie dans le chapitre III.

D'après la situation des autres stations climatiques dans le climagramme que nous avons obtenu d'après des sources bibliographiques (COUVREUR, 1988 ; COMBE, 1978, MOUNIR, 2006) nous constatons que le bassin versant de l'oued *El Abid* amont Barrage *Bin El Ouidane* s'étend dans différents étages. Il est situé entre les étages bioclimatiques semi-aride (dans les parties inférieures des vallées de l'oued *El Abid (Tagleft)* et *Assif Ahançal (Tilouguite)* et quelques cuvettes synclinales (Plateau des lacs)), Sub-Humide dans la région de *Aghbala*, plateau *d'D'El-Houanêt* et plateau *d'Ait M'hammed*, et l'étage bioclimatique Humide où règnent les cédraines près dans la région de Tounfite. Cette situation est ainsi confirmée par la carte des étages bioclimatiques (CNGM, 1962).

---

\* Nous avons élaboré une simple application qui permet de citer les stations climatiques dans le climagramme d'EMBERGER. L'application est téléchargeable à partir du lien suivant : <https://www.geograchid.com/2017/05/citer-stations-climatiques-climagramme-emberger.html>

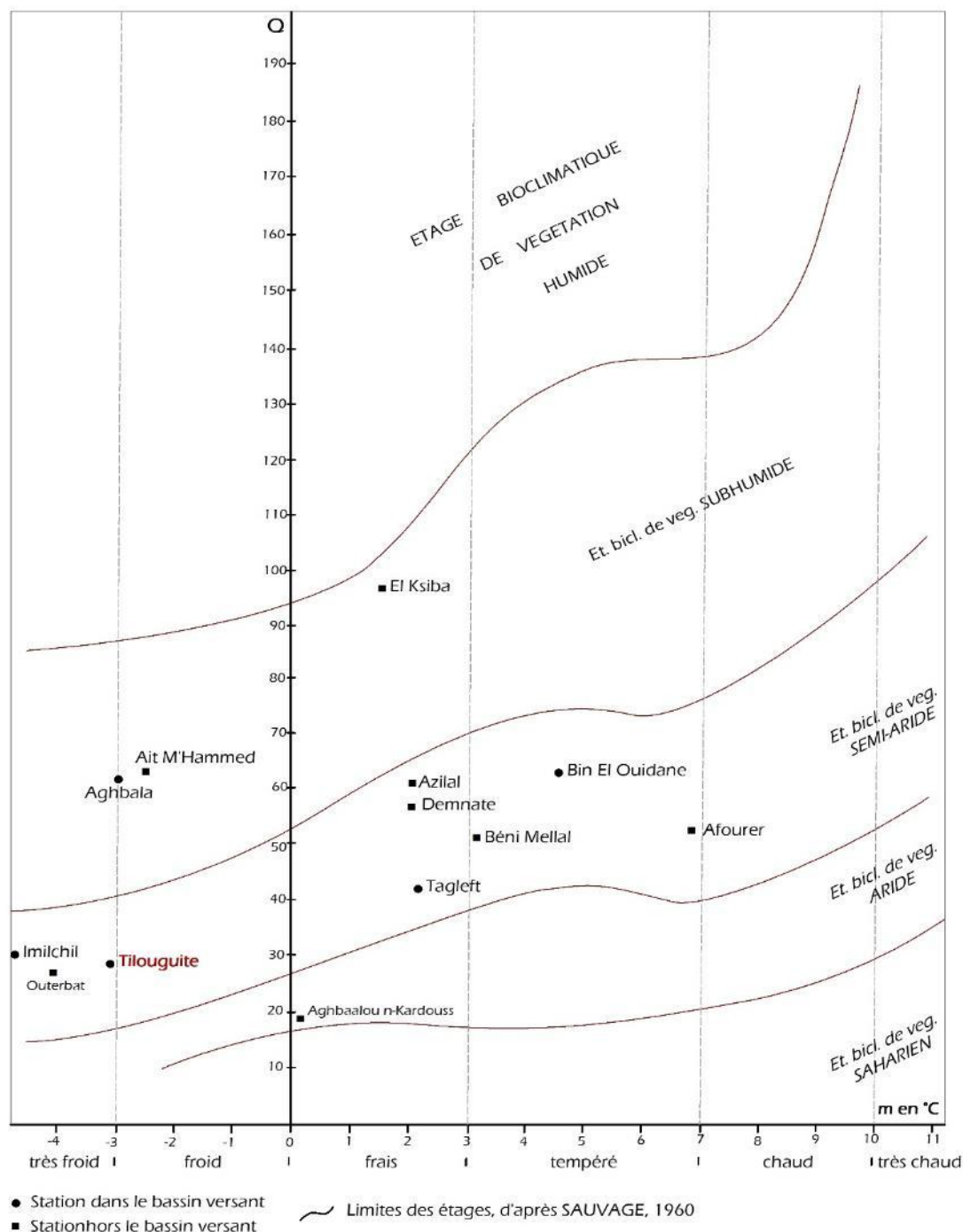


Figure 4.5: Situation des stations pluviothermique de la région du bassin versant dans le climagramme d'Emberger

## II. Etude des fluctuations pluviométriques

### II. 1 Variabilité interannuelle des précipitations

Après avoir détaillé la typologie du climat qui règne dans la zone du bassin versant, nous allons étudier les principales caractéristiques du climat durant les 33 années précédentes, afin de ressortir ces caractéristiques pour les années qui suivent. Au début, nous étudierons les

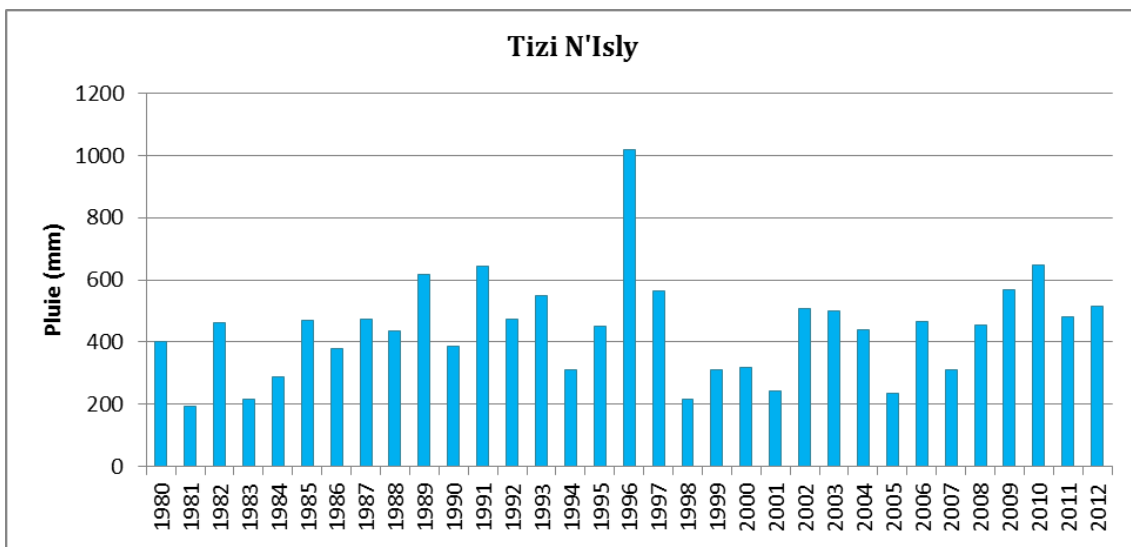
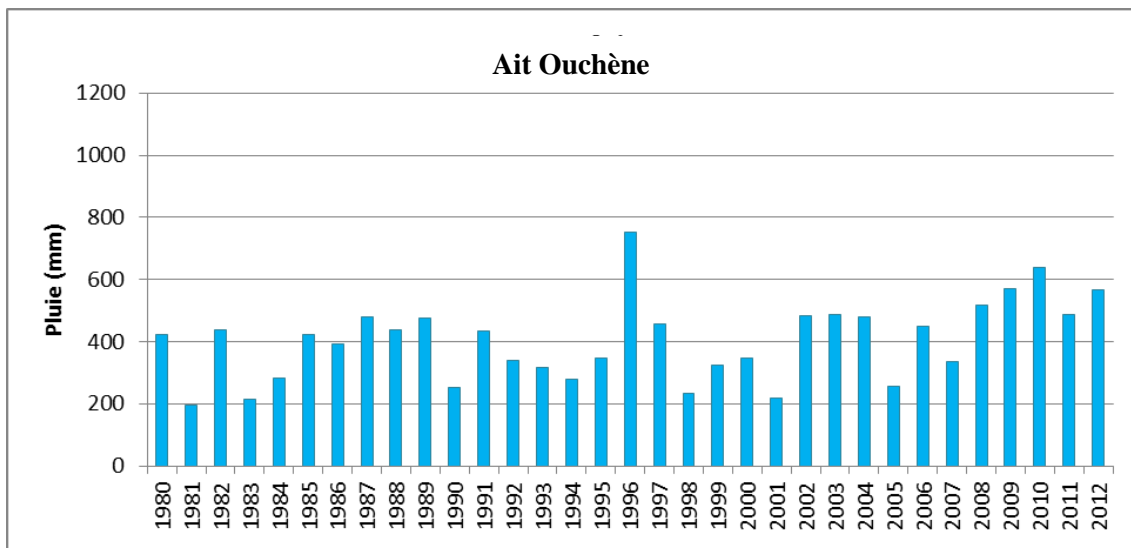
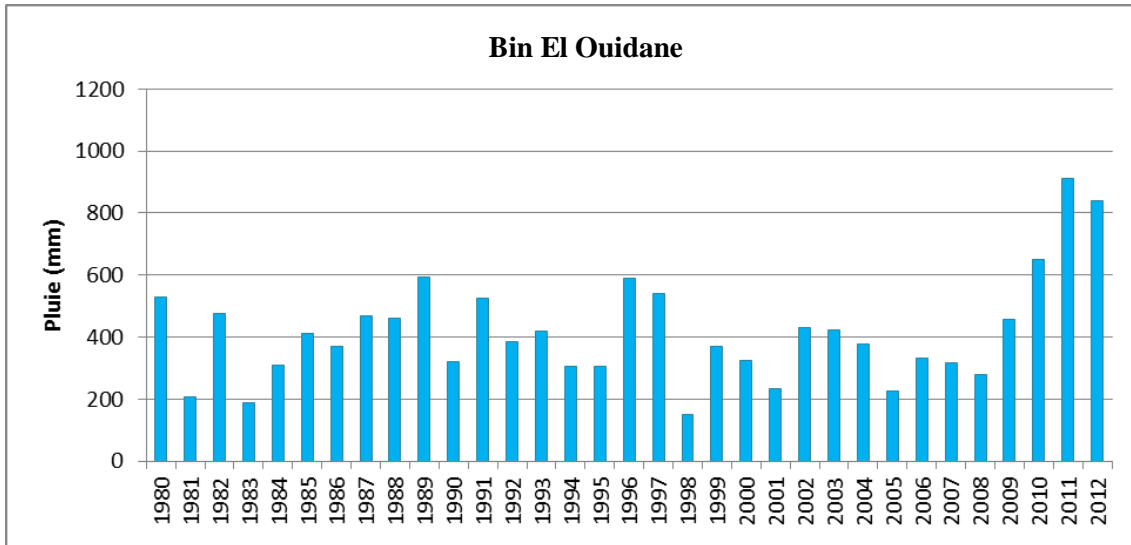
caractéristiques générales de la variabilité interannuelle des précipitations à l'intérieur du bassin versant. L'analyse des graphiques des cinq stations situées à l'intérieur du bassin versant montre une pluviométrie interannuelle très variable, soit d'une année à l'autre ou d'une période à l'autre. En plus de cela, les graphiques des cinq stations pluviométriques retenues montrent qu'une année très pluvieuse peut succéder sans transition à une année sèche. Par exemple, la station de *Tizi n'Isly* n'a reçu en 1995 que 449,9mm et en 1996 a reçu 1020,1mm. Le même phénomène a été observé au niveau de toutes les stations du bassin versant et au niveau des autres stations situées dans ses périphéries, ce qui rend l'année 1996 une année très humide. Pour approfondir cette variabilité interannuelle et caractériser les périodes sèches et les périodes humides nous allons calculer quelques indices climatiques, plus particulièrement les indices de déficit pluviométrique qui sont souvent utilisés dans de telles études. Il s'agit de l'indice de l'écart à la moyenne ( $E_m$ ) et l'indice standardisé de précipitation (SPI).

## **II. 2 Calcul des indices de déficit pluviométrique**

Nous allons utiliser ces indices afin de caractériser le régime pluviométrique interannuel à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* et de caractériser les périodes sèches des périodes humides dans la chronique retenue.

- **L'écart à la moyenne ( $E_m$ )** sert à évaluer le déficit pluviométrique annuel, les grandes tendances, l'ampleur de la sécheresse et l'intensité (LE GOFF, 1985, cité par YACOUBI). L'écart à la moyenne ( $E_m$ ) est la différence entre la hauteur des précipitations annuelles ( $P_i$ ) et la hauteur moyenne annuelle des précipitations ( $P_m$ ) :  $E_m = (P_i - P_m) / P_m * 100$ . Quand  $E_m$  est négatif, on parle d'une année déficitaire (sèche), et une année excédentaire (humide) si  $E_m$  est positif.

- **L'indice standardisé de précipitation (SPI)** a été développé en 1993 par Mc KEE, N.J. DOESKEN & J. KLEIST. Il a pour objectif la détermination des déficits pluviométriques d'une chronique.



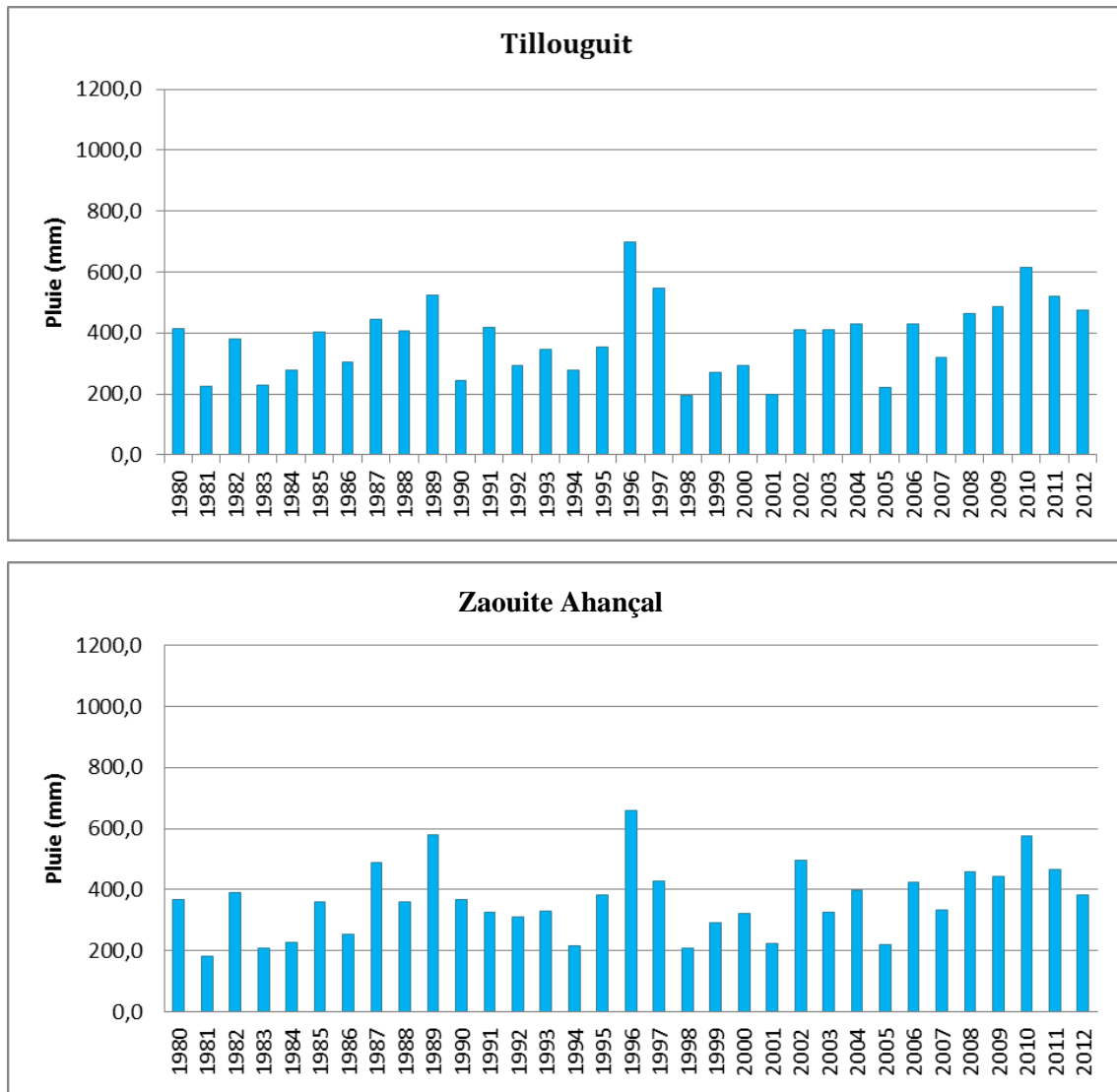


Figure 4.6 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie des cinq stations du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage *Bin El Ouidane* (1980-2012)



On calcule cet indice par la relation suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\text{Ecart type}}$$

Avec  $P_i$  : Pluviométrie annuelle et  $P_m$  : Pluviométrie moyenne mensuelle de la série.

Le tableau suivant montre les intervalles des valeurs du SPI pour identifier les anomalies des précipitations :

Tableau 4.4 : des valeurs du SPI et le caractère correspondant

Intervalle de SPI	Caractère
SPI > +2.0	Extrêmement humide
+1.5 < SPI < +1.99	Humide
+1.0 < SPI < +1.49	Modérément humide
-0.99 < SPI < +0.99	Normal
-1.49 < SPI < -1.0	Modérément sec
-1.99 < SPI < -1.5	Sec
SPI < -2.0	Extrêmement sec

### II. 2. 1. Ecart à la moyenne (Em)

L'indice de l'écart à la moyenne a été utilisé pour évaluer le déficit pluviométrique que peut présenter la chronique étudiée des cinq stations situées dans le bassin versant. D'une manière générale, on peut remarquer une importante fluctuation des périodes sèches et humides.

Les graphiques de la figure 4.7 représentent l'écart à la moyenne (en pourcentage) que présente les séries pluviométriques des quatre stations. Ces graphiques mettent en évidence la succession des périodes sèches et des périodes humides. La plus longue période sèche qui a affecté le bassin versant de l'oued *El Abid* s'étale de 1980 à 1995, avec intercalation de quelques années humides (entre 2 et 5 années) selon les stations. Quant à la période humide, les années les plus humides correspondent à l'année 1996 et la période 2008-2010

Les deux tableaux 4.5 et 4.6 montrent le nombre des séquences et des années déficitaires et excédentaires, ainsi que leur intensité moyenne et le déficit et excédent cumulé au long de ces événements.

Tableau 4.5. Caractéristiques des années sèches pour les différentes stations (1980/2012)

Stations	Nombre de séquences*	Durée (an)	Déficit cumulé (mm)	Intensité** moyenne (mm)
Tillouguit	8	15	1596,5	106,4
<i>Ait Ouchène</i>	8	15	1728,9	115,3
<i>Tizi n'Isly</i>	9	15	1931,1	128,7
<i>Zaouite Ahançal</i>	8	18	1471,2	81,7
<i>Bin El Ouidane</i>	7	18	2073,9	115,2
Moyenne	8	16	1760	109

\* Intervalle d'années successives sèches.

\*\* L'intensité moyenne de la période sèche est définie comme étant le rapport du déficit cumulé à sa durée

Tableau 4.6 : Caractéristiques des années humides pour les différentes stations (1980/2012)

Stations	Nombre de séquences*	Durée (an)	Excedent cumulé (mm)	Intensité** moyenne (mm)
<i>Tilouguite</i>	9	18	1596,5	88,7
<i>Ait Ouchène</i>	9	18	1728,9	96,0
<i>Tizi n'Isly</i>	9	18	1931,1	107,3
<i>Zaouite Ahançal</i>	8	15	1471,2	98,1
<i>Bin El Ouidane</i>	8	15	2073,9	138,3
Moyenne	9	17	1760	106

\* Intervalle d'années successives humides.

\*\* L'intensité moyenne de la période humide est définie comme étant le rapport de l'excédent cumulé à sa durée

L'indice de l'Ecart à la moyenne montre que pour les cinq stations du bassin versant, l'année la plus humide était 1996, pour *Ait Ouchène*, *Tilouguite*, *Zawyat Ahançal* et *Tizi n'Isly* avec des écarts à la moyenne respectifs de l'ordre de 86,2%, 85,5%, 81,9 et 131,4%, et 2011 pour la station de *Bin El Ouidane* avec un écart à la moyenne de l'ordre de 118,7%. En revanche, l'année la plus sèche est l'année 1981 pour *Ait Ouchène*, *Zawyat Ahançal* et *Tizi n'Isly*, et 1998 pour les deux stations de *Tilouguite* et *Bin El Ouidane*.

L'étude des graphiques précédents permet aussi d'identifier plusieurs séquences :

- La période 1980-1986 pour toutes les stations est généralement déficitaire avec présence de quelques excédents médiocres. Les deux années 1981 et 1983 présentent des déficits pluviométriques les plus importants pour toutes les stations.
- La période 1987-1996 est une période généralement humide, mais elle est marquée par une irrégularité spatiotemporelle des pluies avec cependant quelques années sèches, ce qui la

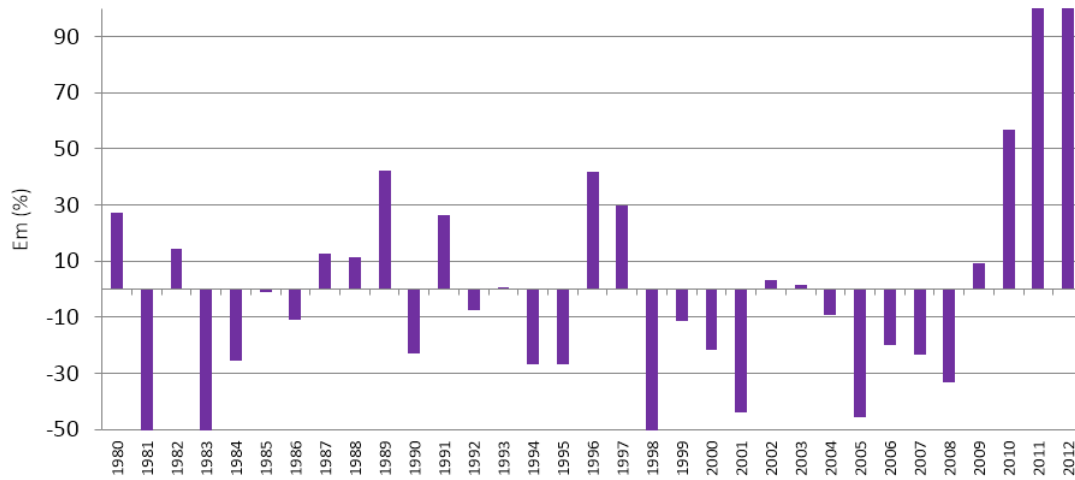
rend une période faiblement humide. Les écarts à la moyenne enregistrés dans cette période sont de 2,9%, 7,3%, 7,4%, 11,3% et 22,3% respectivement pour la station de *Ait Ouchène*, *Tilouguite*, *Bin El Ouidane*, *Zawyat Ahançal* et *Tizi n'Isly*. Cette période s'est caractérisée par la présence de l'année 1996 considéré l'année la plus humide qu'a connu le bassin versant.

- La période 1998-2007 pour *Ait Ouchène*, *Tilouguite*, *Zawyat Ahançal* et *Tizi n'Isly* et 1998-2008 pour *Bin El Ouidane*, est la grande période de sécheresse enregistrée dans la chronique retenue pour toutes les stations. Les années 1998, 2001 et 2005 sont les années de la sécheresse record communes entre toutes les stations pluviométriques.

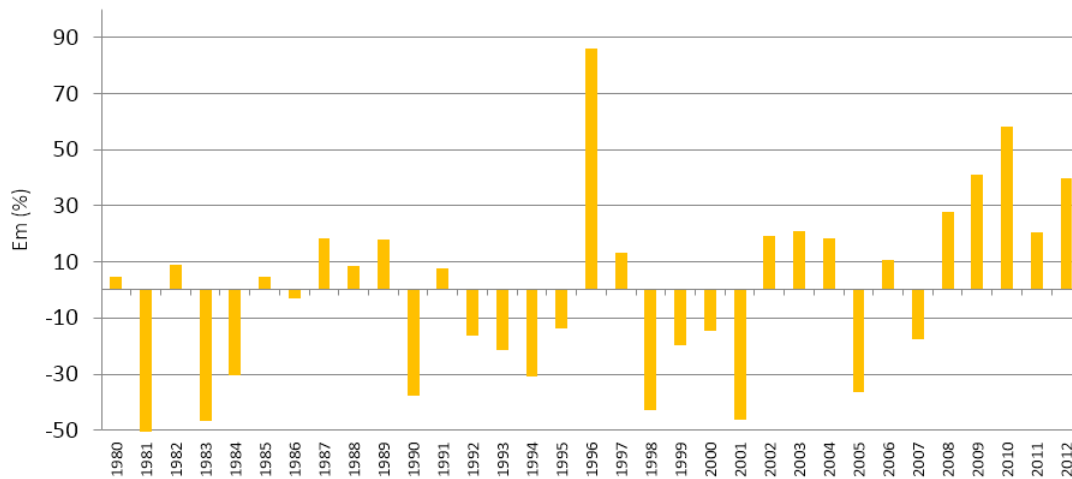
- La période 2008-2012 pour toutes les stations est particulièrement pluvieuse avec des excédents les plus importants qui ont été enregistrés en 2010 pour toute les stations mise à part la station de *Bin El Ouidane* qui a enregistré deux excédents très maximums en 2011 et 2012. Dans cette phase se manifeste l'absence totale des années sèches.

En comparant les périodes humides avec les périodes sèches, on constate que généralement il y a une succession rythmique entre les séquences humides et sèches. Elles sont très peu différentes entre eux soit en termes de nombre de séquences (8 pour les sèches et 9 pour les humides) ou en termes de durée des années sèches (16 années) et des années humides (17 années) et de l'intensité moyenne, qui est de l'ordre de 109mm pour les années sèches et 106mm pour les années humides. Cette situation peut indiquer que la pluviométrie à l'échelle du bassin versant est en phase critique ou de transition, et enregistre une légère tendance à la sécheresse.

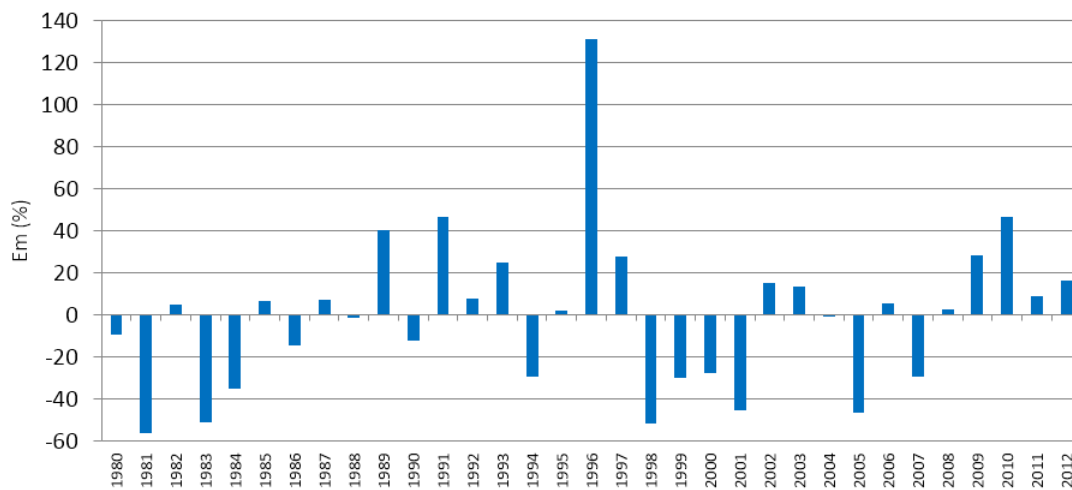
### Bin El Ouidane



### Ait Ouchène



### Tizi n'Isly



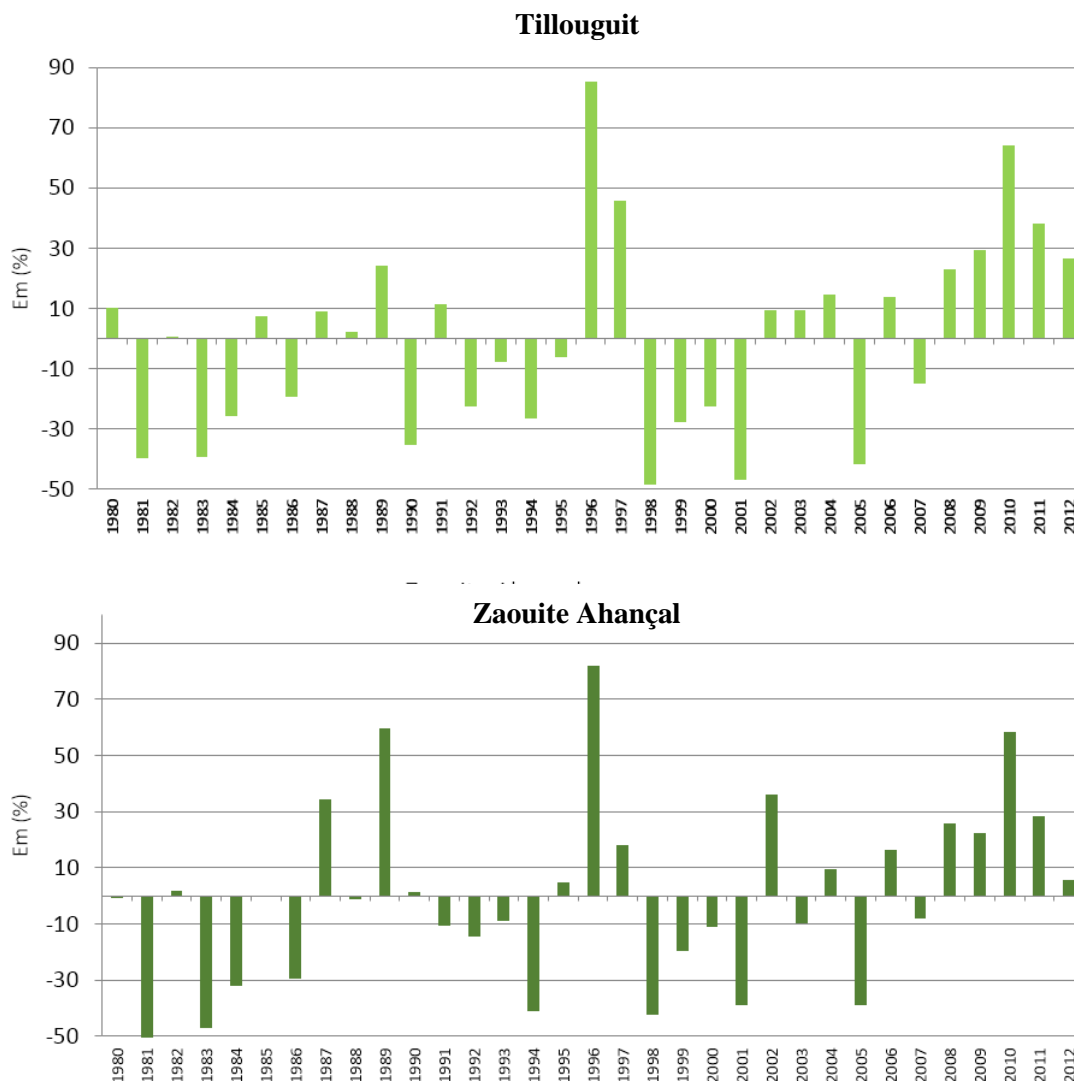


Figure 4.7 : L'écart à la moyenne annuelle pluviométrique des cinq stations situées dans le bassin versant (1980/2012)

## II. 2. 2. Indice standardisé de précipitation (SPI)

L'utilisation de l'indice Standardisé de Précipitation « SPI », nous a permis de confirmer le caractère récurrent du phénomène déterminé par les deux indices précédents (Em). L'avantage de cet indice, c'est qu'il permet de caractériser les années déficitaires et les années excédentaires avec une meilleure précision et de déduire les grandes tendances évolutives durant la période retenue.

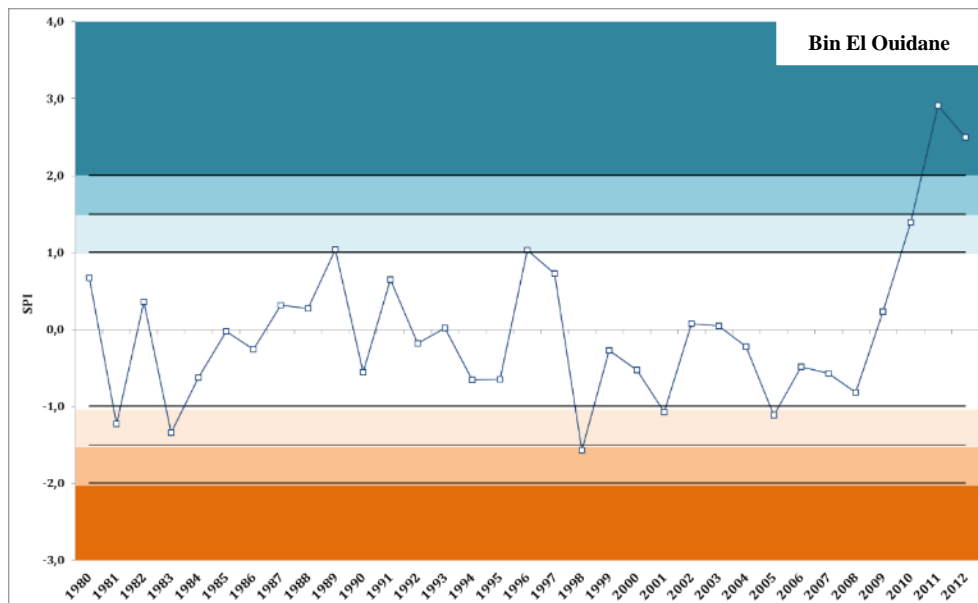
La figure 4.8 montre l'évolution de l'indice SPI pour les cinq stations situées dans le bassin versant. Ce graphique fait apparaître :

Le *caractère normal* ( $-0,99 < SPI < 0,99$ ) qui marque la majorité des années de la chronique

étudiée, dont on retrouve 22 années normales pour *Zawyat Ahançal*, 23 années pour Bin El Ouidan, *Tilouguite* et *Ait Ouchène*, et 26 années pour *Tizi n'Isly*. Le reste des années est distribué entre les caractères de sécheresse, et les caractères humides.

- les années 1981, 1983, 1990, 1998, 2001 et 2005 qui sont caractérisée par une sécheresse remarquable et presque généralisée à l'échelle du bassin versant. Toutes les années « sèches » sont situées dans le caractère *modérément sec* pour toutes les stations, sauf les deux années 1981 (station de *Ait Ouchène* et *Zawyat Ahançal*) et 1998 (station de *Bin El Ouidane* et *Tilouguite*) qui sont placées dans le caractère *sec* de l'indice SPI.

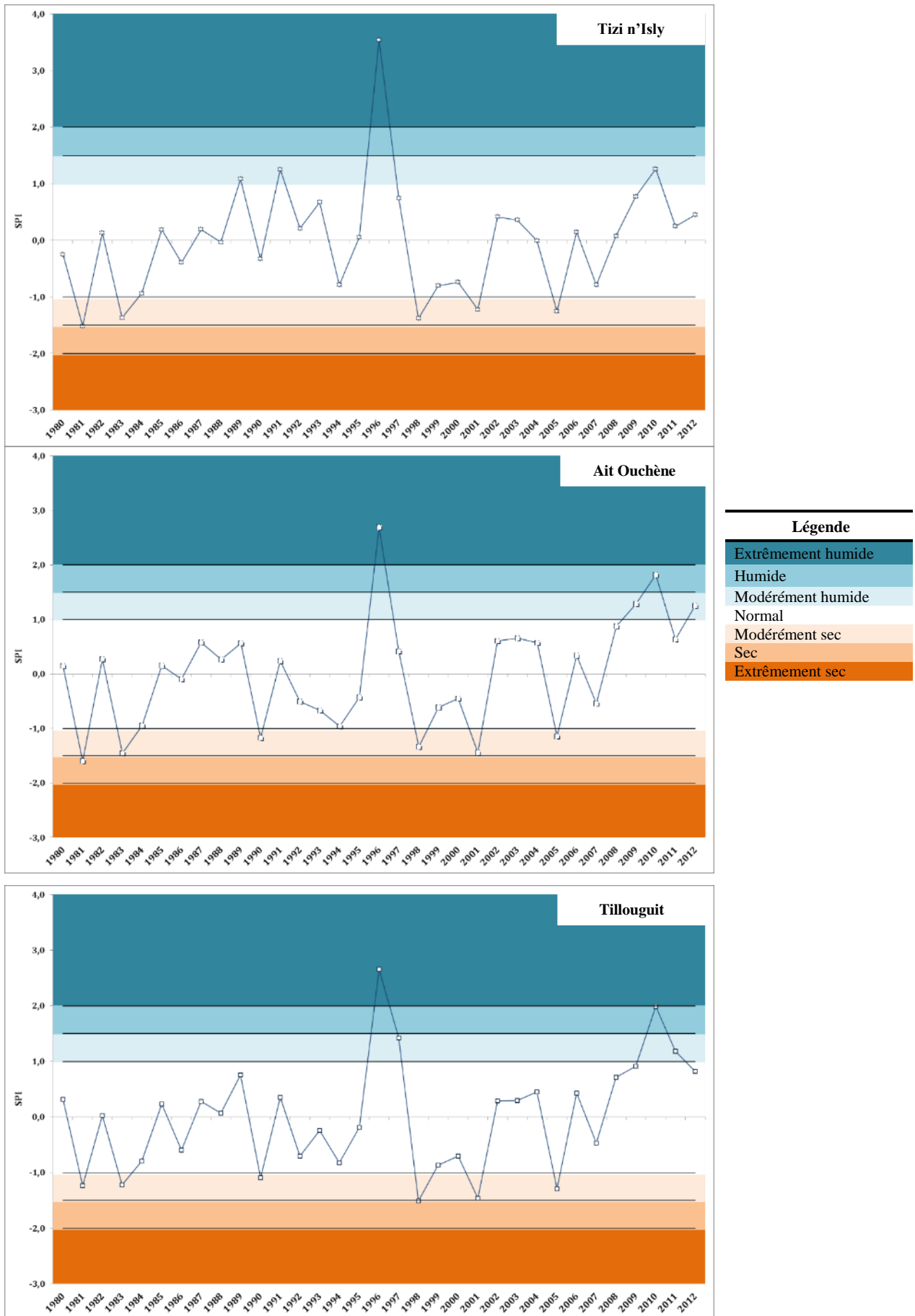
- Le caractère *modérément humide et humide* a rarement marqué la pluviométrie moyenne annuelle enregistré dans les cinq stations retenues. Le nombre des années disposant ces deux caractères est 3 années pour toutes les stations sauf la station de *Zawyat Ahançal* avec 4 années. Quant au caractère *extrêmement humide*, il est facilement caractérisé pour toutes les stations pour une seule date ; 1996, sauf pour la station de *Bin El Ouidane* qui a enregistré deux années pluviométriques successives extrêmement humides en 2011 et 2012.



Légende

Extrêmement humide
Humide
Modérément humide
Normal
Modérément sec
Sec
Extrêmement sec





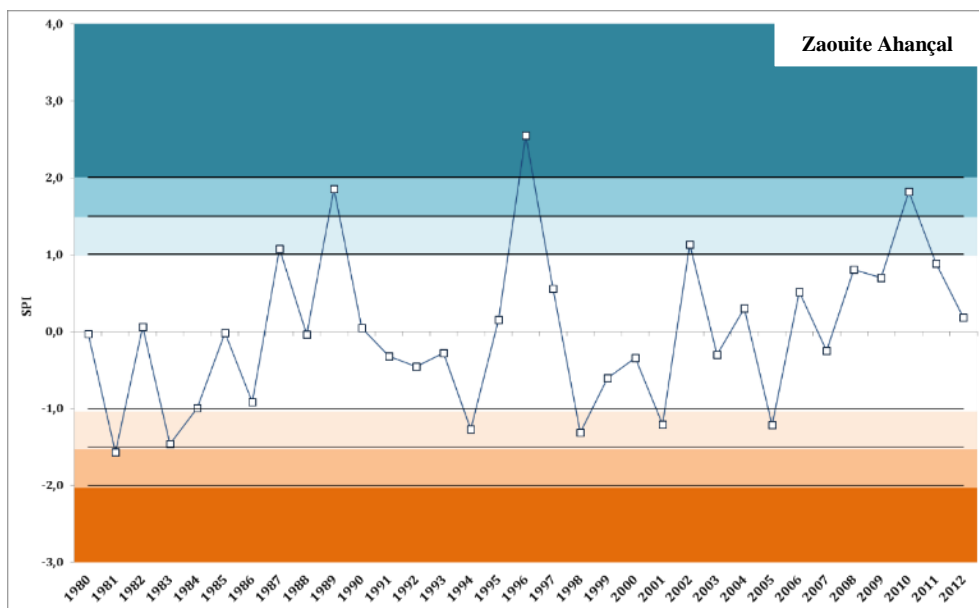


Figure 4.8 : Classification des moyennes annuelles pluviométriques des stations situées dans le bassin versant par l'indice de SPI

Ainsi, l'indice SPI nous a permis d'identifier d'une manière très simple les années les plus sèches enregistrées dans différentes stations du bassin versant pour la chronique étudiée, qui sont 1981, 1983, 1998 et 2001, cela veut dire que pendant chaque décennie, au moins une ou deux années de caractère « extrêmement sec » s'enregistrent. En revanche, l'ensemble des stations enregistrent un ou deux pics pluviométriques pendant les deux années 1996 et 2011, avec un intervalle de 15 ans, sans compter d'autres années qui oscillent entre un caractère sec et humide.

En termes de fréquence, la méthode par indice de précipitation standardisée indique que le caractère le plus fréquent est le *caractère normal* (70%), suivit par le caractère Modérément sec (14 %) et le caractère modérément humide (7%). Cela veut dire que la pluviométrie de la majorité des années oscille autour de la moyenne de la chronique étudiée, et que les périodes déficitaires sont un peu plus étendues dans l'espace et un peu plus persistantes dans le temps que les périodes excédentaires, avec une différence de 4%.

Tableau 4.7 : Fréquence de l'indice de sécheresse (SPI) de toutes les stations retenues

Station	Très Humide	Humide	Modérément Humide	Normale	Modérément Sec	Sec	Très Sec
Tillouguit	3%	3%	6%	70%	15%	3%	0%
Ait Ouchène	3%	3%	6%	70%	15%	3%	0%
Tizi n'Isly	3%	0%	9%	73%	12%	3%	0%
Zaouite	3%	6%	6%	67%	15%	3%	0%
Ahançal	3%	6%	6%	67%	15%	3%	0%
Bin El Ouidan	6%	0%	9%	70%	12%	3%	0%
Moyenne	4%	2%	7%	70%	14%	3%	0%

Les résultats obtenus par ces deux indices de caractérisation du régime pluviométrique (Em et SPI) montrent donc que le régime pluviométrique à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* est caractérisé par une fluctuation très remarquable entre des années déficitaires ou années sèches et des années excédentaires ou années humides. Les deux indices révèlent aussi que ce régime tend d'une façon impressionnante vers l'état sec, vu que la fréquence de retour des événements secs est plus importante par rapport aux événements humides.

### II. 3 Analyse en composante principale

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations a été réalisée par la méthode de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette méthode permet de regrouper des ensembles de stations qui subissent en même temps les mêmes types d'écart (déficit ou excédent pluviométrique...), pour un pas de temps donné, formant ainsi des ensembles spatiaux qui peuvent correspondre à des climats différents mais dont la variabilité est synchrone (BELTRANDO, 2000). L'ACP nous permettra donc à la fois de faire apparaître les facteurs de différenciation régionale et de caractériser la pluviosité d'une année particulière selon sa répartition spatiale.

La méthode de l'Analyse en Composante Principale a été appliquée sur les données mensuelles de précipitations des stations du bassin versant de l'oued *El Abid* sauf la station de *Bin El Ouidane* et de quelques stations situées à ses alentours (voir le *tableau 4.9*). L'ACP nous permet de réduire le nombre des composantes (stations pluviométriques), qui constituent les coordonnées des trente-trois points de nuage (nombre des années), de façon à obtenir un espace de moindre dimension dans lequel il sera plus facile d'extraire la majeure partie de l'information contenue dans le tableau (LAURENT, 1995). L'ACP appliquée sur les moyennes annuelles des précipitations des 11 stations pluviométriques montre que le premier axe explique 72,1% de la variation totale, le deuxième 9,6%, le troisième 7,9%. Ces trois axes représentent 89,6 % de la variance (Tableau 4.8). Pour les autres axes, les parts de variation qu'ils présentent deviennent

inférieures à celle représentée par une seule variable initiale. C'est pourquoi ils sont bien négligés et seules les trois premières composantes principales qui sont conservées pour l'interprétation.

La première composante principale présente une variabilité de 72,1%. À travers cette variation considérable, elle décrit une variabilité interannuelle (opposant années sèches et années humides) qui, à l'échelle du bassin versant, ne dépend pas de la répartition spatiale des stations.

Tableau 4.8 : Composantes sélectionnées et paramètres à prendre en compte dans l'ACP.

	F1	F2	F3
Valeur propre	7,9319	1,0579	0,8694
Variabilité (%)	72,1084	9,6171	7,9037
% cumulé	72,1084	81,7255	89,6292

En effet, les coefficients de corrélation entre les variables-stations et la première composante (Axe 1) sont très proches les uns des autres (entre 0,65 et 0,96) sauf la variable-station d'*Ouaouirinth* (0,01). La projection des 33 observations (pluviométries annuelles) sur l'axe 1 se révèle fort intéressante. Les coordonnées de ces 33 points sur l'axe 1 varient de -5,22

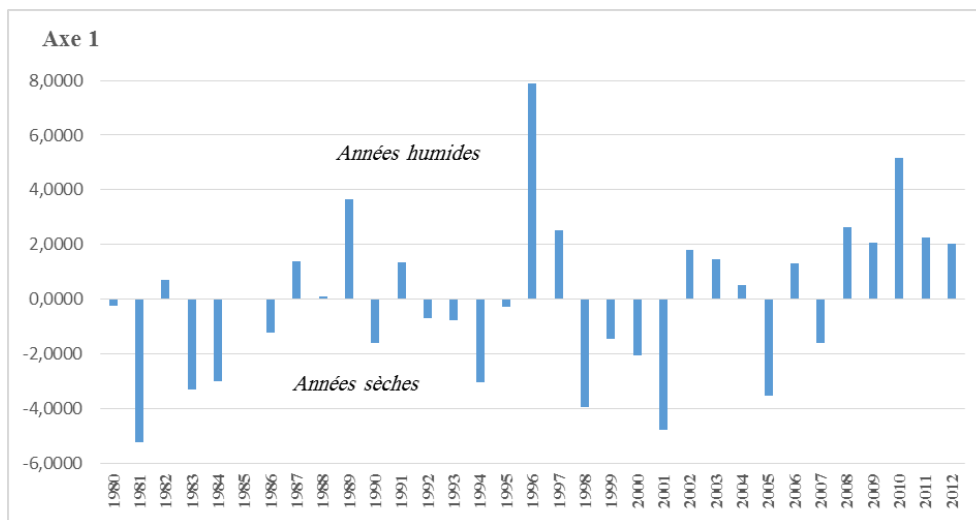


Figure 4.9 : Chronologie des valeurs de la première composante principale

à +7,88 (figure 4.9). Elles sont en fonction des totaux pluviométriques qu'elles représentent et montrent une grande variabilité interannuelle des précipitations.

La deuxième composante principale explique 9,6% de la variance. Les corrélations entre variables-stations et axe 2 ont été reportées dans le tableau 4.9. On constate que les stations se répartissent sur cet axe en fonction de leur longitude. La deuxième composante principale met donc en évidence un facteur de différenciation régionale important : la position longitudinale, que l'on peut aussi traduire par la proximité.

Tableau 4.9: Corrélations entre les variables-stations et l'axe 2

Variable-station	Axe 2	Variable-station	Axe 2
Tillouguit	-0,0100	Zaouite	0,0196
<i>Ait Ouchène</i>	-0,1651	<i>Ahançal</i>	
<i>Tizi n'Isly</i>	-0,0408	<i>Béni Mellal</i>	0,0246
Taghzirt	-0,1331	Sgatt	0,0110
Decher El Oued	-0,1201	Ouaouirinth	0,9289
		Louggagh	0,2516
		M'semrir	0,2636

La troisième composante principale représente encore 7,9 % de la variance. Elle semble ainsi dégager un facteur de différenciation régionale d'ordre climatique : elle propose une localisation de la limite entre zone à dominante océanique et zone de climat saharien.

En projetant les variables stations sur les deux premiers axes (1 et 2) (deux premiers composantes principales) et sur les axes 2 et 3 on obtient les deux figures 4.10 et 4.11. Cette projection reproduit à peu près la distribution spatiale des stations pluviométriques qui peuvent être découpées en deux zones :

**Zone 1** qui comporte les deux stations de *Louggagh* et *M'semrir* qui se situent à l'Est du bassin versant dont l'influence du climat saharien, avec un été très chaud et hivers froid et sec.

**Zone 2** qui comporte toutes les stations situées à l'intérieur du bassin versant et ses alentours Nord et Ouest. Même si le plan déterminé par les deux composantes principales 2 et 3, ces stations ne représentent qu'à peine 17,5 % de la variance, la similitude entre la réalité

géographique et les corrélations obtenues milite en faveur de la pertinence de l'ACP et des facteurs de différenciation mis à jour.

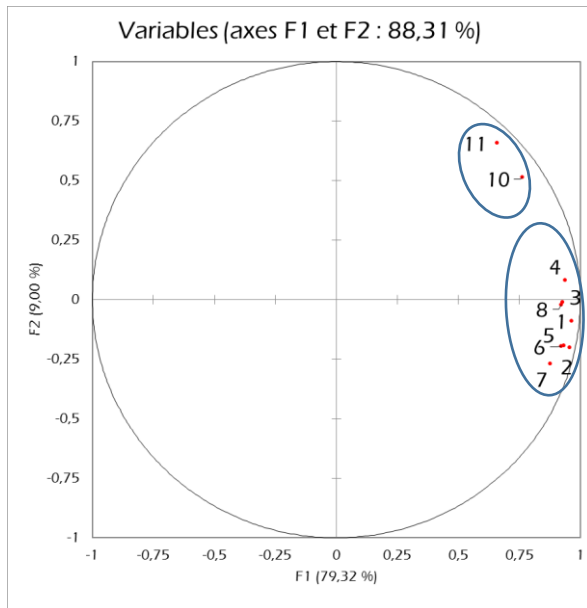


Figure 4.10 : la projection de 11 variables dans le plan des deux premières composantes

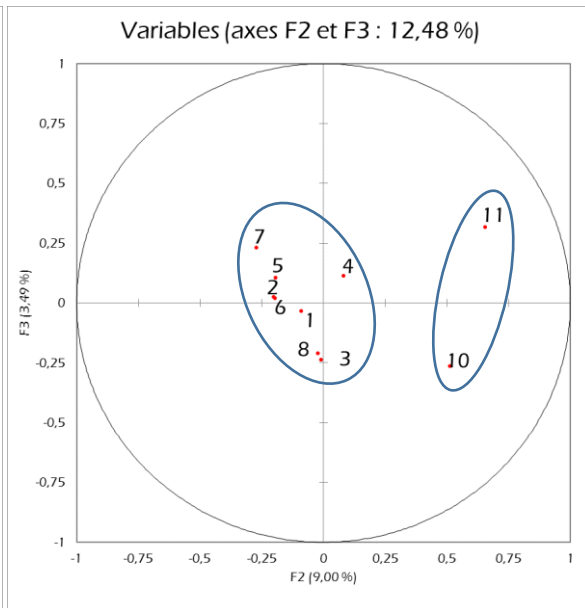


Figure 4.11 : la projection de 11 variables dans le plan du deuxième et troisième composantes

## II. 4 Spatialisation des pluies annuelles

Après avoir caractérisé les modes des fluctuations temporelles/annuelles des précipitations de chacune des stations retenues, l'étude de la répartition spatiale semble une étape complémentaire à la précédente. L'étude de la répartition spatiale des précipitations a pour objectif de voir comment les précipitations se répartissent dans le bassin versant, et d'identifier les zones les plus arrosées et qui reçoivent des moyennes de précipitation importantes, et celles qui reçoivent les moyennes les plus faibles. Les méthodes utilisées pour la spatialisation de la pluviométrie sont : Polygones de Thiessen et l'Inverse du Carré de la Distance (IDW).

**La méthode de Thiessen** permet d'estimer la pluviométrie moyenne spatiale sur le bassin versant, en utilisant la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{1}{A} * \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Avec :  $P_{moy}$  : Précipitation moyenne à l'échelle du bassin versant,

$A_i$ : Surface du polygone associé à la station  $i$ ,



A: Surface totale du bassin versant ( $=\sum A_i$ )

La méthode du polygone THIESSEN (THI) suppose que les valeurs estimées peuvent prendre en compte les valeurs observées de la station la plus proche (SARANN *et al*, 2013). La méthode nécessite la construction d'un réseau de polygones THIESSEN qui sont formés par les médiateurs de segments reliant les stations voisines à d'autres stations apparentées. La surface de chaque polygone est déterminée et utilisée pour équilibrer la quantité de pluie de la station au centre du polygone.

**Méthode de l'inverse des distances (IDW)** : est basée sur les fonctions des distances inverse dans lesquelles les poids sont définis par l'opposé de la distance et normalisés de sorte que leur somme soit égale à un. Les poids diminuent à mesure que la distance augmente. La méthode de l'inverse des distances prend en compte un plus grand nombre de données, en affectant une pondération plus élevée aux valeurs proches qu'aux valeurs éloignées (RENARD *et al*, 2006).

Pour caractériser les variations pluviométriques annuelles à l'échelle de tout le bassin, nous avons calculé la pluviométrie moyenne annuelle spatiale, par ces méthodes de spatialisation. Le logiciel Hydraccess nous a permis d'estimer cette pluviométrie moyenne annuelle spatiale avec les deux méthodes choisies. Le graphique de la figure 4.12 montre l'évolution temporelle des précipitations moyenne annuelle. Il montre qu'il y a une faible différence entre les valeurs de la pluviométrie obtenues par les deux méthodes, si on exclu les années 1983 à 1986, 1990, 1999, 2003 et 2008 à 2012.

En général, les résultats obtenus montrent que le régime pluviométrique à l'échelle du bassin versants a connu des fluctuations remarquables, et des successions d'années humides et d'années sèches, avec une pluviométrie moyenne annuelle maximale estimée pour l'année 1996 (année très humide), et un minimum (année très sèche) estimé pour l'année 1981.

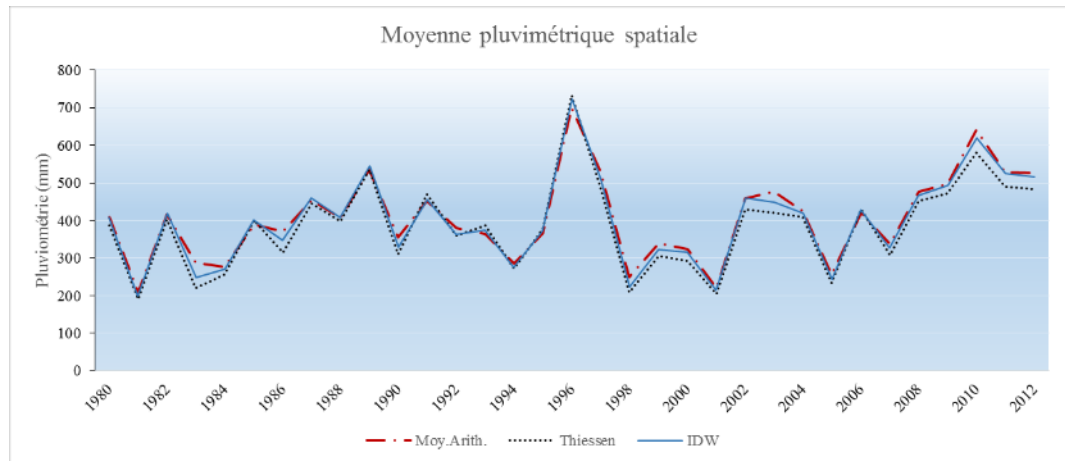


Figure 4.12 : variation des moyennes pluviométriques spatiales du bassin versant par la méthode du Thiessen et IDW

Pour avoir une idée générale sur la répartition spatiale des précipitations à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, nous avons établi les cartes de précipitations (figure 4.13) en utilisant les deux méthodes précitées.

Nous tenons en considération les précipitations nivales, vu que les points culminants situés à des altitudes dépassant 2000 m (*Jbel Azourki, Abbadine, Imilchil,...*) sont souvent recouverts d'un manteau neigeux qui y persiste jusqu'à la fin de la saison du printemps. Pour cette considération, nous nous sommes basés sur les images satellites (LandSat Oli) couvrant le bassin versant, datées de 27/12/2014 pour repérer la couverture neigeuse à l'échelle du bassin versant.

La figure 4.13 montre la répartition spatiale des précipitations dans le bassin versant. Les deux cartes montrent que la partie Nord et la partie Ouest du bassin versant sont les plus arrosées, et reçoivent des moyennes pluviométriques dépassant le seuil de 400mm. Par contre, les parties Est et Sud reçoivent souvent des précipitations très faibles. Cette faible quantité de précipitation dans les parties Est et Sud est due aux précipitations nivales qui correspondent souvent aux tranches d'altitudes supérieures à 2000 m, de même elle peut être due aux effets du climat aride et saharien qui règnent sur les régions de l'Est et Sud (Effets du Sahara).

A titre de comparaison, on constate que le sous bassin versant de l'oued *El Abid* reçoit des moyennes pluviométriques très élevées par rapport au sous bassin versant de l'*Assif Ahançal*. Cependant, ce dernier à son tour, reçoit des quantités très importantes des précipitations nivales qui récompensent la différence pluviométrique avec le sous bassin de l'oued *El Abid*.

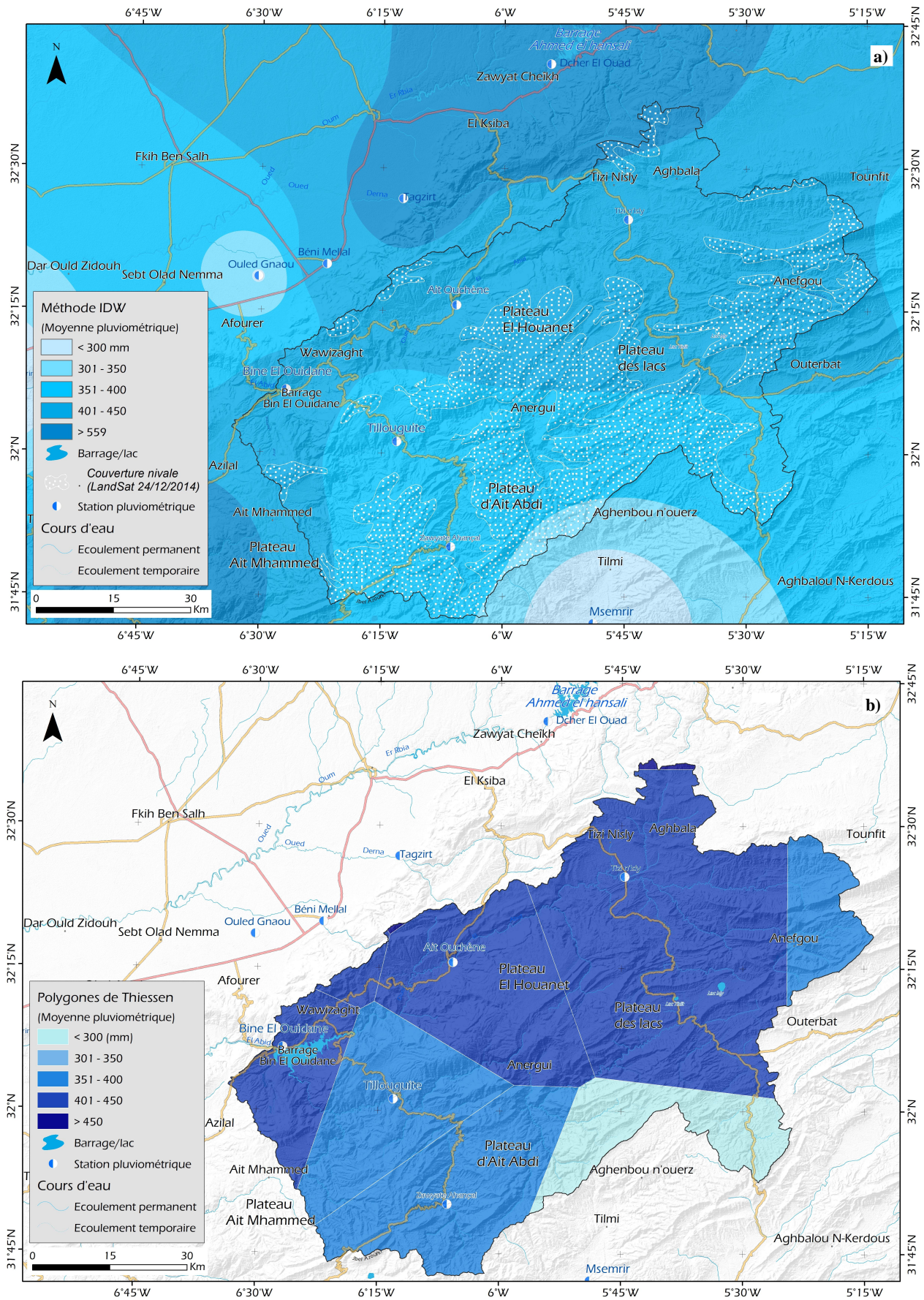


Figure 4.13 : Spatialisation des précipitations moyenne annuelle. a) par la méthode de l'Inverse du Carré de la Distance (IDW) et b) par la méthode de Polygones de Thiessen

Pour apprécier le degré de la variabilité pluviométrique au niveau de toutes les stations retenues (celles situées dans et hors le bassin versant) nous avons représenté le pourcentage des stations déficitaires au long de 33 années de la chronique retenue en évolution dans la figure 4.14.

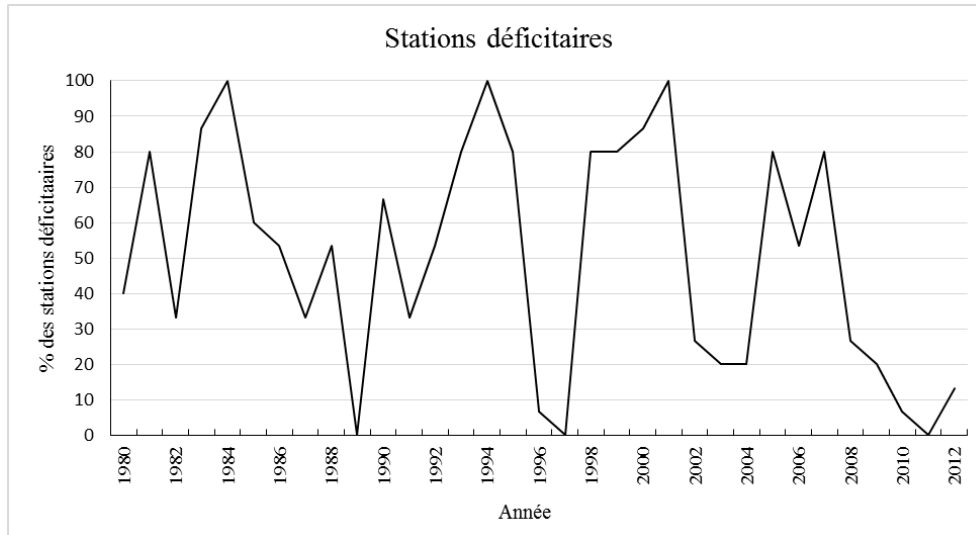


Figure 4.14 : Pourcentage de stations déficitaires par rapport à la période de référence 1980-2012

Pour toutes les stations retenues dans cette étude, on remarque que plus de 50% des stations présentent une tendance à l'état déficitaire dans 18 années. Cet état déficitaire s'est fortement apparu pendant les périodes [1980 – 1984] (longue période de sécheresse), [1991 – 1995], [1998 – 2001] et [2004 – 2007]. Les années au cours desquelles on enregistre 100% des stations déficitaires sont 1984, 1994 et 2001. En revanche, les années 1989, 1996, 1997, 2010 et 2011 représentent le minimum des stations déficitaires (moins de 10% des stations). En moyenne, la sécheresse semble un phénomène qui affecte toute la zone du bassin versant et ses alentours au cours de toute la chronique étudiée sans avoir un aspect homogène. Les années déficitaires et excédentaires s'alternent d'une façon successive et parfois brutale. Ceci peut désigner que le régime pluviométrique en particulier et le climat en général à l'échelle de la région du bassin versant, est en situation d'instabilité et de tendance à un état critique.

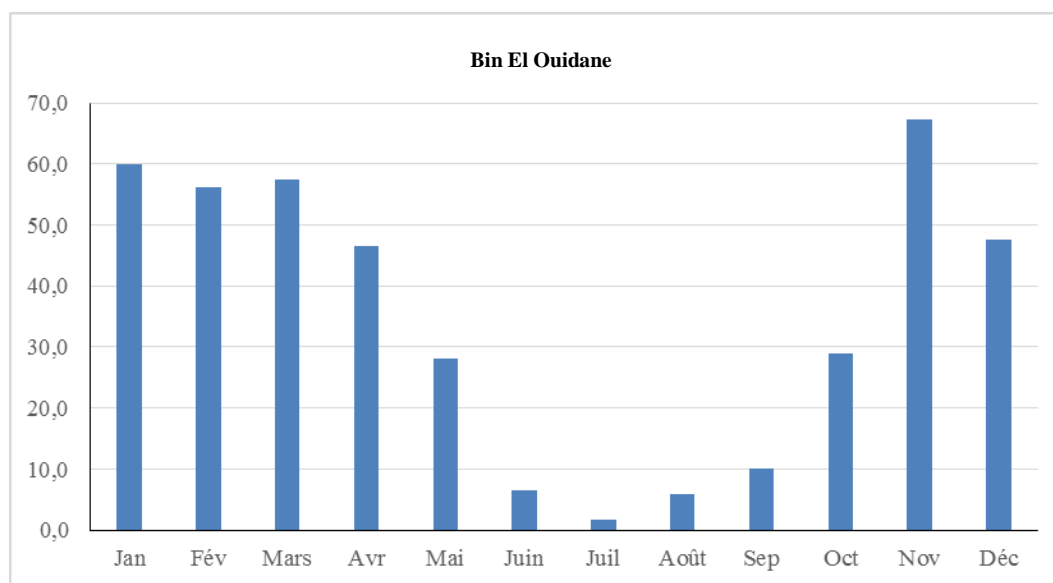
## II. 5 Le régime pluviométrique mensuel

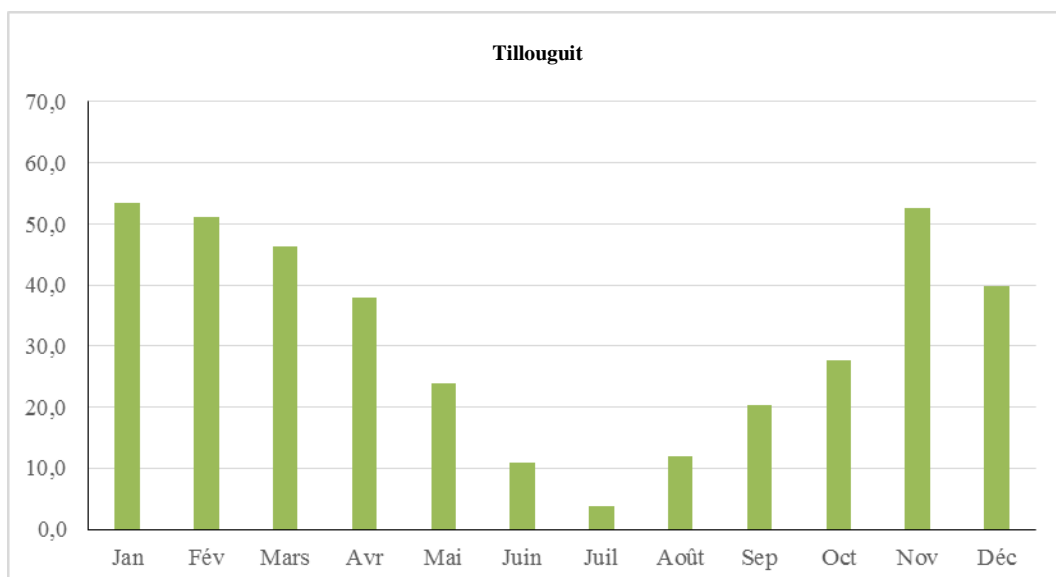
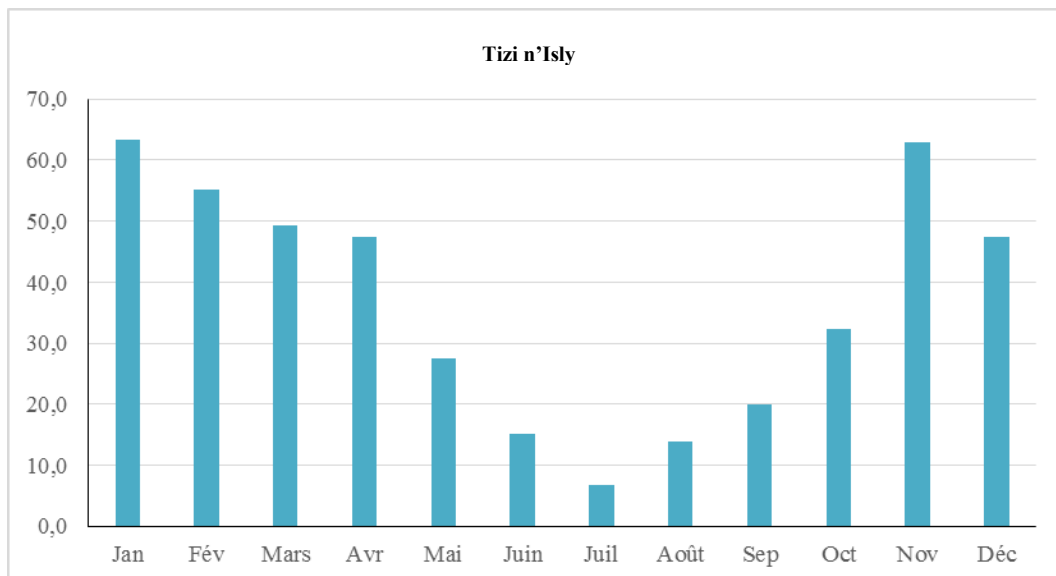
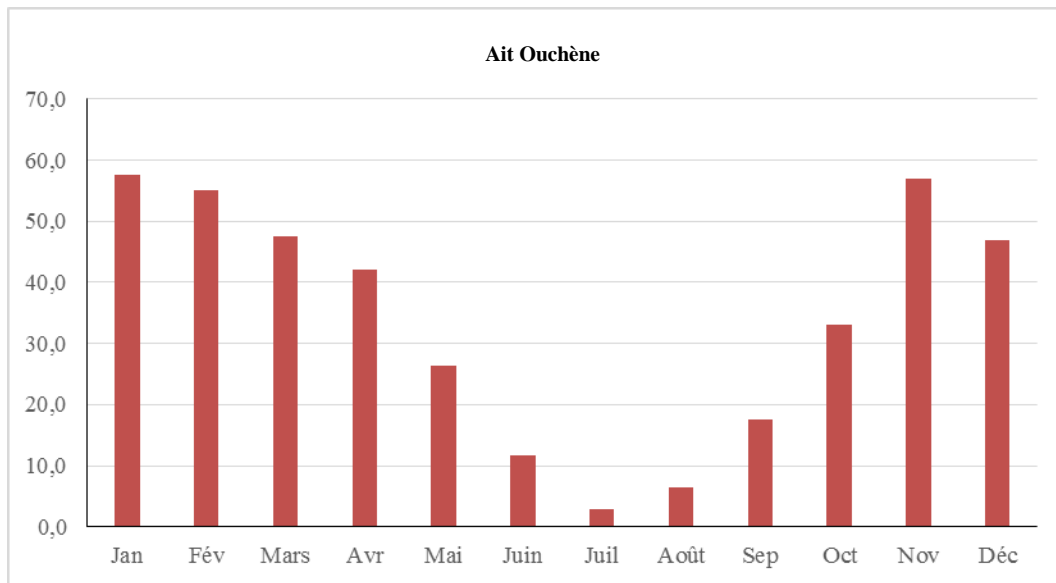
Après avoir caractérisé la variabilité interannuelle des précipitations, nous allons essayer de caractériser le régime de la variabilité mensuelle de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* à l'aide des quatre stations pluviométriques dont il dispose. L'étude



de la pluviométrie à l'échelle mensuelle semble très importante car elle peut nous informer du régime pluviométrique à l'échelle de l'année, et d'identifier les mois les plus humides des mois les plus secs.

La variation mensuelle des précipitations à l'échelle du bassin versant illustrée dans la figure 4.15 montre que leur concentration se fait essentiellement en saison hivernale, où les mois qui reçoivent des moyennes pluviométriques qui dépassent 50 mm, sont généralement les mois de janvier, février et novembre. La station de *Zawyat Ahançal* montre des moyennes pluviométriques mensuelles qui ne dépassent jamais le seuil de 40 mm, ceci peut être expliqué par la forte précipitation nivale qui remplace les pluies. Les autres stations du bassin versant de l'oued *El Abid* montrent une moyenne respective de 59,9mm, 57,6mm, 53,4mm et 63,2 mm en janvier ; 59,9mm, 57,6mm, 53,4mm, 37,2mm et 63,2mm en Février, 67,3mm, 56,9mm, 52,6mm, 37,3mm 62,8mm en septembre pour les stations de *Bin El Ouidane*, *Ait Ouchène*, *Tillouguit*, *Zaouite Ahançal* et *Tizi n'Isly*. Ces trois mois constituent les mois les plus pluvieux pour l'ensemble des stations retenues (figure 4.15).







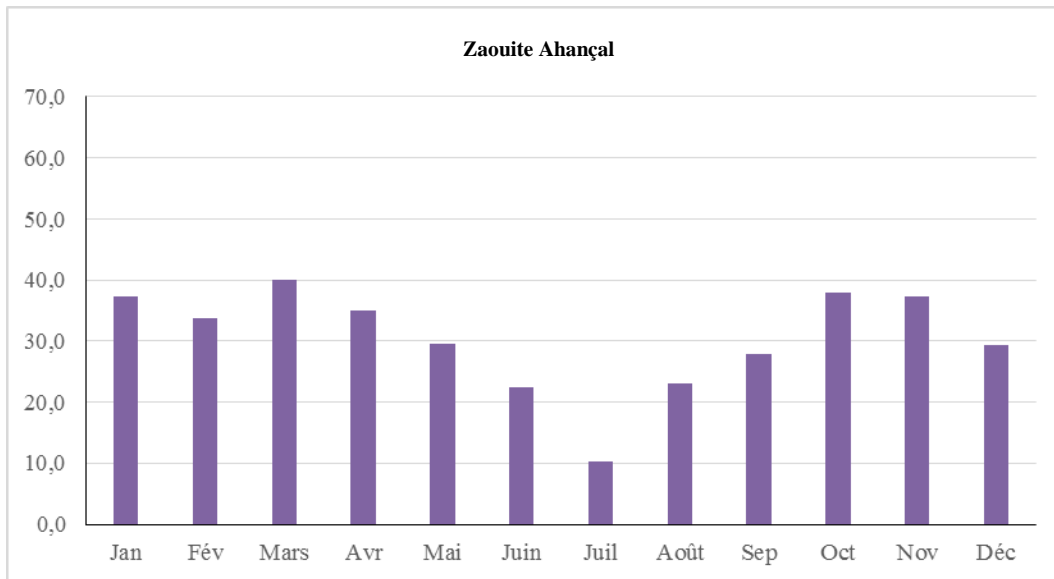


Figure 4.15 : variabilité mensuelle des précipitations à l'échelle du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane

Les mois de Juin, Juillet et Aout de la saison d'été sont considérés les mois les plus secs avec des moyennes pluviométriques inférieures à 20 mm, sauf pour la station de *Zawyat Ahançal*, qui marque des moyennes pluviométriques les plus élevées durant ces mois secs. Ceci peut être expliqué par les orages de l'été qui sont très fréquents dans cette zone du bassin versant, vu la dominance des montagnes et crêtes très élevés.

La variabilité mensuelle présente donc des mois très secs qui s'étendent du mois de juin jusqu'au mois d'Aout, et jusqu'au mois de septembre pour certaines stations. Les mois de Mai et Octobre constituent les mois de transition entre les périodes sèches et humides pour la plupart des stations.

### III. Le régime hydrologique du bassin versant

Après avoir analysé le régime pluviométrique et identifier les périodes sèches et les périodes humides et leurs caractères, nous allons étudier les aspects hydrologiques du bassin versant de l'oued *El Abid*. En effet, les différents paramètres climatiques, surtout les pluies, interviennent quantitativement dans l'écoulement, alors que les autres éléments physiques (la lithologie, morphométrie, biogéographie) jouent un rôle dans les modalités de l'écoulement (SIRTOU, 1995). Dans cette partie du 4ème chapitre nous allons exploiter les résultats précédents en comparant les hauteurs annuelles totales des précipitations avec les débits des deux cours d'eaux principaux (Oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et *Assif Ahançal* à *Tilouguite*). Cette comparaison a pour but de déterminer l'importance des fluctuations des débits de ces deux oueds

en relation avec la variabilité pluviométrique, que ce soit annuelle, saisonnière ou mensuelle, et finalement nous allons caractériser leurs régimes hydrologiques et leurs apports dans la disponibilité des ressources en eau dans le barrage de *Bin El Ouidane*. L'étude du régime hydrologique sera réalisée au niveau des deux sous bassins versants, le sous bassin versant de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et le sous bassin versant de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* (figure 4.16).

Pour étudier le régime hydrologique du bassin versant de l'oued *El Abid* à l'amont du barrage *Bin El Ouidane*, nous allons traiter la série des données débitométriques des deux stations hydrométriques, l'une sur l'oued *El Abid* (à la Station d'*Ait Ouchène*) et l'autre sur l'*Assif Ahançal* (à la Station de *Tilouguite*). La période que nous avons retenue s'étend de 1980/81 à 2010/11. Le sous bassin de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* est d'une superficie d'environ 2393,15 km<sup>2</sup>, et celui de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite* est d'une superficie de 2519,51 km<sup>2</sup>.

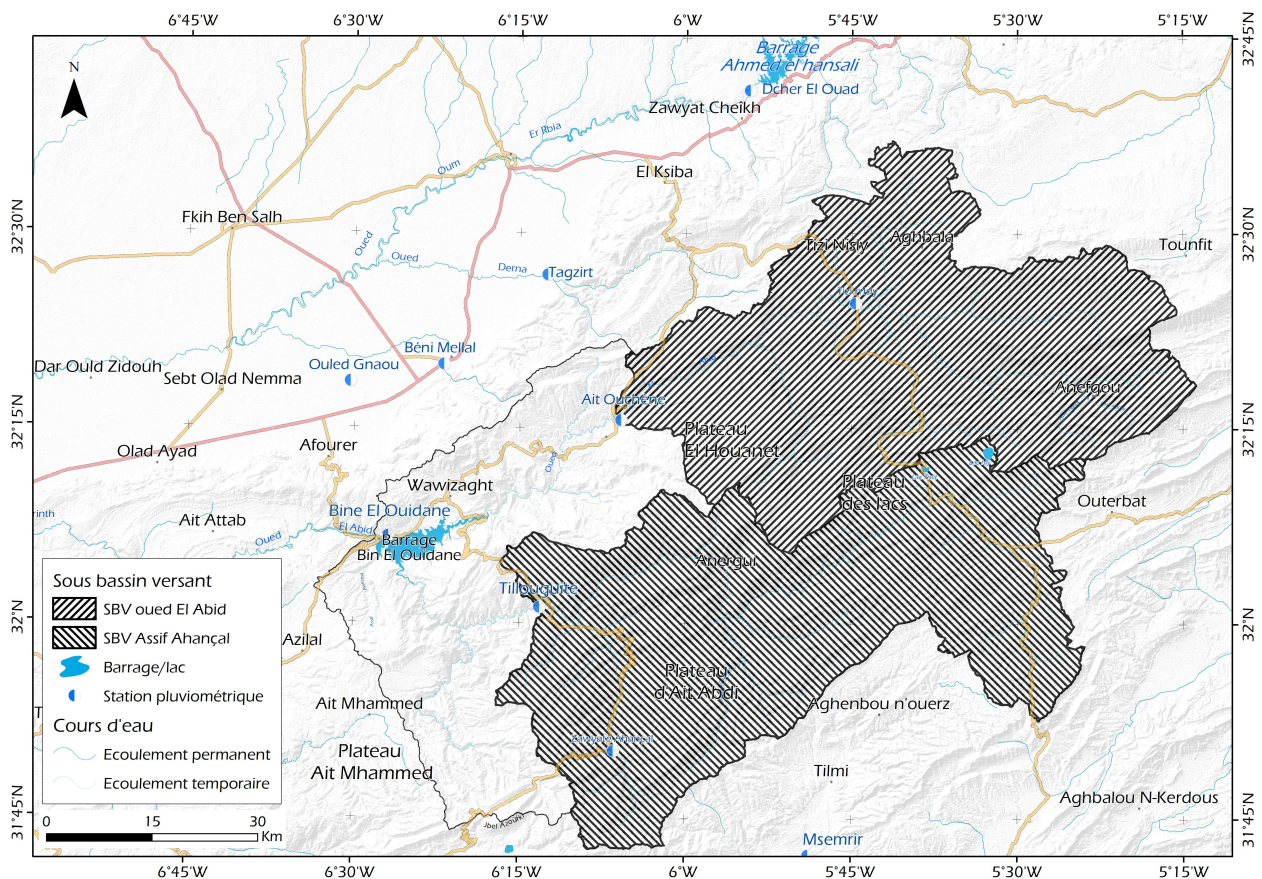


Figure 4.16 : Carte de situation des deux sous bassins versants et leurs cours principaux

### III. 1 Les variations interannuelles des débits des deux cours d'eau

Les variations interannuelles des débits que montrent les deux figures 4.17 et 4.18 font apparaître une irrégularité très importante des débits pour les deux cours d'eau. On constate que le débit des deux cours d'eau réagit d'une année à l'autre de la même façon, avec un module moyen annuel respectif de  $10,3 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour la station de *Tilouguit* et la station d'*Ait Ouchène*. Les années où les débits sont maximums (années excédentaires) sont 1995/96 (année notoire avec un débit de  $29,81 \text{ m}^3/\text{s}$  pour *Assif Ahançal*), 2008/09 et 2009/10 (seulement pour oued *El Abid* avec un débit de  $24,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Au niveau de la station de *Tilouguit* sur *Assif Ahançal*, les années durant lesquelles les débits minimums ont été enregistrés sont 1983/84 ( $1,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 1994/95 ( $4,81 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 2004/05 ( $4,73 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 2007/08 ( $3,32 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Et pour la station d'*Ait Ouchène* sur oued *El Abid*, les années durant lesquelles les débits minimums ont été enregistrés sont 1982/83 ( $1,89 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 1983/84 ( $1,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 1994/95 ( $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 1999/00 ( $2,74 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Il est bien remarquable d'après les deux figures que la station d'*Ait Ouchène* a enregistré des débits très faibles par rapport à la station de *Tilouguit*. Cette dernière n'a enregistré que 4 années avec des modules (débits) qui sont inférieurs à  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , alors que la station d'*Ait Ouchène* a enregistré 14 années ayant des débits inférieurs à  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ces événements secs et humides des débits sont presque les mêmes qu'on a identifié pour le régime pluviométrique.

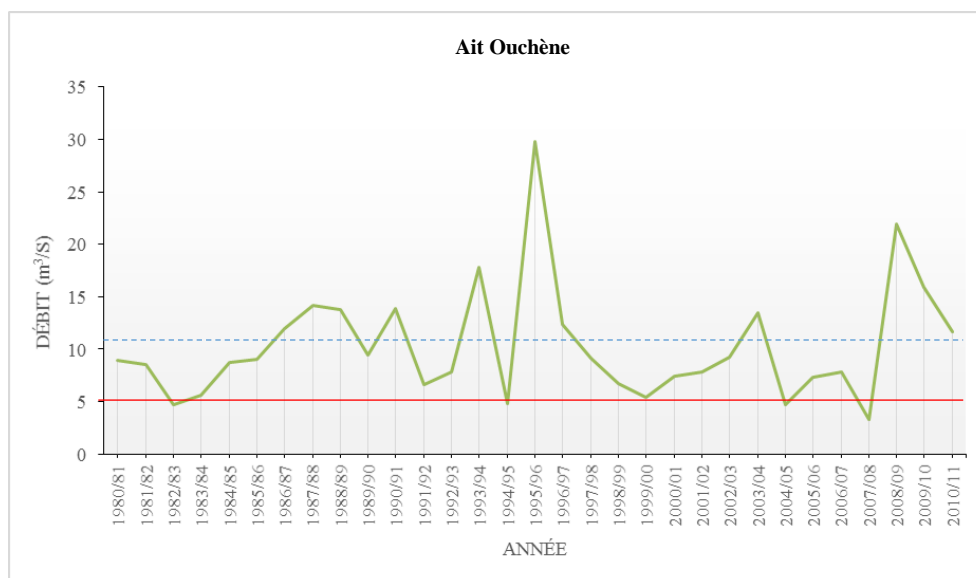


Figure 4.17 : Variation annuelle du débit de l'Assif Ahançal à la station de Tillouguit (1980/81 – 2010/11)

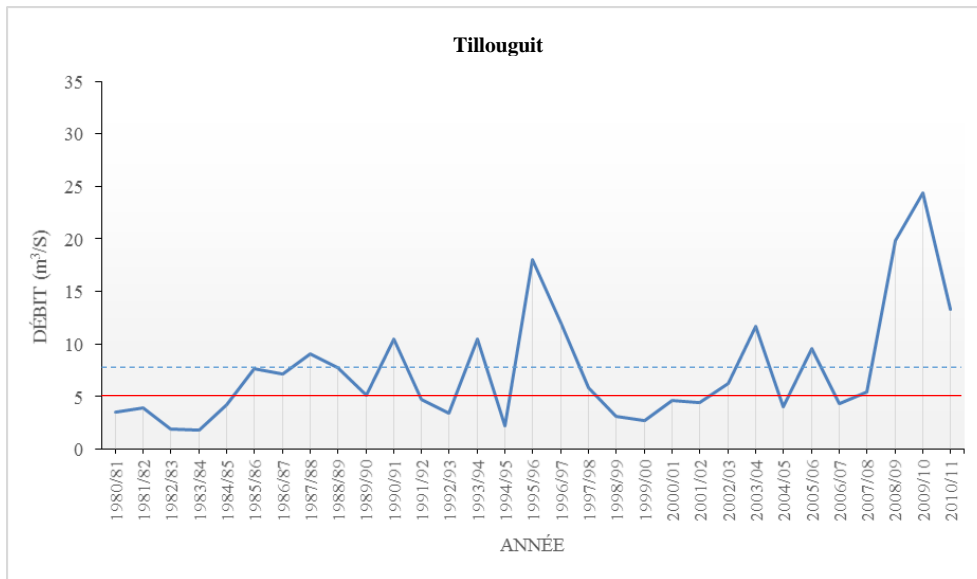


Figure 4.18 : Variation annuelle du débit de l'oued El Abid à la station d'Ait Ouchène (1980/81 – 2010/11)

### III. 2 Le régime hydrologique mensuel

Le régime mensuel des débits nous permet de mettre en évidence la variabilité hydrométrique au niveau de l'année, afin de connaître la période ou les saisons de pointe ou excédentaires et les périodes dites de l'étiage.

Le graphique de la figure 4.19 montre la variation mensuelle des débits de l'oued El Abid à la station d'Ait Ouchène et de l'Assif Ahançal à la station de Tillouguite. On remarque que la variabilité hydrométrique mensuelle des deux cours d'eau est faiblement liée à la période hivernal (période pluvieuse). Les débits atteignent leurs minimums depuis le mois de juillet

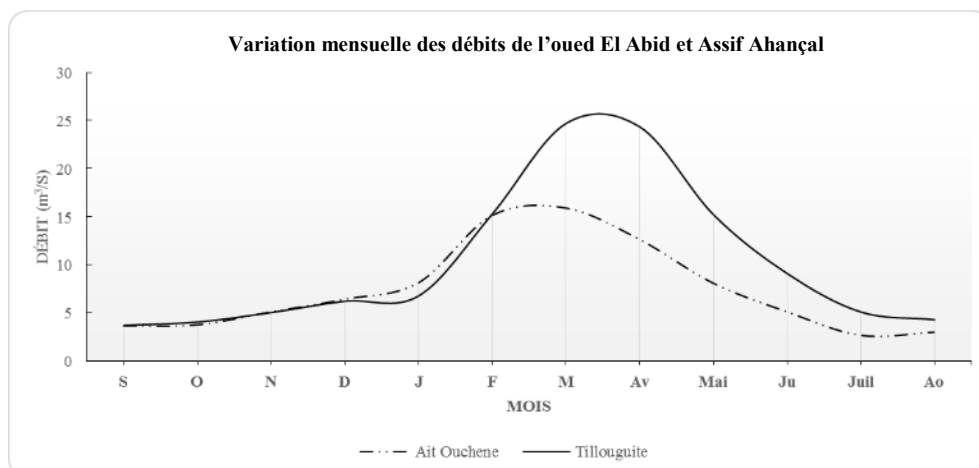


Figure 4.19 : Variation mensuelle du régime hydrométrique de l'oued El Abid à Ait Ouchène et Assif Ahançal à Tillouguite (1980/81-2010/11)

jusqu'à janvier, et les hauteurs maximum sont enregistrés depuis le mois de Février jusqu'au mois de Mai. Le mois de Mai enregistre les débits maximum (15,9 m<sup>3</sup>/s pour *Ait Ouchène* et 24,7 m<sup>3</sup>/s pour *Tilouguite*). Ce régime de variabilité mensuelle peut être expliqué par le comportement du bassin versant influencé par ses caractéristiques physiques, tel que la topographie, la morphométrie, la lithologie et ses caractéristiques de perméabilité et la répartition spatiale du couvert végétale dans le bassin versant.

Les caractéristiques topographiques, morphométriques et surtout lithologiques du sous bassin versant de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* privilégient tous l'infiltration des eaux de pluie qu'un écoulement superficiel. Ce qui peut expliquer les valeurs faibles des débits de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* bien qu'il reçoit des moyennes pluviométriques considérables par rapport aux autres parties du bassin versant de l'oued *El Abid* à l'amont du barrage *Bin El Ouidane*.

Le décalage qui existe entre les mois de fortes précipitations et les mois de hauts débits des deux cours d'eau peut être expliqué par les précipitations nivales et la dominance des formes karstiques souterraines. Les précipitations nivales qui surviennent pendant la période hivernale ralentissent l'écoulement des eaux, et ne le déclenche qu'à partir du mois de mars, les températures élevées permettent la fonte des neiges ce qui aboutit à un fort écoulement des eaux des oueds. Quant aux formes karstiques souterraines déjà caractérisées dans le chapitre 2, le caractère perméable et semi perméable du substratum du bassin versant favorise l'infiltration d'une importante partie des eaux pluviales pour les remettre à la surface à travers des sources karstiques (résurgences), ce qui augmente le débit de ces cours d'eau hors la période hivernale.

En termes de comparaison, en calculant le débit spécifique ( $Q_s$ )\* des deux cours d'eau étudiés, on constate que l'*Assif Ahançal* a un débit (0,004 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) un peu plus élevé par rapport au débit (0,003 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène*.

### III. 3 Caractérisation des fluctuations d'écoulement

Pour mettre en évidence les fluctuations majeures qu'a pu connaître le régime hydrologique des deux cours d'eau étudiés du bassin versant de l'oued *El Abid*, nous avons adopté la méthode utilisée par PROBST (1989) pour la Garonne (France) et HAIDA et al. (1999) pour le Sebou (Maroc). Cet indice permet de distinguer les grandes périodes humides et sèches,

---

\*  $Q_s$  est le rapport du débit  $Q$  du cours d'eau (m<sup>3</sup>/s) et de la surface de son bassin versant (en km<sup>2</sup>)

en utilisant les écarts (Ec) des débits moyens annuels (Qma) au débit moyen interannuel (Qmi), afin d'identifier les fluctuations du régime d'écoulement (ELBOUQDAOUI, 2006).

$$Ec (\%) = ((Qma - Qmi) / Qmi) \times 100$$

Dma : débits moyens annuels

Dmi : débit moyen interannuel

Cette méthode permet de distinguer les périodes humides (valeurs positives) des périodes sèches (valeurs négatives) (HAIDA, 1999). Les graphiques de la figure 4.20 montrent les différentes fluctuations du régime hydrométrique enregistrées au niveau des deux stations hydrologiques durant la période retenue.

Les deux graphiques de la figure 4.20 nous permettent de caractériser quatre périodes bien distinguées. Il s'agit d'une succession d'années sèches et d'années humides :

**La première période** : s'étend de 1980/81 à 1986/87 Pour l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* et à 1985/86 pour la station de *Tilouguite*. Il s'agit d'une période très sèche durant laquelle les stations ont enregistré des débits très inférieurs par rapport à la moyenne interannuelle. Au cours de cette période, aucune année humide n'a intercalé les années sèches.

**Deuxième période** : s'étend de 1987/88 à 1996/97. C'est une période généralement humide, avec quatre années sèches (1989/90, 1991/92, 1992/93 et 1994/95). Cette phase humide est caractérisée par la présence d'une année considérée extrêmement humide à l'échelle nationale, il s'agit de l'année hydrologique 1995/96. Cependant, cette année excédentaire a été précédée et suivi par des années sèches sans qu'il y ait eu une période de transition.

- **Troisième période** : elle s'étend de 1997/98 à 2007/08. Le régime hydrométrique est généralement déficitaire, avec présence d'une année (2003/04) excédentaire pour la *l'Assif Ahançal* et deux années excédentaires (2003/04 et 2005/06) pour l'oued *El Abid*. Cette période constituée de 9 ou 10 années déficitaires est considérée la plus longue, car les débits des deux cours d'eau n'ont jamais enregistré telle durée avec des valeurs inférieures à la moyenne interannuelle.

- **Quatrième période** : elle s'étend de 2008/09 à 2010/11. Cette période est constituée de trois années excédentaires, durant lesquelles les deux stations hydrométriques des deux cours



d'eau ont enregistré des hauteurs maximums du débit (notamment la station de *d'Ait Ouchène* en 2009/10).

En termes de comparaison, *Assif Ahançal* a connu au cours de la période retenue, 20 années déficitaires contre 19 années pour oued *El Abid*. De même, on dénombre 12 années excédentaires pour l'oued *El Abid* et 11 années pour *l'Assif Ahançal*.

La distinction des années déficitaires et des années très déficitaires a été faite par comparaison au seuil de la sécheresse qui est défini par la moyenne annuelle des années déficitaires, même chose pour les années excédentaires et très excédentaires.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 4.10. Ce tableau ne fait apparaître que les années très déficitaires qui représentent 29% de la série d'observation pour oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et 25,8% pour *Assif Ahançal* à *Tilouguite*, et pour les années déficitaires, elles

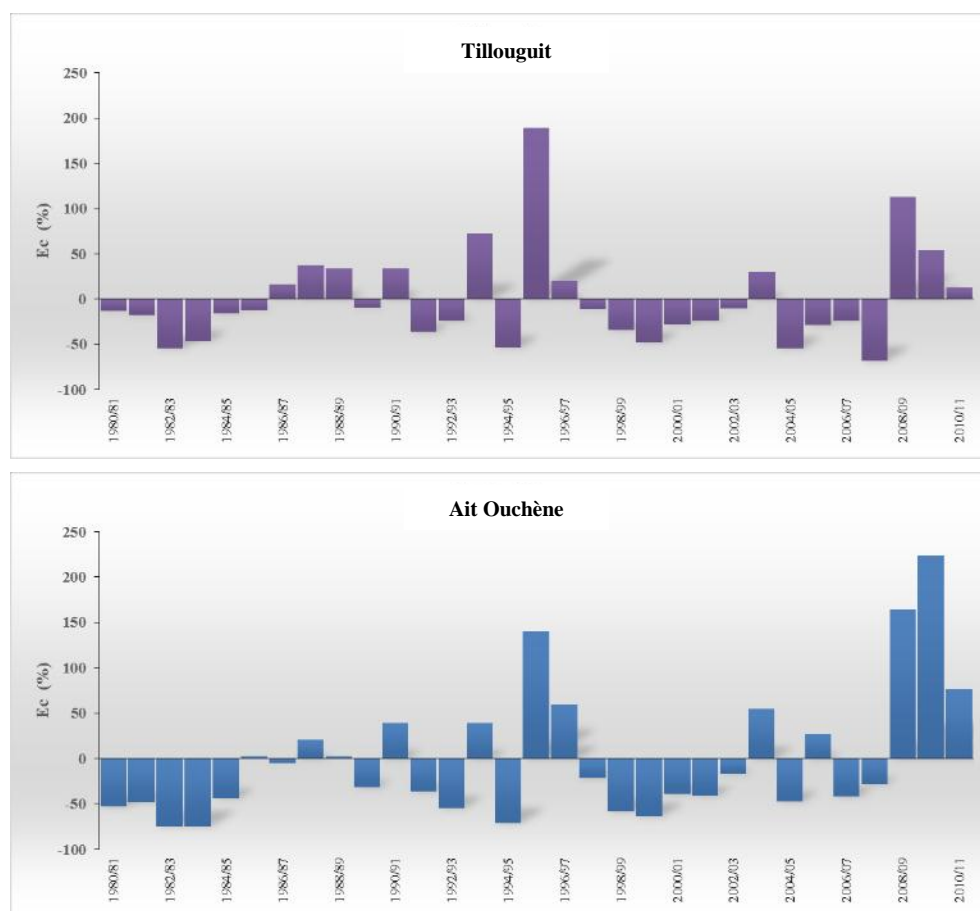


Figure 4.20 : l'écart à la moyenne annuelle des débits de l'oued El Abid et *Assif Ahançal* (1980/2010)

représentent 32,3% pour l'oued *El Abid* et 38,7% pour *Assif Ahançal*. Par contre. Les années excédentaires et très excédentaires représentent respectivement 25,8% et 12,9% pour Oued *El Abid*, 25,8% et 9,7% pour *Assif Ahançal*. Ainsi on peut dire que les années déficitaires sont les plus fréquentes par rapport aux années excédentaires.

Tableau 4.10 : Fréquence des années déficitaires et excédentaires du régime hydrométrique des deux cours d'eau (1980/81 à 2010/11).

	<b>Oued <i>El Abid</i></b>				<b>Assif Ahançal</b>			
	T. Déf.	Déf.	Excd.	T. Excd.	T. Déf.	Déf.	Excd.	T. Excd.
Nbre d'années	9	10	8	4	8	12	8	3
Fréquences (%)	29	32,3	25,8	12,9	25,8	38,7	25,8	9,7

T. Déf : Très déficitaire. Déf : Déficitaire. Exc : Excédentaire. T. Excd : Très excédentaire

Cette méthode nous a permis donc de mettre en évidence des séquences déficitaires et des séquences excédentaires. Nous pouvons dire que le régime hydrométrique des deux sous bassins versants fluctue entre des périodes déficitaires et excédentaires, avec une importante fréquence des séquences déficitaires. Cette situation est étroitement liée aux fluctuations du régime pluviométrique à l'échelle du bassin versant.

### **III. 4 Relation précipitations / débits annuels**

Pour dégager la relation qui existe entre le régime pluviométrique et le régime hydrométrique à l'échelle du bassin versant, nous avons adopté la méthode de corrélation. Cette méthode a été testée avec succès dans plusieurs études (HAIDA, 1999; ELBOUQDAOUI, 2006 ; ELGHACHI, 2007 ; BODIAN, 2011, BISSOUR et *al*, 2018).

Cette corrélation a été réalisée entre la moyenne pluviométrique annuelle, pour chacun des deux sous bassins versants, et les débits moyens annuels des deux cours d'eaux. Les deux graphiques de *la figure 4.21* montrent les résultats obtenus. On constate que les précipitations et les débits à l'échelle des deux sous bassins versants présentent des « Coefficients de Corrélations » très significatifs (76% pour *Assif Ahançal* et 75% pour Oued *El Abid*), ce qui peut expliquer les diminutions des débits des deux cours d'eau indépendamment des fluctuations du régime pluviométrique au niveau du bassin versant. Cette diminution remarquée pour certaines années peut être expliquée par le fait du caractère perméable du substratum calcaire qui marque la lithologie du bassin versant de l'oued *El Abid*. Cette lithologie perméable joue le rôle d'une éponge, qui emmagasine les eaux des années humides et les restitue pendant les années sèches

Pour récapituler, on rappelle que la durée de la sécheresse pluviométrique à l'échelle du bassin versant a duré 16 années pour la période 1980/81-2010/11, et pour la même période, « la sécheresse hydrologique » est un peu plus importante (20 années pour *Assif Ahançal* et 19 années pour oued *El Abid*). Les périodes d'années humides successives, pour le régime hydrométrique, sont courtes et coïncident avec celles du régime pluviométrique.

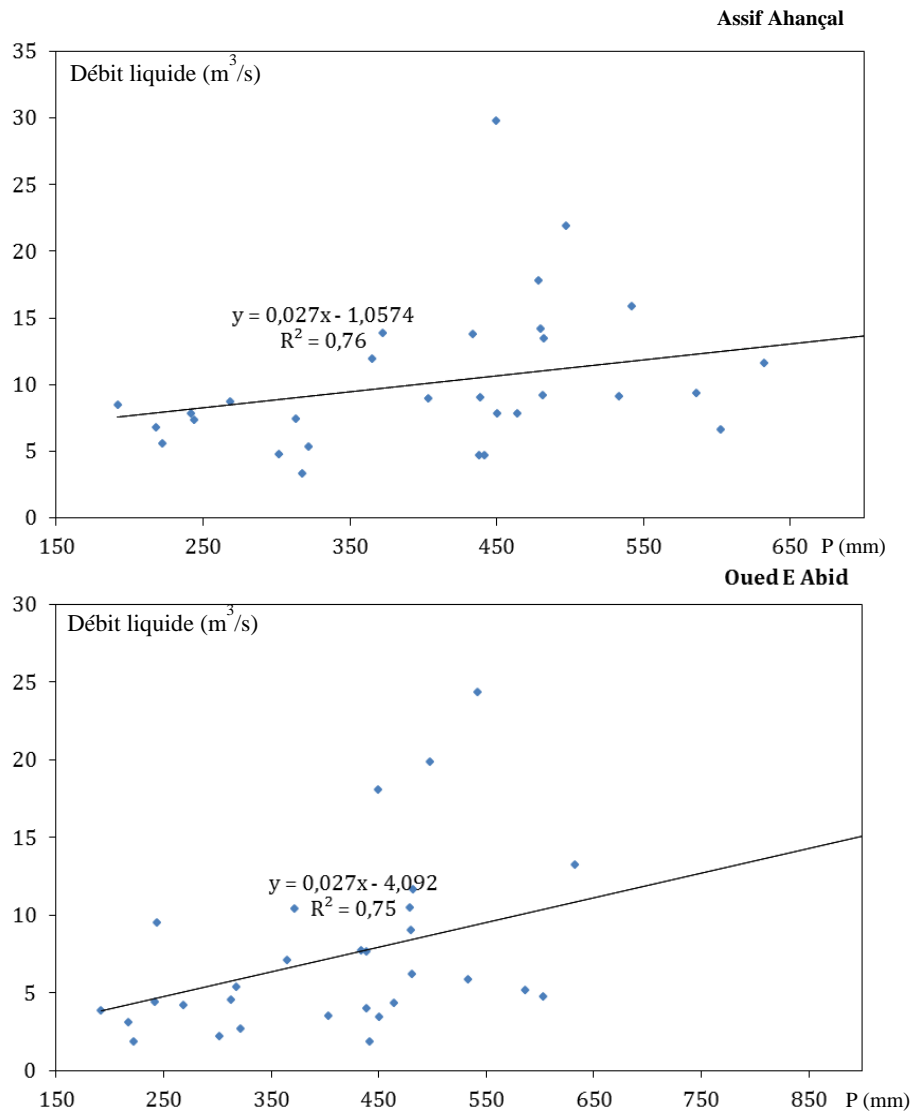


Figure 4.21 : Corrélation entre la pluviométrie annuelle spatialisée et les débits moyens annuels des deux stations hydrométriques (1980/81-2010/11)

## Conclusion

L'étude des fluctuations pluviométriques et hydrométriques au niveau du bassin versant de l'oued *El Abid* en amont du barrage de *Bin El Ouidane* par les différentes méthodes utilisées a permis de mettre en évidence une succession hétérogène d'années sèches et humides.

L'utilisation des indices de caractérisation des événements pluviométriques sèches et humides, comme la *méthode de BAGNOULS et GAUSSEN*, l'Ecart à la moyenne (Em) et l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI), nous a permis d'obtenir des résultats très significatifs. Parmi les principaux résultats qu'on n'a pu sortir de cette étude, on note :

- les années de la chronique étudiée (1980/2012) sont marquées par la fréquence des mois secs par rapport aux mois humides
- les années considérées sèches et très sèches sont un peu plus fréquentes (51%, soit 17 ans) par rapport aux années humides et très humides (49 %, soit 16 ans). En revanche le déficit moyen, pour la période sèche, estimé à l'échelle du bassin versant, est de l'ordre de 104 mm, contre un excédent moyen de 113 mm pour la période humide.
- la plupart des années de la période retenue ont un caractère normal. Le SPI montre que les périodes déficitaires sont un peu plus persistantes dans le temps et un peu plus étendues dans l'espace.

La caractérisation de la variation des débits des deux cours d'eau, par l'indice « Em », montre une dominance plus ou moins importante des années déficitaires par rapport aux années excédentaires. Cette variation du régime hydrométrique, au cours de la période 1980/2010, des deux cours d'eau étudiés (Oued *El Abid* au niveau de la station d'*Ait Ouchène* et *Assif Ahançal* au niveau de la station de Tilouguit), a une forte relation avec les fluctuations pluviométriques, avec des coefficients de corrélation significatives (76% pour *Assif Ahançal* et 75% pour oued *El Abid*).

Ainsi, on peut conclure que les fluctuations du régime pluviométrique et du régime hydrométrique sont susceptibles d'avoir un fort impact sur l'évolution des apports de la retenue du barrage de *Bin El Ouidane*, d'où la nécessité de rationaliser la consommation de l'eau de la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* dans les différents secteurs à l'aval (l'irrigation, industrie, alimentation en eau potable et tourisme)

**I**

**Modèle et modélisation hydrologique**

**II**

**Définition des modèles utilisés**

**III**

**Présentation des données d'entrée**

**IV**

**Les résultats de la modélisation**

**V**

**Calage et validation des résultats de la modélisation pluie-débit**

**VI**

**Discussion des résultats de modélisation pluie-débit**

## Introduction

Afin de comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued *El Abid*, nous procédons, dans ce chapitre, à la modélisation hydrologique. Il s'agit d'un processus qui permet une représentation simplifiée du système, dit complexe, d'un bassin versant (topographie, géologie, sol, végétation, climat, etc.), dans le but de comprendre sa dynamique en matière de ressources en eau (débits et apports), afin, soit de rationaliser son utilisation, soit de lutter contre les inondations.

Aujourd'hui, il existe une bibliothèque très riche de modèles et modélisation hydrologique. Les premières études de modélisations hydrologiques ont commencé avec TURC (1954) dans lesquelles il a essayé d'estimer le bilan d'eau des sols en cherchant des relations entre les données des précipitations, de l'évapotranspiration et des débits ou écoulements. Puis, les recherches très dures de TIXERONT (1964) ont lui permis de proposer un modèle simple qui contribue à la prévision des apports des cours d'eau. Ainsi, plusieurs essais (SINGH, 1988; EDIJATNO, 1989 ; KABOUYA, 1990; LEE, 1993; MAKHLOUF, 1994; BUCHETELE et *al*, 1996; RAKEM, 1999; SAUQUET 2000; Perrin 2000; ANDREASSION, 2002; OUDIN, 2002; GUO, 2002, MOUELHI, 2003) ont succédé pour contribuer à l'élaboration des modèles hydrologiques simples et performants.

Ainsi, nous jugeons utile dans ces conditions, l'abondance des modèles, d'effectuer, d'une part, un examen bibliographique des modèles qui fonctionnent dans les mêmes conditions physiques que celle du bassin versant de l'Oued *El Abid* (type du climat, régime hydrologique, présence d'un barrage à l'aval, etc.), d'autre part, de s'arrêter sur les critères de données disponibles (nombre restreint de données : seulement les données de la pluviométrie, de la température et du débit). En tenant compte de ces critères, nous avons choisi un modèle hydrologique récent, simple, réputé qui demande un nombre de données très réduit, et qui permet d'établir une relation entre les volumes d'eau précipités et les volumes d'eau écoulés. Il s'agit des modèles pluie-débit de la famille GR (Génie Rural) : GR1A et GR2M.



## I. Modèle et modélisation hydrologique

### I.1 Définition d'un modèle

Ce n'est qu'en 1952, que le mot « modèle » a trouvé son emploi scientifique, pour qu'il soit répandu rapidement dans diverses sciences, y compris les sciences humaines (économie, sociologie, linguistique, etc.). De cet emploi dérivent modéliser, modélisation (attestés entre 1970 et 1980). Le mot « modèle » peut être défini, selon « Le Glossaire International d'Hydrologie », comme une « Représentation sous une forme quelconque d'un objet, d'un processus ou d'un système », alors que « Le Dictionnaire de l'environnement » donne au mot "modèle" la définition suivante : " Représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir". Ainsi, il peut être considéré comme une représentation simplifiée de la réalité, avec laquelle on essaye de prévoir le fonctionnement d'un système avec précision. Dans les différents champs scientifiques, le modèle trouve une large variété, en changeant d'une discipline à l'autre, et selon l'objectif de l'étude. Ainsi, les modèles peuvent être classés en cinq catégories, il peut être donc, déterministe, stochastique, statistique, empirique ou conceptuel. Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés par les modèles de type conceptuel.

### I.2 Modèle hydrologique

En hydrologie, un modèle hydrologique conceptuel est défini, comme écriture mathématique du cycle de l'eau (MOUELHI, 2003), ou au sens plus large, selon la définition du *Glossaire International d'Hydrologie*, est une représentation mathématique d'un bassin, d'un système d'eau, d'une série de données, etc. Pour donner plus de précision au terme, le glossaire proposé par le comité national français des sciences hydrologiques, le définit comme une « représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique par un ensemble de concepts hydrologiques exprimés en langage mathématique et reliés entre eux dans des séquences temporelles et spatiales correspondant à celles que l'on observe dans la nature ». Les modèles conceptuels ont donc pour objectif la simulation du comportement hydrologique d'un bassin.

## II. Définition des modèles utilisés

### II.1 Choix de l'échelle temporelle de modélisation

Le paramètre de l'échelle du temps dans la modélisation n'est pas souvent précisé, et rares sont les auteurs qui s'intéressent à l'impact de l'échelle de temps sur la modélisation pluie-débit (MOUELHI, 2003). Cependant, étant donné que nous nous intéressons à l'étude des ressources en eau et du bilan hydrique de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*, l'échelle de temps qui nous paraît très convenable et significative est celui au pas annuel et mensuel. Quant aux pas du temps journalier et instantané, ils nous semblent inutiles pour ce genre d'étude, mais ils trouvent leur utilité dans les études des risques d'inondation.

### II.2 Description des modèles utilisés

La modélisation hydrologique des relations pluie-débit est une étape indispensable dans les études de caractérisation des ressources en eau et évaluation des bilans hydrologiques des bassins versants. On décrit dans ce qui suit la structure et le fonctionnement des deux modèles hydrologiques conceptuels, GR1A au pas de temps annuel et GR2M au pas de temps mensuel. Ces deux modèles peuvent donner d'excellents résultats dans les climats de type semi-aride et subhumide (DRIOUECH et *al.*, 2010, QADEM, 2015).

#### II.2.1 Le modèle GR1A

##### II.2.1.1 Présentation du modèle GR1A

Le modèle GR1A, comme les autres modèles hydrologiques du « *Génie Rural* », a été développé au laboratoire CEMAGREF à la fin des années 1990, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue de l'utiliser dans des applications d'évaluation et de gestion des ressources en eau (PERRIN et *al.*, 2007). Il est largement réputé et très utilisé dans les travaux de la modélisation pluie-débit dans différentes régions soit en Afrique du Nord, de l'Est ou en Europe (BODIAN et *al.*, 2012, BOUANANI et *al.*, 2012, OTMANE et *al.*, 2017). Ce modèle trouve sa robustesse et son avantage, comme les autres modèles de GR, par le nombre très limité des paramètres de réglage. Il a été choisi car il ne demande qu'un unique paramètre annuel à caler.

La version du modèle que nous avons adoptée pour ce travail et que nous décrivons dans ce qui suit est celle développée par MOUELHI (2003) et MOUELHI et *al.* (2006a).

### II.2.1.2 Description mathématique du modèle GR1A

La structure du modèle GR1A a été fondée sur une simple équation qui permet de simuler le débit  $Q$  d'une année  $k$  en étant proportionnel à la pluie  $P_k$  de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de  $P_k$ , de la pluie  $P_k$  de l'année  $k-1$  et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne  $E$ . L'équation permettant de simuler le débit  $Q_k$  est définie comme suit :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

où  $X$  est l'unique paramètre du modèle.

Cette équation est dérivée de la formule de TURC (1955), qui donne l'écoulement moyen interannuel. Une recherche systématique de la meilleure manière de prendre en compte l'état antérieur du système a montré que l'on devait se limiter à la pluie de l'année précédente et l'année en cours.

### II.2.1.3 Le paramètre « X » du modèle

Le paramètre «  $X$  » traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur un extérieur non atmosphérique (par exemple échange avec des nappes profondes ou avec des bassins adjacents dans le cas d'une non-superposition des limites topographiques et géologiques) :

- si «  $X$  » est supérieur à « 1 », le système perd de l'eau
- et si «  $X$  » est plus petit que « 1 », le système en gagne, le tout exprimé en fraction de l'ETP.

Ainsi, le paramètre «  $X$  » adimensionnel, apparaît comme un coefficient modulateur de l'évapotranspiration potentielle. Après avoir travaillé sur un large échantillon de bassins versants, par les chercheurs du CEMAGREF, la médiane de «  $X$  » vaut 0.7 et un intervalle de confiance à 90% est donné par [0.13; 3.5].

## II.2.2 Le modèle GR2M

### II.2.2.1 Présentation du modèle GR2M

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à deux (2) paramètres Mensuels) a été initié au CEMAGREF à la fin des années 1980, avec des objectifs d'application dans le domaine des ressources en eau et des étiages (PERRIN, 2007). Il est l'un des modèles pluie-débit de la famille GR. Cette dernière est constituée d'un ensemble de modèles qui se différencient par leurs échelles temporaires et les paramètres de fonctionnement, tel que les Modèles GR4J, GR3J se basant sur une échelle journalière, GR2M, se basant sur une échelle mensuelle et GR1A qui fonctionne à une échelle annuelle.

Depuis sa première version, le modèle GR2M s'est beaucoup développé grâce aux travaux de recherches des hydrologues de CEMAGREF qui ont permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. Parmi ces chercheurs hydrologues, on trouve KABOUYA (1990), KABOUYA et MICHEL (1991), MAKHLOUF (1994), MAKHLOUF et MICHEL (1994), MOUELHI (2003) et MOUELHI *et al.* (2006).

La version du modèle GR2M que nous avons retenue pour ce travail est la version améliorée par MOUELHI en 2006 après avoir travaillé sur un échantillon de 410 bassins représentant un large éventail de conditions climatiques, depuis un climat de type semi-aride jusqu'au climat tropical humide, en passant par un climat tempéré. Et ceci en partant des travaux antérieurs du modèle à échelle journalière à quatre paramètres (MOUELHI *et al.*, 2006b), ce qui donne, certainement, la version la plus performante du modèle GR2M. Cette performance a été confirmée par le nombre très important des recherches qui se sont basées sur cette version du modèle (MOUELHI *et al.*, 2017, BOUANANI *et al.*, 2013, DJELLOULI *et al.*, 2015). Ce modèle global est constitué d'un réservoir de production qui régit la fonction de production et qui est caractérisé par sa capacité maximale et d'un réservoir « *eau gravitaire* » qui régit la fonction de transfert (KOUASSI *et al.*, 2012). 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.

### II.2.2.2 Description mathématique

La description mathématique du modèle GR2M peut être simplifiée par le schéma de la figure 5.1 ci-dessous. Ce schéma résume les processus de fonctionnement d'un bassin versant

en termes des ressources en eau afin de simuler le débit  $Q$  à l'exutoire du bassin. De façon simplifiée, on retient que le modèle associe un réservoir de production et un réservoir de routage ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur du bassin autre que le milieu atmosphérique. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique du bassin versant. Ces fonctions sont décrites dans ce qui suit. Les équations qui régissent le modèle GR2M et chacune de ces trois fonctions sont consignées dans la figure 5.1.

#### II.2.2.2.1 Etape de production

Si on considère que notre bassin versant a reçu une quantité de précipitation mensuelle ( $P$ ) pendant un mois donné, une partie de cette quantité de précipitation s'ajoute au réservoir  $S$  au début de pas du temps, le nouveau réservoir sera  $S_1$  [Equation (1)], alors que l'autre partie de précipitation ( $P_1$ ) est considéré comme excès, elle peut être calculé par [l'équation (2)]. Ce niveau du réservoir  $S_1$  sera influencé par l'effet de l'évapotranspiration ( $E$ ), ainsi,  $S_1$  devient  $S_2$  [Equation (4)]. Le paramètre ( $X_1$ ) considéré comme capacité du réservoir, est positif et exprimé en mm.

#### II.2.2.2.2 Etape de percolation

Par le fait de la percolation, une partie du réservoir  $S_2$  se vidange pour donner un volume d'eau désigné par  $P_2$ . Ce volume d'eau  $P_2$  s'ajoute au volume d'eau de précipitation ( $P_1$ ) considérée comme excès, pour donner un nouveau volume, désigné par  $P_3$ , qui peut être estimé par [l'Equation (5)].

#### II.2.2.2.3 Etape de routage

La quantité d'eau  $P_3$  atteint un nouveau réservoir, dit « *réservoir de routage* » ( $R$ ). Le nouveau niveau de ce réservoir devient alors  $R_1$ , qui peut être estimé par [l'équation (6)]. Le deuxième paramètre ( $X_2$ ) du modèle GR2M, considéré positif et adimensionnel, intervient pour estimer le nouveau volume du réservoir de routage ( $R_2$ ) après un échange souterrain (extérieur non atmosphérique du bassin). Le ( $P_2$ ) est estimé par [l'équation (7)]. Le réservoir, de capacité fixe d'environ de 60 mm, se vidange pour donner le débit dit « débit calculé » ou « débit simulé » ( $Q$ ). Ainsi, le modèle GR2M estime ce débit à partir de [l'équation (7)].

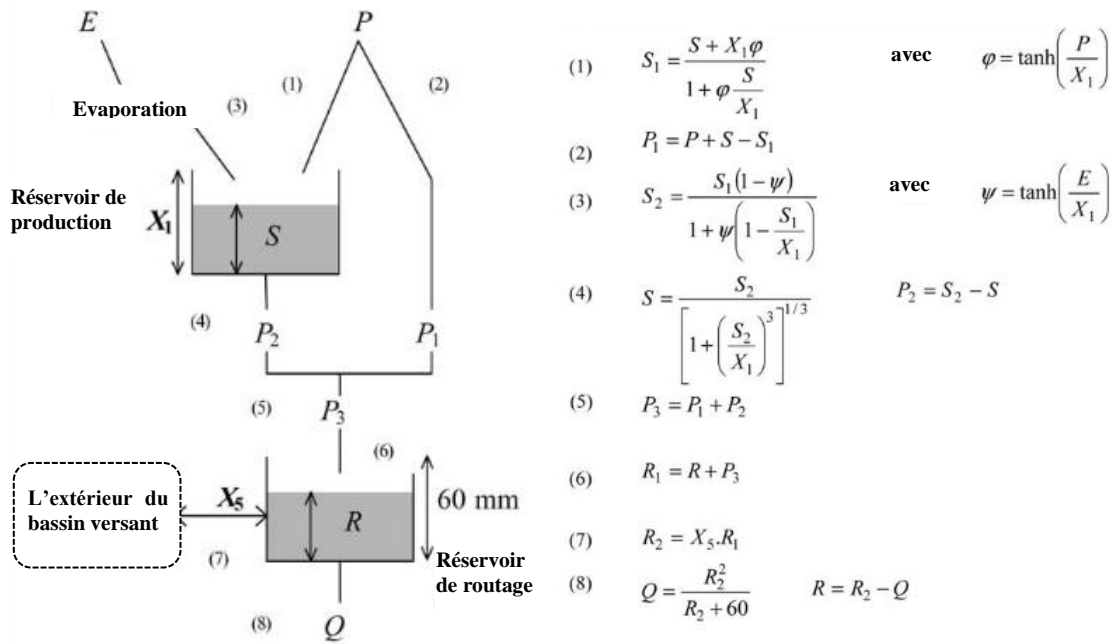


Figure 5.1 : Fonctionnement du modèle GR2M et ses équations mathématiques (MOUELHI et al. 2006b)

### II.2.2.3 Les paramètres du modèle

D'après la description mathématique précédente, on ne retient que le modèle GR2M avec deux paramètres optimisables. Le premier paramètre ( $X_1$ ) représente la capacité maximale du réservoir « sol ». Le deuxième paramètre ( $X_2$ ) représente le paramètre d'échange souterrain au niveau du réservoir « eau gravitaire » (KOUASSI et al, 2012)

Le choix de deux paramètres pour le modèle GR2M a été établi après avoir réalisé une étude comparative entre 12 architectures de modèles par MOUELHI (2003), et qui lui a permis de conclure qu'un nombre de deux paramètres libres dans un modèle conceptuel global est largement suffisant à l'échelle de temps mensuelle (MOUELHI, 2003).

Les développeurs du modèle, après avoir travaillé sur un large échantillon de bassins versants, ont obtenu l'intervalle des valeurs des deux paramètres. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 5.1.



Tableau 5.1 : valeurs des deux paramètres du modèle GR2M

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	380	140 - 2640
X2 (-)	0,92	0,21 – 1,31

## II.3 Critère d'optimisation des modèles pluie-débit

### II.3.1 Critère de NASH

La validation des résultats des deux modèles retenus pour cette étude passe par le critère de NASH et SUTCLIFF (1970). Cette validation du modèle est vérifiée par une comparaison des débits calculés et observés (BOUANANI et *al*, 2011) à travers le critère de NASH-SUTCLIFF le plus utilisé dans les modèles conceptuels. Ce critère adimensionnel permet de juger la qualité de l'ajustement et facilite la comparaison des ajustements sur différents bassins dont les écoulements correspondent à des ordres de grandeur différents (KOUASSI et *al*, 2012). Ce critère d'optimisation est donné par l'équation suivante :

$$Nash - sutcliff = 100 \left[ 1 - \frac{\sum(Q_o^i - Q_c^i)^2}{\sum(Q_o^i - Q_m)^2} \right]$$

Où

$Q_o^i$ : débits mensuels observés ;

$Q_c^i$  : débits mensuels calculés ;

$Q_m$  : débit moyen observé sur l'ensemble de la période d'observation sans lacune.

La valeur du critère de NASH-SUTCLIFF est comprise entre moins l'infini ( $-\infty$ ) et 100%. Les résultats obtenus à partir du modèle sont considérés validés seulement quand les débits calculés se rapprochent des débits observés. Ceci est traduit par la valeur du critère d'optimisation qui doit être proche de 100%. Selon les hydrologues (PERRAIN, 2000 ; MOUELHI, 2003 ; MOUELHI et *al* 2012 ; KOUASSI et *al* 2012) qui ont beaucoup travaillé sur ce type de modèles, les valeurs de NASH-SUTCLIFF supérieures ou égales à 60% sont considérées bonnes et satisfaisantes pour un bon fonctionnement du modèle.

### II.3.2 Le bilan

Le rôle du bilan dans les deux modèles retenus, est de montrer s'ils estiment ou sous-estiment les débits. Il est donc calculé à partir du débit observé rapporté au débit calculé. Graphiquement, il est estimé par l'écart entre la courbe du débit observé et la courbe du débit calculé ou simulé.

## III. Présentation des données d'entrée

Les données d'entrée pour les deux modèles retenus pour cette étude sont la pluviométrie (P), l'évapotranspiration (ETP) et les débits (Q). Dans ce qui suit on présentera brièvement ces données qui ont été déjà traitées au chapitre précédent.

### III.1 Les précipitations

Les données de précipitation que nous avons utilisées pour la modélisation pluie-débit concernent les données des cinq stations pluviométriques situées dans le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* et 9 stations situées dans les périphéries du bassin. Les données utilisées comme entrée sont les valeurs moyennes annuelles pour le modèle GR1A et les valeurs moyennes mensuelles pour le modèle GR2M. La détermination de la pluviométrie moyenne annuelle et mensuelle a été effectuée à partir de la méthode de l'Inverse du carré de la distance (IDW) et la moyenne arithmétique des stations concernées pour chaque sous bassin versant.

Le calcul de la pluviométrie moyenne spatialisée par la méthode IDW et la moyenne arithmétique a été réalisé par le logiciel Hydraccess de l'IRD. Ce logiciel nous a permis d'extraire des moyennes annuelles et mensuelles spatialisées à l'échelle de tout le bassin versant et de ses deux sous bassins élémentaires. Les tableaux de l'annexe III montrent les résultats de la spatialisation effectuée sous Hydraccess en se basant sur les 14 stations retenues pour cette étude.

### III.2 Les débits

Les débits utilisés dans la modélisation pluie-débit proviennent des trois stations hydrométriques qui déterminent le bassin versant de l'oued *El Abid* et ses deux sous bassins versants élémentaires. Il s'agit des données hydrométriques de la station du barrage de *Bin El Ouidane*, de la station d'*Ait Ouchène* sur l'oued *El Abid* et de la station de *Tilouguite* sur *Assif*

*Ahançal*. D'autres stations hydrométriques sont installées à l'amont des deux dernières stations, mais elles définissent deux sous bassins versants non représentatifs, et nous envisageons, qu'ils ne donnent pas de résultats significatifs vu que la densité des stations pluviométriques qui les entourent est très faible. C'est pourquoi nous nous sommes contentés de deux sous bassins versants de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* et de l'*Assif Ahançal* à *Tilouguite*.

Les données hydrométriques qui proviennent des trois stations de mesure des débits sont converties en lames d'eau écoulées. Les valeurs des lames d'eau écoulées (exprimées en mm) sont obtenues en divisant les volumes d'eau écoulées (exprimés en m<sup>3</sup>/s) en une station de mesure par la superficie du bassin versant à cette station. Cette conversion permet aux deux modèles retenus de comparer ces lames d'eau écoulées avec celles précipitées (pluviométrie). La chronique des débits dont nous disposons pour la modélisation pluie-débit concerne la période 1980-2010 (31 ans).

### III.3 La température et l'ETP

La station de *Tilouguite* est la seule qui mesure la température à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*. Ses données thermométriques s'étendent de 1990 à 2013. Cette chronique semble insatisfaisante pour cette étude de modélisation, ce qui nous a imposé d'adopter d'autres sources. Notre choix est tombé sur les données thermométriques du Climatic Research Unit – CRU (JONES et al, 2013). Ces données de température sont disponibles dans une plateforme cartographique<sup>7</sup> et couvrent la période 1901-2017, et spatialisées sur une grille à haute résolution (0,5 x 0,5 degré), produites à l'Université de East Anglia. Ces données de températures de CRU, comme les autres paramètres, sont calculées à partir des données quotidiennes ou sous-quotidiennes produites par les Services météorologiques nationaux et d'autres agents externes.

Pour valider ces données de température de CRU, nous avons effectué une corrélation entre les données issues de la station de *Tilouguite* et les données de CRU pour la période 1990-2013. La valeur obtenue est de 0,96. Ceci nous a permis de retenir les données de température de CRU, afin d'élargir la période de série de température.

Les données de température ont été utilisées pour calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP). Les valeurs de l'ETP sont calculées à l'aide de la formule de Thornthwaite qui est la

---

<sup>7</sup> <http://www.globalclimatemonitor.org/> (dernière consultation : Aout 2017)

plus connue mondialement et la plus largement utilisée (LECARPENTIER, 1975), elle est donnée par l'équation suivante :

$$ETP = 16 * \left( \frac{10 * T}{I} \right)^a * K$$

où T : est la température moyenne du mois (en °C)

I : est un indice annuel donné par la formule :

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

Où les 12  $i$  sont des indices mensuels, chacun d'entre eux étant fourni à son tour par la formule :

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

$a$  : est un indice lié à la température qui s'exprime par :  $a = 0016 I + 05$

K : est un correctif fonction de la donnée non climatique qui est la durée d'éclairement, il est en fonction de la latitude.

L'annexe IV présente les valeurs de l'ETP calculées pour le bassin versant et les deux sous bassins élémentaires (*Ait Ouchène et Tilouguite*).

#### **IV. Les résultats de la modélisation**

Après avoir préparé toutes les données d'entrée pour les deux modèles hydrologiques retenus pour cette étude, nous allons procéder à une modélisation pluie-débit dans un premier lieu avec un pas de temps annuel, et en second lieu, à un pas de temps mensuel.

L'utilisation des deux modèles nécessite un jeu de calibration des paramètres (X : pour GR1A, et X1 et X2 pour GR2M), jusqu'à ce qu'on obtient des valeurs de coefficient de « *NASH* » et du « *bilan* » très satisfaisantes et très représentatives. Les valeurs du « *NASH* » et du « *bilan* » qu'on doit obtenir, permettent aux modèles d'estimer des « *débits simulés* » approximatifs des débits observés. Afin d'avoir les valeurs les plus optimales des paramètres des deux modèles, nous avons utilisé la fonction « *Solveur* » dans Excel. Ainsi, nous allons présenter les résultats de modélisation de chaque modèle retenu à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid (BVOEA)* amont barrage *Bin El Ouidane* et à l'échelle de ses deux sous bassins

versants élémentaires ; Oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* et *Assif Ahançal* à la station de *Tilouguite*.

## IV.1 Modélisation pluie-débit au pas de temps annuel (GR1A)

### IV.1.1 A l'échelle du *BVOE*

#### IV.1.1.1 Pluie avec méthode IDW

L'application du modèle GR1A sur le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* sur la période 1980/81 – 2010/11 donne des résultats très satisfaisants. Après avoir trouvé une valeur optimale du paramètre « X » qui est de 1,92, cette valeur a permis au modèle GR1A de simuler les débits avec une précision très significative. Cette précision est traduite par les valeurs du critère de NASH-SUTCLIFF et du bilan qui sont successivement de 77,0% et 97,0%. Ces valeurs sont satisfaisantes pour dire que le modèle est performant dans la simulation des débits. L'hydrogramme de la figure 5.2 montre les variations de la pluviométrie annuelle en relation avec les débits observés et les débits simulés par le modèle GR1A.

D'après cet hydrogramme nous constatons que les débits simulés varient en harmonie avec les débits observés, et l'écart entre les deux est un peu faible, ceci a été traduit par la valeur du bilan qui est de 97,0%.

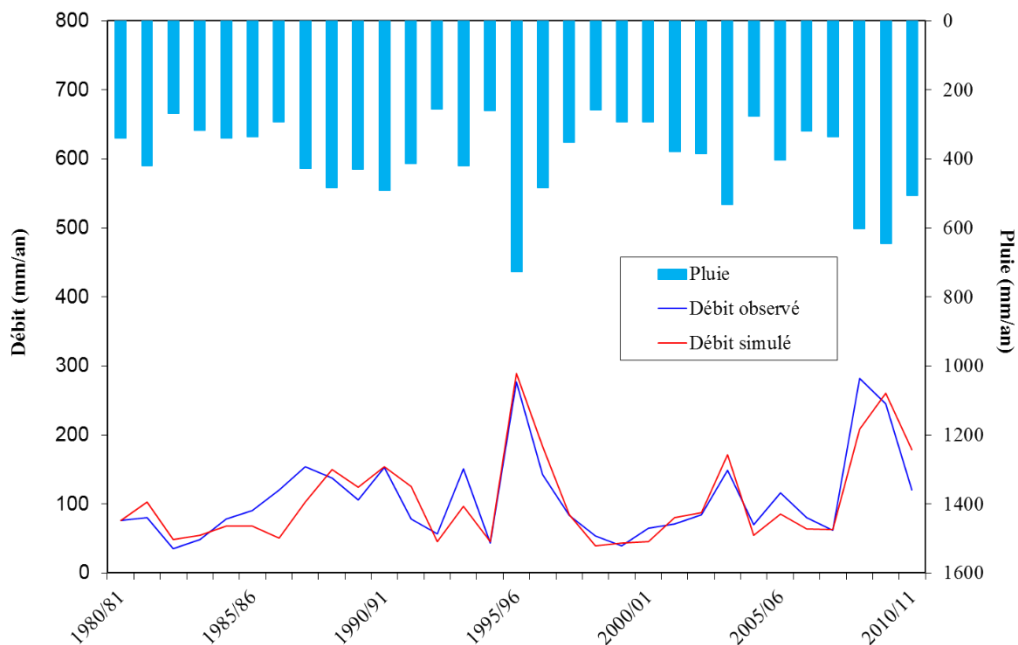


Figure 5.2 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du BVOEA avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.

#### IV.1.1.2 Pluie avec méthode moyenne arithmétique

L'exercice de modélisation pluie-débit au niveau du bassin versant de l'oued *El Abid* avec des données pluviométriques calculées par méthode de moyenne arithmétique a permis d'obtenir des résultats très proches aux résultats précédents obtenus par la méthode IDW. Les critères de performance de NASH et le bilan sont satisfaisants, ils sont successivement de l'ordre de 76,7% et 98,3%. La figure 5.3 montre la qualité du modèle GR1A appliqué sur le bassin versant de l'oued *El Abid*.

D'après les deux figures précédentes, l'estimation des débits au niveau du bassin versant pour la période 1980/81 – 2010/11 en utilisant le modèle GR1A semble satisfaisante. Cependant, il a fortement sous-estimé les débits des années 1986/87, 1993/94 et 2008/09.

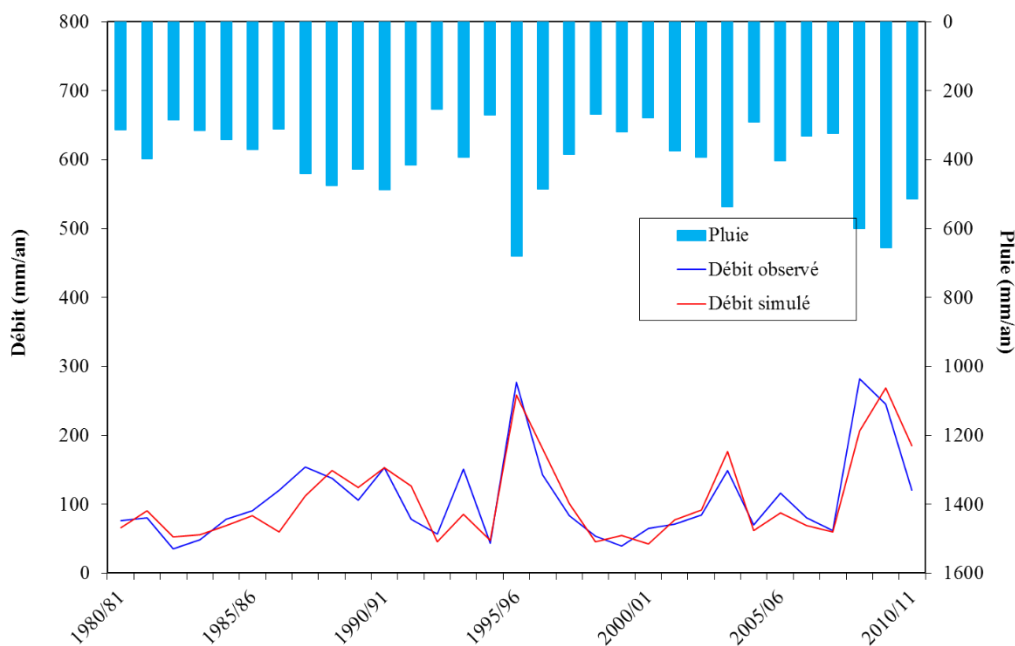


Figure 5.3 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du BVOEA avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

#### IV.1.2 A l'échelle du sous bassin versant de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène*

##### IV.1.2.1 Pluie avec méthode IDW

Le modèle GR1A a pu estimer les débits de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* avec un bilan très satisfaisant et très proche de celui observé pendant la période de suivi 1980/81 – 2010/11. Le bilan obtenu avec les données pluviométriques calculées par méthode IDW est

de l'ordre de 96,7% et la valeur du critère de NASH est de 76,8%, ce qui signifie que la modélisation pluie-débit par GR1A au niveau du sous bassin versant de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* est satisfaisante. Le graphe de la figure 5.4 montre les variations des débits observés et simulés en fonction des données de précipitation issues de l'application de la méthode IDW.

D'après ce graphique, on remarque que le modèle GR1A a surestimé les débits des années 1981/82, 1989/90, 1992/93 et 1995/96, en revanche, le modèle a calculé des débits très inférieurs à ceux observés pendant les années 1985/86, 1986/87, 2005/06, 2008/09 et 2009/10.

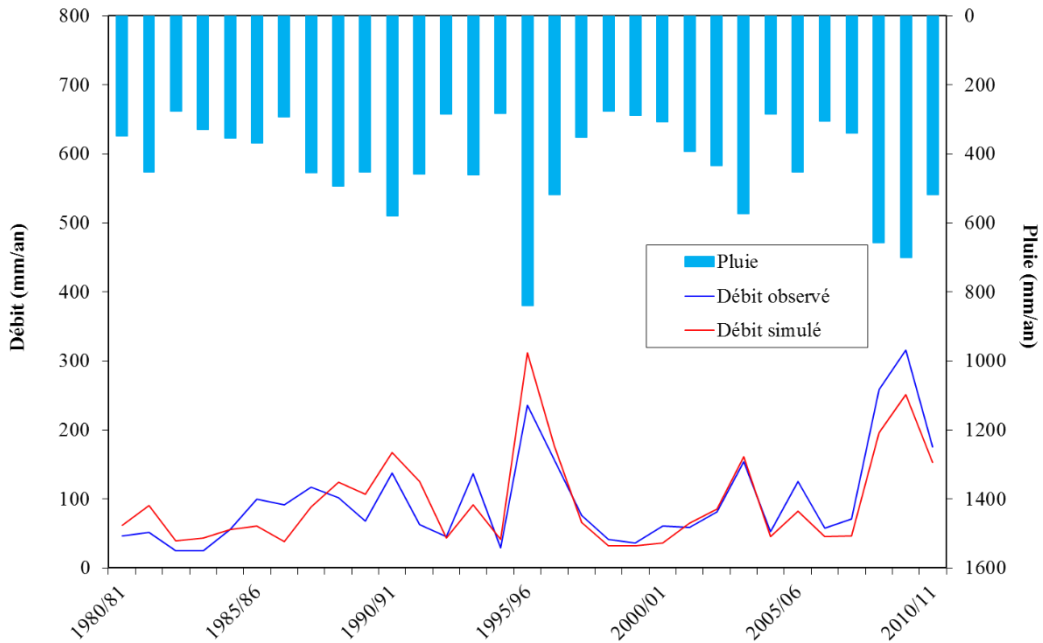


Figure 5.4 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV d'Ait Ouchène avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.



#### IV.1.2.2 Pluie avec méthode moyenne arithmétique

La modélisation pluie-débit en utilisant les données pluviométriques calculées par la méthode de la moyenne arithmétique a donné des résultats beaucoup mieux par rapport à la méthode IDW. Le critère de NASH est d'environ de 84,1% et le bilan a été estimé à 100%. L'hydrogramme de variation des débits simulés et débits observés de la figure 5.5 montre la forte cohérence entre les deux types de débits durant la période 1994/95 – 2008/09. Au-delà de cette période, le modèle varie entre la surestimation et la sous-estimation des débits par rapport aux débits observés.

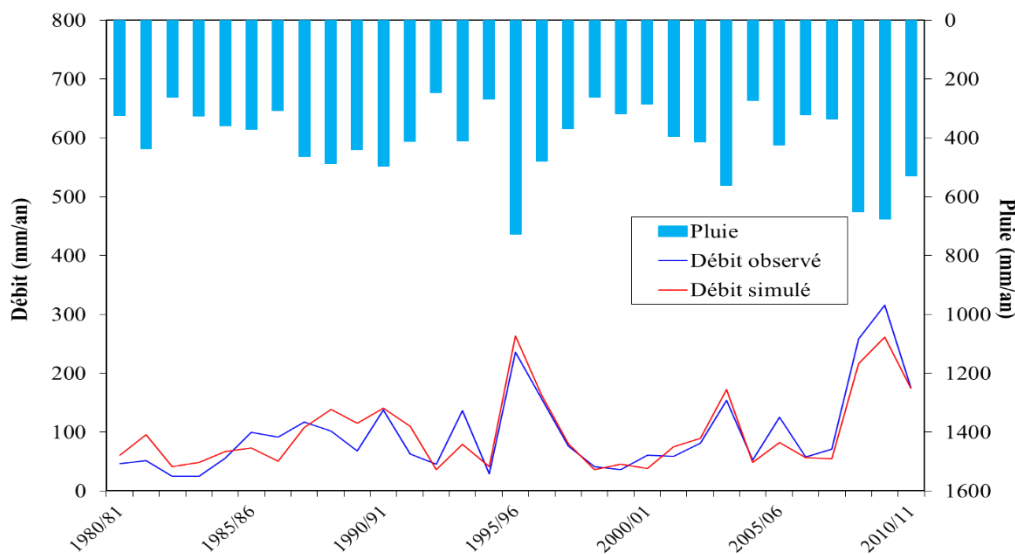


Figure 5.5 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV d'Ait Ouchène avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

#### IV.1.3 A l'échelle du sous bassin versant de l'Assif Ahançal à Tilouguite

##### IV.1.3.1 Pluie avec méthode IDW

Le modèle GR1A a donné des résultats satisfaisants pour le sous bassin versant de l'Assif Ahançal à la station de Tilouguite, mais ils restent moins importants par rapport au sous bassin versant de l'oued El Abid à la station d'Ait Ouchène et au bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane. Les critères d'optimisation du modèle GR1A appliqué sont de l'ordre de 64,0% pour le NASH et 96,4% pour le bilan hydrométrique. L'hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés de la figure 5.6 montre un écart plus ou moins important entre l'année 1985/86 et 1993/94, au-delà de cette période, la simulation du débit est largement satisfaisante.

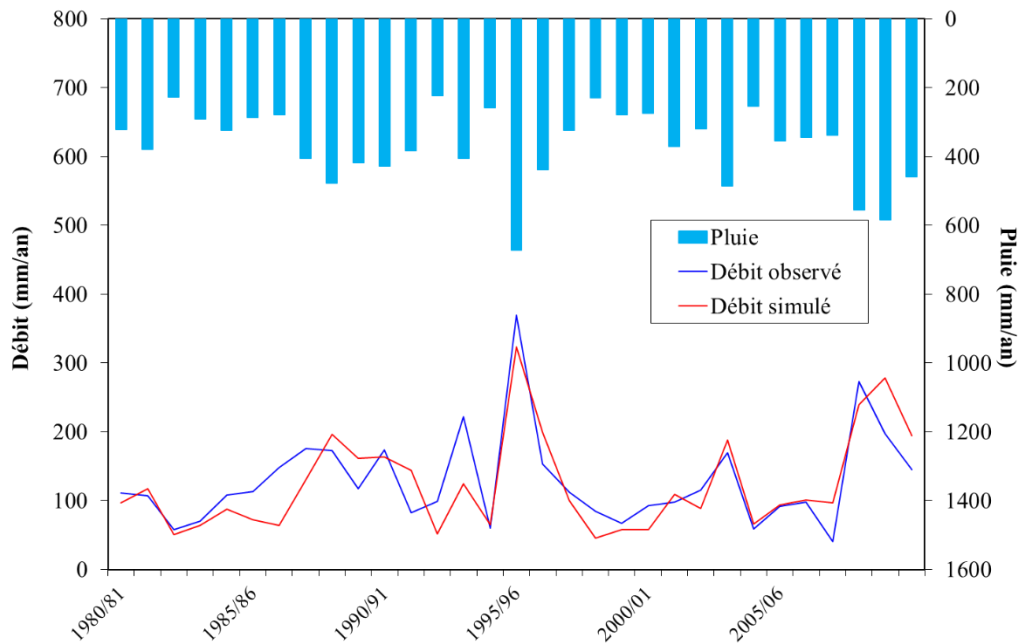


Figure 5.6 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV de Tilouguite avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.

#### IV.1.3.2 Pluie avec méthode moyenne arithmétique

Pour la modélisation pluie-débit réalisée au niveau du même sous bassin versant avec une série pluviométrique calculée par la méthode arithmétique, les résultats sont moins importants par rapports à ceux obtenus par les données pluviométriques calculés par la méthode IDW au niveau du même sous bassin versant, et par rapport aux autres bassins versants, mais ils restent satisfaisants. Les valeurs du NASH et du bilan sont successivement de l'ordre de 62,0% et 95,9%. Les valeurs des critères d'optimisation du modèle GR1A obtenu sont traduites dans l'hydrogramme de la figure 5.7 par le grand écart entre les deux types de débit, notamment pendant la période 1984/85 – 1993/94.

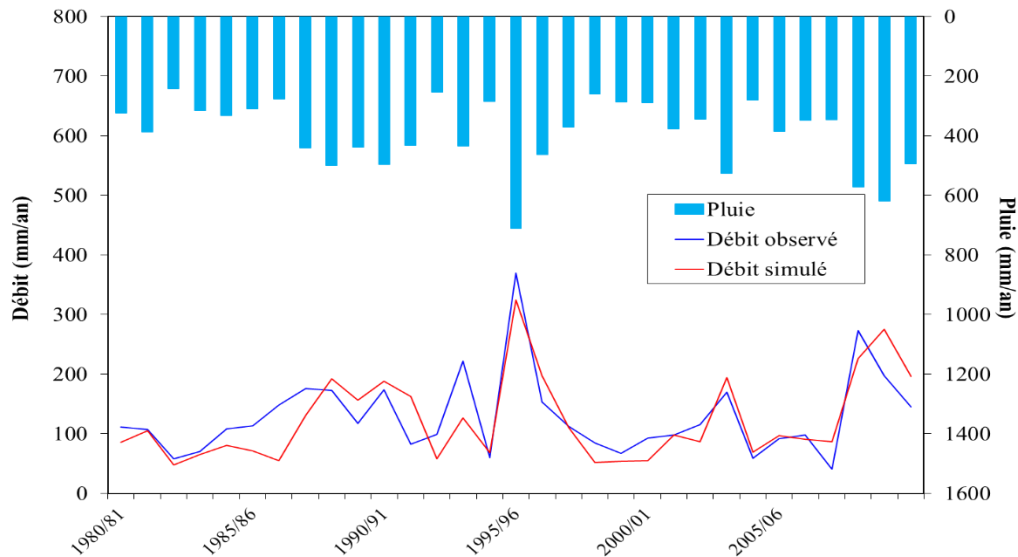


Figure 5.7 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV de Tilouguite avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

Le tableau 5.2 montre les résultats des critères d'optimisation obtenus pour les deux types de données pluviométriques et le paramètre de calibration du modèle GR1A pour les trois bassins versants.

Tableau 5.2 : Paramètres et critères d'optimisation du modèle pluie-débit GR1A

BV	IDW				Moy. Arith			
	X	X réel	NASH	Bilan	X	X réel	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	1,92	6,85	77,0	97,0	1,92	6,81	76,7	98,3
<i>Ait Ouchène</i>	2,13	8,41	76,8	96,7	2,03	7,58	84,1	100,0
<i>Tilouguite</i>	1,68	5,38	64,0	96,4	1,81	6,13	62,0	95,9

#### IV.2 Modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel (GR2M)

La modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel par le modèle GR2M a donné des résultats très satisfaisants, soit avec les données pluviométriques calculées par la méthode arithmétique ou par la méthode IDW. Les valeurs des critères d'optimisation du modèle pour tous les bassins versants sont supérieures à 70%. La valeur maximale du critère du NASH a été obtenue pour le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bine El-Ouidane*, elle est égale à 84,9%. Quant au bilan, il est généralement bien estimé. Il est compris entre 90,1% (pour le sous bassin versant d'*Ait Ouchène*) et 102,4% (pour le sous bassin versant de *Tilouguite*) (Tableau 5.3). Ces données signifient que le modèle GR2M a pu simuler les débits mensuels des deux cours d'eau pour la chronique 1980/81 2010/11.

Tableau 5.3 : paramètres et critères d'optimisation du modèle pluie-débit GR2M

BV	IDW				Moy. Arith			
	X1	X2	NASH	Bilan	X1	X2	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	6,12	1,08	83,4	97,5	6,06	1,06	84,9	97,0
<i>Ait Ouchène</i>	6,32	0,97	74,4	90,1	6,06	0,97	79,9	90,9
<i>Tilouguite</i>	6,09	1,21	72,1	102,4	6,23	1,17	73,4	101,1

Les graphiques des figures 5.8 à 5.13 montrent les variations des débits observés et simulés en fonction des fluctuations pluviométriques du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* et de ses deux sous bassins versants élémentaires. Nous constatons que les deux courbes de débits observés et simulés sont généralement bien superposées et très peu écartées.

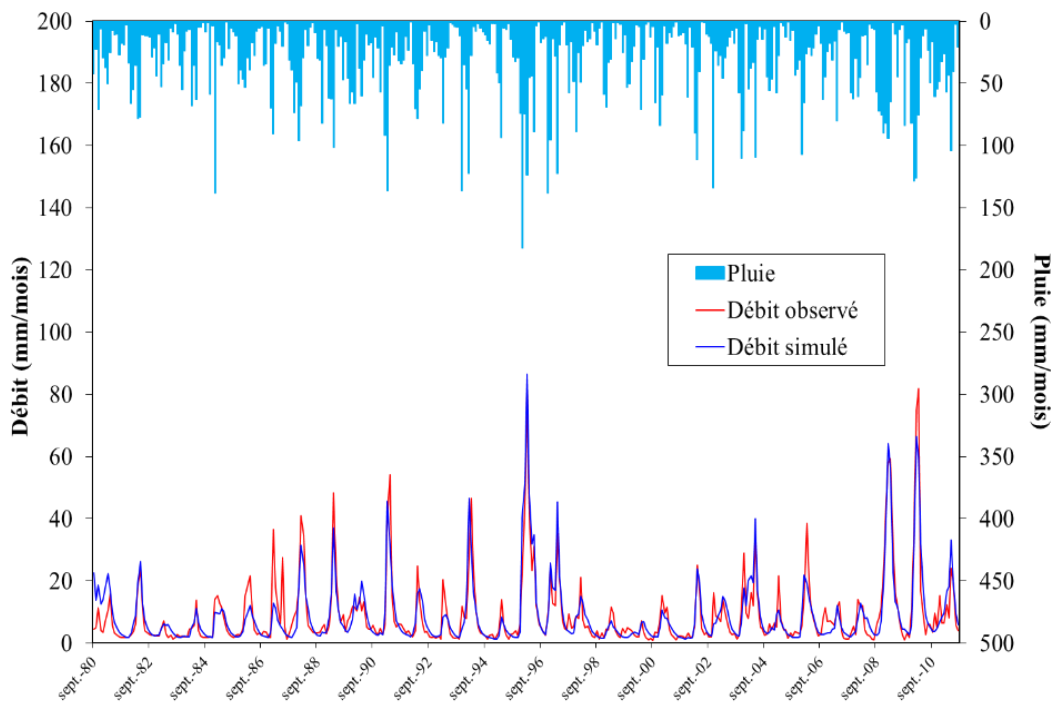


Figure 5.8 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le bassin versant de l'oued El Abid à Bin El Ouidane avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.

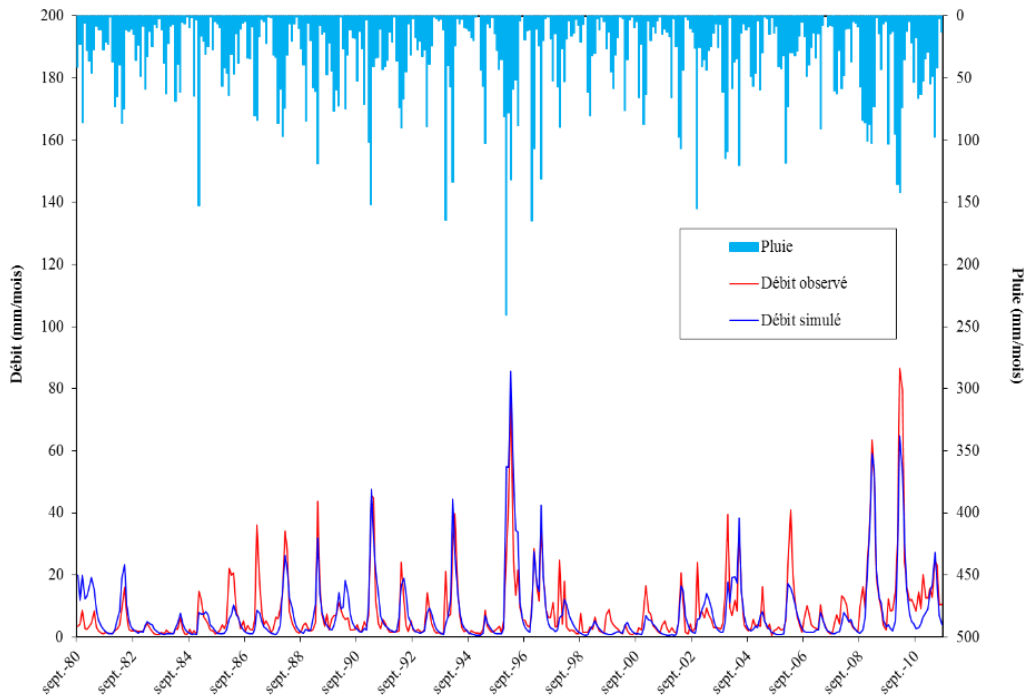


Figure 5.9 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'oued El Abid à Ait Ouchène avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.

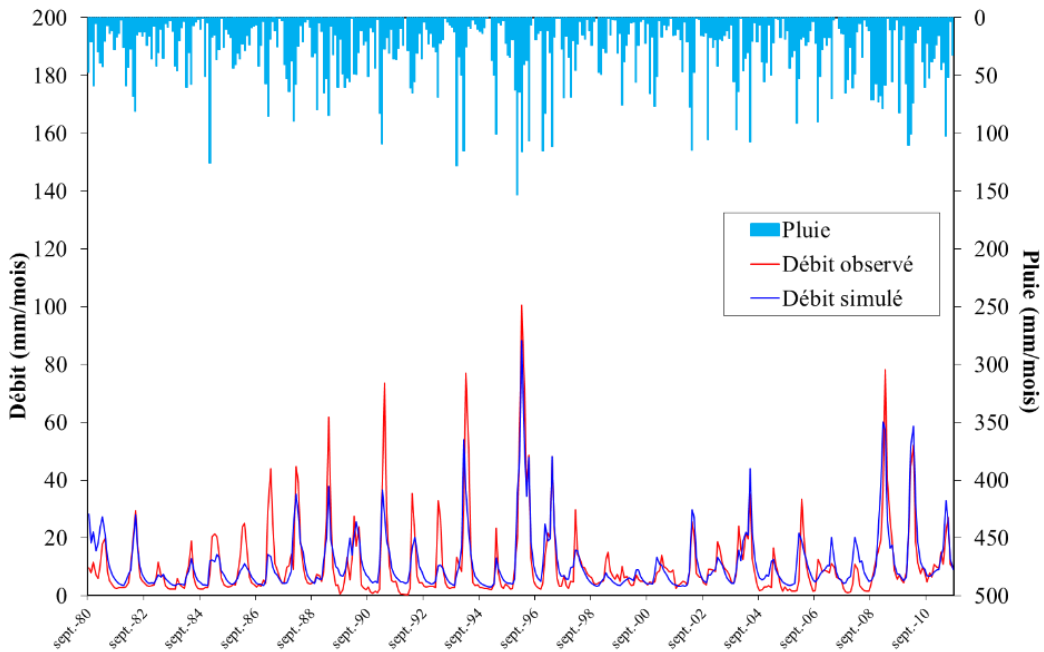


Figure 5.10 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'Assif Ahançal à Tillouguitte avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.

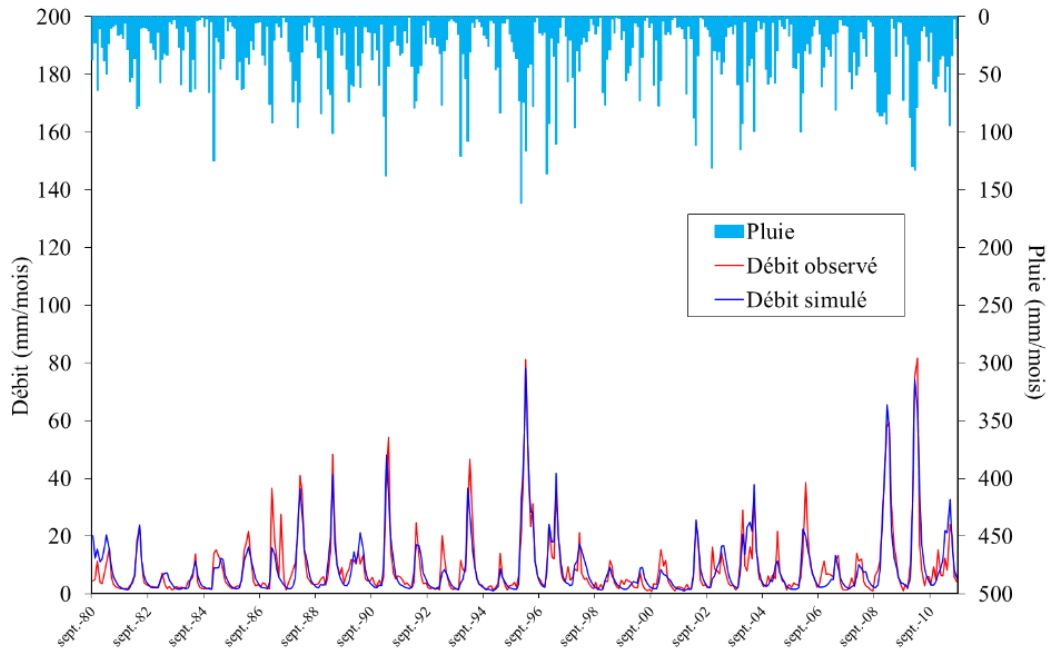


Figure 5.11 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le bassin versant de l'oued El Abid à Bin El Ouidane avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

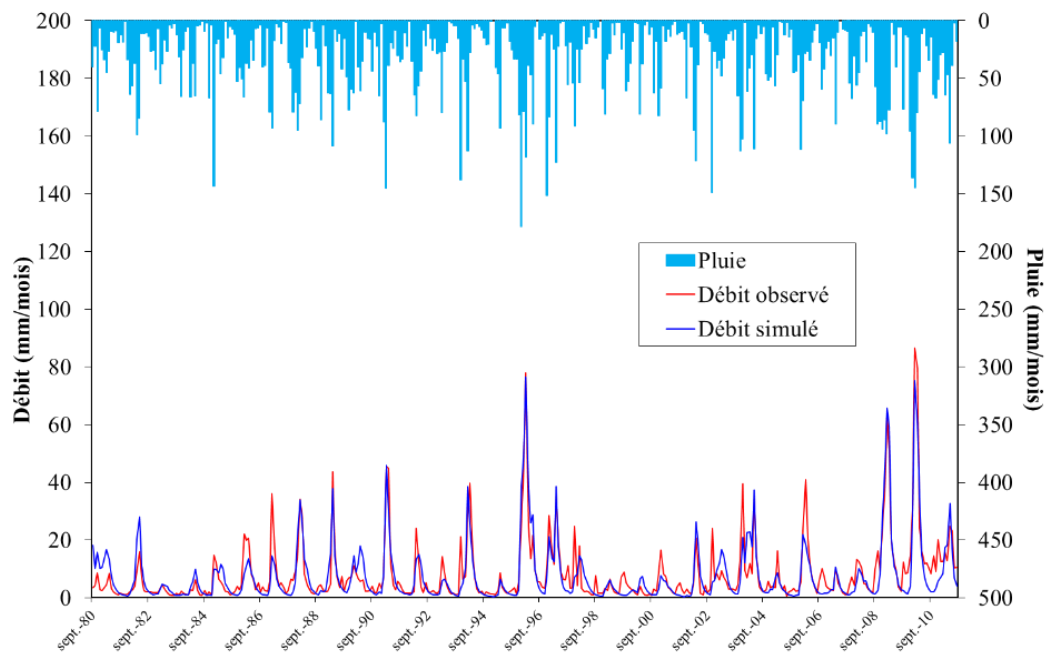


Figure 5.12 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'oued El Abid à Ait Ouchène avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

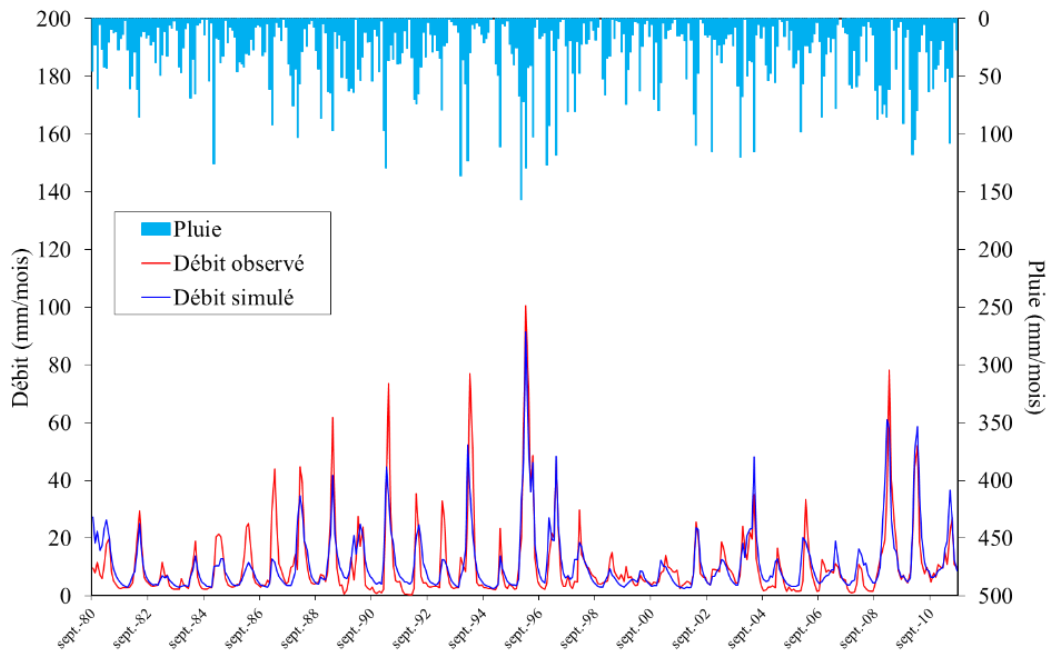


Figure 5.13 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'Assif Ahançal à Tillouguite avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.

## V. Calage et validation des résultats de la modélisation pluie-débit

Après avoir testé les deux modèles hydrologiques GR1A et GR2M sur toute la chronique étudiée, nous allons tester le fonctionnement de ces deux modèles pour prévoir les débits futurs. Pour se faire, nous allons travailler sur la même chronique (1980-2011) en la subdivisant en deux parties. En hydrologie, il existe plusieurs méthodes pour choisir la série pour le calage et la validation du modèle hydrologique. Nous avons choisi la méthode « *simple split-simple test* » (KLEMES, 1986). Cette méthode, simple et fréquemment utilisée dans la modélisation pluie-débit, consiste à subdiviser la série retenue en deux parties qui ne doivent pas être forcément égales, une utilisée pour le calage, et la deuxième est utilisée pour la validation du modèle.

La série choisie pour le calage des deux modèles utilisés, s'étend de 1980/81 à 1996/97, tandis que la période pour valider le modèle calé s'étend de 1997/98 à 2010/11. Ces deux parties de calage et de validation sont appliquées au modèle GR1A (modèle annuel) et GR2M (modèle mensuel). Les résultats obtenus ont été générés à partir des données pluviométriques calculées par la méthode de moyenne arithmétique et la méthode IDW.



## V.1 Résultats de calage validation pour le modèle GR1A

Pour tester la performance du modèle GR1A, nous avons utilisé les valeurs du paramètre X obtenues en phase de calage de la chronique 1980/81-1996/97 pour la simulation des débits de la chronique 1997/98-2010/11. Les résultats de calage et de validation du modèle annuel sont consignés dans les tableaux 5.4 et 5.5, selon les bassins versants et la méthode de spatialisation des précipitations.

Tableau 5.4: Résultats de calage et de validation du modèle GR1A avec données de précipitation de IDW.

Bassin	Paramètre X	Calage		Validation	
		NASH	Bilan	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	1,94	70,3	95,9	82,1	94,2
<i>Ait Ouchène</i>	2,27	67,1	92,2	69,7	68,1
<i>Tilouguite</i>	1,61	64,2	97,4	54,7	113,8

Tableau 5.5: Résultats de calage et de validation du modèle GR1A avec données de précipitation de moyenne arithmétique.

Bassin	Paramètre X	Calage		Validation	
		NASH	Bilan	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	1,90	72,90	98,20	79,90	101,30
<i>Ait Ouchène</i>	2,11	72,70	97,50	84,90	81,50
<i>Tilouguite</i>	1,76	60,30	96,40	58,70	109,20

D'après les résultats fournis par les deux tableaux précédents, il est bien clair que les valeurs du critère de NASH obtenu en utilisant les données pluviométriques estimées par la méthode de moyenne arithmétique, sont un peu plus élevées par rapport aux résultats obtenus à l'aide des données pluviométriques calculées par la méthode IDW. Le critère de NASH-SUTCLIFF obtenu, pour les trois bassins versants, après un jeu de calibration du paramètre X, montrent des valeurs significatives, notamment pour le BVOEA et le SBV de l'oued d'*El Abid* à *Ait Ouchène*, qui sont successivement de l'ordre 79.9% et 84.9%. Ces valeurs nous permettent de dire que le modèle GR1A est bien calé, et nous permettra de bien simuler les débits futurs avec une précision acceptable. Alors que pour le SBV de l'*Assif Ahançal*, le critère de NASH reste un peu moins significatif, mais la validation montre un bilan surestimé, avec une valeur de 109,2. Les débits futurs annuels à simuler pour l'*Assif Ahançal* manqueraient donc de la précision si nous nous basons sur ces paramètres d'entrée.

Les débits issus du modèle GR1A sont comparés aux valeurs des débits observés par corrélation linéaire simple. Les résultats sont représentés dans les figures de l'annexe V. Les trois bassins versant montrent des coefficients de corrélation très variés, avec une valeur très significative pour le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* (0,95 pour les deux types de données pluviométriques) et pour le BVOEA (0,80 et 0,83 pour la simulation avec les données pluviométriques estimées par moyenne arithmétique et IDW successivement). Ainsi, les résultats de la validation du modèle GR1A confirment la bonne performance du modèle.

## **V.2 Les résultats du calage et de la validation du modèle GR2M**

Pour valider le modèle GR2M, nous avons utilisé les données de précipitations et d'évapotranspiration de la période 1996/1997 – 2010/2011. Les paramètres X1 et X2 utilisé en validation sont les mêmes obtenus lors du calage du modèle avec la période 1980/1981 – 1995/1996. Les données du calage et les résultats de validation du modèle sont représentés dans les deux tableaux 5.6 et 5.7.

Les résultats du critère de NASH et du bilan obtenus pour le BVOEA et ses deux SBV élémentaires, sont représentatifs notamment pour la validation du modèle avec les données pluviométriques estimées par moyenne arithmétique. La valeur du NASH la plus significative correspond au BVOEA, elle est de l'ordre 85,4 et 84 pour les données pluviométriques calculées avec IDW et celles de la moyenne arithmétique successivement. La validant du modèle pour le SBV de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène* montre une valeur de critère de NASH significative (77,2) et un bilan hydrique d'environ 76,7. Quant au SBV de l'*Assif Ahançal*, la validation du modèle montre toujours un critère de NASH inférieur par rapports aux autres bassins versants et un bilan hydrique très surestimé (124.5). Ainsi, ces résultats témoignent d'un bon calage du modèle GR2M, notamment pour le BVOEA.

Tableau 5.6 : Résultats de calage et de validation du modèle GR2M avec données de précipitation de IDW

Bassin	X1	X2	Calage		Validation	
			NASH	Bilan	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	6,21	1,11	80,70	97,90	85,40	100,60
<i>Ait Ouchène</i>	6,32	0,97	68,30	104,40	77,20	76,70
<i>Tilouguite</i>	6,00	1,24	73,40	105,20	59,90	124,50

Tableau 5.7 : Résultats de calage et de validation du modèle GR2M avec données de précipitation de moyenne arithmétique

Bassin	X1	X2	Calage		Validation	
			NASH	Bilan	NASH	Bilan
<i>Oued El Abid</i>	6,10	1,09	85,10	99,10	84,00	107,70
<i>Ait Ouchène</i>	6,00	0,92	80,90	90,40	77,60	77,30
<i>Tilouguite</i>	6,16	1,21	75,20	104,10	60,80	122,00

En procédant à la corrélation linéaire simple des débits simulés par le modèle GR2M et des débits observés au niveau des deux stations hydrologies d'*Ait Ouchène* et de *Tilouguite*, nous obtenons les résultats représentés dans les graphiques de l'annexe VI. Les coefficients de corrélation trouvés sont généralement acceptables et significatifs, notamment les débits du SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* qui montrent un coefficient de 78,9%, et les débits du BVOEA avec un coefficient de 77,1%. En conséquence, ces valeurs confirment la validité du modèle, et certifient que le modèle est apte pour simuler les débits des différents cours d'eau du bassin versant de l'oued *El Abid* avec une bonne précision.

## VI. Discussion des résultats de modélisation pluie débit

La modélisation pluie-débit par les deux modèle GR1A et GR2M montre des résultats généralement satisfaisants. Le modèle annuel a pu bien simuler les débits des deux cours d'eau de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*. La modélisation réalisée avec les données pluviométriques calculées par la méthode de moyenne arithmétique montre des résultats un peu plus importants par rapport à ceux obtenus par les données pluviométriques calculés par la méthode IDW. Les critères du NASH obtenus par la modélisation pluie-débit des trois compartiments hydrologiques sont supérieurs à 62% avec un maximum de 84,1% pour le sous bassin versant de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène*. Les bilans obtenus sont bien estimés, ils sont compris entre 96% et 100%. Quant à la modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel, les résultats sont aussi satisfaisants. Le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* et ses deux sous bassins élémentaires montrent des critères de NASH et des bilans très acceptables, ils sont supérieurs à 72,1% 90,1% respectivement.

Le calage des deux modèles avec les séries de données étalant entre 1980/81 – 1995/96 et validation avec les séries de données qui s'étendent entre 1996/97 et 2010/11 a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants pour les deux modèles. Les résultats obtenus confirment bien la pertinence des deux modèles, notamment pour la simulation des débits du bassin versant de

l'oued *El Abid* et son SBV à la station d'*Ait Ouchène*, pour le SBV de l'*Assif Ahançal*, la simulation des débits du cours d'eau donne des résultats moins satisfaisants.

Le jeu de paramètres obtenu après l'exercice de modélisation par les deux modèles, nous permettra de bien simuler les débits futurs si on dispose des données pluviométriques issues des modèles climatiques. Le seuil de confiance des données à obtenir reste « élevé » pour le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* et son sous bassin versant élémentaire à la station d'*Ait Ouchène*. Alors que pour le SBV de l'*Assif Ahançal*, les débits à simuler restent faiblement significatifs si on utilise les mêmes paramètres d'entrée obtenus dans cet exercice de modélisation. Probablement, pour ce bassin versant de l'*Assif Ahançal*, on voit l'influence du jeu des réservoirs karstiques sur les deux modèles qui surestiment le bilan hydrologique.

L'étude de modélisation pluie débits par les deux modèles de la famille GR, énonce donc le fort rapport entre les fluctuations pluviométriques et hydrométriques à l'échelle du bassin versant. Même pour les débits simulés par les deux modèles sont souvent superposés avec les débits observés. On peut dire donc que tout changement du régime pluviométrique aura un impact direct sur l'écoulement des cours d'eau du bassin versant, et par conséquent sur les ressources en eau de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*.

## **Conclusion**

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, il s'avère donc que les deux modèles utilisés pour la simulation des débits des deux principaux cours d'eau du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, sont bien adaptés aux conditions climatiques qui caractérisent la région du bassin versant. Les données de la pluviométrie, de l'évapotranspiration (calculées à partir des données de température mesurée au niveau de la station de *Tilougite*) et de débit, générées par l'ABHOER, et utilisées pour la modélisation pluie-débit, sont fiables et homogènes. La modélisation pluie-débit au pas de temps annuel avec le modèle GR1A et au pas de temps mensuel avec le modèle GR2M au niveau du bassin versant de l'oued *El Abid* et ses deux sous bassins versants a été réalisée en utilisant les deux types de données pluviométriques spatialisées afin d'examiner leurs apports dans l'estimation de la performance des deux modèles. L'exercice réalisé par ces deux modèles affirme qu'ils simulent bien les débits des cours d'eau du bassin versant à partir des données pluviométriques. De même, ils peuvent simuler les débits quel que soit le régime pluviométrique, ils peuvent montrer les séquences sèches comme les séquences humides dans les séries de débit. En

conséquence, il est recommandé aux gestionnaires du secteur de l'eau (Gouvernement, ABHOER, ORMVAT, ONEE, etc.) de simuler l'état des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid* et de la retenue du barrage *Bin El Ouidane* à l'aval, au moins en utilisant ces deux modèles, pendant leur établissement des programmes de l'attribution des eaux aux différents utilisateurs de l'eau du barrage, sans se baser seulement sur l'état actuel des réserves hydriques de la retenue.

**Chapitre  
VI**

**BARRAGE DE BIN EL OUIDANE : APERÇU  
HISTORIQUE ET ÉTUDE DES VOLUMES  
D'EAU DE LA RETENUE**

**I**

**Aperçu historique sur le barrage de  
Bine El Ouidane**

**II**

**L'étude des volumes d'eau de la  
retenue du barrage**

**III**

**Les dotations d'eau pour l'irrigation  
de *Béni Moussa***

## Introduction

Après avoir étudié le régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, nous allons mettre en exergue l'évolution des paramètres hydro-pluviométriques du bassin versant et des différents caractères du volume des eaux de la retenue du barrage. Au début, nous présenterons une brève lecture de l'histoire du barrage avant, au cours et après la construction, en se focalisant sur les différents travaux et études qui ont mené à l'installation du barrage.

Le deuxième axe de ce chapitre, aura comme objet d'étude l'évolution du bilan hydrique de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*. A cet effet, nous allons suivre l'évolution des apports en eau au niveau du barrage, en les comparant avec les fluctuations du régime pluviométrique de tout le bassin versant et avec le régime hydrométrique des deux principaux cours d'eau. Ensuite nous allons évaluer les pertes d'eau relatives à l'évaporation et les fuites. Par la suite, nous allons traiter les variations des volumes des lâchers d'eau, qu'ils s'agissent des eaux turbinées, des eaux déversées à travers l'évacuateur de crue ou celles déversées par la vidange du fond. En fin, nous allons discuter l'évolution des réserves d'eau de la retenue en mettant l'accent sur les périodes marquant des niveaux de réserve déficitaire et des niveaux de réserve excédentaire. Le dernier axe traitera l'évolution des dotations d'eau d'irrigation pour le périmètre irrigué de *Béni Moussa*.

### I. Aperçu historique sur le barrage de *Bin El Ouidane*

#### I. 1 Le projet de la construction du barrage

Le projet de la construction d'un barrage dans la dépression de *Ouaouizerht* a débuté après la visite du Vicomte CHARLES de FOUCAULD à la région en 1883, durant laquelle il a décrit avec détails la zone d'*Ouaouizerht* dans son ouvrage « Reconnaissance au Maroc 1883-1884 », il a décrit le terrain d'*Ouaouizerht* en tant qu'une plaine « où le sol est fertile : on y voit des jardins et des cultures florissantes, l'eau abonde partout », tandis que l'emplacement actuel du lac, a été selon les observations de Foucauld un terrain « tantôt rocheux et inculte, tantôt terreux et couvert de champs de blé » entouré des montagnes où « les pentes ne sont pas trop raides et un grand nombre de tirremts (ravins) se dressent sur leurs flancs » (FOUCAULD, 1883 page 72), enfin l'endroit dans lequel est construit le barrage de *Bin El Ouidane*, a été décrit par le Vicomte comme un endroit à partir duquel l'oued *El Abid* sort de la « plaine » (Photos 6.1 et



6.2) et « s'enfonce dans une gorge profonde ; le bas en a juste la largeur de la rivière, les côtés sont deux murailles de grès, qui atteignent par endroit plus de 100 mètres de hauteurs ; au-dessus, se dressent les massifs mi-terreux, mi-rocheux de la chaîne au travers de laquelle l'oued se fraie si violemment passage » (FOUCAULD, 1883 page 72).

En effet, après vingt ans, ces descriptions relevées par CHARLES de FOUCAULD ont attiré l'attention des français pour visiter la zone et l'étudier du point de vue géographique, géologique et technique. En 1904, une mission d'exploration a été chargée d'apporter aux autorités françaises un bulletin de données géologiques, minéralogiques, botaniques, hydrographiques (MAURICE, 1904) des différentes régions du Maroc. Cette mission d'exploration dirigée par MARQUIS de SEGONZAC a pu découvrir, à l'aide du professeur géologue LOUIS GENTIL, des fossiles dans la région d'*Ouaouizerht*. Cette découverte a donné lieu aux renforcements des études géologiques et techniques de la zone du Barrage après la colonisation d'*Ouaouizerht* en septembre 1922 par les français.

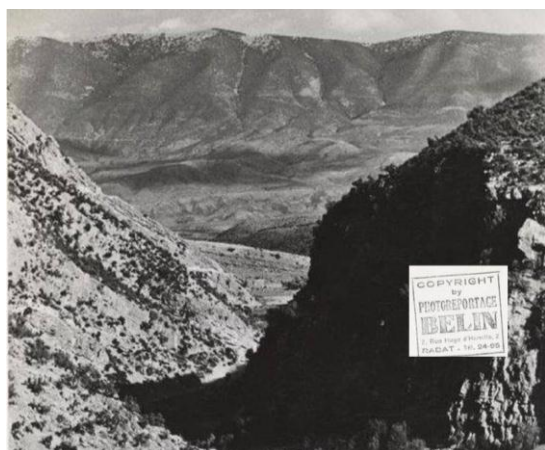


Photo 6.1 : Les gorge de l'oued El Abid avant la construction du barrage Bin El Ouidane. (Source dafina.net)



Photo 6.2 : La cuvette d'*Ouaouizerht* avant la construction du barrage Bin El Ouidane (Source dafina.net)

## I. 2 Les études de la mise au point du barrage de *Bin El Ouidane*

Plusieurs visites et études de la possibilité de la mise au point d'un aménagement hydrique sur l'oued *El Abid* ont précédé la construction du barrage de *Bin El Ouidane*. Ces visites et études géologiques et techniques ont mis en exergue les caractéristiques topographiques et géologiques de la cuvette d'*Ouaouizerht* qui paraissaient très opportuns pour la construction d'un barrage selon la vision du protectorat français. Ces études se sont étalées sur une vingtaine d'années avant le début de la construction. Il nous paraît donc opportun de présenter brièvement

la chronologie\* des différents événements qui ont précédé la construction du barrage de *Bin El Ouidane*.

- De 1923 à 1926, la gorge de l'oued *El Abid* à l'aval, fait l'objet des premières visites de reconnaissance rapide, de la part des techniciens intéressés.
- En janvier de l'année 1927, un rapport de l'ingénieur en chef des mines de Rabat, P. DESPUJOLS, présente la première définition stratigraphique des « terrains propres à l'établissement d'un barrage à l'aval du poste de *Bin El Ouidane* ».
- En mai 1927, un rapport de L. NELTNER a trait à l'étude de la stratigraphie des terrains par analogie avec ce qu'il avait pu observer sur le flanc Sud du Haut Atlas.
- En juillet 1927 également, P. TERMIER visite la zone du barrage et l'emplacement actuel est choisi comme le plus intéressant. A cette phase, il ne s'agissait que d'un barrage de 70 mètres de hauteur.
- De 1929 à 1933, J. BOURCART, en suivant les colonnes de pacification du Général de LOUSTAL, établit la première carte de reconnaissance au 1/200000 de la région. Il supervise par la suite les reconnaissances géologiques du site jusqu'à la construction de l'ouvrage.
- En 1932, les études commencent et sont conduites de façon systématique. Une brigade d'études est installée au poste militaire de *Bin El Ouidane* et opère dans la gorge de l'oued *El Abid*.
- Le 4 septembre 1933, Les projets de l'énergie électrique du Maroc s'orientent vers un barrage-voute dont l'implantation initiale est voisine à celle de l'ouvrage actuel, après avoir exécuté les reconnaissances par galeries et sondages.
- Dès 1938, les prévisions d'accroissement de la consommation de l'énergie électrique du Maroc à envisager la réalisation d'un nouvel aménagement et à pousser en particulier les études de l'aménagement de l'oued *El Abid*.
- De 1939 à 1952, J. BOURCART puis, à partir de 1941, J. Marçais et A. ROBAUX (1946) font, à tour de rôle, avancer les travaux de la reconnaissance et participent aux études de l'aménagement.
- En Mars 1945, une visite approfondie des lieux, ainsi que les résultats des travaux de reconnaissance, conduisent J. BOURCART à envisager favorablement la tenue du terrain, un

---

\* Cette chronologie, ayant subi une modification par nos soins, a été tirée de l'étude qui a permis la mise au point du barrage de *Bin El Ouidane* intitulée : « *Géologie appliquée aux grands travaux du Maroc, Fascicule I, les aménagements de l'oued El Abid* », réalisée par P. Leveque, Rabat 1952.

décapage suffisant et des injections de consolidation devant permettre l'implantation d'un barrage-voûte.

- En décembre 1945, J. BOURCART et A. DEMAY établissent des compléments d'études pour l'emplacement du barrage de *Bin El Ouidane* et l'ensemble de l'aménagement.
- En Mai 1948, une visite approfondie de M. LUGEON consigne et approuve les résultats acquis et définit provisoirement une solution de voile d'étanchéité sur la rive gauche, avec retour, sur 500 mètres environ, du tracé vers l'amont.
- En octobre 1950, le fond de fouille du barrage est ouvert et, lors de la visite de J. BOURCART, est jugé satisfaisant, sous réserve de quelques consolidations locales.
- En décembre 1950, la première benne de béton est mise en place.

Il semble donc que le protectorat français a donné une très grande sollicitude au projet du barrage de *Bin El Ouidane*. Il a mobilisé les grands chercheurs géologues français, les ingénieurs, et même les grands chefs du protectorat au Maroc, pour le projet de l'aménagement de l'oued *El Abid*. Le but, était à l'époque, de construire le plus grand barrage dans l'Afrique. En effet, jusqu'en 1948, il était considéré comme le plus grand barrage du continent.

Les autorités centrales et locales ont donc préparé toutes les conditions de travail, même l'infrastructure et les routes qui permettent d'apporter les engins et les matériaux de construction.

### **I. 3 La construction du barrage de *Bin El Ouidane***

#### **I. 3. 1. Les travaux préliminaires**

Dès le début de l'année 1946, les autorités françaises ont commencé les travaux préparatoires de l'installation du barrage de *Bin El Ouidane*, du barrage d'*Ait Ouaârda* et de l'usine d'*Afourer*. Ils ont tenu en considération toutes les difficultés et les conditions de travail dans ces trois sites qui se manifestent dans la topographie les altitudes et l'accessibilité. La première étape consistait à ouvrir une route qui permet d'accéder au site de *Bin El Ouidane* (route régionale numéro 304), et d'apporter des charriots lourds, des engins, des remorques supportant les pièces imposantes et indémontables nécessaires à l'usine de production électrique et les matériaux de construction (fer, ciment, etc.). Le 3 janvier 1949, la route était entièrement goudronnée. D'autres tronçons de routes devaient être édifiés pour remplacer ceux qui sont appelés à être immergés par les eaux du lac artificiel. En deuxième étape, les autorités

ont construit les logements du personnel chargé de la mise en place du barrage en leur assurant l'éclairage, l'électricité à l'aide des groupes électrogènes très performants, et aussi, la communication téléphonique.

Pour que les eaux de l'oued *El Abid* ne gênent pas la construction du barrage, deux galeries cimentées, de larges de 7 mètres et d'une longueur de 550 mètres (LEVEQUE, 1952), ont été percés dans la montagne pour assurer la dérivation des eaux du lieu du barrage. L'évacuation des eaux a été forcée par la construction de deux batardeaux, un à l'amont et l'autre à l'aval.

En effet, en décembre 1950 tous les travaux préliminaires de l'édification du barrage de *Bin El Ouidane* ont été achevés, et le jour du 17 décembre de la même année, la première coulée de béton a eu lieu.

### **I. 3. 2. Données techniques et humaines**

Pour construire un barrage, d'une capacité initiale de 1,5 Milliard de m<sup>3</sup>, et les autres complexes hydro-électrique qui y sont liés, il fallait mobiliser une main d'œuvre très importante. C'est pourquoi les autorités ont fait appel aux habitants de la région pour contribuer aux travaux de l'aménagement de l'oued *El Abid* et ce, malgré leur inexpérience. En effet, toutes les tribus locales ont fourni des milliers de travailleurs robustes. En somme, 6000 travailleurs Marocains ont travaillé dans l'ensemble des chantiers de *Bin El Ouidane*, *Aït Ouaârda*, et *Afourer*. Quant à la main d'œuvre européens, elle été estimée entre 500 et 600, comprenant un grand nombre de spécialistes, une trentaine d'ingénieurs et plus de quatre cents techniciens, contremaîtres et ouvriers qualifiés (GIRARD, et al,1951).



Photo 6.3 : La cité d'Aït Ouaârda dans laquelle les travailleurs ont été logés. (Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net))

La construction du projet du barrage de *Bin El Ouidane* a demandé une très grande préparation et a nécessité les efforts de différentes Sociétés de Travaux Publics à l'époque. Le 31 juillet 1952, 390.000 m<sup>3</sup> de béton sont mis en place et les 10.157m de sondage ont absorbé



7.905 tonnes de ciment, 1094 tonnes de sable et de filler calcaire, et enfin 76.500 tonnes d'argile.

Tous ces matériaux ont été fournis à partir de deux carrières (Photo 6.4) situées plus en haut du site du barrage. Les matériaux sont transportés par des camions (Photo 6.5) vers deux stations de concassages. Ces deux stations ont été reliées par des tapis roulants aériens (Photo 6.6), de 80 cm de large, qui ont permis l'acheminement des agrégats après leurs concassage, à raison de 300 tonnes par heure, et les déversaient dans deux bétonnières, d'un volume de 1000 m<sup>3</sup> chacune. Ces deux bétonnières (photo 6.7) sont toujours présentes au niveau du site du barrage et présente un patrimoine historique pour la région. Les bétons utilisés dans la construction ont été transportés à partir des deux bétonnières par le biais de deux bennes des



Photo 6.4 : L'utilisation des exploifs pour extraire des matériaux de construction. (Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net))



Photo 6.5 : Des engins pour transporter les matériaux de construction au site du barrage Bin El Ouidane. (Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net))

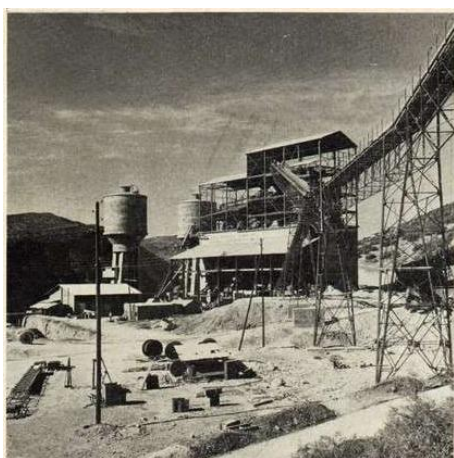


Photo 6.6 : Tapis roulants aériens ayant permis l'acheminement des agrégats après leurs concassage. (Source : GIRARD, 1951)



Photo 6.7 : Les deux bétonnières utilisées pour le transfert des bétons au barrage sont encore un témoin de l'ère de la construction du barrage Bin El Ouidane (Cliché : R. BISSOUR, 2018)

blondins portés dans l'espace par des câbles liés aux deux côtés du barrage. Ces bétons remplissaient le fond de fouille creusé à 25 mètres au-dessous du niveau du lit de l'oued, et sur lesquelles le barrage a été fondé en plots de bétonnage et culées.

En décembre 1952, le barrage a commencé à retenir les eaux de l'oued *El Abid* et son affluent *Assif Ahançal*, après l'achèvement de la construction du barrage. La mise en eau de la retenue a engendré la submersion de l'ancien terrain qui a été occupé d'une centaine de baties, d'un souk hebdomadaire d'*El Had* de *Bin El Ouidane*, d'une école, d'une maison de Kaid, etc. (Planche de photos 6.8) et des centaines de terrains fertiles. Ainsi, le barrage-voûte a permis, et permet encore, de mobiliser les ressources en eau du bassin versant de deux oueds *El Abid* et *Aissif Ahançal*, pour un volume total de 1,5 Milliards de m<sup>3</sup>, étalés sur une superficie de 3800 hectares. Le barrage a une hauteur de 135 mètres, et une largeur de 260 mètres. Le débit régularisé par le barrage est à environ 26 m<sup>3</sup>/s. Au pied du barrage, une usine électrique est établie pour viser une production électrique annuelle de 150 millions de kilowatt-heures avec une puissance maximale de 120.000 kW.

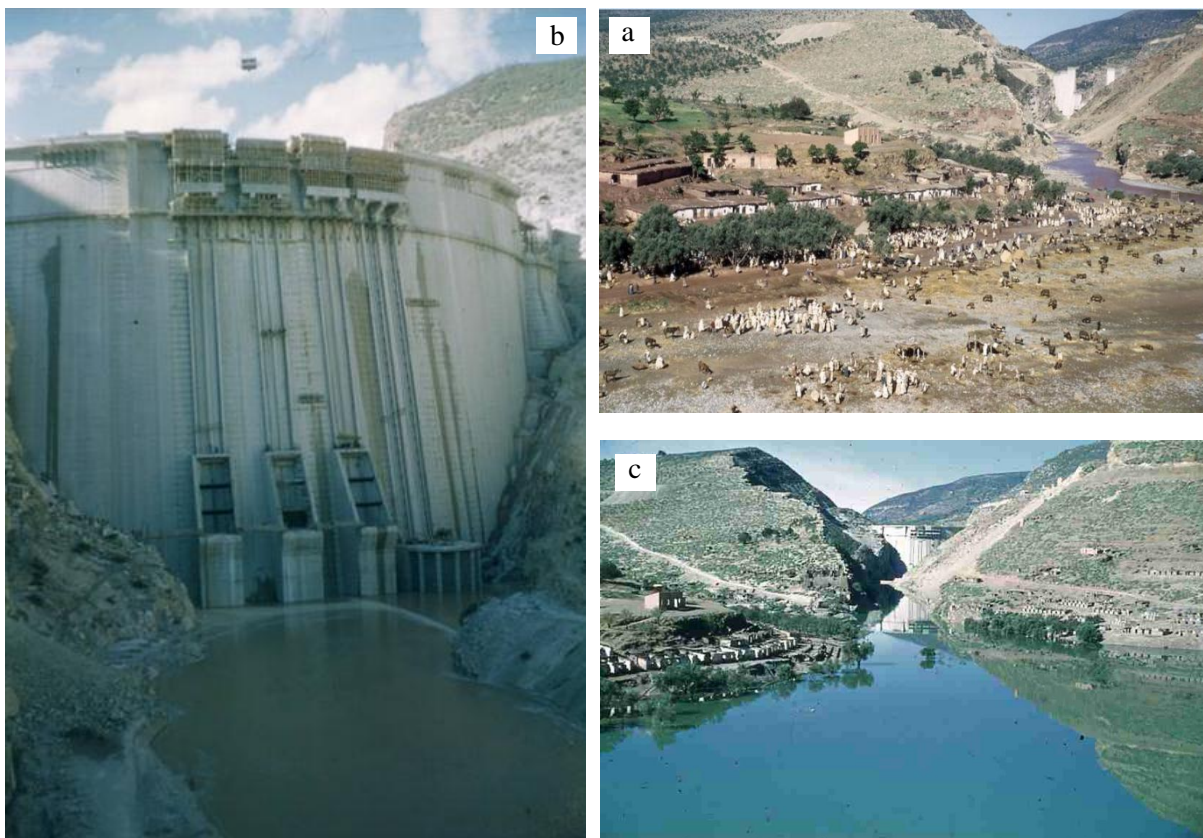


Planche de photos 6.8 : La mise en eau de la retenue du barrage Bin El Ouidane ; a) le souk hebdomadaire d'El Had, au fond du lac Bin El Ouidane avant la mise en eau, b) le premier jour de la mise en eau après l'achèvement du barrage, c) la submersion des constructions après la mise en eau. (Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net))



#### I. 4 Les autres aménagements liés au barrage *Bin El Ouidane*

L'objectif fixé pour construire le barrage de *Bin El Ouidane* a nécessité la construction d'autres équipements qui permettent la mobilisation et la valorisation des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid*. L'objectif du barrage étant la production de l'électricité et l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa*, le protectorat a planifié la construction d'un barrage de compensation à l'aval du barrage de *Bin El Ouidane* et de creuser une galerie sous le massif de *Tazerkount* pour conduire les eaux de l'oued *El Abid* à *Afourer*, et d'exploiter le dénivelé pour produire de l'électricité, les eaux récupérées en aval seront exploitées dans l'irrigation.

Le barrage d'*Aït Ouaârda* (Photo 6.9), est construit à environ 4,5 kilomètres à l'aval du barrage de *Bin El Ouidane*. Il sert à la prise et la compensation des eaux lâchées à partir du barrage de *Bin El Ouidane*. Sa retenue a un volume de 2,5 Millions m<sup>3</sup>. Ce petit barrage permet la dérivation des eaux dans une galerie souterraine de 10,5 km de longueur (Photo 6.10), traversant le massif du *Tazerkount*, vers la plaine du *Tadla*. Après une chute de 225 mètres en conduites forcées, les eaux déversées sont turbinées à nouveau dans une usine construite au pied de la montagne, à *Afourer*, dont la production annuelle est de 350 millions de kilowattheures. Après la valorisation des eaux par la production électrique, ces eaux sont parfaitement restituées dans les deux canaux d'irrigation, droite et gauche, pour assurer l'irrigation des terrains du périmètre de *Béni Moussa*. L'excédent des eaux des deux canaux principaux rejoint l'oued de l'*Oum Er Rbia*.

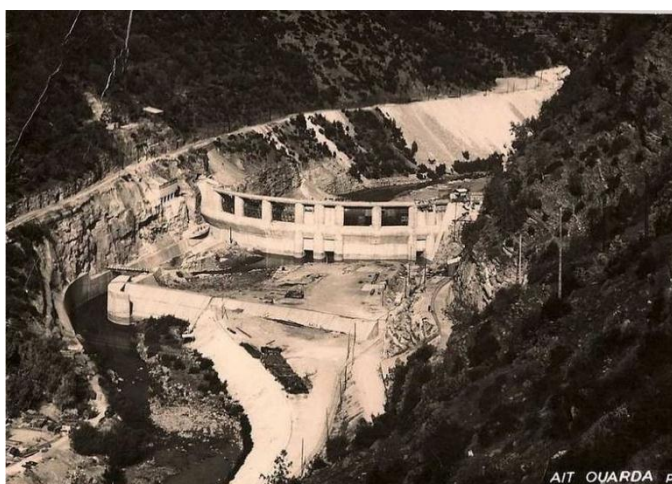


Photo 6.9 : Le barrage de compensation d'Ait Ouaarda à l'aval de Bin El Ouidane  
(Source : GIRARD, 1951)



Photo 6.10 : Des travailleurs chargés du creusement de la galerie Ait Ouaarda-Afourer sous les massifs de Tazerkount. (Source : GIRARD, 1951)



Toutes ces données techniques et historiques montrent l'importance du barrage de *Bin El Ouidane* et aussi l'importance des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid*, créant ainsi un système hydroélectrique et hydro-agricole, levier de développement territorial pour toute la région.

## **II. L'étude des volumes d'eau de la retenue du barrage**

Dans ce qui suit nous allons étudier les caractéristiques des volumes d'eau du barrage de *Bin El Ouidane*. Il s'agit d'une étude chronique de l'évolution des apports d'eau, des réserves, des volumes d'eau lâchée (turbinée pour la production électrique), et des volumes d'eau perdue par les fuites et l'évaporation. L'ensemble des données utilisées dans cette partie sont communiquées par l'ABHOER. Les séries des différents paramètres s'étendent sur 27 ans, entre Septembre 1987 et aout 2014. L'objectif étant de caractériser l'état des ressources en eau du barrage de *Bin El Ouidane* et les mettre en rapport avec les débits des deux principaux cours d'eau et de la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont Barrage *Bin El Ouidane*.

### **II. 1 Evolution des apports au barrage de *Bin El Ouidane***

#### **II. 1. 1. L'étude des apports annuels**

L'étude des apports en eau au barrage *Bin El Ouidane*, ou les volumes d'eau qu'apportent les deux cours d'eau principaux de l'oued *El Abid* et d'*Assif Ahançal* et les autres petits cours d'eau et ravins qui drainent directement sur le barrage, nous permettra certainement de bien comprendre la situation des ressources en eau mobilisées par le biais de cet aménagement hydraulique durant 27 ans. La figure 6.1 représente l'évolution des apports annuels au barrage de *Bin El Ouidane* entre 1987/88 et 2013/14.

Les valeurs des apports annuels au barrage *Bin El Ouidane* montrent une grande variabilité interannuelle. Les volumes d'eau apportés par les différents cours d'eau varient entre la valeur minimale qui est de 252,8 Millions mètres cubes par an ( $Mm^3/an$ ) enregistrée en 2000 et une valeur maximale de 1834  $Mm^3/an$  enregistrée en 1996. Ces deux volumes des apports, minimal et maximal, représentent respectivement 20.5% et 148,7% du volume utile du barrage. La valeur moyenne des apports en eau au barrage de *Bin El Ouidane* est de 880,4  $Mm^3$ .

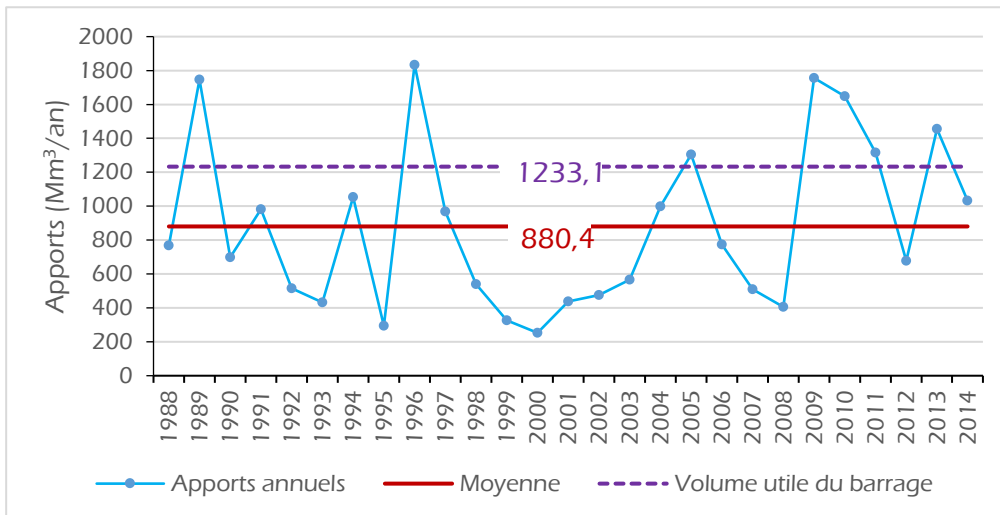


Figure 6.1 : L'évolution des apports du barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14

### II. 1. 2. L'écart à la moyenne des apports au barrage de *Bin El Ouidane*

L'utilisation de l'écart à la moyenne des apports en eau au barrage de *Bin El Ouidane* permet de bien caractériser les années déficitaires des années excédentaires. La figure 6.2 montre les résultats obtenus par ce paramètre. Il se trouve donc que le nombre d'années déficitaires sont plus nombreuses que les années excédentaires. Le nombre d'années déficitaires et d'années excédentaires est excessivement de 12 et 15 années.

Il est bien clair que les années déficitaires sont les plus successives, la plus longue période déficitaire s'est étendue entre 1997/1998 et 2002/2003, alors que la période excédentaire a duré au plus trois ans (de 2009/2001 à 2010/2011). Hors, les autres périodes ne durent qu'une ou deux années. Nous remarquons que les volumes des apports en eau relevant des années

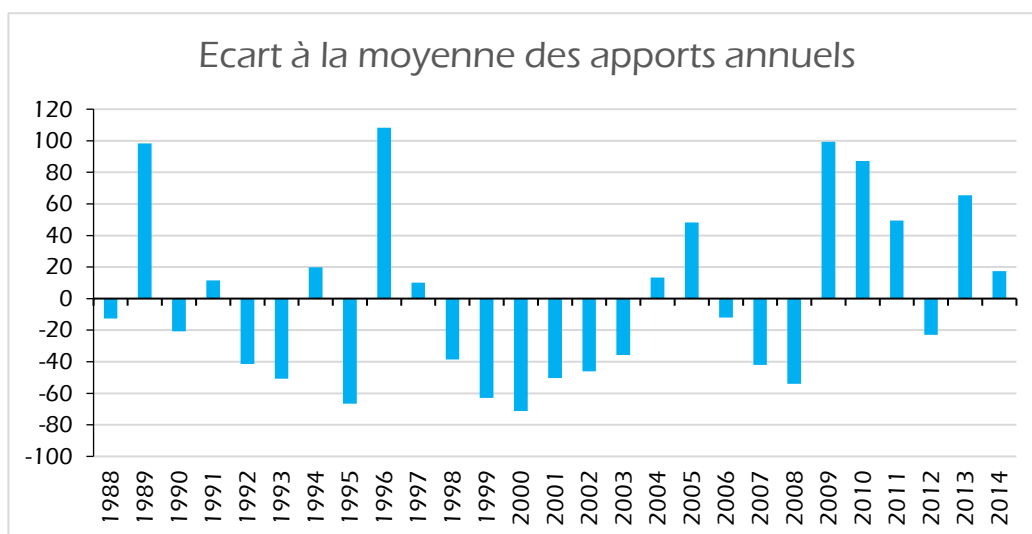


Figure 6.2 : l'évolution de l'écart à la moyenne des apports du barrage de Bin El Ouidane

déficitaires sont beaucoup plus élevés, représentant ainsi des valeurs qui dépassent la moyenne de plus de 40%.

### II. 1. 3. La fréquence des volumes des apports

La représentation graphique des fréquences des apports au barrage de *Bin El Ouidane* peut nous renseigner sur des volumes d'eau apportés les plus fréquentés pendant les 27 ans. D'après le graphique de la figure 6.3 nous pouvons constater que les volumes d'eau apportés sont fréquemment compris entre 400 et 700 Mm<sup>3</sup>/an, suivis par les volumes compris entre 700 et 1000 Mm<sup>3</sup>/an avec des fréquences de 10 et 5 fois successivement. Les apports en eau faiblement fréquentés sont ceux qui varient entre 1000 et 1300 Mm<sup>3</sup>/an. Ceci affirme que les apports inférieurs à la moyenne sont les plus fréquents par rapports aux volumes en excédent.

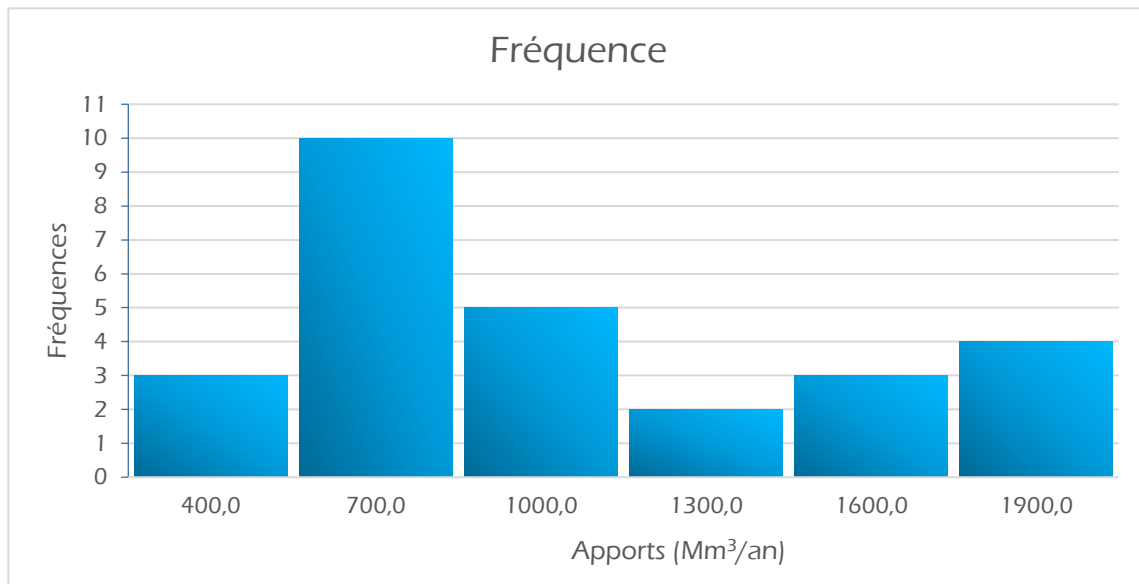


Figure 6.3 : la fréquence des apports du Barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14

### II. 1. 4. Comparaison entre les apports et la pluviométrie

L'objectif de faire comparer les variations des volumes des apports en eau au barrage *Bin El Ouidane* avec les fluctuations pluviométriques, est de savoir à quel degré ces deux données sont étroitement liées entre eux. Les données de la pluviométrie utilisées ici sont des valeurs moyennes annuelles de tout le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* estimées par la méthode IDW. La figure 6.4 montre les fluctuations des apports en eau et de la pluviométrie annuelle.

D'après cette figure, il est bien clair qu'il y a une forte cohérence et harmonie entre la variabilité de la pluviométrie et des apports en eau, sauf des années 1999 et 2004 où le volume des apports était inversement proportionnel aux précipitations. En général, les périodes durant lesquelles le bassin versant a enregistré de forte pluviométrie sont les mêmes où le barrage de *Bin El Ouidane* recevait d'importants apports en eau. En effet, les ressources en eau du barrage de *Bin El Ouidane* ont pour origine en premier rang la pluviométrie, et en deuxième rang la

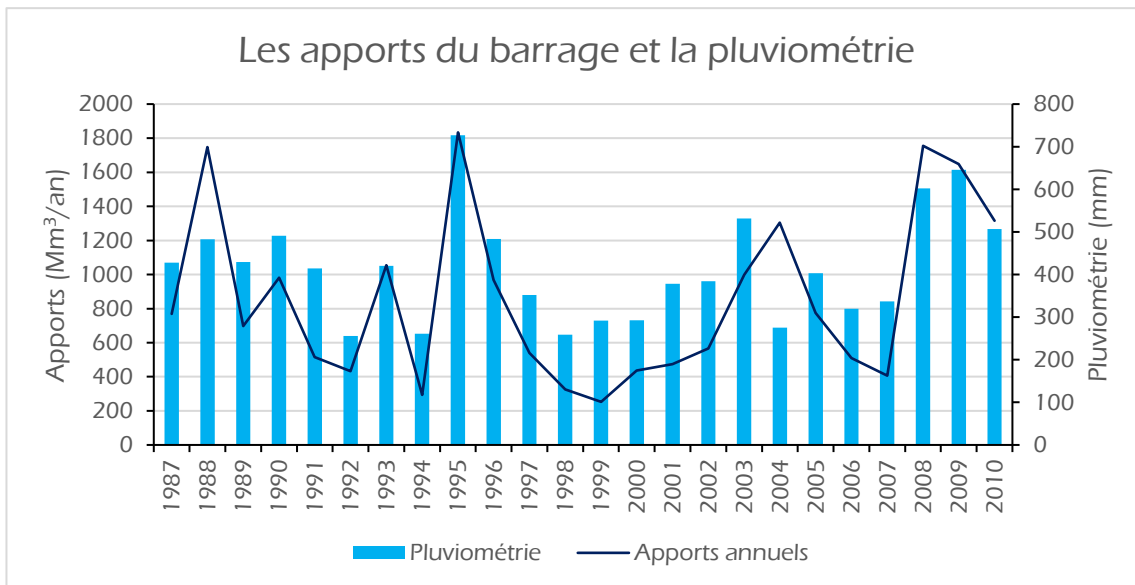


Figure 6.4 : L'évolution des apports du barrage de Bin El Ouidane et de de la pluviométrie moyenne entre 1987/88 et 2010/11. (Source : ABHOER)

fonte des neiges et les sources d'eau qui se développent dans tout le bassin versant. Ces apports sont donc fortement influencés par la variabilité climatique à l'échelle du bassin versant.

### II. 1. 5. Comparaison entre les apports et les débits de l'oued d'*El Abid* et de l'*Assif Ahançal*

La comparaison entre les apports en eau au barrage de *Bin El Ouidane* et les débits des deux principaux cours d'eau de l'oued *El Abid* et de *Assif Ahançal* a pour but de savoir si le régime hydrologique de ces deux cours d'eau intervient dans l'approvisionnement de la retenue du barrage en eau l'impact de la variabilité de leurs débits sur les volumes des apports au niveau du barrage. Pour que la comparaison soit significative, nous avons convertit l'unité des valeurs des débits de  $m^3/s$  en  $Mm^3/an$ . La figure 6.5 représente l'évolution des débits des deux cours d'eau et les volumes des apports en eau sur la période 1987/88 et 2010/11.

D'après cette figure, cinq dates présentent une incohérence entre les débits et les apports, il s'agit des années 1988, 1992, 2004, 2005 et 2009 durant lesquelles la retenue du barrage a

enregistré des apports inversement proportionnés aux débits. A l'exception de ces quatre années, le régime de l'évolution des apports en eau et des débits des deux cours d'eau sont étroitement liés. Le coefficient de corrélation entre les deux paramètres est de 0,62. Cette valeur non fortement significative peut être expliquée par la présence d'autres cours d'eau et des sources qui drainent à l'aval des stations hydrologiques de ces deux cours d'eau (Station d'Ait Ouchène et de Tilouguite) et d'autres qui drainent directement sur la retenue du barrage.

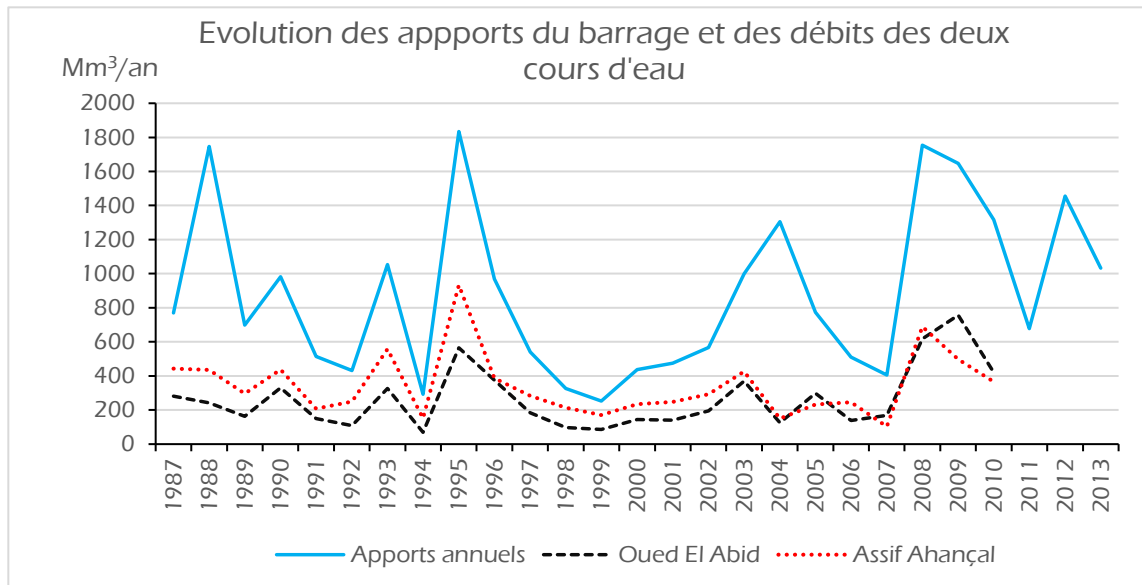


Figure 6.5 : évolution des débits de l'oued El Abid et de l'Assif Ahançal et des apports en eau entre 1987/88 et 2010/11. (Source : ABHOER)



Photo 6.11 : apports très faibles de l'oued El Abid en période sèche (embouchure de l'oued dans le barrage). Cliché. R. BISSOUR, 2017



Photo 6.12 : apports très faibles du cours de l'Assif Ahançal en période de basses eaux (embouchure du cours d'eau dans le barrage)

Cliché. R. BISSOUR, 2017



Photo 6.13 : apports de l'oued El Abid en période de hautes eaux.

Cliché. R. BISSOUR, 2017

### II. 1. 6. Les apports en eau mensuels

L'étude des apports mensuels nous permet de déterminer les mois durant lesquels la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* reçoit les volumes d'eau les plus importants et les mois déficitaires. La figure 6.6 traduit la répartition mensuelle des apports en eau. Elle montre que la période de fort approvisionnement s'étend de février à mai avec un pic enregistré en mois de mars. Ces volumes d'eau élevés apportés pendant la saison du printemps peuvent être expliqués par la fonte de neige et du système hydrogéologique qui permet l'infiltration des eaux de l'hiver en raison de la dominance des roches calcaires et des failles et fissures, outre la résurgence de ses eaux à travers les sources. Ce système hydrogéologique assure la pérennité des apports au barrage même pendant la période qui s'étale de juin à septembre, durant laquelle le barrage



reçoit les volumes d'eau les plus faibles, il s'agit donc d'une période sèche et d'étéage. Le mois d'octobre connaît une augmentation légère des apports en eau en raison des précipitations orageuses qui arrivent souvent dans le bassin versant pendant la saison de l'été, mais du fait du caractère perméable du substratum du bassin versant, ces eaux sont restituées pendant le mois d'octobre.

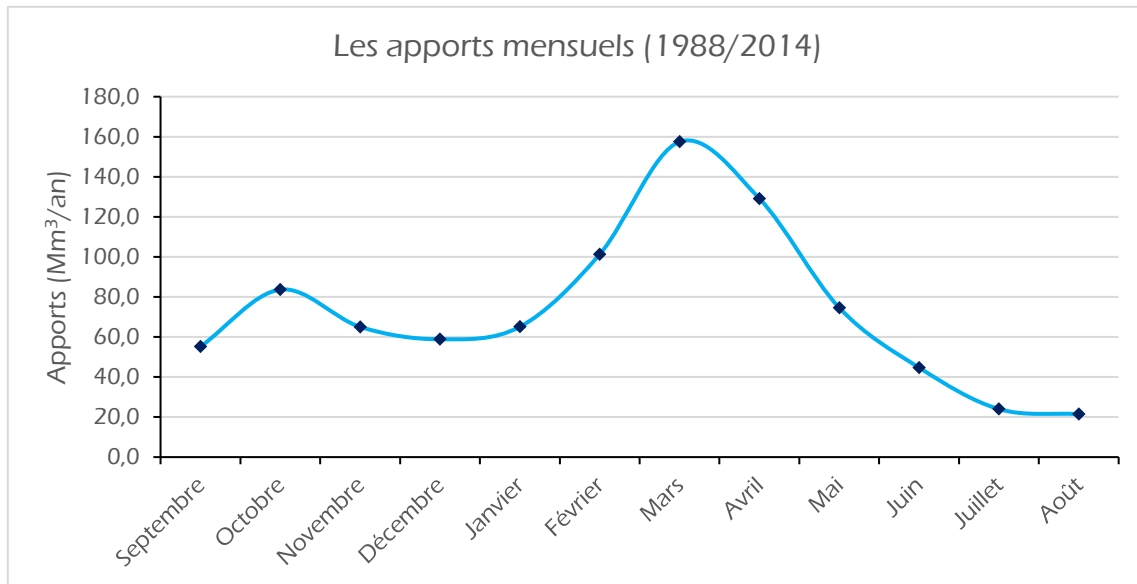


Figure 6.6 : Variation mensuelle des apports en eau au barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14. (Source : ABHOER)

L'étude des apports en eau au barrage *Bin El Ouidane* a montré qu'ils connaissent une variabilité interannuelle très remarquable. Cette même variabilité a été remarquée en évolution mensuelle. La comparaison des fluctuations des apports en eau avec la pluviométrie et les débits des deux principaux cours d'eau a fait apparaître une forte correspondance, ce qui veut dire que les ressources en eau du barrage *Bin El Ouidane* seront affectées par tout changement climatique probable soit à l'échelle régional ou globale. Par ailleurs, le caractère perméable des roches sur lesquelles s'écoulent la plupart des cours d'eau assure la pérennité des apports, même pendant les périodes de sécheresse et de basses eaux.

## II. 2 Les pertes d'eau de la retenue du barrage

Les eaux retenues par le barrage *Bin El Ouidane*, comme tout autre barrage, connaissent d'importantes pertes par l'effet de l'évaporation et de l'infiltration à travers les fuites.



## II. 2. 1. Pertes d'eaux par évaporation

La figure 6.7 présente les variations des volumes d'eau perdus par l'évaporation. Ce graphique montre que le barrage de *Bin El Ouidane* perd énormément d'eau par l'effet de l'évaporation, avec un volume moyen de 44 Mm<sup>3</sup>/an. Les années ayant marqué le volume minimal et maximal d'eau perdue sont respectivement 1992/93 (27 Mm<sup>3</sup>/an) et 1996/97 (65,6 Mm<sup>3</sup>). Il est à constater aussi qu'à partir de l'année 2000/2001, les pertes d'eau du barrage sont en augmentation. Ces volumes d'eau énormes perdus chaque année par l'évaporation annoncent que les ressources en eau du barrage sont en forte fragilité vis-à-vis les changements climatiques.

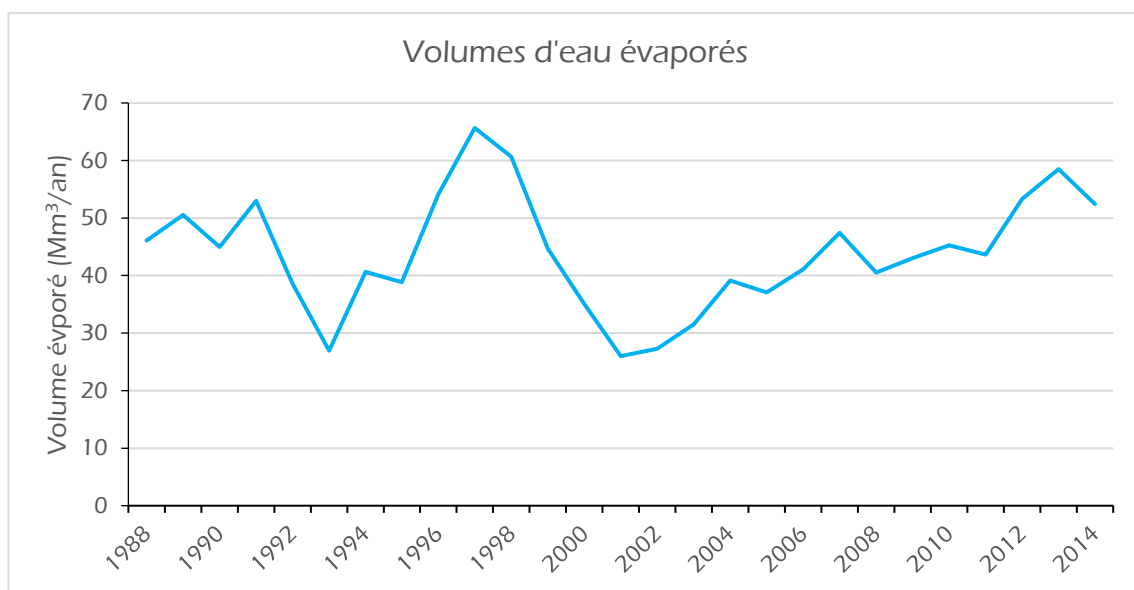


Figure 6.7 : évolution des pertes d'eau par évaporation entre 1987/88 et 2013/14.

(Source : ABHOER)

En termes de variation mensuelle des volumes d'eau évaporée, nous constatons que la période qui s'étend de novembre à mars enregistre les volumes les plus bas, sans dépasser le seuil de 3 Mm<sup>3</sup>/mois, avec des minimums souvent enregistrés pendant le mois de janvier. Alors que les volumes les plus élevés sont perdus entre les mois d'avril et octobre, avec un pic notable en mois de juillet. Cette variabilité mensuelle des volumes d'eau évaporée s'accorde certainement avec les variations de température. Il s'avère donc que tout changement au niveau de la température affecte sans doute les ressources en eau mobilisé au niveau du barrage de *Bin El Ouidane*.

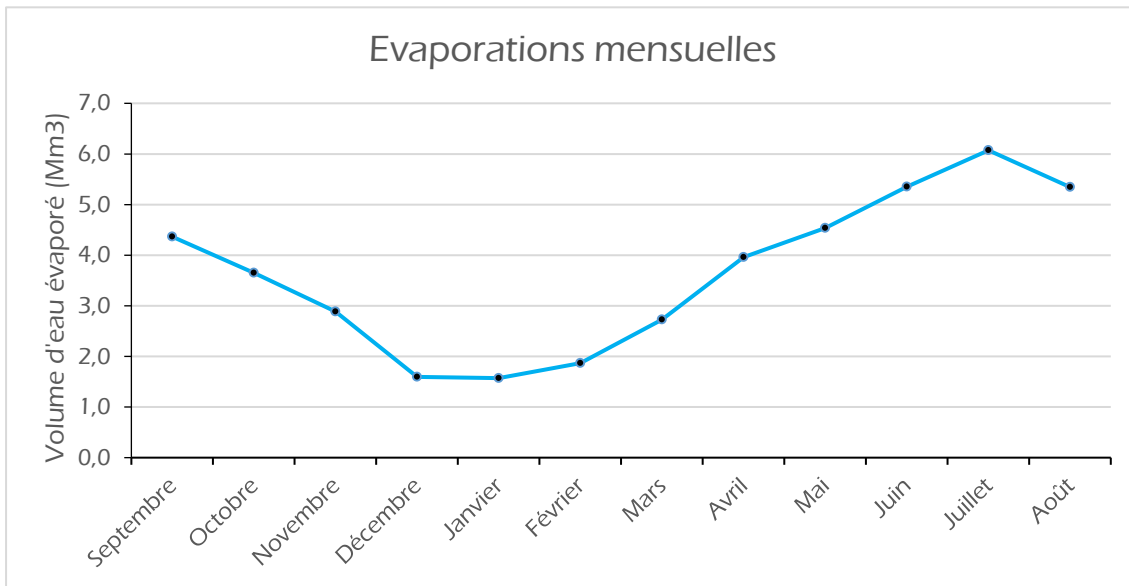


Figure 6.8 : variation mensuelle des volumes d'eau évaporée. (Source : ABHOER)

### II. 2. 2. Les pertes d'eau par fuites

Les pertes d'eau par fuites au niveau du barrage *Bin El Ouidane* peuvent avoir pour causes les fissures au niveau du mur du barrage ou les problèmes des vannes de contrôle de débits. Généralement, le volume moyen des eaux perdu par les fuites est de 15,8 Mm<sup>3</sup>/an, et les variations des pertes oscillent autour de cette valeur. On peut dire donc que le volume des fuites est constant avec une valeur mensuelle de l'ordre de 1,3 Mm<sup>3</sup>.

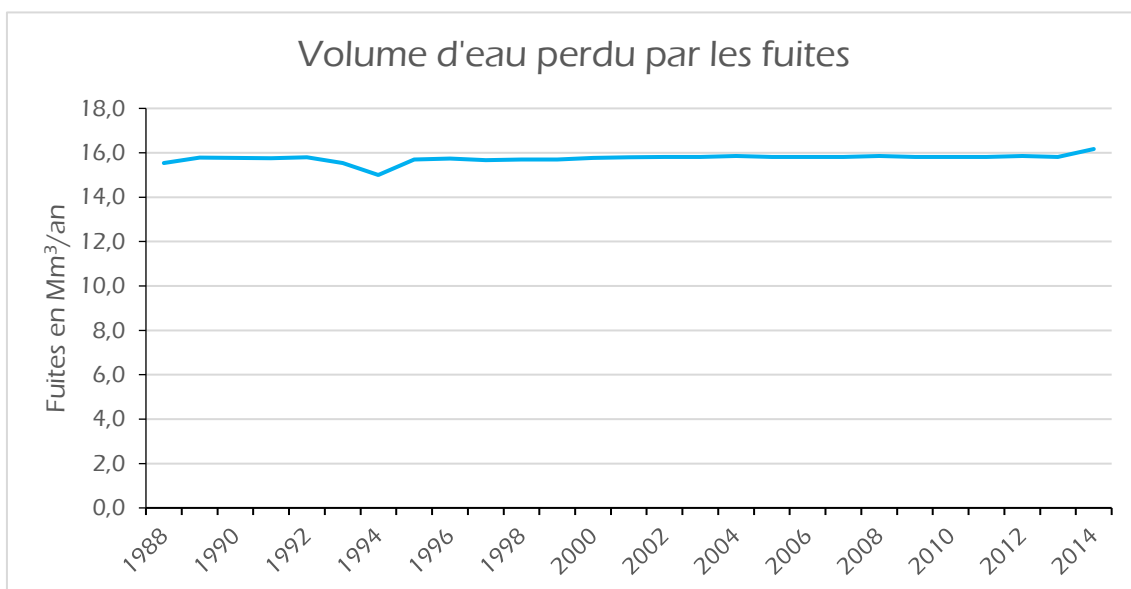


Figure 6.9 : évolution du volume des eaux perdues par les fuites. (Source : ABHOER)

Il s'avère donc que le volume des fuites est non négligeable, et intervient fortement à la diminution des ressources en eau mobilisées par le barrage de *Bin El Ouidane*.

## II. 3 Les lâchers du barrage

Les volumes des lâchers du barrage de *Bin El Ouidane* sont constitués des eaux de vidange du fond, des déversements de crue et des eaux turbinées. Dans ce qui suit nous aborderons chacun de ces trois paramètres.

### II. 3. 1. Vidange de fond et évacuateur de crue

La vidange du fond du barrage est composée de deux vannes pointeaux, de côte de prise limite de 709m, permettant le déversement des eaux avec un débit de 194 m<sup>3</sup>/s à la côte normale (LAHLOU, 1994). Ainsi, la vidange de fond est effectuée si la retenue atteint son volume utile ou maximal, pour protéger le barrage de tout danger ou risque d'effondrement ou d'endommagement. L'étude de l'évolution des volumes d'eau évacués par vidange de fond a montré des valeurs nulles mis à part deux valeurs enregistrées pendant deux années, il s'agit des années 1987/88 et 2009/10. Ceci désigne que la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* a très rarement atteint son niveau maximal.

L'évacuateur de crue des eaux du barrage est constitué de deux vannes secteurs de surface dont la côte de déversement est de 796,2m. le débit de l'évacuateur des crues est de 2650 m<sup>3</sup>/s (LAHLOU, 1994). Depuis 1987/88, les eaux de la retenue n'ont jamais atteint la cote de déversement du barrage, les volume d'eaux de crue évacuées sont donc nuls.

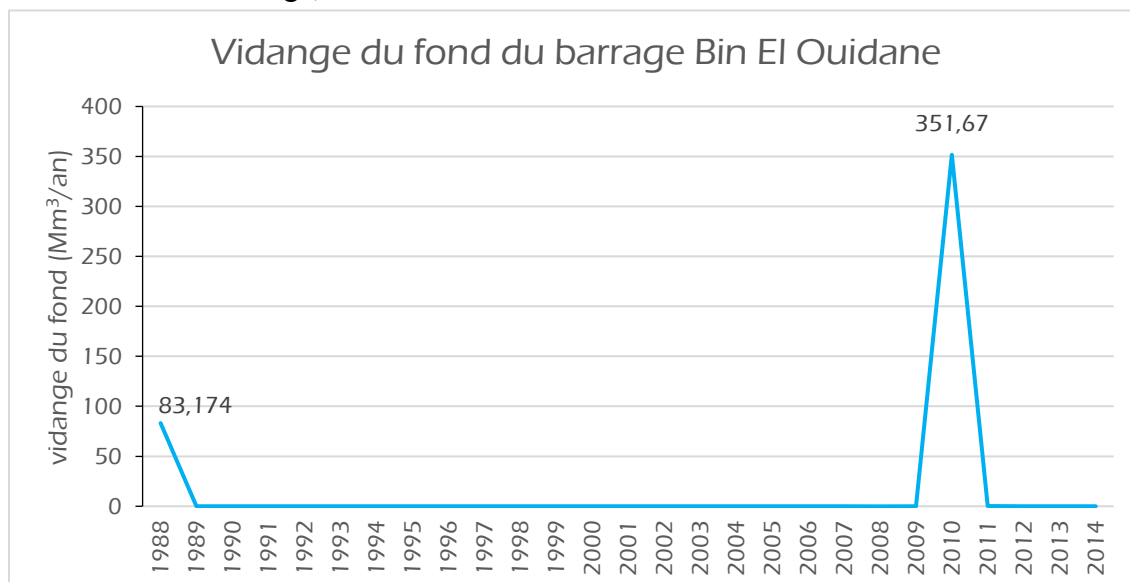


Figure 6.10 : évolution des volumes d'eau évacuées par vidange du fond. (Source : ABHOER)

### II. 3. 2. Les volumes d'eaux turbinées

Le barrage *Bin El Ouidane* a eu une double vocation ; la production de l'électricité et l'irrigation des sols du périmètre de *Béni Moussa*, aujourd'hui, une troisième vocation s'ajoute, le tourisme. Les eaux évacuées et déversées dans les turbines installées au pied du barrage permettent la production d'une importante puissance électrique, puis ces eaux turbinées gagnent le barrage de compensation d'*Ait Ouaârda* et sont dirigées vers l'usine électrique d'*Afourer* à travers une galerie de 10,5 km de longueur, pour reproduire à nouveau de l'électricité. Ces eaux utilisées pour la production électrique sont ensuite drainées pour l'irrigation de *Béni Moussa* et le périmètre de *Tassaout Aval*. Les usines de *Bin El Ouidane* et d'*Afourer* permettant ainsi une production annuelle de l'ordre de 287 Gwh.

La figure 6.11 montre l'évolution des volumes d'eau turbinée. D'après cette figure on remarque que les quantités des eaux turbinées connaissent une forte variation d'une année à l'autre, enregistrant une moyenne de l'ordre de 813 Mm<sup>3</sup>/an et de pics en 2009/2010 et en 2012/2013 avec des valeurs successives de 1244 Mm<sup>3</sup> et 1210 Mm<sup>3</sup>. Cette variation traduit la forte demande de l'énergie électrique d'une part et d'autre part des eaux destinées à l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa* et *Tassaout Aval*.

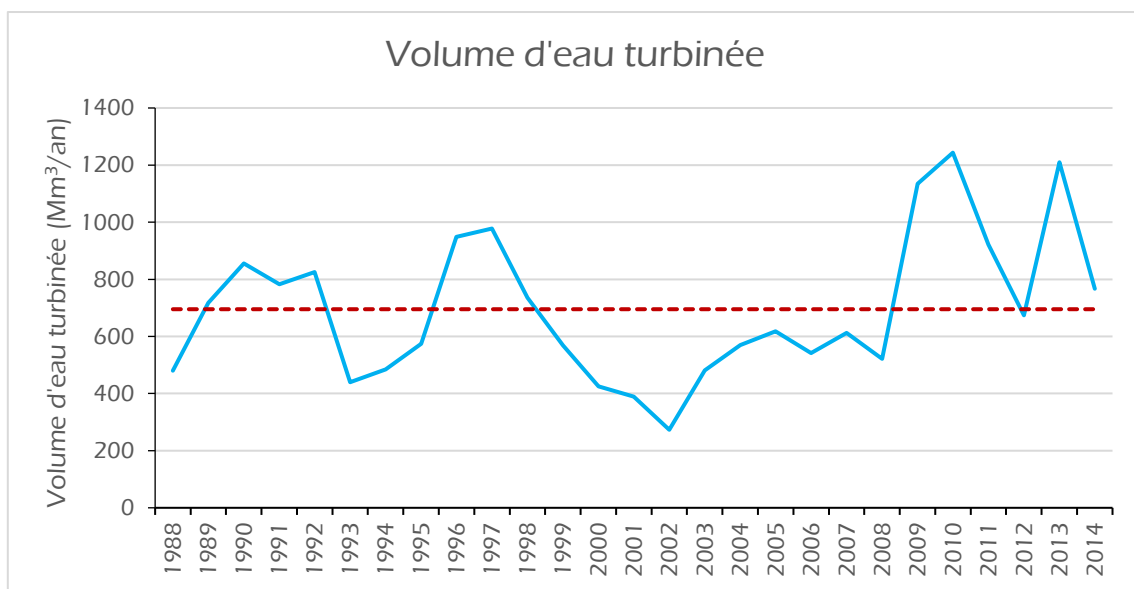


Figure 6.11: évolution des volumes d'eau turbinée au barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14. (Source : ABHOER)

## II. 4 Réserve d'eau de la retenue du barrage

L'évolution des réserves d'eau de la retenue du barrage *Bin El Ouidane* pendant la période 1987/88 – 2013/14 montre une forte fluctuation des volumes d'eau stockés. D'après la figure 6.12, l'évolution de la réserve peut être subdivisée en cinq phase :

- *Septembre 1987 – décembre 1995* : durant cette période la réserve oscille autour la moyenne sans atteindre la capacité normale du barrage.
- *Janvier 1996 – décembre 1998* : les réserves d'eau du barrage ont enregistré des masses d'eau maximales, en se situant au-dessus de la moyenne. La réserve maximale a représenté 108,4% de la capacité du barrage.
- *Janvier 1999 – janvier 2004* : les réserves mensuelles durant cette période sont déficitaires, enregistrant ainsi des stocks d'eau inférieurs à la moyenne.
- *Février 2004 – décembre 2008* : le volume des réserves d'eau oscille autour la moyenne générale sans atteindre le volume utile du barrage.
- *Janvier 2009 – septembre 2014* : la moyenne des réserves de cette période est strictement supérieure à la moyenne générale des réserves de la retenue, avec un maximum enregistré en mois de mai 2013 (1262,6Mm<sup>3</sup>).

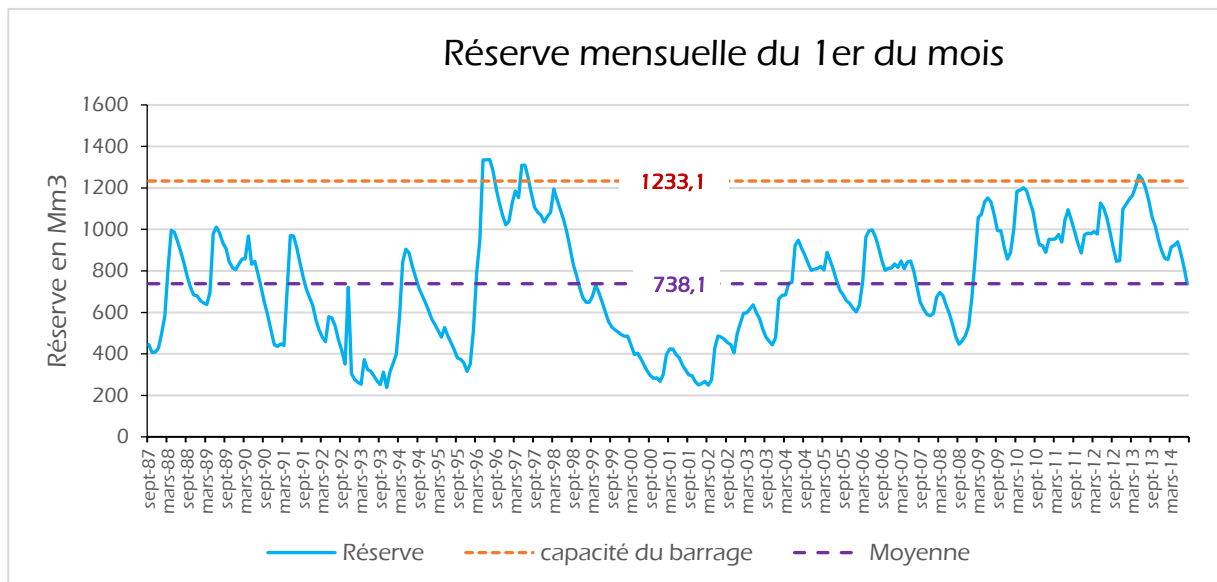


Figure 6.12 : évolution des réserves de la retenue du barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14.

(Source : ABHOER)

Cette forte fluctuation des volumes d'eau stockés est causée par la variabilité de la pluviométrie et de la température à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage

*Bin El Ouidane*. Les périodes qui ont marqué des réserves satisfaisantes correspondent aux périodes humides, alors que les dates pendant lesquelles les volumes d'eau retenues ont marqué des valeurs faibles coïncident avec les périodes de sécheresse et de basses eaux. Ses périodes de sécheresses sont conjuguées à de fortes demandes du secteur agricole pour l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa* et *Tassaout Aval*. Il est évident donc que les réserves d'eau mobilisées au niveau du barrage *Bin El Ouidane* sont étroitement affectées par les changements du régime pluviométrique du bassin versant, et la pression anthropique aggrave de plus la situation inquiétante de ces réserves.

La réserve d'eau la plus basse qu'a connue la retenue du barrage depuis 1987/88 jusqu'à 2017/18, a été enregistrée le 19 novembre 2017, avec un volume d'environ 207,48 Mm<sup>3</sup>, soit 16,9% de la capacité totale du barrage. Nous avons visité la retenue du barrage le 22 novembre et nous avons remarqué le niveau de l'eau qui n'a jamais été enregistré pour le barrage. Ce niveau de réserve d'eau très faible a dévoilé la quantité des apports solides sédimentés au fond de la retenue. Cette situation démontre, avec les résultats obtenus dans le chapitre III, que la capacité du barrage de *Bin El Ouidane* connaît une diminution remarquable sous l'effet de l'envasement. La capacité initiale du barrage estimée à 1484 Mm<sup>3</sup>, et devenue aujourd'hui 1233,1 Mm<sup>3</sup>, le volume perdu chaque année est donc de l'ordre de 4 Mm<sup>3</sup>. Les efforts effectués par l'ONE pour le dévasement de la retenue du barrage demeurent insuffisants. La protection de la retenue du barrage nécessite la participation de tous les acteurs territoriaux pour palier à ce problème qui menace l'existence même du barrage.

L'une des principales solutions à entretenir est la lutte contre la dégradation du couvert végétal et du sol à l'amont et la mise en œuvre des programmes de reboisement et de reforestation de tous les sols dégradés.



Photo 6.14 : La dégradation du couvert végétal a pour conséquence un envasement notable du barrage Bin El Ouidane. Cliché. R. BISSOUR, 2017





Photo 6.15 : Volume des sédiments apportés et déposés au fond de la retenue de Bin El Ouidane.

Cliché. R. BISSOUR 2017



Photo 6.16 : régression notable de la réserve du barrage Bin El Ouidane à 207,46 Mm3 en novembre 2017.

Cliché. R. BISSOUR (Novembre 2017)



Photo 6.17 : niveau minimal de la réserve d'eau (16,9%) du barrage de Bin El Ouidane enregistré le 19/11/2017.

Cliché. R. BISSOUR, (22 /11/ 2017)



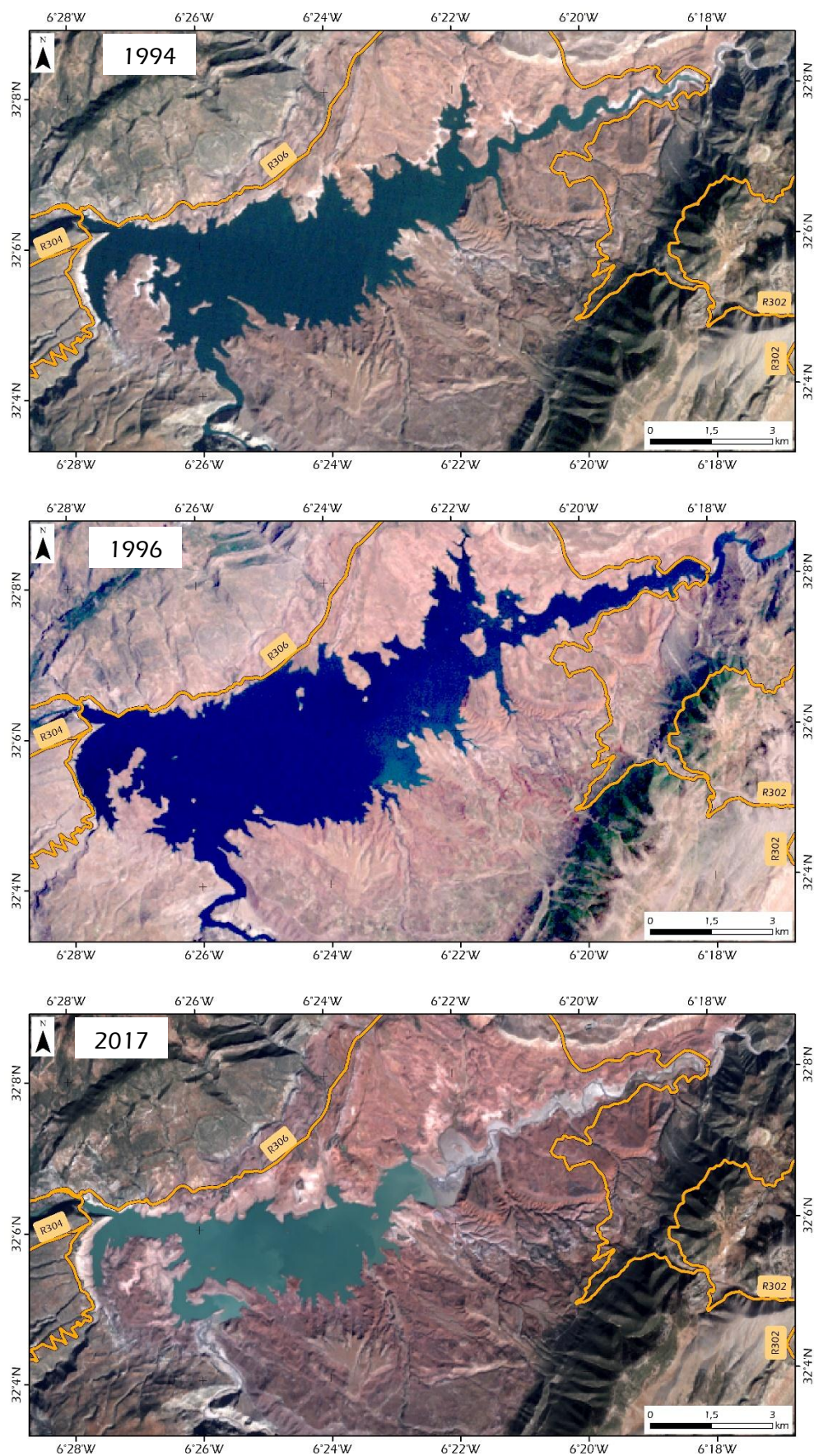


Figure 6.13 : variation de la superficie du plan d'eau de la retenue du barrage Bin El Ouidane en 1994, 1996 et 2017. Visualisation sur des images satellites LandSat.

## II. 5 Le bilan hydrique du barrage *Bin El Ouidane*

Dans l'étude du bilan hydrique de la retenue du barrage *Bin El Ouidane* nous avons essayé d'estimer des valeurs approximatives du bilan de l'eau : les entrées et les sorties. Ainsi, nous avons soustrait les volumes totaux des pertes d'eau (par fuite et évaporation) et des lâchers d'eau (évacuateur du fond et les eaux turbinées) des volumes totaux des apports d'eau. La figure 6.14 présente l'évolution du bilan hydrique de la retenue du barrage. D'après ce graphique nous constatons que les années qui ont connu un déficit du bilan hydrique sont moyennement fréquentes avec une durée plus longue enregistrée de 1996/97 à 1999/2000. Le nombre des années de déficit du bilan hydrique était de 12 années, avec un minimum de (-365 Mm<sup>3</sup>) marqué en 1991/92. En revanche, les années ayant connu un excédent hydrique sont un peu plus fréquentées, en enregistrant des bilans maximums, cependant, chaque année excédentaire en termes de bilan est suivie par une année déficitaire. Par exemple, le maximum du bilan hydrique estimé pour l'année 1988/89 qui est de l'ordre de 962,7 Mm<sup>3</sup> est devenu un déficit d'environ (-217,7 Mm<sup>3</sup>) en 1989/90. En général, le bilan hydrique moyen est positif, avec environ 109,3 Mm<sup>3</sup>, mais il reste très négligeable par rapport à la capacité du barrage, l'étendu du bassin versant, les potentialités hydrologiques et hydrogéologiques du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*. Ce bilan très faible reflète la grande pression exercée sur les ressources hydriques de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*, notamment par l'agriculture irriguée à *Béni Moussa* et *Tassaout* aval d'une part, et d'autre part, la forte variabilité des

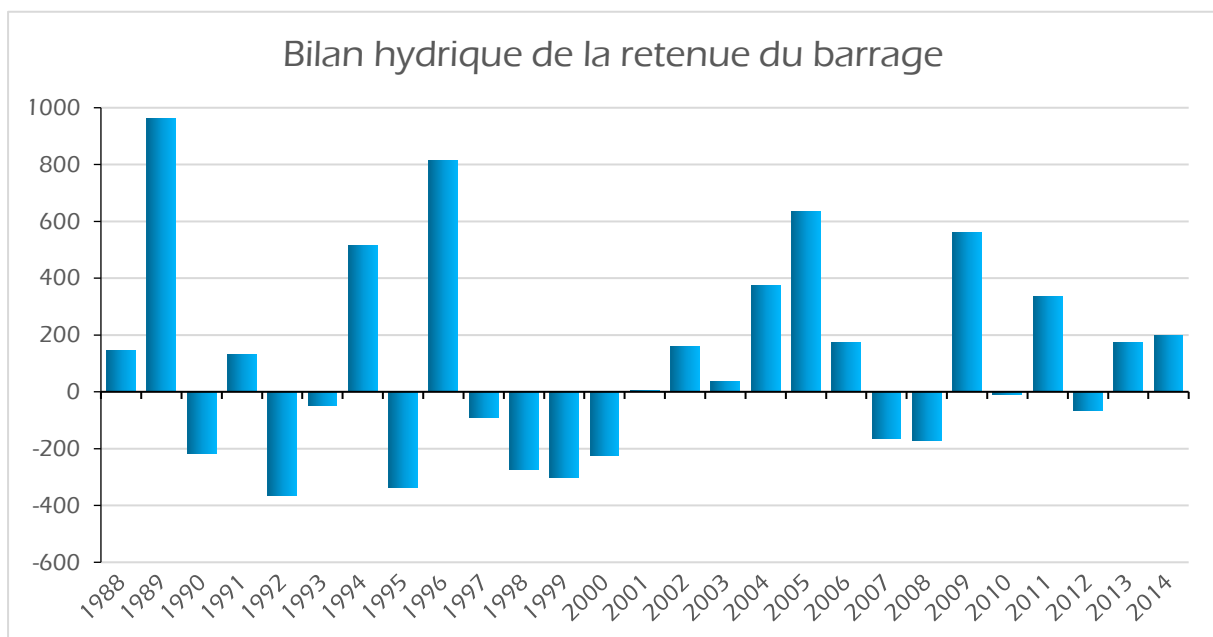


Figure 6.14: évolution du bilan hydrique de la retenue du barrage *Bin El Ouidane* entre 1987/88 et 2013/14

apports des deux cours d'eau de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal* d'une année à l'autre. Cette forte variabilité est due aux fluctuations remarquables du régime pluviométrique à l'échelle de tout le bassin versant. Cette situation est aggravée par les conditions climatiques sévères qui règnent dans la région du bassin versant, notamment les conditions de hautes chaleurs qui interviennent à la perte d'important volume d'eau de la retenue, avec une moyenne annuelle de 43,9 Mm<sup>3</sup> perdues à cause de l'évaporation.

### III. Les dotations d'eau pour l'irrigation de *Béni Moussa*

Les eaux de la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* sont destinées à la production électrique au niveau de l'usine installée au pied du barrage et l'usine d'*Afourer*. Ces mêmes masses d'eau sont restituées et destinées à l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa*. Dans ce qui suit nous présentons l'évolution des volumes d'eau attribué à l'irrigation des terres de *Béni Moussa* entre 1987/88 et 2013/14.

L'étude de l'évolution des dotations d'eau d'irrigation montre une forte demande d'eau. Durant ces 27 années, les volumes d'eau attribués à l'irrigation sont généralement situés au-dessus de 300 Mm<sup>3</sup>/an, sauf pour l'année 2001/2002 durant laquelle les dotations n'ont pas dépassé le volume de 188 Mm<sup>3</sup>. Les années ayant marqué une forte demande d'eau d'irrigation sont celles qui s'étendent entre 1989/90 et 1991/92, les volumes d'eau prélevés pour l'irrigation oscillent entre 665 Mm<sup>3</sup> et 745 Mm<sup>3</sup>. Cette forte demande d'eau d'irrigation est expliquée par

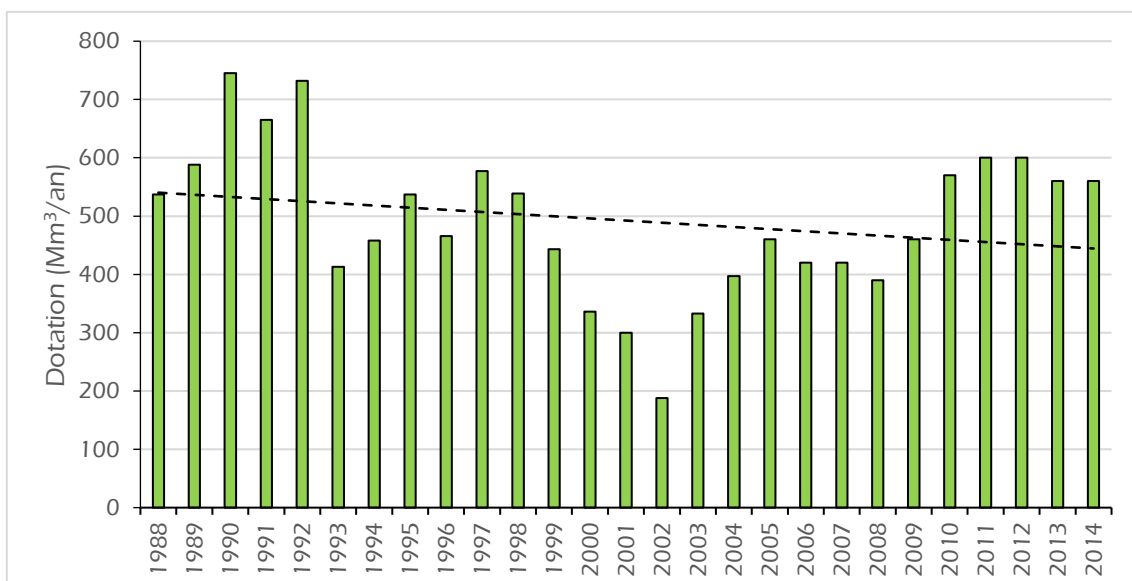


Figure 6.15 : Evolution des prélèvements d'eau pour l'irrigation du périmètre de Béni Moussa à partir du barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14

(Source : ORMVA de Tadla)

la sécheresse qu'a connue la région pendant le début des années 1990, ce qui engendre une faiblesse du bilan hydrique du barrage. Nous avons remarqué aussi, qu'après cette date, les dotations de l'eau d'irrigation n'ont pas dépassé le volume de 600 Mm<sup>3</sup>/an. Si on étale la série des volumes d'eau prélevés pour l'irrigation de *Béni Moussa*, jusqu'à l'année 1978/79, on constate que les prélèvements ont enregistré des records plus élevés par rapport à la série représentée dans la figure 6.15. Durant les années 1978/79, 1979/80 et 1980/81, les prélèvements d'eau d'irrigation ont varié entre 800 Mm<sup>3</sup> et 871 Mm<sup>3</sup>/an, alors que l'année 1983/84 a connu un volume d'eau prélevé très faible, il était d'environ 140 Mm<sup>3</sup>. Ces volumes records enregistré pourraient être le résultat du plan de l'État à l'irrigation d'un million d'hectare à l'horizon de l'année 2000, ou à la succession de la sécheresse pluviométrique. En général, l'évolution des prélèvements des eaux pour l'irrigation montre une légère tendance à la baisse. Ceci peut être expliqué par l'introduction du système d'irrigation localisé considéré comme le système le plus économe d'eau d'irrigation depuis la décennie 1990.

## Conclusion

Le barrage *Bin El Ouidane* a occupé une priorité remarquable chez les autorités françaises à l'époque du protectorat, en raison de sa situation dans la cuvette dépressionnaire de *Ouaouizerght*. Les atouts dont jouit le barrage *Bin El Ouidane* sont : l'étendu du bassin versant à l'amont, la pérennité de l'écoulement des deux cours d'eau de l'oued *El Abid* et de l'*Assif Ahançal*, les potentialités géologiques et hydrogéologiques du bassin versant, le caractère imperméable du fond du barrage, la proximité du barrage par rapport à la plaine de *Tadla* et la dénivelée entre le niveau du barrage et la plaine. Toutes ces potentialités, ont incité les autorités à octroyer tous les moyens logistiques pour l'achèvement de la construction du barrage dans les délais précis. La construction du barrage a fait partie du grand projet de l'aménagement de l'oued *El Abid*, constitué du barrage de *Bin El Ouidane*, du barrage de compensation d'*Ait Ouaârda*, galerie de dérivation des eaux de l'oued *El Abid* vers la plaine de *Tadla* et l'usine de la production électrique d'*Afourer*.

Le barrage *Bin El Ouidane*, grâce à la mobilisation des ressources en eau du bassin versant de l'amont, assurait la production de l'énergie électrique et l'irrigation des terres fertiles de *Béni Moussa*. L'étude des ressources en eau de la retenue du barrage révèle une forte fluctuation du régime des apports d'eau suite à la variabilité des régimes pluviométrique et hydrologique du bassin versant. Ces masses d'eau apportées sont, au cours du stockage, sujet d'une importante perte soit par l'effet de l'évaporation ou par les fuites. Le volume annuel moyen perdu est de

l'ordre de 29,8 Mm<sup>3</sup>. Quant aux volumes lâchers, elles ont connu des fluctuations marquées durant les 27 années retenues, suite à la forte demande en eau agricole notamment pendant les périodes sèches. Par conséquent, les réserves d'eau de la retenue du barrage ont enregistré pendant plusieurs années des volumes très inférieurs.

Cette situation inquiétante a été démontrée par un bilan estimé qui marque des valeurs négligeables voire négatives. Cette situation est aggravée par la forte diminution de la capacité du barrage qui perd 4 Mm<sup>3</sup> de son volume utile annuellement. Il est donc impératif de prendre toutes les mesures nécessaires pour préserver cette ressource hydrique en adoptant des programmes et stratégies basés sur la conscience, plus que la connaissance, du problème de l'eau, et de son utilisation rationnelle par les différents secteurs.



## Conclusion de la deuxième partie

L'étude du climat du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* montre qu'il est marqué par une aridité structurelle. Toutes les stations situées dans le bassin versant et certaines entre elles qui sont installées à la périphérie montrent un climat généralement semi-aride avec des endroits caractérisés par un climat subhumide. L'application de la méthode de Gaussen révèle une répartition presque égale des mois ayant un caractère sec et des mois humides. Le suivi de l'évolution des volumes d'eau précipitée à l'échelle du bassin versant montre une fluctuation alarmante du régime pluviométrique durant la période qui s'étale entre 1980 et 2011. La répartition des années sèches a pris une ampleur évolutive, avec une fréquence, presque, qui est au même ordre de celle des années humides. L'utilisation des indices pluviométriques comme l'écart à la moyenne et l'Indice Standardisé des précipitations (SPI) affirme ces constats. Cette fluctuation du régime pluviométrique a affecté durant les 33 années étudiées le régime hydrologique des deux cours d'eau de l'oued *El Abid* et *Assif Ahançal*. Le suivi du régime hydrologique des deux cours d'eau a montré une répartition inégale au sein de la même année, avec un débit des hautes eaux souvent enregistré pendant la saison du printemps, et une période de basses eaux enregistrée à la fin de l'été et durant toute la saison de l'automne. L'étude chronique des débits montre une forte liaison entre les séquences déficitaires enregistrées dans les séries pluviométriques et celles enregistrées dans les données hydrométriques des deux oueds. La corrélation entre les deux régimes, pluviométrique et hydrométrique, montre des valeurs significatives, avec 76% et 75% pour les deux sous bassin versant de l'*Assif Ahançal* et de l'oued *El Abid* successivement.

L'utilisation des deux modèles conceptuels GR1A et GR2M ont permis, en d'autres termes, de confirmer cette forte dépendance du régime hydrométrique au régime pluviométrique. Les paramètres de fonctionnement des deux modèles (X, X1, X2, NASH) obtenus pour le calage et la validation montrent une bonne simulation des débits des cours d'eau du bassin versant. Les deux modèles sont ainsi, aptes à simuler les débits futurs des deux cours d'eau si on peut se disposer des données pluviométriques futures issues des modèles climatiques. Ceci aura pour fin de prévoir, au court, moyen et au long terme, la situation des ressources en eau et des réserves d'eau de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*.

Le barrage *Bin El Ouidane* a été édifié sur l'oued *El Abid* grâce à la convergence de plusieurs facteurs, à savoir, la situation favorable (cuvette d'*Ouaouizerht*), la confluence entre les deux principaux cours d'eau et les potentialités hydriques du bassin versant. La raison de la

construction était la production électrique et l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa*. Depuis lors, la retenue du barrage a subi une variation du stock d'eau très remarquable. L'étude des variations des apports, des pertes (évaporation, fuites) et lâchers (vidange du fond, évacuateur des crues, eau turbinée) a montré une forte concordance avec les fluctuations du régime pluviométrique, avec un soutien du caractère perméable du substratum du bassin versant pendant les périodes sèches. Cette situation est aggravée par la diminution inquiétante de la capacité effective du barrage, ce dernier perd annuellement 4 Mm<sup>3</sup> par l'effet de l'envasement.

En conséquence, le climat du bassin versant est marqué par une variabilité qui doit attirer plus d'attention. Le nombre de stations installées dans le bassin reste très faible, avec cinq stations pour 6522km<sup>2</sup> et une seule station qui mesure la température et une absence totale d'une station de suivi de la neige. Les causes peuvent être différentes, et l'infrastructure routière quasiment absente et dégradée reste le grand obstacle. Cependant, en raison de l'importance du suivi du climat à l'échelle du bassin versant à une résolution fine et à forte précision, l'installation d'autres stations hydroclimatiques, au long des mêmes cours d'eau, et d'autres affluents (*Assif Melloul, Wabzaza, région d'Imilchil, etc.*) est indispensable pour une quantification réelle et concrète des ressources en eau. En outre, la protection de la retenue du barrage contre l'envasement reste aussi une mesure prioritaire qui doit être prise pour une gestion intégrée des ressources hydriques du bassin versant. Ce dernier est caractérisé par un bon fonctionnement hydrologique assuré par plusieurs facteurs ; géométriques (forme allongée du bassin versant), topographiques (reliefs et altitudes), lithologiques (perméabilité des roches carbonatées) et climatiques (pluviométrie et neige), mais ce milieu hydrologique nécessite des interventions très urgentes pour le protéger et lutter contre toute dégradation. Ceci pour les faire face aux défis que présente l'aval ; le développement agricole et économique de la région.



## **PARTIE 3 :**

### **VALORISATION DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID PAR L'IRRIGATION DE *BÉNI MOUSSA***

#### CHAPITRE VII

#### **SYSTEMES D'IRRIGATION ET L'ECONOMIE DE L'EAU D'IRRIGATION**

#### CHAPITRE VIII

#### **METHODOLOGIE ADOPTEE POUR L'ETUDE DE LA VALORISATION DES EAUX D'IRRIGATION**

#### CHAPITRE IX :

#### **LA VALORISATION DE L'EAU D'IRRIGATION DANS LE BÉNI MOUSSA ET L'IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE**

## Introduction de la troisième partie

Cette partie sera dédiée à l'évaluation du niveau de valorisation des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid* par l'agriculture irriguée, notamment par la production végétale. Après avoir quantifié les ressources hydriques du bassin versant et les réserves du stock d'eau de la retenue du barrage de *Bin El Ouidane* et les grands défis de la gestion de cette ressource, il est impératif, d'une part, d'étudier la relation entre les volumes d'eau exploités pour l'irrigation et la production, et d'autre part, de renforcer les stratégies et de mettre en œuvre les actions et programmes de la gestion et de l'économie de l'eau attribuée à l'irrigation.

Le premier chapitre expose une brève chronologie de l'aménagement hydro-agricole du périmètre de *Béni Moussa*, les différents systèmes d'irrigations adoptés et le programme national de l'économie de l'eau d'irrigation (PNEEI), qui est un programme principal. Le deuxième chapitre de cette partie va présenter, dans le premier axe, la méthodologie adoptée pour l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation par la production végétale. Le deuxième axe sera consacré à la comptabilité des différentes charges variables prodiguées pour la production végétale et l'estimation des volumes d'eau consommés par chaque type de culture. Le dernier chapitre exposera les résultats de l'étude de la valorisation des eaux d'irrigation par les six cultures choisies. Ces résultats seront interprétés dans le contexte de l'absence de la conscience aux problèmes de la raréfaction des ressources en eau et de la variabilité climatique. Le chapitre sera clôturé en évaluant l'impact de l'irrigation et de la production agricole sur le niveau de vie des agriculteurs enquêtés.

**Chapitre  
VII**

**LES SYSTÈMES D'IRRIGATION ET  
L'ÉCONOMIE DE L'EAU  
D'IRRIGATION**

**I**

L'aménagement hydro-agricole du  
périmètre de *Béni Moussa*

**II**

Les systèmes d'irrigation

**III**

L'économie de l'eau d'irrigation

**IV**

La valorisation de l'eau  
d'irrigation

## Introduction

Ce chapitre expose un aperçu historique sur l'aménagement hydroagricole du périmètre irrigué de *Béni Moussa* (PIBM) et les principaux facteurs qui ont permis sa mise en place. Subséquemment, nous allons définir les différents systèmes adoptés pour l'irrigation, à savoir le gravitaire, l'aspersion et le goutte-à-goutte, en présentant les principaux avantages de chacun de ces systèmes. Par la suite nous allons aborder la problématique de la gestion de l'eau d'irrigation et la stratégie de l'État pour lutter contre la surutilisation de la ressource en eau en agriculture irriguée, notamment le Programme National de l'Économie de l'Eau d'Irrigation (PNEEI) proposé en 2008, dont nous décrirons le contexte et les objectifs. Ainsi, nous aborderons l'un des principaux piliers du PNEEI qui réside dans la reconversion du système d'irrigation gravitaire en système d'irrigation localisé (le Goutte-à-goutte). À ce stade, nous allons présenter les formes proposées, les étapes de la reconversion, et les superficies agricoles concernées par le programme pour chaque forme de reconversion, ainsi que les principaux défis et contraintes qui font retarder le programme de reconversion. À la fin de ce chapitre, nous examinerons attentivement le concept de la valorisation de l'eau d'irrigation par la production agricole et sa place dans le PNEEI, en abordant l'utilité de l'étude de ce paramètre en vue de la gestion de l'eau d'irrigation.

### I. L'aménagement hydro-agricole du périmètre de *Béni Moussa*

Au début, aucune irrigation n'était possible à *Béni Moussa*, faute de sources ou de rivières. L'*Oum Er Rbia* qui le traverse de bout en bout est trop encaissé. Son régime irrégulier ne permet pas d'utiliser ses eaux dans l'irrigation. Seules quelques sources sur ses berges ont permis l'installation de maigres vergers de figuiers comprenant quelques oliviers. La zone était à l'origine couverte d'une forêt impénétrable de jujubiers. Il n'en subsiste que quelques témoins autour du lieu saint (GIRARD et al, 1951). Cependant, avec la prise de *Tadla* et la colonisation française, la plaine de *Tadla* a connu un aménagement hydro-agricole (AHA) qui vise l'exploitation des ressources en eau de la région et la fertilité des sols de la plaine, pour une activité agricole irriguée moderne qui assure une importante production végétale et qui suit le développement social du Maroc.

## I. 1 Définition

Selon FUNEL J.-M. et LAUCOIN G., l'aménagement hydro-agricole désigne un ensemble technico-économique, permettant une utilisation optimale d'eau disponible (fleuve, lac naturel ou artificiel) à des fins d'intensification de la production agricole avec une contrainte de rentabilité financière et économique de l'aménagement, assurant entre autres, sa reproduction (FUNEL J.-M. et *al*, 1980). Alors que THIERRY RUF (1992) définit l'aménagement hydro-agricole comme « *une construction complexe et fragile pour rendre artificiel le milieu cultivé, intégrant les conditions, facteurs ou contraintes climatiques, pédologiques et hydrauliques. Sa pérennité dépend de la « maîtrise de l'eau » par la société : cette notion couvre un champ d'activités humaines immenses : elle concerne la création d'infrastructures ; elle pose le problème de l'accès à la ressource hydrique dans la société concernée par l'aménagement et par la société périphérique de l'aménagement ; elle aborde la gestion quotidienne du partage de la ressource hydrique et suppose la réussite de l'entretien de l'ensemble des systèmes artificiels* » (THIERRY RUF, 1992, page 8).

D'après ces définitions de l'AHA, on peut dire qu'il s'agit de l'ensemble des opérations relatives à l'aménagement de l'irrigation d'un espace agricole donné. Cet aménagement peut concerner l'édification d'un barrage, des canaux d'irrigation, le remembrement des terrains agricoles, déforestation, etc. afin de maîtriser l'utilisation de l'eau dans l'irrigation et remplacer les systèmes d'irrigation traditionnels par des systèmes modernes. Cependant, cet aménagement donnera une restructuration et organisation de l'espace irrigué, et un contraste et déséquilibre entre les régions limitrophes (Bour, non aménagées), et ces espaces agricoles aménagés.

## I. 2 Evolution historique de l'AHA dans le PIBM

L'aménagement hydro-agricole du PIBM a été en retard par rapport à celui de Beni Amir. Ce retard a été due aux travaux d'aménagement de l'oued *El Abid*. Cet aménagement est constitué de l'édification du barrage voute de *Bin El Ouidane*, du petit barrage de compensation d'*Ait Ouaârda*, du tunnel d'*Ait Ouaârda-Afourer* et de l'usine électrique d'*Afourer*. Il s'avère donc que l'aménagement hydro-agricole du *Béni Moussa* n'a commencé qu'au début des années 50, avec l'achèvement des aménagements de l'oued *El Abid*. Mais ce retard aura un grand effet sur le périmètre, car il a permis aux aménageurs de bénéficier pleinement des leçons de l'expérience de l'aménagement du périmètre de Beni Amir et de lui donner une grande

importance, soit en ce qui concerne les superficies des terrains aménagés ou la grandeur et la qualité des aménagements installés.

L'aménagement hydro-agricole dans le périmètre de *Béni Moussa* a commencé après la prospection des sols de la plaine du *Tadla* entre 1945 et 1951. Ces études dirigées par G. BRYSSINE et R. JAMINET (BILLAUX P et al, 1967) ont pu caractériser la répartition des types de sols dans toute la plaine de *Tadla* et leurs caractéristiques pédologiques qui se sont avérés de qualité supérieure et d'une grande fertilité.

Les premiers travaux de terrassement des canaux principaux qui doivent transporter les eaux d'irrigation du site d'*Afourer* vers le périmètre de *Béni Moussa* ont commencé en 1948. La structure de ces canaux d'irrigation comprend :



Photo 7.1 : la retenue du barrage de Bin El Ouidane.  
Cliché : R. BISSOUR, 2014



Photo 7.2 : le barrage de compensation d'Ait Ouaârda.  
Cliché : R. BISSOUR, 2014



Photo 7.3 : les eaux transférées par la galerie Ait Ouaârda-Afourer.  
Cliché : R. BISSOUR, 2014



Photo 7.4 : Déviateur des eaux d'irrigation vers le canal G et T. Cliché : R. BISSOUR, 2014



- Le canal D (droit) qui s'écoule vers la partie Est du périmètre. Il est d'une longueur de 43 km. Il est conçu pour irriguer toute la partie Est du périmètre de *Béni Moussa* (30000 ha).
- Le canal G (Gauche), canal Ouest, qui suit le pied de l'Atlas de *Béni Mellal*, pour assurer l'irrigation de toute la partie Ouest du périmètre.
- Un autre canal dirigé aussi vers l'Ouest, sera prolongé vers la région d'*El Kelaa des Sraghna* pour conduire les eaux du barrage de *Bin El Ouidane* au périmètre de *Tassaout* aval.

Ces canaux principaux sont équipés de vannes automatiques permettant de régler d'une façon précise, les débits dérivés dans les canaux successifs, et de comptabiliser, les débits prélevés par les usagers (GIRARD *et al*, 1951).

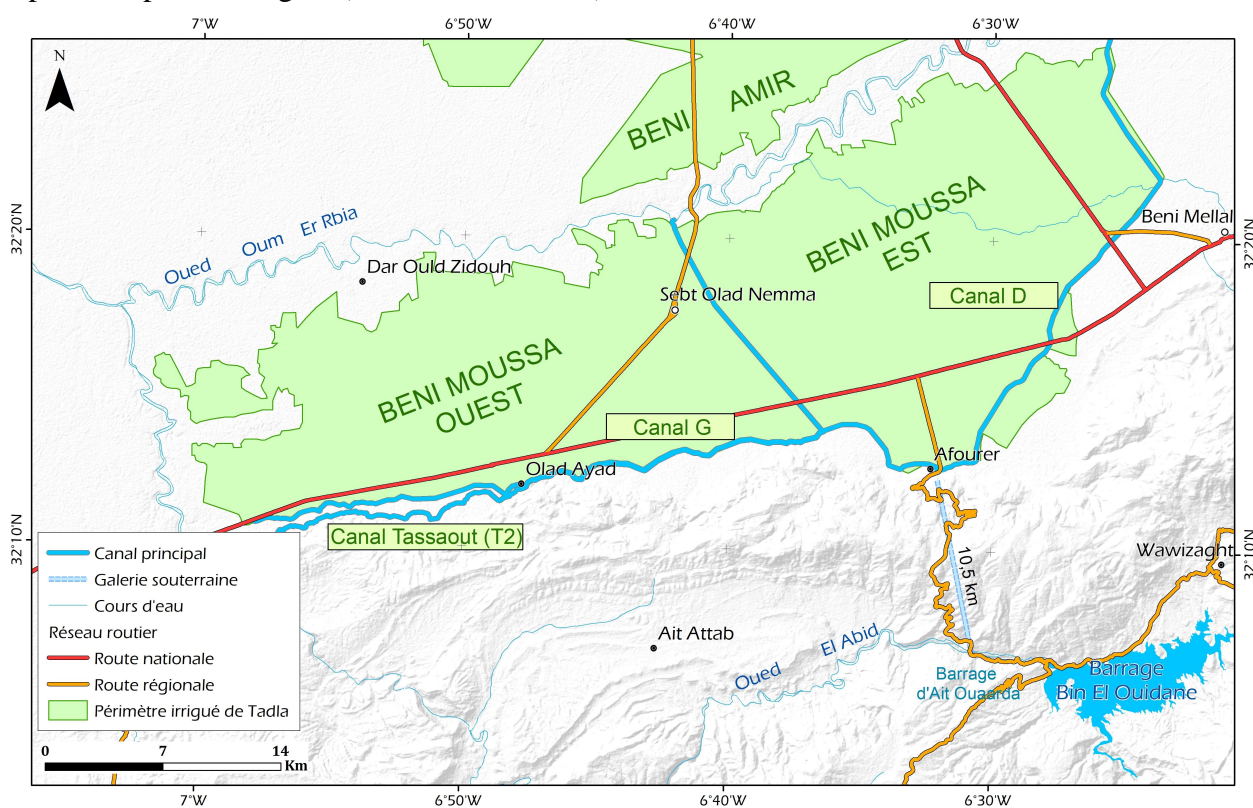


Figure 7.2 : Les canaux principaux d'irrigation



Photo 7.5 : la construction du canal G pour l'irrigation de *Béni Moussa* Ouest.

Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net)



Photo 7.6 : Vue aérienne du tracé du canal D destiné à l'irrigation du *Béni Moussa* Est.

Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net)

Photo 7.7 : Vue aérienne de l'embouchure du canal intermédiaire dans l'oued *Oum Er Rbia*.

Source : [www.dafina.net](http://www.dafina.net)



L'aménagement hydro-agricole concerne aussi le remembrement ou la reconstitution des terrains agricoles morcelés en les conférant des formes géométriques similaires. Le remembrement a été entrepris dans les *Béni Moussa* dès 1952 selon la méthode empirique mise au point sur le périmètre des *Béni Amir*. À la fin de 1954, la première phase de remembrement était concrétisée sur le terrain par l'installation du réseau d'irrigation, le bornage des parcelles et l'entrée en possession des propriétaires sur une superficie brute de plus de 6000 hectares (PREFOL, 1986).

La superficie des terrains aménagés pour l'irrigation a progressé d'une année à l'autre. Pendant la période 1953-1956, un plan a été posé à l'époque dit « plan quadriennal » qui vise l'équipement et la mise en eau d'une superficie agricole de 20000 ha. Après l'indépendance, les programmes d'élargissement des terrains aménagés ont connu une évolution notable, surtout entre 1956 et 1967, où la superficie totale aménagée et irriguée a atteint 27000 ha. Avec le lancement, de Feu SM HASSAN II de la politique des barrages en 1967 pour l'irrigation d'un million d'hectares à l'horizon 2000, le périmètre de *Béni Moussa* a connu un aménagement hydro-agricole très accéléré, pour atteindre une superficie totale de 71240 ha en 1977. Aujourd'hui le périmètre s'étend sur 69 500 ha.

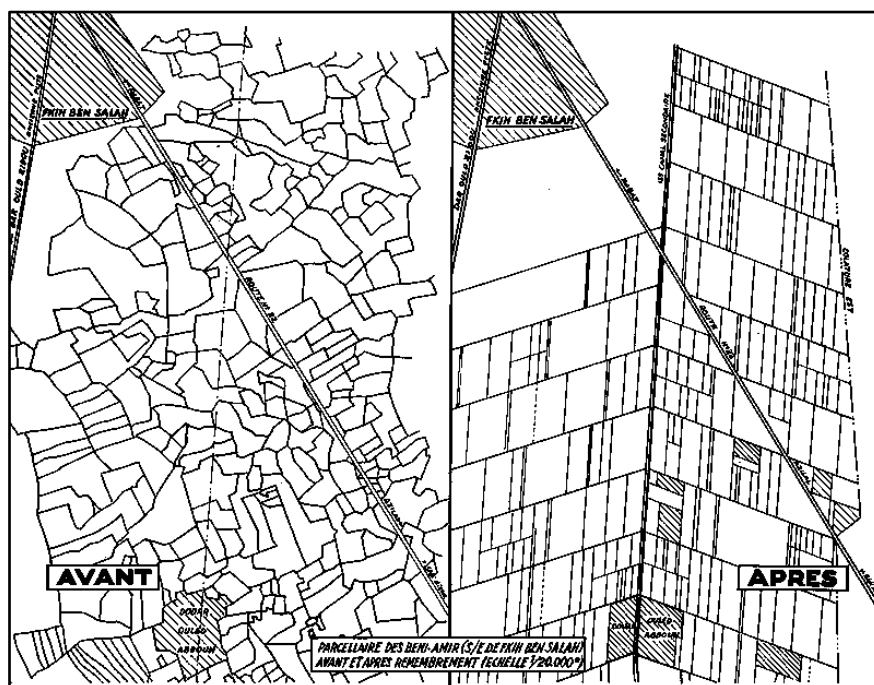


Figure 7.3 : Schémas d'un périmètre avant et après l'aménagement hydro-agricole (Source : GIRARD, 1951)



Photo 7.8 : Vue panoramique du périmètre de Béni Moussa au début de l'aménagement hydroagricole.  
Source : (PREFOL, 1986)

Il semble donc qu'au début, le souci majeur était la mobilisation des ressources en eau de la zone montagneuse afin de les exploiter en aval, au niveau de la plaine pour l'irrigation et la production végétale. L'objectif étant d'assurer la sécurité alimentaire nationale et l'essor du secteur économique national. L'intérêt aux problèmes liés aux ressources en eau (qualité, rareté, gaspillage, etc.) n'a trouvé sa place qu'après la fin de l'aménagement de tous les périmètres irrigués et l'apparition des études qui ont mis en relief les problèmes du changement climatique, la rareté et la dégradation des ressources en eau.

## II. Les systèmes d'irrigation

Le système d'irrigation adopté dès le début de l'AHA n'a jamais tenu en compte la problématique de la préservation des ressources en eau, puisque la seule contrainte auquel devait répondre les décideurs à cette époque était celle de la productivité du périmètre. Les études démontrant la fragilité climatique de la zone n'ont pas été considérées lors de l'exploitation du périmètre. Ainsi le système gravitaire était le seul système disponible et le plus propre à la zone irriguée.

Cette politique a fait que, ces dernières décennies, le secteur agricole consomme à lui seul 90% des ressources en eaux mobilisées et restera le secteur le plus consommateur de cette ressource malgré les changements notables du climat et du régime pluviométrique à l'échelle planétaires. Cette situation a exigé un changement et une reconversion des systèmes d'irrigation conventionnels vers des systèmes d'irrigation économes et durables.

On peut distinguer deux grandes catégories de système d'irrigation : le système d'irrigation gravitaire (ou de surface) et le système d'irrigation sous pression.

## **II. 1 Système gravitaire**

Le système gravitaire était la seule méthode d'irrigation possible jusqu'au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle.

Plus de 324 millions d'hectares sont équipés pour l'irrigation dans le monde (2012), dont environ 275 millions d'hectares sont réellement irrigués (FAO, 2014) : L'irrigation gravitaire demeure la méthode la plus utilisée à l'ordre de 80% (ROUSSET, 2003). Ceci signifie que ce système continue d'être très répandu en particulier dans les pays en voie de développement.

### **II. 1. 1. Définition**

L'irrigation gravitaire désigne que l'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du terrain et sous la force de la gravitation. L'amené de l'eau d'irrigation depuis la prise de l'eau jusqu'à l'exploitation ou la parcelle par les canaux à ciel ouvert se fait seulement par gravitation et aucune force extérieure n'est utilisée. Au niveau de la parcelle, l'irrigation gravitaire consiste à arroser les cultures en faisant ruisseler l'eau à la surface ou submerger toute la parcelle. C'est la technique la plus anciennement mise en œuvre à l'échelle planétaire.

### **II. 1. 2. Méthodes d'irrigation par le système gravitaire**

Le système d'irrigation gravitaire peut être réalisé selon trois méthodes principales, avec de nombreuses variantes, la méthode d'irrigation à la raie, à la planche ou au bassin.

#### **II. 1. 2.1. L'irrigation par bassin (ou par cuvette)**

C'est la méthode la plus pratiquée dans l'irrigation gravitaire. Elle est connue sous le nom (Robta). Elle consiste à découper la parcelle en plusieurs bassins cloisonnés (40 m<sup>2</sup> de superficie moyenne) pour que l'eau de l'irrigation soit apportée sous forme d'une nappe et remplie les bassins un par un. Le rendement de l'irrigation dans le bloc est de 50 % à la Robta, soit un rendement de l'irrigation à la parcelle de 60 % si les pertes dans les arroseurs sont de 15 % (YACOUBI SOUSSANE *et al*, 1999).

### **II. 1. 2.1. L'irrigation à la raie**

Cette méthode consiste à faire distribuer l'eau d'irrigation par des rigoles ou raies avec un débit relativement grand (5 à 10 l/s). Les raies sont distancées entre 0,6 et 1,25m, selon le type de sol et la culture (AZOUGGAGH., 2001). A partir du débit utilisé, un ou plusieurs sillons peuvent être irrigués à la fois. Dans cette méthode, une partie seulement du sol reçoit directement l'eau, le reste est humecté par infiltration latérale, c'est pourquoi cette méthode est appelée aussi irrigation par infiltration.

### **II. 1. 2.1. L'irrigation par planche**

Cette méthode consiste à faire couler une mince couche d'eau sur le sol. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables (AZOUGGAGH., 2001).

Ces trois méthodes utilisées dans le système gravitaire, notamment l'irrigation par bassin qui est très pratiquée dans le périmètre irrigué de *Tadla* présentent un mode de gaspillage très excessif des eaux d'irrigation. Ces méthodes exigent un débit d'eau d'irrigation très élevé et un volume horaire très long, où la durée de l'irrigation varie entre 8 heures/ha pour l'irrigation à la raie et 11 heures/ ha pour l'irrigation par bassin. Malgré ces volumes énormes d'eau et les longues heures d'irrigations, leur rendement et leur efficacité sont très faibles par rapport aux systèmes d'irrigation sous pression.

### **II. 1. 3. Avantages du système gravitaire**

Le système gravitaire adopté dans les périmètres irrigués présente plusieurs avantages, nous citons :

- Il assure l'approvisionnement des volumes d'eau très satisfaisants et très excédentaires aux exploitations et aux parcelles.
- Il permet l'évacuation des eaux d'irrigation depuis la source jusqu'aux exploitations agricoles en assurant un débit constant selon le degré des pentes.
- Il n'exige l'utilisation d'aucune source d'énergie (ni électrique, ni gazoil) pour amener l'eau à la parcelle
- Il assure une alimentation considérable des nappes phréatiques par le surplus des eaux d'irrigation

### **II. 1. 4. Inconvénients du système gravitaire**

Le système gravitaire présente plusieurs inconvénients, parmi lesquelles on cite :

- Il est considéré comme un système de gaspillage et de perte d'eau vu le débit et la durée d'irrigation très considérables.
- Le type de climat semi-aride qui règne dans la plaine de *Tadla* contribue à une importante perte des eaux par l'évaporation, pendant la période mai-aout (périodes de forte irrigation).
- Il ne peut pas alimenter tous les endroits d'une parcelle en eau d'irrigation si la topographie ou le dénivelé est non convenable.
- Le système gravitaire est un système de tour, ce qui ne permet pas à certains agriculteurs d'irriguer leurs parcelles aux moments opportuns.
- Il demande une main d'œuvre pour chaque irrigation

### **II. 2 Systèmes d'irrigation économes**

Il s'agit de deux systèmes qui nécessitent une mise sous pression des conduites qui distribuent l'eau d'irrigation dans toute l'exploitation agricole. On parle donc du système d'irrigation par aspersion et du système d'irrigation goutte-à-goutte. Ils sont récents et n'ont commencé à être mises en pratique qu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle.

#### **II. 2. 1. L'irrigation par aspersion**

Dans cette technique d'irrigation, l'arrosage reproduit les précipitations naturelles en distribuant l'eau préalablement mise en pression sous forme de pluie (SOUTTER et *al*, 2007). Elle permet théoriquement d'importantes économies en eau, du fait de sa meilleure uniformité d'arrosage (YACOUBI, 1999) mais la plupart des exploitations agricoles adoptant ce système consomment des volumes d'eau plus élevés par rapport au gravitaire, ceci est dû à l'incompétence des agriculteurs et la non maîtrise des besoins des cultures en eau.

Dans ce système d'irrigation, l'arrosage se fait par surfaces rectangulaires ou par cercles selon le type d'appareils utilisés. Souvent, le matériel d'irrigation par aspersion présente de nombreuses fuites soit à cause du manque d'entretien ou de renouvellement soit à cause de l'utilisation irrationnelle du système.

## II. 2. 2. L'irrigation par goutte-à-goutte

Dans cette technique, dite aussi irrigation localisée, l'arrosage est effectué exclusivement dans le voisinage immédiat des plantes (d'où le terme parfois utilisé d'irrigation localisée) avec un débit faible et une fréquence élevée (voire en continu) via un réseau dense de micro-conduits (SOUTTER *et al*, 2007). Le fait de livrer à la plante une dose très faible de l'eau qui humidifie le sol, minimise les pertes des eaux d'irrigation par évaporation et percolation. Ceci permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes.

L'efficacité du système d'irrigation localisé est de l'ordre de 95 % alors que le système gravitaire présente une efficacité globale de 50 à 55 % (KOBRY *et al*, 2004), le système d'irrigation localisé est considéré comme le système d'irrigation le plus économes en eau. Il permet une irrigation selon le besoin en eau des plantes, sans gaspiller l'eau, et en humectant seulement le niveau de sol dans lequel les racines sont développées. Cependant, la mise au point de ce système demande un budget considérable, ce qui nécessite un soutien et un appui de l'état surtout pour les petits agriculteurs. En outre, leur mise en œuvre exige une conscience et un savoir technique plus précis et pratiques, et un entretien et suivi continu, afin que ces systèmes fonctionnent d'une façon rationnelle.

En effet, plusieurs Fellahs utilisent, sans conscience, ces techniques d'irrigation économes avec l'esprit du système gravitaire. Ils ne respectent pas les périodes de besoin en eau et le débit d'irrigation. Ils pensent que la plante ne se développe que si le sol est très humecté. Cette situation nécessite un suivi par l'Office de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) en organisant des formations périodiques à travers lesquelles les agriculteurs seront sensibilisés à la problématique de la rareté des ressources en eau et la nécessité de la gestion de cette ressource par ces systèmes d'irrigation.

## II. 2. 3. Avantages du système sous pression

Les deux systèmes d'irrigation par aspersion et le goutte-à-goutte présente plusieurs avantages par rapport au système gravitaire, parmi lesquels :

- Les volumes d'eau utilisés en irrigation sont à l'ordre des besoins des plantes,
- Les pertes d'eau dans les conduites de transport sont très négligeables dans le cas d'un entretien régulier,



- L'efficience et la production végétale sont très bonnes, notamment pour l'irrigation goutte-à-goutte,
- Ces deux systèmes sont adaptés à tout type de sol,
- Parcellaire non figé,
- Le système d'irrigation goutte-à-goutte peut-être automatisé,
- La main d'œuvre pour l'irrigation et l'utilisation des pesticides et fertilisants est non requise pour ces systèmes par rapport au système gravitaire.

#### **II. 2. 4. Inconvénients du système sous pression**

Les systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte présentent, par contre, plusieurs inconvénients :

- Ils demandent un investissement très important, ce qui empêche les petits agriculteurs à les adopter,
- Ils demandent de grandes superficies d'exploitation pour la mise au point du bassin de stockage d'eau et l'unité de pompage
- Les besoins énergétiques sont importants en cas de pompage,
- Ils nécessitent un savoir-faire et des compétences multiples,
- La maintenance et l'entretien des installations sont onéreux,
- Ils nécessitent dans certains cas la filtration de l'eau (eau turbide) afin d'éviter le colmatage des buses d'aspersion et des goutteurs,
- Ils n'assurent pas l'alimentation des nappes phréatiques vu la faible infiltration des eaux d'irrigation,

### **III. L'économie de l'eau d'irrigation**

À l'échelle nationale, voire globale, le climat devient instable et la pluviométrie pendant ces dernières décennies a connu une variabilité inquiétante, ce qui annonce une rareté notable des ressources en eau. Plus que cela, la pression sur cette ressource naturelle ne cesse de s'accroître en raison de la croissance démographique, l'extension des terres irriguées et les besoins des autres secteurs économiques, 90 % des eaux sont destinées à l'agriculture irriguée contre seulement 10 % à l'eau potable et à l'industrie (KOBRY *et al*, 2004). Cette situation impose une gestion intégrée des ressources en eau dans les périmètres irrigués de sorte à utiliser

cette denrée d'une façon rationnelle et de lier l'économie agricole aux quantités d'eau utilisées pour l'irrigation.

### **III. 1 Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation (PNEEI)**

Dans un contexte de rareté de l'eau et de compétitivité entre les secteurs (agriculture, industrie, eau potable), l'économie et la valorisation de l'eau d'irrigation sont devenues deux objectifs très importants dans la politique de l'eau au Maroc (BOULARBAH et al.2017). Les anciennes politiques adoptées dans le secteurs agricole (l'irrigation d'un million d'hectares, la mobilisation des ressources en eau à travers la construction des barrages, ...) ont eu pour objectif le développement agricole du pays sans tenir compte des problèmes de durabilité des ressources, mais à présent, les programmes de développement des périmètres irrigués sont obligés de prendre en considération la gestion et l'utilisation durable et consciente des ressources en eau en irrigation.

Dans ce contexte, le département de l'Agriculture du Maroc, à élaborer une stratégie appelée le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI), qui vise l'économie et la valorisation de l'eau en irrigation. Cette stratégie considère l'amélioration du revenu agricole comme une condition sine qua none pour sa réussite. Le PNEEI constitue une composante principale du Plan Maroc Vert (PMV) qui a pour objectif la modernisation du secteur agricole et l'amélioration des revenus des agriculteurs.

L'objectif défini pour le PNEEI était une gestion conservatoire et durable des ressources en eau limitées, la durabilité de l'agriculture irriguée et le renforcement de son rôle stratégique dans la sécurité alimentaire du pays. Le PNEEI s'articule autour de la modernisation de l'agriculture irriguée à travers le développement de reconversion à grande échelle des techniques d'irrigation existantes (le gravitaire et l'aspersion) vers l'irrigation localisée.

Ce programme a pour objectif aussi, le renforcement de la maintenance et la réhabilitation des réseaux d'irrigation pour assurer un meilleur service de l'eau (ARRIFI, 2009) et la pérennité des équipements. Dans le but de lutter contre l'énorme perte d'eau au niveau du réseau d'amené de l'eau, les formes de gaspillage et de la perte de l'eau dans le réseau d'irrigation peuvent être dues soit à la dégradation du réseau ou aux mauvais comportements de certains agriculteurs. Ceci nécessite d'impliquer et responsabiliser les fellahs dans la gestion des réseaux d'irrigation.

### III. 1. 1. Principales consistances du PNEEI

Le PNEEI place l'amélioration du revenu agricole au centre des préoccupations et se base non seulement sur la reconversion vers la technique d'irrigation efficiente, mais aussi sur la revue et l'amélioration de tout le processus de mise en valeur agricole et de valorisation de la production. Il s'occupe de tout le processus agricole, depuis le choix des types de cultures pratiqués et leurs techniques et pratiques culturelles jusqu'à la commercialisation.

Ainsi, le PNEEI consiste en la conversion massive de l'irrigation gravitaire et par aspersion à l'irrigation localisée, particulièrement dans les périmètres de grande hydraulique. Le programme interesse la période 2008-2022 (15 ans), et portera sur la conversion à l'irrigation localisée d'une superficie de l'ordre de 550000 ha à l'échelle nationale, dont 395090 ha dans les périmètres de grande hydraulique.

Tableau 7.1 : Superficies des terrains concernés par la reconversion selon les périmètres irrigués

Périmètre irrigué	Superficie	%
<i>Tadla</i>	88740	22,5
Haouz	80600	20.4
Doukkala	76600	19.38
Gharb	65700	16.62
Moulouya	51200	12.95
Loukous	18950	4.79
Souss	9800	2.48
Tafilalet	2000	0.5
Ouarzazet	1500	0.37
<b>Total</b>	<b>395090</b>	<b>100</b>

Source : ORMVAT

- Pour se faire, le PNEEI a été subdivisé en cinq composantes principales (ARRIFI, 2009):
- Les modernisations collectives (217.940 ha en grande hydraulique), y compris la mise à niveau des réseaux d'irrigation et leur modernisation pour faciliter la reconversion aux techniques d'irrigation économes en eau (réseaux basse pression, densification de réseaux sous pression, aménagement de bassins, etc...).
  - Les modernisations individuelles (337.150 ha dont 177.150 ha au niveau des périmètres de grande hydraulique et 160.000 dans les zones d'irrigation privée).
  - La valorisation agricole : il s'agit notamment de l'amélioration de la mise en valeur agricole et de l'aval agricole pour une meilleure valorisation de l'eau (révision des assolements,

partenariat avec l'agro-industrie pour le développement de nouvelles filières, labellisation, produits de terroir, etc.).

- Le renforcement de l'appui technique par le développement d'un conseil de proximité en matière de conception des systèmes d'irrigation localisée et d'appui à l'amélioration de la productivité.
- Les mesures d'accompagnement.

Avec la réalisation de ce programme, la superficie équipée en irrigation localisée atteindra près de 700 000 ha, soit 50% de la superficie équipée pour l'irrigation.

### **III. 1. 2. Les effets attendus du PNEEI**

Le PNEEI qui a été considéré comme un programme ambitieux et volontariste, vise le développement du secteur agricole à travers le développement de l'irrigation localisée. Ce développement sera concrétisé si les objectifs attendus du programme sont réalisés. Parmi les principaux effets attendus du PNEEI, on note (ARRIFI, 2009) :

- Une économie de consommation d'eau variant entre 30 et 50% permettant de réduire les déficits enregistrés au niveau des périmètres de grand hydraulique de plus de 750 Mm<sup>3</sup>/an,
- L'augmentation des rendements des cultures dans des proportions pouvant atteindre 100%,
- L'augmentation des revenus des agriculteurs, ce qui permet une amélioration de leurs conditions de vie, ainsi que l'amélioration des recouvrements des redevances d'eau,
- L'augmentation de la production agricole nationale et rééquilibrage de la balance commerciale alimentaire.
- La création de l'emploi durant les travaux et après l'achèvement du programme (techniciens, ingénieurs, assistance, etc.).
- La protection des ressources en eau et de l'environnement.
- La réduction de la demande énergétique du secteur de l'irrigation (notamment le gaz).

### **III. 2 La reconversion à l'irrigation localisée au *Tadla***

Une étude a été réalisée en 2009 par l'ORMVA de *Tadla* au niveau du périmètre irrigué de *Béni Moussa* a eu pour objectif la faisabilité de la reconversion en système d'irrigation localisé et l'identification des secteurs reconvertibles. L'étude\* de faisabilité relative au

---

\* Étude de faisabilité de la reconversion collective à l'irrigation localisée dans les Béni Moussa. Phase II : Étude de faisabilité des secteurs sélectionnés. Étape 3 : Étude de faisabilité du secteur pilote

le périmètre de *Béni Moussa* a permis de fixer trois critères pour le choix des sites reconvertibles, qui sont :

- La cote maximale imposée pour dominer chaque zone,
- L'exploitation des dénivelées pour dominer gravitairement ces secteurs,
- L'exploitation des grands ouvrages du réseau de l'ORMVAT pour alimenter les secteurs retenus.

Le PNEEI a fixé pour le périmètre irrigué de *Tadla* l'objectif de reconversion de 88 700 ha de terrains agricoles en irrigation localisée, soit 81% de sa surface totale. Cette reconversion prend deux formes, la reconversion collective, qui concerne 49000 ha et la reconversion individuelle (39000 ha). Dans une première étape, une superficie de 32045 ha a été identifiée au niveau de la zone de *Béni Moussa Est* et 15421 ha au niveau de *Béni Moussa Ouest*.

En effet, le programme de reconversion à l'irrigation localisée semble réalisé d'une façon très lente, sachant bien que son horizon est fixé pour l'année 2022 et que son commencement qui était en 2008.

Ce retard est dû à la faible participation des agriculteurs au projet d'installation du goutte-à-goutte, vu que le fonctionnement de ce système d'irrigation associe à la fois différentes dimensions (techniques, financières et de gestion) et de nombreux acteurs (HADIOUI *et al*, 2014). Cette faible participation des agriculteurs a aussi pour cause leur niveau culturel et éducatif.

Cette faible participation des petits agriculteurs est compensée par la forte participation des agriculteurs de grandes exploitations (fermes et sociétés). Nous avons remarqué pendant notre enquête de terrain, que les exploitations adoptant le système d'irrigation goutte-à-goutte sont de grande taille (plus que 20 ha jusqu'au 300 ha). Pour ces exploitations, l'adoption du système d'irrigation localisé a pour souci de minimiser les charges de production, notamment les charges de l'eau et de la main d'œuvre, alors que pour les petites exploitations, les contraintes de la superficie réduite, du financement et des problèmes liés à la propriété de la terre, les entravent de bénéficier du programme de la reconversion collective.

En conséquence, la dominance des exploitations de petite et moyenne taille et leur morcellement par l'héritage constituent l'une des contraintes de la reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre de *Béni Moussa*. Car le système localisé exige la présence d'un

bassin de stockage de l'eau de grande dimension ; ce qui demande une superficie supplémentaire ; ceci aboutit à une diminution de la taille des micros exploitations.

Tableau 7.2 : structure foncière des exploitations agricoles dans le périmètre du Tadla

Taille d'exploitations	% en Superficie	% du nombre d'exploitations
< 5 Ha	34	82
5 à 10 Ha	18	11
10 à 20 Ha	14	4
> 20 Ha	34	3
TOTAL	100	100

Source : ORMVA de Tadla

### III. 3 Réseau des canaux d'irrigation : état et réhabilitation

Le périmètre irrigué du *Tadla* dispose d'un réseau d'irrigation gravitaire qui assure l'irrigation de toutes les exploitations du périmètre. Ce réseau a une longueur de l'ordre de 2630 km. Ce réseau de canaux comprend les canaux principaux d'une longueur de 200 Km, les canaux secondaires s'étalant sur une longueur de 630 Km, et les canaux tertiaires sur 1800 Km.

La circulation de l'eau d'irrigation dans ce réseau de canaux est régularisée par des ouvrages de régulation et des matériaux hydromécaniques\* composés de :

- 120 vannes de garde
- 17 977 ouvrages de répartition constitué de :
  - 2 260 Modules,
  - 3 614 Partiteurs,
  - 12 103 Vannes TOR.

Cependant, ce réseau de canaux d'amenée de l'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué du *Tadla* présente une grande problématique, qui se manifeste dans la vétusté des canaux et entraîne une perte en eau très importante à l'amont de la parcelle. Cette situation a imposé des actions d'intervention très urgentes. Ces actions ont été programmées et réalisées dans le cadre du PNEEI.

Parmi les actions\* retenues pour la réhabilitation du réseau d'irrigation on note :

\* <http://ormva-tadla.ma>

- La régulation hydraulique des canaux principaux,
- Le rehaussement du canal G sur 3 Km, en amont de la prise G10, en vue de constituer une réserve,
- Le rehaussement du canal GM sur 2,6 Km, cet aménagement concerne le deuxième bief de régulation canal,
- Le revêtement du départ du canal G sur 12,5 km,
- La réalisation des ouvrages de prises des adducteurs,
- La construction d'un grand bassin,
- La gestion automatisée des vannes.



Photo 7.9 : Unité de contrôle et de transfert des eaux des canaux d'irrigation.

Cliché : R. BISSOUR, 2016



Photo 7.10: canal à ciel ouvert des eaux d'irrigation Cliché : R. BISSOUR, 2016



Photo 7.11: Canal tertiaire de l'irrigation du périmètre de Béni Moussa.

Cliché : R. BISSOUR, 2016



Ces actions de réhabilitation des canaux doivent sauvegarder cette infrastructure d'une façon continue et à temps réel à travers une maintenance appropriée et un ensemble d'actions qui permettent de maintenir le réseau en bon état physique et de fonctionnement pour lutter contre les pertes en eau et assurer un service d'eau à la fois continu et adéquat.

#### **IV. La valorisation de l'eau d'irrigation**

La valorisation de l'eau d'irrigation est devenue une préoccupation exigeante dans le contexte globale de la rareté des ressources en eau. Les volumes gigantesques d'eau, mobilisées pour assurer l'irrigation dans les périmètres irrigués depuis plusieurs décennies, nécessitent aujourd'hui une utilisation rationnelle à travers l'adoption de systèmes d'irrigation économes en eau et une valorisation du produit agricole conformément aux quantités d'eau qu'il consomme.

La valorisation de l'eau d'irrigation a plusieurs définitions selon la discipline et le champ d'application (économie et agronomie). Du point de vue agronomique, la valorisation de l'eau d'irrigation est définie comme le rapport entre le rendement récoltable ou la production végétale et le volume d'eau totale utilisée pour aboutir à cette production par unité de surface. Alors que pour les agro-économistes, ce terme désigne comme étant le rapport entre la marge brute ou la marge nette de la production végétale d'une unité de surface et le coût de l'eau d'irrigation nécessaire à la réalisation de cette production (BOUAZIZ *et al*, 2002).

Ce nouveau concept demeure aujourd'hui un paramètre indispensable dans le secteur agricole. Les agriculteurs sont demandés à présent de mesurer d'une manière précise les volumes d'eau d'irrigation. Ils sont donc obligés de prendre en considération, dans leur évaluation du rendement, la consommation en eau de chaque culture. Ainsi, cette réflexion aura effectivement pour effet de produire plus et mieux par chaque mètre cube d'eau d'irrigation tout en adoptant des comportements plus conscients vis-à-vis des ressources en eau. En d'autres termes, les agriculteurs sont appelés à lier étroitement la production végétale et leurs revenus au nombre de mètres cubes d'eau utilisés dans l'irrigation et non pas seulement à leurs efforts et l'état climatique de l'année agricole.

##### **IV. 1. 1. Les études étatiques de valorisation de l'eau d'irrigation**

La valorisation de l'eau d'irrigation a fait objet de plusieurs études, à l'échelle nationale et régionale. L'une des premières études réalisées au niveau nationale est celle de (MOGHLI et

BENJELLOUN TOUIMI, 2000) dans laquelle ils ont comparé la valorisation de l'eau d'irrigation entre les différents périmètres irrigués du Maroc. Ils ont mis en exergue le volume d'eau utilisé en agriculture et ils ont conclu que le niveau de valorisation de l'eau est encore très faible et varie d'un périmètre irrigué à l'autre. Une autre étude sur la valorisation de l'eau d'irrigation par les productions végétales a été menée au niveau du périmètre irrigué de *Doukkala* en 2005 par AMGHAR et JELLAL, dans laquelle les auteurs ont comparé la valorisation de l'eau d'irrigation pour les différents systèmes d'irrigation adoptés pour différentes activités agricoles pratiquées dans le périmètre irrigué pendant une période de dix ans entre 1990/91 et 1999/2000. Au niveau du périmètre irrigué du *Tadla*, (HAMMANI et al, 2009) ont réalisé une étude de valorisation de l'eau souterraine par les cultures fourragères. Dans cette étude, les auteurs se sont intéressés seulement aux eaux souterraines utilisées pour l'irrigation de la Luzerne, le Bersim et le Maïs. Cependant, aucune étude ne s'est intéressée à la valorisation des eaux de surface pour que nous pouvons comparer nos résultats avec d'autres résultats relatifs à d'autres régions. Toutes ces études sont intéressées à la valorisation des eaux d'irrigation sans faire la différence entre les deux ressources en eau de surface et souterraines. La raison peut être résider dans le fait que la majorité des exploitants du périmètre irrigué utilisent les deux ressources d'une façon combinée.

En partant des concepts de ces études, nous allons essayer de faire une étude de valorisation des eaux d'irrigation de surface du bassin versant de l'oued *El Abid* mobilisées au niveau du barrage de *Bin El Ouidane*. Pour mener cette étude de valorisation, nous avons choisi les cultures les plus consommatrice de l'eau d'irrigation.

## Conclusion

Les aménagements de l'oued *El Abid* constitué du Barrage de *Bin El Ouidane*, Barrage de compensation d'*Ait Ouaârda*, le tunnel d'*Ait Ouaârda-Afourer* ont eu pour objectif l'irrigation de la vaste plaine du *Tadla*, plus précisément la zone de *Béni Moussa*. Ces aménagements débutés en 1950 et finis en 1953 ont permis l'accélération de l'aménagement hydroagricole du périmètre de *Béni Moussa* qui a permis ainsi un développement de l'activité agricole de la région. L'utilisation exclusive du système gravitaire, au début de l'exploitation de l'aménagement hydro-agricole a entraîné une forte pression sur les ressources en eau aussi bien du bassin versant de l'oued *El Abid* que les ressources en eau souterraine.

Pour faire face à cette situation, l'État a élaboré le Programme National de l'Économie de l'Eau d'Irrigation. Le PNEEI énonce que l'économie d'eau d'irrigation est la seule solution pour assurer la pérennité de la production agricole dans les périmètres irrigués. Le programme a proposé, la reconversion progressive du système d'irrigation gravitaire en système d'irrigation de goutte-à-goutte et le renouvellement et la réhabilitation du réseau d'irrigation. Plusieurs exploitations ont bénéficié de la reconversion en système économe, toutefois seuls les grands et les moyens agriculteurs qui ont pu profiter du soutien de l'État et d'installer le système de goutte à goutte, alors que les petits agriculteurs, en raison de la superficie réduites des exploitations, et des problèmes liés à la propriété de la terre, n'ont pas pu profiter du programme de la reconversion.

D'après nos constats sur le terrain, nous avons remarqué que la plupart des agriculteurs adoptant le système d'irrigation localisé, ont procédé à ce changement dans l'objectif était purement pragmatique (augmentation de la productivité et minimisation de la main d'œuvre) et ne n'émanait aucunement d'une volonté de préserver l'eau. L'ORMVA de *Tadla* est appelé, à cet égard, de s'ouvrir sur les agriculteurs afin de les sensibiliser, les encadrer et les accompagner.

**Chapitre  
VIII**

**MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE POUR  
L'ÉTUDE DE LA VALORISATION DES  
EAUX D'IRRIGATION**

**I**

**Méthode de l'étude de la  
valorisation des eaux d'irrigation**

**II**

**L'étude des différentes charges**

**III**

**L'étude des volumes d'eau  
consommés**

**IV**

**Résultats des charges totales**

## **Introduction**

Dans ce chapitre nous présenterons la démarche adoptée dans l'enquête de terrain qui a été menée à l'échelle du périmètre irrigué de *Béni Moussa* pour étudier la valorisation de l'eau d'irrigation via les cultures les plus pratiquées et qui sont considérées les plus consommatrices d'eau. Au départ, nous allons présenter la méthodologie adoptée pour l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation et les différentes étapes de cette étude. Puis, nous allons présenter les critères de choix des exploitations et l'impact de type d'exploitation sur le degré de valorisation de l'eau d'irrigation.

Pour cette étude, nous avons choisi certains types de cultures dont il serait judicieux d'évoquer les critères de choix, et de présenter une synthèse bibliographique sur ces cultures. Par la suite, nous allons étudier les différentes charges de la production agricole des cultures choisies, à partir des travaux de la préparation du sol pour le labour à la récolte et la commercialisation du produit agricole. L'étude des charges de la production agricole sera répartie en deux étapes : i) la première concerne la phase dans laquelle l'agriculteur investit ses fonds et ses efforts pour la production. Cette phase comporte les charges des travaux du sol (labour, cover-crope, confection des seguias, etc.), l'épandages des engrais de fonds et de couvertures, traitement phytosanitaire, l'irrigation et autres charges qui varient selon le type de culture. ii) la phase de la production, dans laquelle nous avons traité les charges de la récolte, mains d'œuvre, chargement et transport, etc. En fin, nous allons faire une synthèse des différentes charges de la production agricole pour faire une comparaison entre ces différentes charges de chaque type de culture.

### **I. Méthode de l'étude de la valorisation des eaux d'irrigation**

La valorisation de l'eau d'irrigation est considérée comme l'un des piliers de l'économie de l'eau d'irrigation. L'étude de la valorisation doit être réalisée d'une manière périodique pour contrôler le comportement des agriculteurs vis-à-vis des eaux d'irrigation. L'objectif de la valorisation de l'eau d'irrigation est de rationaliser l'utilisation de cette denrée vitale en minimisant les coûts de charge (volumes d'eau, nombre d'heures d'irrigation) et en augmentant les revenus habituels des agriculteurs.

L'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation concerne ici seulement le système d'irrigation gravitaire, sans étudier le système d'irrigation de goutte-à-goutte. Au début, nous

avons proposé de faire une étude comparative entre les deux systèmes d'irrigation pour évaluer la valorisation par les deux systèmes. Cependant, plusieurs contraintes nous ont empêché d'atteindre notre objectif, parmi lesquels nous citons :

- i) un grand nombre d'agriculteurs qui utilisent le système économe n'arrivent pas à estimer et de nous fournir les volumes d'eau utilisés par la culture (analphabétisme et le manque du savoir technique),
- ii) toutes les exploitations équipées par le goutte-à-goutte utilisent d'une façon combinée les eaux de surface (*Bin El Ouidane*) et les eaux souterraines (puit ou forage).

Toutes ces contraintes nous ont obligé à limiter notre étude de valorisation des eaux de surface du bassin versant de l'oued *El Abid* par la valorisation des eaux du système gravitaire. La méthode retenue, pour l'étude de cette valorisation se base sur la comptabilité des différentes charges dépensées, les quantités de la production végétale et la rentabilité des différentes cultures retenues pour cette étude.

L'étude des charges comporte deux volets, les travaux et les intrants. Pour les charges des travaux, ils concernent la main d'œuvre et le matériel utilisé dans les différents travaux de l'activité agricole. Il s'agit des différents travaux du sol qui comportent le labour profond, le charrue à socs et à disque, le binage, le cover-crop, l'enfouissement des engrais, le désherbage, la préparation des bassins et des conduites pour l'irrigation, l'irrigation, la récolte, etc. Les intrants, quant à eux, ils comportent les semences, les engrais, les produits phytosanitaires et l'eau d'irrigation. Toutes ces charges sont comptabilisées selon le type de culture pratiquée dans les exploitations enquêtées, et l'unité étant Dirhams par hectare (Dh/ha).

L'étude de la production ou du rendement a été quantifiée selon le type de culture. Certaines cultures peuvent avoir deux types de rendements : un rendement principal et un rendement secondaire. Par exemple, la production des Céréales donne comme production principale, les grains qui sont quantifiés en quintaux par hectare, et les pailles qui sont considérées comme un rendement secondaire, dont l'unité étant bottes de paille par hectare : pour les betteraves à sucre, les feuilles ne se paillent pas, elles sont laissées sur terre jusqu'à ce qu'elles sèchent pour les vendre en quintaux par hectare.

La comptabilité des charges et de la rentabilité des types de cultures choisis nous permettra donc d'estimer le rendement total réalisé et la marge brute. En rapportant chacun de ces deux paramètres nous serons capables d'estimer la valorisation des ressources en eau du barrage de *Bin El Ouidane* utilisées pour l'irrigation. L'estimation de la valorisation de l'eau d'irrigation peut avoir deux aspects ; le premier aspect est celui de la valorisation par le rendement ou valorisation agronomique et le deuxième est celui de la valorisation par la marge brute ou la valorisation économique.

Les formules sont présentées comme suit :

$$\text{La valorisation agronomique} = \frac{\text{La valeur de production totale réalisée}}{\text{volume d'eau utilisé pour l'irrigation}}$$

$$\text{La valorisation économique} = \frac{\text{La marge brute moyenne}}{\text{volume d'eau utilisé pour l'irrigation}}$$

## **I. 1 Présentation de l'échantillon des exploitations et l'enquête de terrain**

### **I. 1. 1. Présentation de l'échantillon**

Vu le type de données que nous voulons collecter auprès des exploitants, le nombre des exploitations reste non-essentiel dans la précision des résultats de la valorisation de l'eau d'irrigation. Les charges de productions agricoles sont presque pareilles d'une exploitation à une autre. Cependant, la marge réalisée par les producteurs sujets de l'enquête enregistre quelques différences. Cette différence est généralement due à l'expérience des exploitants, leurs pratiques et méthodes de cultures, leurs choix (produits fertilisants, main d'œuvre, etc.), leurs techniques de vente, etc.

Les données se répètent donc d'une façon presque identique, pour le même type de culture, d'une exploitation à l'autre. Ceci nous a permis d'adopter un nombre d'exploitation à enquêter très modeste par rapport au nombre total des exploitations du périmètre de *Béni Moussa*.



Les exploitations enquêtées sont, donc, au nombre de 110 exploitations. Pour chaque exploitation enquêtée, nous avons recensé les différentes données des types de cultures choisis pour cette étude, sachant que chaque exploitation peut pratiquer un ou plusieurs types de culture. Ce nombre d'exploitations n'a pas été choisi au début du travail de terrain, mais dès que nous avons remarqué une très bonne redondance des coûts de charges de production agricoles, nous avons retenu ce nombre d'exploitations.

Lors de cette enquête, nous avons amené les données de charges et de production à l'hectare et non pas à la parcelle et ce quel que soit la taille de l'exploitation enquêtée. Nous retenons les données qui concernent un hectare afin d'homogénéiser les résultats du travail de terrain.

Les différentes données des charges et de production sont calculées et estimées à l'hectare. Ainsi, ce paramètre de (à l'hectare), affirme l'inutilité de retenir un grand nombre d'exploitation pour ce type de travail de terrain. Par conséquent, le nombre de 110 exploitations retenues comme échantillon du travail de terrain, nous apparaît suffisant pour évaluer la valorisation de l'eau d'irrigation au périmètre irrigué de *Béni Moussa*.

### **I. 1. 2. Préparation du questionnaire**

Le questionnaire (annexe VII) se compose de deux grands axes, le premier concerne le côté social de l'agriculteur, le deuxième concerne le volet économique de l'activité agricole exercée. L'étude du volet social de l'agriculteur a deux objectifs, le premier consiste à voir comment le niveau culturel (niveau scolaire) influence la pratique et l'expérience agricole, et le deuxième vise à étudier l'impact de l'activité agricole sur le niveau de vie de l'agriculteur. Le questionnaire s'intéresse à l'état civil, le niveau scolaire, le type de logement (moderne, traditionnel), le raccordement à l'électricité, à l'eau potable et à l'assainissement, le moyen de transport (camion, voiture, motorcycle, Bicyclette), et le type de propriété de l'exploitation (location, Melk, Jmouâ...). Pour l'aspect économique, on s'est intéressé à « toutes les charges » au long de l'année agricole. Il s'agit des charges de travail du sol, des semences, des engrais et produits phytosanitaires, de l'irrigation, de la récolte, de la main d'œuvre, et d'autres charges (figure 8.1). Dans ce contexte, nous avons remarqué que la plupart des agriculteurs, mis à part les grands exploitants, ne comptabilisent pas les dépenses de leur activité pour estimer à la fin de l'année agricole le total des dépenses et revenus pour en déduire la marge brute. Ceci est dû

à leur conviction que le calcul des charges des dépenses peut réduire les marges de bénéfice, et s'ils estiment à chaque fois les charges, ils quitteront un jour l'activité agricole.

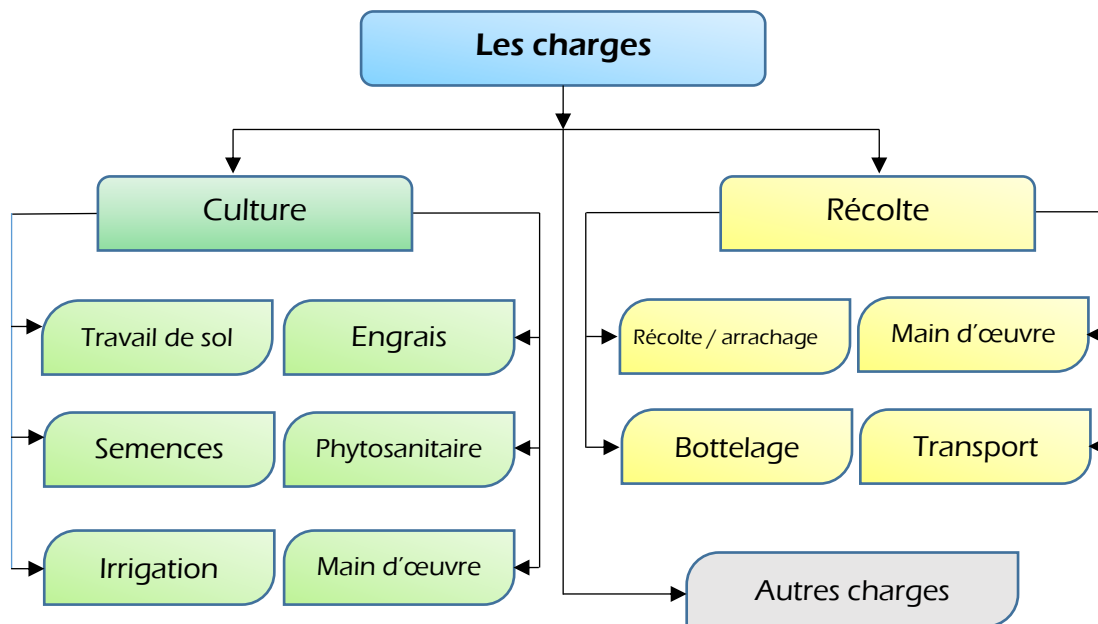


Figure 8.1 : Les différentes charges étudiées des cultures choisies

La question de l'eau d'irrigation a été incluse dans le questionnaire. Nous avons formulé cette question d'une façon détaillée pour estimer les volumes d'eau d'irrigation consommés par chaque type de cultures (le débit d'irrigation, le nombre d'heures nécessaires pour l'irrigation d'un hectare et le nombre d'irrigations nécessaires pour chaque type de culture pendant un cycle de production). Nous notons ici que nous avons rencontré trois types d'exploitations en matière d'utilisation des eaux d'irrigation : les exploitations qui utilisent seulement les eaux souterraines, les exploitations utilisant les eaux de surface du barrage de *Bin El Ouidane*, et les exploitations qui utilisent d'une façon conjuguée les eaux souterraines et les eaux de surface. Sachant que l'étude s'intéresse à l'utilisation des eaux de surface pour l'irrigation, c'est pourquoi nous avons enquêté les agriculteurs qui utilisent seulement les eaux de surface (du barrage *Bin El Ouidane*).

### I. 1. 3. Le choix des exploitations

Lors de notre enquête de terrain, nous avons essayé de choisir les exploitations d'une façon très précise. Nous avons essayé d'étudier les exploitations selon la taille, qui varie entre moins d'un hectare et 300 hectares. Le paramètre de la taille joue un rôle très important dans la



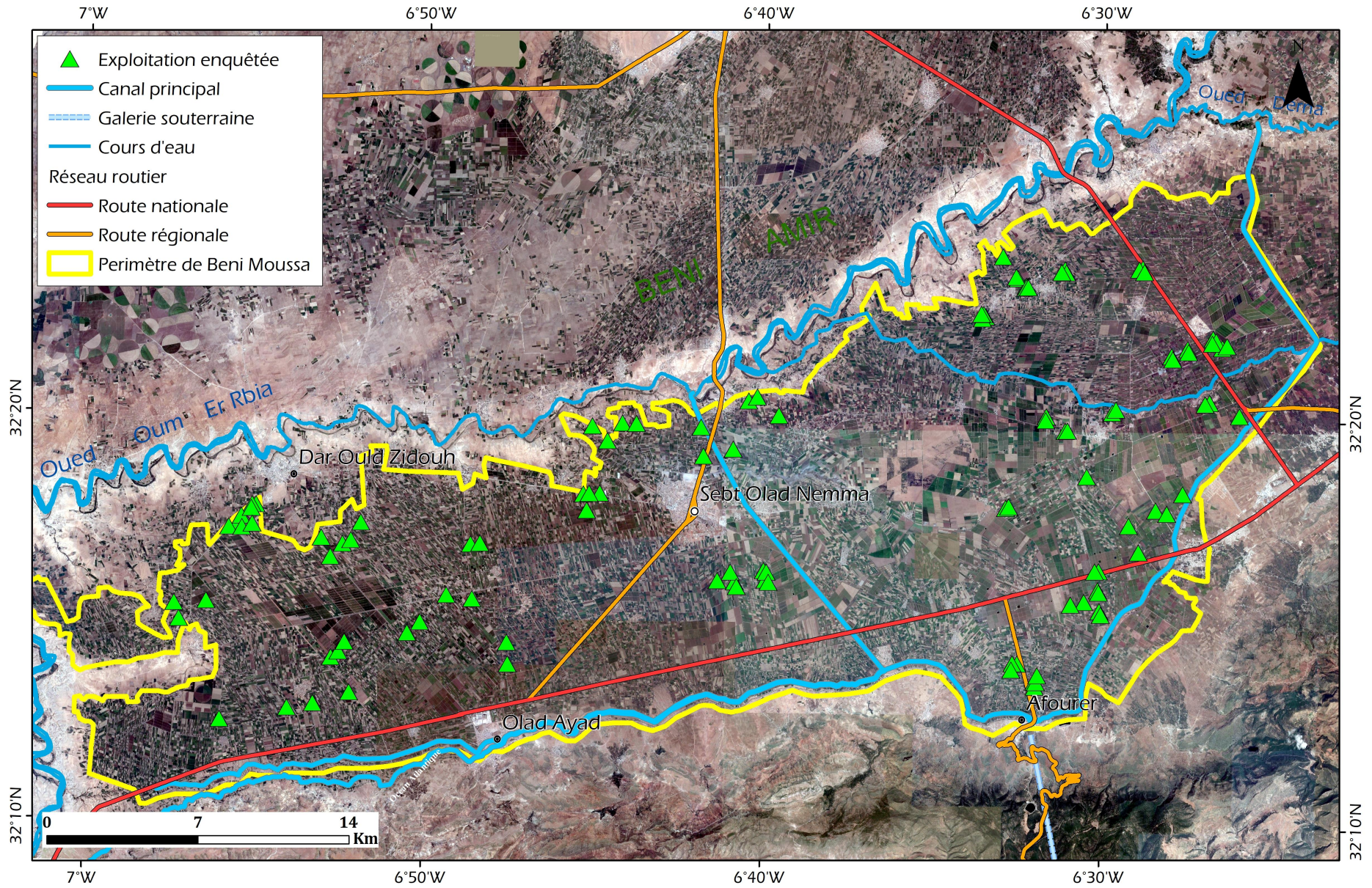


Figure 8.2 : répartition spatiale des exploitations enquêtées



production végétale. Les micro-exploitations sont les plus répandues au niveau du périmètre de *Béni Moussa*, leur production ne pallie pas aux besoins des agriculteurs. Alors que les grandes exploitations monopolisées par une minorité d'agriculteurs, bénéficient souvent du soutien de l'État ce qui permet l'augmentation de la production et la croissance des revenus (KERZAZI, 1988).

Nous avons remarqué que les petits agriculteurs (micro-exploitation) ne bénéficient pas de la même part de l'eau d'irrigation, par rapport aux grandes exploitations et fermes. Ces dernières bénéficient des tours d'eau très exactes et très satisfaisants, et une priorité du programme de reconversion en système d'irrigation localisé. Ce contraste entre les petites et grandes exploitations donnera une grande différence de valorisation de l'eau d'irrigation entre les deux types d'exploitations, car plusieurs facteurs (hors la taille de l'exploitation) définissent le degré de valorisation pour chaque type d'exploitation agricole.

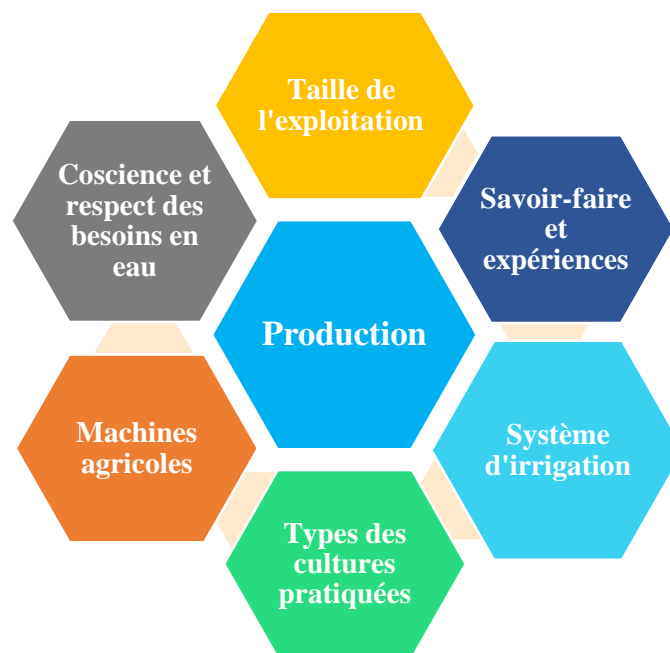


Figure 8.3 : les paramètres influençant la production agricole

Dans l'enquête de terrain, nous avons essayé d'étudier les exploitations situées dans différentes zones du périmètre irrigué de *Béni Moussa*.

## I. 2 Le choix des cultures pratiquées en irrigation

Pour étudier la valorisation de l'eau d'irrigation dans le périmètre irrigué de *Béni Moussa*, nous avons choisi les types de cultures les plus pratiquées dans le périmètre et qui sont

considérées comme les plus consommatrices de l'eau d'irrigation. Le choix a été effectué en se basant sur l'importance de ces cultures dans le périmètre irrigué en termes de superficie et en termes de production. Par exemple, les céréales et les orangers sont très répandus dans la zone du périmètre de *Béni Moussa* par rapport à *Béni Amir*.

Tableau 8.1 : Nombre d'exploitations enquêtées selon le type de culture

Cultures	Nombre d'exploitations enquêtées
Céréales	28
Luzerne	25
Betterave à sucre	18
Oignon	12
Orangers	14
Niora	13

Source : enquête e terrain

### I. 2. 1. Les Céréales

La céréaliculture est considérée la principale filière de production agricole dans le périmètre du *Tadla*, et demeure une activité ayant une grande importance chez tous les agriculteurs du périmètre, d'où la plupart des exploitations incorporent une ou plusieurs espèces céréalières dans leurs assolements. La superficie des parcelles de céréaliculture irriguée est en moyenne de 44 825 ha. Le rendement enregistré annuellement est d'une moyenne de 50



Photo 8.1 : Culture des céréales en irrigué. Cliché : R. BISSOUR, 2016

quintaux/ha (Qx/ha). Le nombre d'irrigation durant tout le cycle de production varie entre 3 et 5 fois selon la pluviométrie de l'année agricole. L'avantage que porte la céréaliculture c'est qu'elle a une double production, une production principale constituée de grains, et une production secondaire, constituée de paille qui peut servir à l'élevage ou à compenser les dépenses de production.

### **I. 2. 2. La Luzerne**

La luzerne est une plante fourragère, bien adaptée aux conditions climatiques du Maroc, puisqu'elle résiste à la sécheresse et peut produire dès que la pluviométrie dépasse 400 mm/an (HAMMANI et al, 2009). La luzerne est le principal fourrage irrigué à *Béni Moussa* vu son haut potentiel de production et les conditions climatiques qui règnent dans le périmètre. Cependant, cette culture est gourmande en eau, elle peut être irriguée jusqu'à 4 fois pendant les mois secs. La luzerne peut être cultivée une fois chaque 4 ou 5 ans, et produit une fois par mois en été et une fois pendant deux mois en hiver.



Photo 8.2 : Culture de la Luzerne en irrigué. Cliché : R. BISSOUR 2016

### **I. 2. 3. La Betterave à sucre**

La betterave à sucre est une culture annuelle semée à partir du mois de septembre jusqu'au mois de novembre. Cette culture a été introduite au périmètre irrigué de *Tadla* en 1964 sur une superficie de 4000 ha. Elle est aujourd'hui considérée comme étant la culture pivot du périmètre irrigué de *Béni Moussa*. La filière de culture de betterave à sucre est gérée par le Comité Technique Régional du Sucre du *Tadla* (CTRST). Grâce à cette gestion, les agriculteurs

pratiquant cette culture bénéficient de plusieurs avantages et soutiens ; le CTRST est chargé des travaux de sol, de semences, des produits phytosanitaires, de l'arrachage et le transport de la production, alors que les betteraviers ne se chargent que de l'irrigation et d'autre travaux de sol (binage et désherbage pendant la saison du printemps). De même les betteraviers bénéficient d'un crédit pour couvrir leurs dépenses. Les différentes phases de la culture de betterave à sucre (pré-irrigation, travail de sol, semi et arrachage) sont effectuées selon un calendrier dicté par la Sucreries Raffineries de *Tadla* (SUTA) installée dans le périmètre de *Béni Moussa (Oulad Ayyad)* afin d'organiser la filière et assurer une production satisfaisante de la betterave.



Photo 8.3 : Parcelle de culture du Betterave à sucre. Cliché : R. BISSOUR 2016

#### **I. 2. 4. Les cultures maraîchères (l'Oignon)**

Pour la culture maraîchère, nous nous sommes intéressés seulement à la culture des oignons étant donné son importance dans le périmètre de *Tadla*. La culture d'oignon se fait dans le périmètre irrigué du *Tadla* en deux période. La première s'étale du mois d'août, au mois d'octobre, et la deuxième s'étale du mois de décembre à février. Quant à la récolte, elle se fait respectivement pour les deux périodes entre décembre et mars, et avril et juin.

La culture des oignons demande un travail très précis, car elle se fait en deux étapes, la première consiste à préparer les oignons dans des petits bassins (semence, irrigation, fertilisant), jusqu'à ce que les plantes atteignent la phase de développement, où elles seront transportées et installées délicatement dans l'exploitation avec prudence et haute expérience. A la fin de la production agricole, nous avons remarqué que la plupart des exploitants d'oignon d'été ne



l'arrachent pas, mais ils le vendent sur pied, ce qui influe le prix de vente, et ne nous permet pas d'estimer avec précision le prix unitaire de vente.



Photo 8.4 : Plante de la culture de l'oignon en irrigué. Cliché : R. BISSOUR 2016

### **I. 2. 5. Les agrumes (les orangers)**

Les agrumes comptent parmi les principales filières de production au niveau du périmètre irrigué du *Tadla*. Le périmètre de *Béni Moussa* abrite la quasi-totalité des exploitations des agrumes, du fait de la faible salinité des sols de *Béni Moussa* par rapport aux sols de *Béni Amir* qui est caractérisé par une très forte salinité. La filière des agrumes a bénéficié d'une attention particulière dans les programmes de développement agricole, notamment le programme de reconversion en système d'irrigation localisé. Les exploitations des agrumes équipées en système d'irrigation localisé constituent plus que 76% de la superficie.



Photo 8.5 : une exploitation des agrumes. Cliché : R. BISSOUR 2016

## Le Piment Rouge (la Niora )

La production du piment rouge nommé localement «Niora» est principalement localisée dans le périmètre irrigué du *Tadla*. Son introduction au Maroc remonte aux années 1925 et sa culture dans le périmètre irrigué du *Tadla* a eu lieu au début des années 1980. La culture de la Niora commence par la préparation des parcelles destinées à la plantation en automne et se termine par la récolte en fin d'été-début automne (HAKMAOUI et *al*, 2013). La culture de Niora exige des critères stricts au niveau du sol (très exigeante en rotation des cultures) et une préparation des plants en pépinière avant la transplantation dans la parcelle, cette préparation se fait pendant les mois de janvier-février et dure environ deux mois. La Niora nécessite un bon approvisionnement en eau, tout stress hydrique ou une irrigation excessive détériore ou réduit la production. La récolte des fruits débute au mois de juin en plusieurs reprises (3 à 5 récoltes



Photo 8.6 : pépinière de préparation de Niora avant la transplantation. Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.7 : culture de Niora dans la parcelle en stade de maturation. Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.8 : mesure du tonnage du produit de Niora avant le séchage  
Cliché : R. BISSOUR 2018



Photo 8.9 : Le séchage de Niora après la récolte et avant la transformation à *Béni Moussa*. Cliché : R. BISSOUR 2018

par an) avec une production maximale dans la première récolte et une production minimale en dernière.

## **II. L'étude des différentes charges**

Nous allons présenter sommairement les résultats des différentes charges dépensées au long de toute la période de la production agricole, à partir de la préparation du sol jusqu'à la phase de la récolte, et selon les types des cultures retenues. Les charges que nous allons présenter ne sont pas commun entre tous les types de cultures.

### **II. 1 Coût de location de la terre**

Le coût de location de la terre a été pris en considération dans les charges de la production agricole, même si la terre est à la propriété de l'agriculteur. Nous avons inclus dans le questionnaire le type de propriété de l'exploitation pour savoir si elle est Melk ou Jmouââ, non pas pour prendre en considération son prix de location, si c'est le cas, ou pour l'ignorer, le cas contraire. Cette question a pour but de connaître le prix de location et de voir si c'est l'activité agricole qui a motivé l'exploitant à disposer et posséder la terre ou d'autres parcelles. Le coût de location de la terre déclaré par tous les agriculteurs (ayant des exploitations de location) varie entre 4000 et 5000 Dh, quel que soit le type de culture pratiqué.

### **II. 2 Travail du sol**

Le travail du sol est l'ensemble des interventions culturales faites en fonction du profil et de la surface du sol. Ces travaux sont souvent mécanisés, le tracteur y est lié à une charrue à versoir, à disque ou à dents qui permettent un retournement de l'ensemble de la couche de terre travaillée. Le travail du sol a pour but la destruction mécanique de la végétation adventice et des repousses de la culture précédente, la réduction de la prolifération des parasites, l'élimination des résidus de récolte de la dernière culture pratiquée, le nivellement de la surface du sol afin de faciliter le fonctionnement du semoir\*.

Le travail du sol se fait de trois manières en fonction du type de culture. La première concerne le travail profond ou le labour, qui est souvent effectué sur une profondeur de sol variant de 20 à 40 cm. Le deuxième est le travail superficiel du sol effectué à l'aide de la charrue

---

\* <http://www.larousse.fr/archives/agricole/page/570> (consulté le 13/07/2018)



à disque (par exemple, cover-crop). La dernière catégorie est la préparation du lit de semences en tassant légèrement le sol, et la confection de seguias et de billons pour assurer l'irrigation.

Le labour (travail profond) est souvent effectué une seule fois, alors que le cover-cropage (travail de surface du sol) peut être effectué plusieurs fois selon les facteurs suivant :

La nature du sol, : les sols durs exigent plusieurs passages du cover-cropage par rapport aux sols tendres qui ne demandent qu'un seul,

Le climat : le besoin de cover-cropage augmente dans les régions à climat humide,

Le type de la culture précédente détermine si le sol nécessite un travail doublé avec le cover-crop ou non,



Photo 8.10 : un sol après un travail profond  
Cliché : R. BISSOUR 2018



Photo 8.11 : un sol laissé à sécher avant la confection saquia. Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.12 : Charrue à disque utilisé pour les travaux du sol superficiels.  
Cliché : R. BISSOUR 2016

Le type de culture à cultiver détermine aussi le nombre de fois où le cover-cropage est nécessaire afin d'augmenter la production.

Le travail du sol est différent d'une culture à l'autre. Certains types de cultures nécessitent une préparation du sol très dure, comme les betteraves à sucre et le Niora. Dans ce cas l'agriculteur doit avoir une expérience et un savoir-faire très précis afin d'assurer une production agricole satisfaisante.

Le tableau 8.2 consigne les charges moyennes des travaux du sol des différentes cultures choisies. Les résultats des charges montrent que les travaux du sol pour la production des orangers sont les plus coûteux, avec environ 2300 Dh/ha, suivi par les charges des travaux du sol de la culture de la betterave à sucre (environ 2094 Dh/ha en moyenne). Alors que pour les deux cultures de Niora et Oignon, elles présentent la même valeur moyenne des charges du travail du sol qui est de l'ordre de 1600 Dh/ha. Les travaux du sol de la Luzerne restent donc les moins coûteux, du fait qu'ils ne s'effectuent qu'une seule fois en quatre ans, et la valeur de 411 Dh/ha est une valeur moyenne annuelle.

Tableau 8.2 : les charges des travaux du sol des cultures étudiées

Type de culture	Coût (Dh/ha)
Orangers	2300
Betterave à sucre	2094
Oignon	1600
Niora	1600
Céréales	1550
Luzerne	411

Source : enquête de terrain (2016)

### II. 3 Les charges des intrants

Les intrants désignent l'ensemble des produits apportés à l'exploitation et utilisés pour assurer un bon rendement des cultures et qui ne proviennent pas de l'exploitation. Ces intrants comportent généralement les semences, les engrais (de fond et de couverture), la fumure organique et les produits phytosanitaires. Les résultats de l'étude des intrants des différents types de cultures choisies sont consignés dans le tableau 8.2.

### II. 3. 1. Les semences

Pour les semences, nous avons constaté deux types d'agriculteurs, ceux qui utilisent les semences sélectionnées, en les achetant des vendeurs de semences (p.ex. SONACOSS\* pour le Céréales) qui utilisent les semences saines, sauvegardées de la dernière récolte (grain de Céréales, Luzerne, Niora, Oignon). Ce choix a pour but de minimiser les coûts des semences, mais il peut être l'une des causes de la diminution du rendement de la culture. En effet, le choix des semences est de ses variantes constitue un choix crucial pour avoir des rendements satisfaisants, en termes quantitatif ou qualitatif. Nous notons aussi que l'ensemencement de certaines cultures est aujourd'hui totalement mécanisé (Semoir pour le Betterave à sucre) alors que pour d'autres cultures il se fait d'une manière traditionnelle à la main, ce qui peut donner une différence en termes de charge.

D'après le tableau 8.2 nous constatons que les semences de la culture de Niora sont les plus chères avec 2600 Dh/ha, suivies par les semences de la Betterave à sucre qui coûte environ 2000 Dh/ha. Les semences de la Betterave à sucre sont fournies par l'usine de la sucrerie de *Tadla*, et le prix est soustrait à la fin de la production. Pour les semences des céréales, elles ne coûtent qu'environ 710 Dh/ha, constituant ainsi, avec les semences de la culture de la Luzerne (environ 825 Dh/ha), l'une des semences les moins chères parmi les six cultures choisies.

### II. 3. 2. Engrais

L'utilisation des engrais pour la production agricole est une étape très importante qui doit être effectuée d'une manière précise, en termes de quantité, type des engrais et du temps. Les exploitants maîtrisent les quantités d'engrais nécessaires pour chaque type de culture à l'hectare. Cependant, certains d'entre eux dépassent souvent les normes de la quantité des engrais nécessaires, ce qui gêne la qualité physico-chimique des sols et des eaux souterraines par l'infiltration. Pour certains agriculteurs, l'utilisation de la fumure organique reste une alternative qui a un double objectif ; la minimisation des coûts des engrais et l'amélioration de la production agricole en enrichissant les sols en matière organique. Nous avons remarqué que les types des engrais utilisés se différencient d'une culture à l'autre et d'un agriculteur à l'autre,

---

\* SONACOS : Société Nationale de Commercialisation des Semences, est une société étatique créée en 1975 sous l'égide du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Elle a pour objet l'achat, y compris l'importation, le conditionnement et la vente d'engrais, de semences, de plants et d'arbres ou toutes autres parties végétales.

selon leurs expériences et leurs pouvoirs d'achat. Le tableau 8.2 récapitule les charges des engrais selon le type de culture.

Le coût le plus cher des engrais est celui de la culture des orangers avec une charge de 4420 Dh/ha. Ce coût peut traduire la quantité énorme de fertilisants nécessaire pour augmenter la production des orangers surtout que la plupart des exploitations des agrumes sont de grande superficie (jusqu'à 200 ha). En deuxième rang, vient les charges des engrais de fond et de couverture de la culture de la betterave à sucre avec une valeur de 2917 Dh/ha en moyenne suivi par celles des céréales et de Niora avec des coûts respectifs de 2450 Dh/ha et 2360 Dh/ha. Ces coûts exorbitants sont dus à l'ambition des agriculteurs d'améliorer leur rendement et à l'importance qu'occupent ces types de cultures dans la filière de la production végétale à l'échelle régionale ou nationale. En dernier lieu, viennent les cultures de l'Oignon et de la Luzerne avec des coûts inférieurs à 2000 Dh/ha en moyenne. Ces charges des engrais induit un coût supplémentaire au niveau de la production.

### **II. 3. 3. Les produits phytosanitaires**

L'utilisation des produits phytosanitaires exige un choix et un travail très précis. L'utilisation de ces produits doit être sous un contrôle permanent pour évaluer les besoins des cultures en termes de traitement chimique et d'eau d'irrigation. Les produits phytosanitaires sont utilisés pour lutter contre les ravageurs de cultures. Ces produits existent en forme liquide et en poudre. Le choix du type du produit dépend de la culture et de la saison. Il semble donc que l'utilisation des produits phytosanitaires reste indispensable pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies. Les charges des produits phytosanitaires sont consignées dans le tableau 8.3. Ces charges varient entre 2000 Dh/ha (pour le Niora) et 1040 Dh/ha (pour l'Oignon). La valeur élevée des charges des produits phytosanitaires pour le Niora est due à la période de développement de la culture, qui s'étend entre la saison du printemps et la fin de l'été, où les chaleurs élevées permettent le développement de plusieurs types de maladies.



Tableau 8. 3 Coûts moyens des intrants des différents types de cultures

Type de culture	Intrant	Coût (Dh/ha)	Coût total des intrants (Dh/ha)
Niora	Semence	2600	6960
	Engrais	2360	
	Produits phytosanitaire	2000	
Betterave à sucre	Semence	2000	6817
	Engrais	2917	
	Produits phytosanitaire	1900	
Orangers	Semence	-	6320
	Engrais	4420	
	Produits phytosanitaire	1900	
Céréales	Semence	710	4610
	Engrais	2450	
	Produits phytosanitaire	1450	
Oignon	Semence	1400	4240
	Engrais	1800	
	Produits phytosanitaire	1040	
Luzerne	Semence	825	3490
	Engrais	1325	
	Produits phytosanitaire	1340	

Source : enquête de terrain (2016)

## II. 4 Charges de l'eau l'irrigation

Les volumes d'eau d'irrigation (eaux de surface) varient selon les besoins de chaque type de culture et selon la saison agricole. Pendant une année humide, le nombre d'irrigation peut être beaucoup plus faible par rapport à une année sèche, et peut être absent pour certaines cultures (céréales). Alors que pendant une année sèche, les volumes d'eau d'irrigation sont très excessifs, et dépassent souvent les besoins de la plante. Ces volumes d'eau d'irrigation entraînent des charges qui varient selon le nombre d'irrigation et le nombre d'heures d'irrigation. Pour estimer les charges de l'irrigation, nous avons compté le nombre d'irrigation nécessaire pour la production végétale, le nombre d'heures d'irrigation et le prix unitaire d'une heure d'irrigation. Le tableau 8.4 présente les charges d'irrigation selon le type de culture.

Les résultats obtenus des charges de l'irrigation montrent un fort contraste entre les cultures. Le coût d'irrigation le plus cher est celui des Orangers, qui s'élève à 7452 Dh/ha en moyenne et le nombre moyen d'irrigation est 18 fois.

La culture qui consomme encore plus d'eau d'irrigation est la Luzerne, le coût moyen annuel est de 6833 Dh/ha. Ce coût élevé est dû au nombre d'irrigations nécessaires pour la production, et à la récolte qui se fait à plusieurs reprises (jusqu'à 10 récoltes par an), entre deux récoltes successives, la culture nécessite deux irrigations en moyenne. Pour les cultures de l'Oignon, la Niora et la Betterave à sucre, le coût moyen d'irrigation ne dépasse pas le seuil de 4000 Dh/ha, avec un nombre d'irrigation qui oscille entre 12 et 13 fois par cycle. En dernier rang, vient la culture des céréales avec un coût d'irrigation qui valent 1610 Dh/ha pour les 5 irrigations utilisées durant le cycle de production. Ce nombre d'irrigations peut être un peu plus élevé, mais en raison de la succession des années sèches pendant cette dernière décennie, le nombre d'irrigation s'est accru.

Tableau 8.4 : les charges de l'eau d'irrigation pour chaque type de culture

Type de culture	Coût (Dh)
Orangers	7452
Luzerne	6833
Oignon	3864
Niora	3864
Betterave à sucre	3588
Céréales	1610

Source : enquête de terrain (2016)



Photo 8.13 : un agriculteur irrigue une parcelle par le système gravitaire.  
Cliché : R. BISSOUR 2018



Photo 8.14 : sol humecté après irrigation montrant la masse d'eau énorme gaspillée.  
Cliché : R. BISSOUR 2018

## II. 5 Charges de la récolte

Les charges de la récolte de certains types de cultures sont souvent difficiles à être comptabilisées, voir inutiles, car certains agriculteurs vendent le produit sur pied, sans récolte (c'est le cas de l'Oignon, Niora, Orangers). Ces agriculteurs négocient les prix de vente avec les intermédiaires ou les transformateurs, et ces derniers se chargent de la récolte et du transport de la production. Pour les autres cultures, c'est l'agriculteur qui supporte le coût de la récolte. Pour certaines agricultures, la récolte est effectuée en double, la première concerne le rendement principal (grains de céréales, betterave à sucre), la deuxième concerne le rendement secondaire (le foin pour les Céréales, les feuilles sèches, les pulpes sèches et humides pour la Betterave à sucre).

Les résultats d'étude des charges de la récolte sont présentés dans le tableau 8.5. Le coût moyen de récolte des différents types de cultures révèle une valeur maximale pour la Luzerne avec environ 14925 Dh/ha. Ce coût très élevé est dû au nombre de fauches et de pressages effectués pendant une année (10 fauchages et pressages). Le deuxième coût élevé de la récolte concerne la production de Niora, avec une valeur de 11200 Dh/ha en moyenne. Ce coût élevé est dû à la récolte effectuée en trois reprises en moyenne et au nombre très important d'ouvriers nécessaires pour la récolte (entre 30 et 60 personnes nécessaires pour la récolte et le chargement). Pour les céréales, les charges de la récolte de la production principale est de l'ordre de 1363 Dh/ha, y compris le prix des sacs en plastique utilisés pour la collecte des grains et les dons généralement faits aux ouvriers. Pour la récolte de la production secondaire, elle coûte environ 1970 Dh/ha dont nous avons compté le pressage de foin de la récolte principale en première étape, et en deuxième étape la collecte des résidus des foins. Le coût total de la récolte des céréales (grains et foins) vaut environ 3333 Dh/ha. Pour la betterave à sucre, la récolte coûte environ 3220 Dh/ha, ce coût englobe seulement l'arrachage et le chargement, alors que les sous-produits ne coutent aucune charge supplémentaire, car les feuilles sèches et les pulpes sont souvent vendues sur pied. Quant aux cultures de l'Oignon et des Orangeres, ce sont les acheteurs qui se chargent de la récolte et du chargement du produit.

Tableau 8.5 : les charges de la récolte selon le type de culture

Type de culture	Récolte	Coût (Dh/ha)	Coût total (Dh/ha)
Luzerne	Rendement	14925	14925
Niora	Rendement	11200	11200
Céréales	Rendement principal	1363	3333
	Rendement secondaire	1970	
Betterave à sucre	Rendement principal	3220	3220
	Rendement secondaire	-	
Oignon	Rendement	-	-
Orangers	Rendement	-	-

Source : enquête de terrain (2016)



Photo 8.15 : Parcelle après la collecte des foins.

Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.16 : Bottes de paille après la collecte et le pressage des résidus de foins

Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.17 : Luzerne après fauchage lassé à sécher avant le pressage.

Cliché : R. BISSOUR 2016



Photo 8.18 : Bottes de Luzerne après le pressage. Cliché : R. BISSOUR 2018





Photo 8.19 : feuilles de Betterave à sucre lassées à sécher sur terre.

Cliché : R. BISSOUR 2018



Photo 8.20 : Feuilles sèches de la Betterave à sucre pressées et ballées (cas très rare).

Cliché : R. BISSOUR 2016

## II. 6 Les charges de la main d'œuvre

La main d'œuvre constitue un des piliers de la production agricole. Toutes les activités nécessitent de la main d'œuvre surtout au niveau des exploitations adoptants le système d'irrigation gravitaire. La main d'œuvre est généralement chargée de la préparation des parcelles pour l'irrigation (seguias et billons), le semis, la transplantation, l'enfouissement des engrais, la pulvérisation manuelle des pesticides et des herbicides, le binage ou désherbage manuel, le buttage (action d'accumuler la terre au pied de la plante), la taille (pour les Orangers), l'irrigation, la récolte ou l'arrachage et le chargement du produit. Ces travaux varient d'une culture à l'autre, par exemple le binage et le buttage sont indispensables pour la culture de la betterave à sucre et ne s'effectuent pas pour les céréales. Les charges de la main d'œuvre changent d'une opération à l'autre, et oscillent entre 80 à 250 Dh/ha à la personne. Le tableau 8.6 résume les différentes charges de la main d'œuvre selon l'opération demandée et selon le type de culture.

D'après les résultats des charges de la main d'œuvre, on constate que la Niora est la plus exigeante en main d'œuvre avec un coût moyen de 17310 Dh/ha. La deuxième culture qui requiert un nombre très important d'ouvriers est celle des Orangers, avec un coût moyen d'environ 16162 Dh/ha. Pour les cultures de la Betterave à sucre et la Luzerne, les charges moyennes dépensées pour la main d'œuvre sont approximatives, elles sont successivement de l'ordre de 10815 Dh/ha et 9905 Dh/ha. Quant à la culture de l'oignon, les charges des ouvriers coutent 7510 Dh/ha en moyenne, dont le coût le plus élevés est consacré à la transplantation.

Tableau 8.6 : les charges de la main d'œuvre par opération effectuée et par culture

Type de culture	Mission	Coût (Dh/ha)	Coût total (Dh/ha)
Niora	Travail du sol	2670	17310
	Pépinière & Transplantation	1160	
	Epannage des engrais	240	
	Traitement phytosanitaire	480	
	Irrigation	1560	
	Récolte et chargement	11200	
Orangers	Travaux divers	4350	16162
	Epannage des engrais	720	
	Traitement phytosanitaire	1120	
	Irrigation	2520	
Betterave à sucre	Travail du sol	4205	10815
	Epannage des engrais	720	
	Traitement phytosanitaire	720	
	Irrigation	1950	
	Récolte et chargement	3220	
Luzerne	Travail du sol	150	9905
	Semences	20	
	Epannage des engrais	415	
	Traitement phytosanitaire	760	
	Irrigation	2520	
	Fauchage	6000	
Oignon	Travail du sol	2150	7510
	Pépinière & Transplantation	3000	
	Epannage des engrais	240	
	Traitement phytosanitaire	320	
	Irrigation	1800	
Céréales	Travail du sol	200	2610
	Semences	100	
	Epannage des engrais	320	
	Traitement phytosanitaire	240	
	Irrigation	650	
	Récolte	1100	

Source : l'enquête de terrain (2016)

En fin, la culture des céréales reste moins exigeante en termes de main d'œuvre, avec un coût moyen de 2610 Dh/ha. Il s'avère donc que les charges de la main d'œuvre sont très coûteuses et dépassent souvent 10000 Dh/ha pour plusieurs types de cultures. D'après nos constats sur le terrain, les grandes exploitations et certaines exploitations de moyenne taille ont pu adopter la mécanisation dans la production agricole, et sont arrivées ainsi à minimiser les coûts de la main d'œuvre.

### III. L'étude des volumes d'eau consommés

Pour estimer les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation de chaque type de culture, nous avons compté le nombre d'irrigation réalisée durant tout le cycle de production de chaque type de culture, la durée nécessaire pour chaque irrigation et le débit de l'irrigation. Le produit de tous ces paramètres nous a permis d'estimer approximativement le volume d'eau utilisé pour l'irrigation de chaque type de culture. Il est évident qu'en système d'irrigation gravitaire les volumes d'eau consommés sont très énormes et dépassent les besoins réels en eau des plantes. Les quantités d'eau infiltrées, ruisselées loin des plantes et évaporées sont très importantes par rapport aux quantités d'eau consommées par les racines de la plante. Ces constats démontrent le gaspillage d'eau du système d'irrigation gravitaire.

Pour faire une comparaison entre les six types de cultures en termes de consommation de l'eau d'irrigation, nous avons établi la figure 8.4 qui montre le niveau des volumes d'eau d'irrigation estimés pour chaque type de culture. A première vue, il s'avère que les volumes d'eau d'irrigation attribués à la production des Orangers sont plus importants par rapport aux autres cultures, avec une estimation moyenne de 23328 m<sup>3</sup>/ha. Alors que les volumes d'eau d'irrigation nécessaires pour la production des céréales sont les plus faibles parmi les autres types de cultures, avec des quantités inférieures à 5040 m<sup>3</sup>/ha. Pour le reste des cultures, les volumes d'eau d'irrigation consommés sont compris entre 11000 m<sup>3</sup>/ha et 15500 m<sup>3</sup>/ha. Nous avons remarqué pendant l'enquête de terrain que 84% des agriculteurs se plaignent du prix de l'eau d'irrigation. Et malgré ça, ils continuent à gaspiller l'eau.

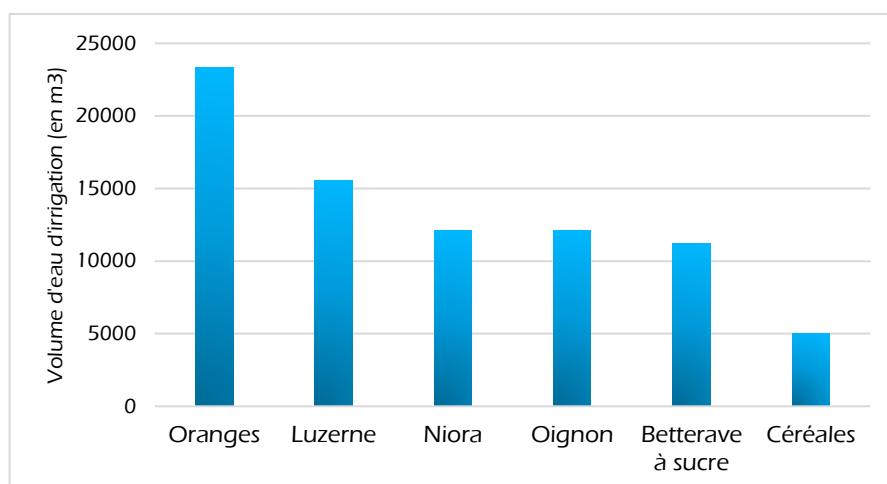


Figure 8.4 : les volumes d'eau d'irrigation attribués (en m<sup>3</sup>/ha) aux différentes cultures choisies. Source : l'enquête de terrain (2016)



Cette situation appelle l'État à déployer beaucoup d'efforts pour accélérer le programme de reconversion en système économe de l'eau d'irrigation. Le programme doit englober tous les types d'exploitations, notamment celles de petite et moyenne taille, sans se limiter seulement aux grandes exploitations. Nous avons constaté que la plupart des agriculteurs (68%) ont le désir d'installer le système d'irrigation de goutte-à-goutte, mais le financement constitue la principale contrainte. En outre, l'ORMVAT doit se charger de l'orientation des agriculteurs à pratiquer et adopter les types de cultures les moins consommatrices de l'eau d'irrigation.



Photo 8.21 : volume important d'eau perdue par débordement.

Source : l'enquête de terrain (2018)



Photo 8.22 : volume gigantesque d'eau conduits par un canal secondaire

Source : l'enquête de terrain (2016)

#### IV. Résultats des charges totales

Le tableau 8.7 résume les charges totales des différentes cultures choisies. D'après les résultats de ce tableau, il est clair que les charges totales nécessaires pour la production de la Niora sont les plus élevées, avec un coût total d'environ 33424 Dh/ha. Pour les cultures de la Luzerne, les Orangers et la Betterave à sucre, les coûts des charges totales sont respectivement de l'ordre de 29683 Dh/ha, 23676 Dh/ha et 21014 Dh/ha, alors que la production de l'Oignon et des céréales ne coûte respectivement que 17064 Dh/ha et 13513 Dh/ha.

Pour une comparaison plus concrète entre les six cultures en termes de charges variables, nous avons établi la figure 8.5, en présentant les différentes charges en pourcentage. D'après ces diagrammes, nous pouvons déduire que l'étape de la récolte reste la plus coûteuse, où les coûts représentent 41,54%, 33,51% et 23,95% respectivement pour les cultures de la Luzerne, la Niora et les céréales, et pour la Betterave à sucre, les coûts de la récolte ne représentent que

14%. En deuxième rang viennent les charges de la main d'œuvre, elle représente respectivement 43,13%, 32,12% 31,70%, 27,53%, 18,55% 17,32%, et des charges totales des cultures de l'Oignon, des Orangers, de la Betterave à sucre, de la Luzerne, de la Niora et des Céréales. La troisième classe des charges variable est occupée par l'irrigation, qui représente un pourcentage très élevé d'environ 31,5% des charges totale de la production des agrumes, et pour les autres cultures, il représente respectivement entre 22,6% et 11,6% des charges variables totales de l'Oignon et des céréales. Quant aux produits phytosanitaires et les engrais, leurs charges montrent les pourcentages suivants : 28% pour les céréales, 26,7% pour les Orangers, 21% pour la Betterave à sucre, 16,6% pour l'Oignon, 13% pour la Niora et 7,5% pour la Luzerne.

Tableau 8.7 : les charges totales des différents types de cultures

Type de culture	Charges totales (Dh/ha)
Niora	33424
Luzerne	29683
Orangers	23676
Betterave à sucre	21014
Oignon	17064
Céréales	13513

Source : enquête de terrain (2016)

Pour résumer, les agriculteurs doivent diminuer certaines charges, soit en changeant leurs comportements et l'esprit de la pratique agricole, ou en modifiant et améliorant les techniques de la production agricole. Les comportements qui doivent être changés de toute urgence concernent l'utilisation des eaux d'irrigation, des engrais et des produits phytosanitaires. L'utilisation rationnelle de ces éléments contribue sans doute à un bon rendement d'une part et d'autre part à la préservation des ressources naturelles, alors que la surutilisation de ces éléments provoque la détérioration de l'environnement agricole et de ses ressources, et dans certains cas la réduction du rendement. Quant aux techniques de la production agricole, les agriculteurs sont appelés à s'organiser pour qu'ils puissent disposer du matériel mécanique agricole et de reconvertir le système d'irrigation gravitaire en système d'irrigation économe. La mécanisation peut être la solution adéquate pour réduire les coûts onéreux de la main d'œuvre.

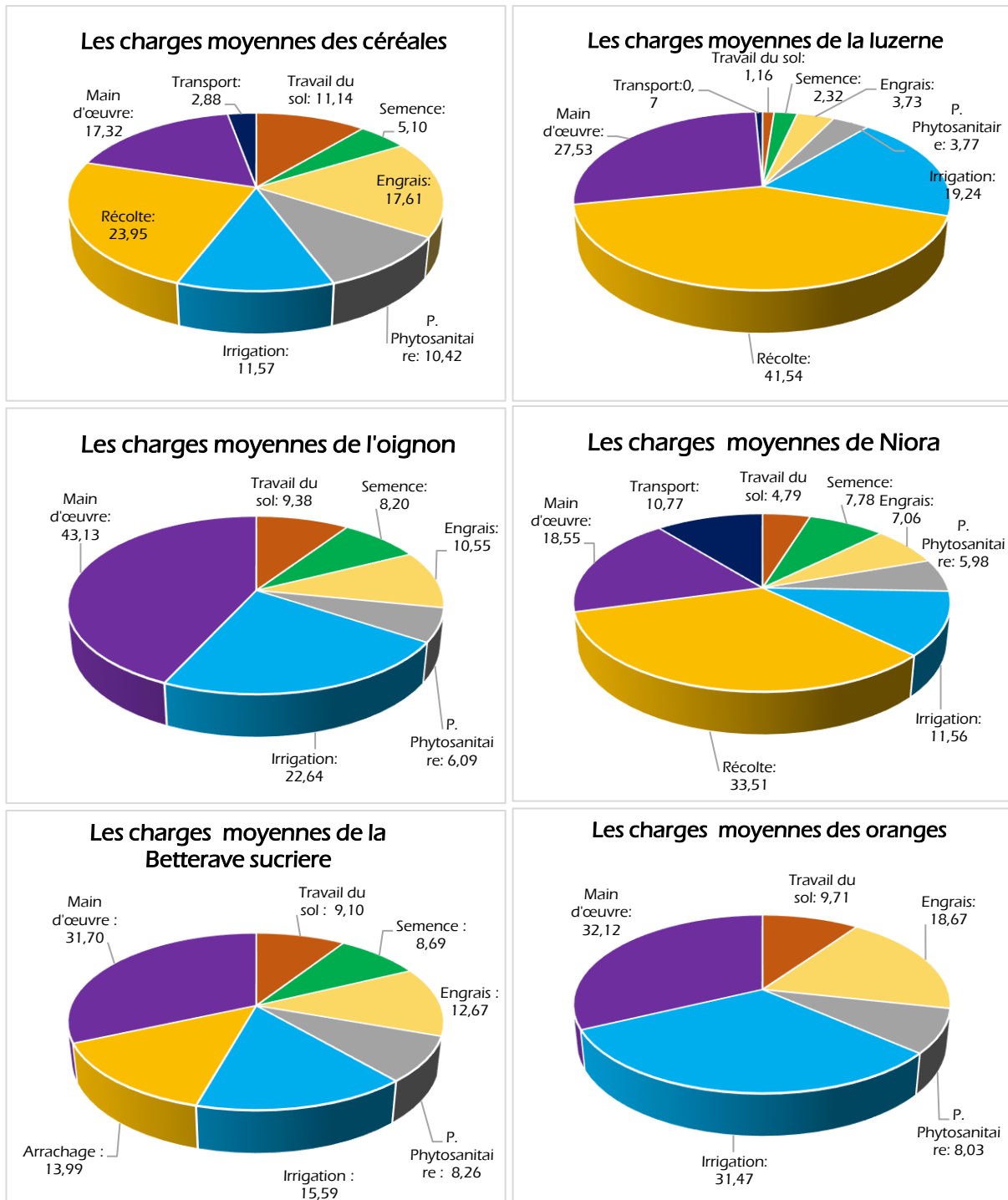


Figure 8.5 : Pourcentage des différentes charges variables de la production de chaque type de culture (Source : enquête de terrain (2016))

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé deux grands axes ; i) La méthodologie adoptée pour l'enquête de terrain, et ii) l'étude des différentes charges de la production agricole. Dans la partie de la méthodologie, nous avons déterminé les principaux paramètres nécessaires pour l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation et les deux types de valorisation ; la valorisation par la valeur de production et la valorisation par la marge brute. Pour que l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation soit très significative, nous avons déterminé avant d'entamer l'enquête de terrain les critères de choix des exploitations et l'échantillon. Le choix des exploitations s'est basé sur : i) La diversité de la taille, qui a englobé les exploitations de petite, moyenne et grande taille, ii) Type de cultures pratiquées, en sélectionnant seulement celles qui font l'objet de cette étude, iii) L'irrigation par le système gravitaire, iv) L'utilisation des ressources en eau superficielle dans l'irrigation sans recours aux ressources en eau souterraine. Après avoir fixé les critères de choix des exploitations nous avons présenté le questionnaire et ses principaux axes. Dans le questionnaire, nous avons traité deux aspects de l'activité agricole, l'aspect agroéconomique de l'exploitation et l'aspect social de l'agriculteur.

L'étude des différentes charges de la production agricole a fait montrer une grande variation entre les six cultures, et chaque type de culture présente ses propres charges. Les charges variables les plus coûteuses restent les travaux de la récolte, la main d'œuvre, l'eau d'irrigation, les engrais et les produits phytosanitaires. Le coût des charges totales dépasse souvent le seuil de 13000 Dh/ha, et s'élève jusqu'à environ 34000 Dh/ha. La culture des céréales reste la moins coûteuse parmi les autres types de culture, alors que les cultures de Niora et de la Luzerne sont les plus coûteuses. En termes de consommation de l'eau d'irrigation, l'agrumiculture est la plus consommatrice de l'eau d'irrigation avec un volume moyen total supérieur à 23000 m<sup>3</sup>/ha, et la culture des céréales reste la moins consommatrice de l'eau d'irrigation (5040 m<sup>3</sup>/ha), et pour les autres cultures, les volumes d'eau sont supérieurs à 11000 m<sup>3</sup>/ha. Ces volumes d'eau sont donc très énormes si on les compare avec les rendements et les valeurs de production que génèrent ces cultures, c'est ce qui sera l'objet du chapitre suivant.

**Chapitre  
IX**

**VALORISATION DE L'EAU  
D'IRRIGATION DANS LE *BÉNI MOUSSA*  
ET IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE**

**I**

L'étude des rendements des cultures

**II**

La valeur de production des cultures

**III**

La marge brute et la marge nette de six types cultures

**IV**

La valorisation des ressources en eau par l'irrigation à *Béni Moussa*

**V**

L'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie des agriculteurs

## Introduction

La problématique de la valorisation de l'eau de l'irrigation dans le périmètre irrigué de *Béni Moussa* sera étudiée dans ce chapitre en trois axes. Dans le premier axe nous allons traiter la production et les revenus des différentes cultures choisies, en mettant en évidence les marges brutes et nettes réalisées par chaque type de cultures. Nous allons donc comparer les rendements, les valeurs de production et les marges brutes et nettes des différentes pratiques agricoles. Par la suite nous essayerons d'estimer la rentabilité de chacune des six cultures. Pour le deuxième axe, il sera consacré à l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation. Cette étude de valorisation sera réalisée en se basant sur les valeurs de production générées et les volumes d'eau d'irrigation attribués à chaque type de culture, il s'agit donc de la valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production, la deuxième valorisation est estimée en utilisant les résultats de la marge brute tirées des différentes activités agricoles et les volumes d'eau d'irrigation consommés. Les résultats de l'étude de la valorisation nous amènent à déduire si l'agriculture irriguée à *Béni Moussa* permet d'atteindre les objectifs fixés pour le secteur, et si elle est à la hauteur des efforts déployés par l'Etat en matière de la gestion et valorisation des ressources en eau. Le troisième axe étudie l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie et le niveau social des agriculteurs, tout en étudiant leur état civil, l'exercices d'autres activités secondaires ou principales, les caractéristiques du logement et son raccordement à l'AEP, la propriété de l'exploitation, la mécanisation agricole et de l'utilisation des revenus de leur activité agricole.

### I. L'étude des rendements des cultures

L'étude des rendements moyens des cultures reste une étape qui nécessite une grande précision. Pour cette raison, nous avons essayé de comptabiliser les rendements des différentes cultures pour estimer les rendements moyens. La plupart des agriculteurs rencontrés mémorisent les quantités de la production rendues par chaque type de culture à l'hectare. Pour les cultures des Orangers et de l'Oignon, le rendement n'a pas été mesuré par les agriculteurs, car il est souvent vendu sur pied sans le récolter.

Le tableau 9.1 présente les rendements moyens des six cultures choisies. Ces valeurs sont incomparables entre eux, vu que l'unité des valeurs du rendement est différente d'une culture à l'autre. Cependant, la comparaison peut être effectuée en calculant la valeur de production à

partir de ces rendements. L'estimation des rendements des cultures nous permet de calculer leurs valeurs de production.

Tableau 9.1 : les rendements principaux et secondaires des cultures.

Type de culture	Rendement	Unité	Quantité
Céréales	R. principal	Qx/ha	65
	R. secondaire	Bottes/ha	420
Luzerne	Rendement	Bottes/ha	2500
Oignon	Rendement	-	-
Niora	R. principal	T/ha	24
Betterave à sucre	R. principal	T/ha	70
	R. secondaire	-	-
Orangers	Rendement	-	-

Source : enquête de terrain (2016)

## II. La valeur de production des cultures

### II. 1 Définition

La valeur de production peut être définie comme le rendement d'une culture multiplié par le prix unitaire, elle s'exprime en Dh/ha (AMGHAR et al, 2005). Les valeurs de production des cultures des céréales et de la Betterave à sucre ont été estimées en calculant la production principale et la production secondaire.

### II. 2 Les paramètres influençant la valeur de production

L'étude de la valeur de production semble une étape très sensible, car les prix de vente de chaque type de culture ne sont pas les mêmes, d'un agriculteur à l'autre voire d'une année à l'autre. Plusieurs facteurs déterminent le prix unitaire de vente de chaque type de culture. Les conditions climatiques et les charges variables peuvent être parmi les principaux facteurs déterminant la valeur de production. D'après l'enquête de terrain menée dans différents endroits au niveau du périmètre irrigué de *Béni Moussa*, nous avons constaté que plusieurs agriculteurs n'arrivent pas à négocier le prix de leurs marchandises donnant ainsi l'occasion aux intermédiaires l'occasion d'acheter les produits aux moindres coûts.

Ainsi, la valeur de production de chaque type de culture est instable d'une année à l'autre. Pour le facteur climatique est l'un des principaux paramètres qui gouverne le prix de vente, pendant une année sèche, les prix connaissent souvent une hausse significative, vu les quantités



élevées des intrants utilisés pour améliorer le rendement, et les volumes élevés d'eau d'irrigation utilisés (le nombre d'irrigation pour chaque type de culture pendant une année sèche est très élevé, alors que pendant une année humide, certaines cultures peuvent ne pas être irriguées). Ajoutons aux volumes d'eau élevés, les quantités des engrais et des produits phytosanitaires, qui sont utilisées d'une façon accrue pendant les années sèches. Le coût de production, qui peut être un peu plus élevée pendant une année sèche, est donc influencé par les charges supplémentaires dépensées induites par le réchauffement climatique.

Nous avons remarqué que la plupart des agriculteurs ne maîtrisent pas les techniques de négociation et de commercialisation pour imposer le prix de vente qui couvre toutes les dépenses et de tirer une marge brute qui permet d'améliorer leur niveau de vie et les encourager à développer leur activité (mécanisation, transport, pratique d'autre type de culture, etc.). À la fin du cycle, le prix de la marchandise doit s'aligner au prix du marché, qui lui dépend de la logique de l'offre et la demande et non pas au prix de revient du produit.

En effet, l'estimation de la valeur de production de chaque type de culture n'est pas constante, à l'échelle spatiale ou temporelle, cependant nous avons demandé aux agriculteurs de nous fournir les prix de vente pendant une année sèche et une année humide afin d'estimer une moyenne plus ou moins réelle de la valeur de production.

### **II. 3 Analyse des résultats de la valeur de production**

La valeur de production de chaque type de culture a été estimée en demandant à chaque exploitant de la quantité du rendement et du prix unitaire de vente. Pour certaine culture, la plupart des agriculteurs vendent le produit à pied, c'est le cas pour la culture de l'Oignon et les Orangers. Dans ce cas, la récolte et le transport, sont à la charge de l'acheteur. Le tableau 9.2 synthétise la valeur de production des six types de cultures choisies pour cette étude.

Pour la production de la luzerne, elle a été estimée en supposant qu'elle est pressée et vendue tout au long de l'année, alors qu'en réalité, elle n'est pressée que pendant l'été. Et pendant les mois de l'hiver où la production est minimale (une récolte pendant deux mois) la récolte est destinée à l'élevage. Le coût de production moyen de la Luzerne est de 87500 Dh/ha. Cette valeur élevée, par rapport aux autres types de cultures, est due au cycle de production qui est très court, il est d'environ 25 à 30 jours des mois chauds, et de 45 à 60 jours pendant la saison d'hiver.

Tableau 9.2 : l'estimation de la valeur de production des cinq types de cultures

Type de culture	Production	Coût (Dh)	Coût total (Dh)
Luzerne	P. principal	87500	87500
Orangers	P. principal	70000	70000
Niora	P. principal	62400	62400
Betterave à sucre	P. principal	30268	41338
	P. secondaire	11070	
Céréales	P. principal	19500	29200
	P. secondaire	9700	
Oignon	P. principal	19250	19250

Source : enquête de terrain (2016)

La culture des agrumes ou plus précisément les orangers, engendre un coût de production 70000 Dh/ha en moyenne. Cette valeur moyenne n'est pas fixe d'une année à l'autre, car plusieurs facteurs interviennent pour déterminer la valeur de production, à savoir, le rendement, la qualité du produit, le marché (national et international). La valeur de production des Orangers, comme tous les autres types de cultures, est fonction de l'offre et la demande du produit dans le marché. En raison de la croissance accélérée de la superficie des exploitations agrumicoles, la production est satisfaisante, et l'offre semble un peu plus élevée que la demande, engendrant ainsi une hausse de la valeur de production.

Pour la culture de Niora, la valeur de production est de l'ordre de 62400 Dh/ha. Le produit est souvent vendu aux transformateurs qui s'installent dans la région. Chaque agriculteur a son client avec qui la relation est directe, et les prix de vente sont négociés au préalable. D'autres agriculteurs vendent leur produit aux intermédiaires, qui revendent le produit aux transformateurs. Le recours de ces agriculteurs aux intermédiaires a pour but l'exemption des charges de la récolte et du transport, mais le prix de vente est réduit. La valeur de production de Niora est importante par le fait que la récolte se fait en plusieurs reprises, souvent trois récoltes par cycle de production.

Quant à la Betterave à sucre, la valeur de production est très satisfaisante, elle dépasse 41000 Dh/ha. Cette valeur comporte les deux types de production, principale et secondaire. La première, la production principale, a été estimée en tenant en considération le rendement (tonnes/ha) et la richesse en sucre. La valeur de production principale peut être calculée en appliquant la formule suivante :

$$\text{Valeur de production principale (Dh)} = [(\text{Rendement} - \text{Impureté}) * \text{Tarif}]$$

La valeur de production principale moyenne obtenue pour les exploitations enquêtées est de 30268 Dh/ha. Pour la production secondaire, elle est constituée de feuilles et de collets qui sont souvent vendus sur place, le prix de vente à l'hectare est de 4000Dh. De plus, l'usine de sucrerie attribue aux betteraviers des sous-produits issus de la transformation des betteraves à sucre, constitués de pulpe sèche, pulpes en vrac et pulpe humide. Ces sous-produits sont souvent vendus sur place, le prix moyen de vente est de 7070 Dh/ha.

Pour les céréales, la valeur de production est de 29200 Dh/ha, dont 19500 Dh/ha pour la production des grains et 9700 Dh/ha pour les bottes de paille. Certains agriculteurs, de petites exploitations, ne vendent pas leur production, mais les destinent à la consommation quotidienne et l'élevage.

En fin, pour la culture de l'Oignon, la valeur de production est souvent moins satisfaisante, 19250 Dh/ha. En raison de la surproduction de la culture de l'Oignon en été comme en hiver, les exploitants sont forcés à vendre leur produit à moindre prix aux intermédiaires. Nous avons remarqué que la vente sur pied est le mode de vente préféré, et les coûts de la récolte et de transport sont à la charge de l'acheteur. La plupart des exploitants questionnés sont insatisfaits de la situation du marché des cultures maraichères, et proclament l'établissement d'une organisation commerciale qui permet la protection de leur activité et limite l'intervention des intermédiaires dans la détermination des prix de vente.

### **III. La marge brute et la marge nette des six types cultures**

Après avoir étudié la valeur de production, nous procéderons à l'évaluation du niveau de bénéficié qu'obtiennent les agriculteurs de leur activité ; ceci est évalué en étudiant les marges brutes et les marges nettes.

La marge brute peut être obtenue en soustrayant le coût total des charges variables de la valeur de production d'une culture donnée. L'équation est donnée comme suit :

$$\text{Marge brute (MB)} = \text{Valeur de production} - \text{charges variables}$$

Quant à la marge nette (MN), elle correspond au revenu tiré d'un produit, déduction faite de l'ensemble des coûts des charges variables et des charges de structure spécifiques et charges de structures communes. La marge nette représente l'apport du produit à la couverture des charges calculées. C'est le bénéfice réalisé par l'exploitation (CHETTO, 2017). Elle est définie tout simplement comme la différence entre la marge brute et les charges fixes, d'où l'équation suivante :

$$\text{Marge nette (MN)} = \text{MB} - \text{charges fixes}$$

Les charges fixes correspondent à la valeur locative moyenne de la parcelle, qui est, selon les déclarations des agriculteurs, de l'ordre de 4000 Dh/ha.

Le tableau 9.3 consigne les valeurs de la marge brute et de la marge nette selon le type de culture. La marge brute la plus élevée a été estimée pour la culture de la Luzerne, alors que la valeur la plus faible correspond à la culture de l'Oignon. Ces valeurs de la marge brute montrent que les produits de toutes les cultures pratiquées couvrent effectivement les différentes charges variables, mais le bénéfice diffère d'une culture à l'autre. Nous signalons ici que la production de l'Oignon et des Orangers pour certains agriculteurs, ne couvre même pas les charges variables dépensées, et la marge brute pour ces agriculteurs est négative.

Quant à la marge nette, elle est comprise entre 11000 Dh/ha pour les céréales, et atteint 48000 Dh/ha pour la Luzerne, alors que pour la culture de l'Oignon, elle est négative, vu les charges variables élevées, et le prix de vente qui est souvent faible.

Tableau 9.3 : La marge brute et la marge nette des cultures choisies

Type de culture	Marge brute moyenne (Dh/ha)	Valeur locative de la terre (Dh/ha)	Marge nette moyenne (Dh/ha)
Luzerne	51992	4000	47992
Orangers	46324	4000	42324
Niora	28976	4000	24976
Betterave à sucre	18324	4000	14324
Céréales	15288	4000	11288
Oignon	2186	4000	-1814

Source : enquête de terrain (2016)

### III. 1 Le taux de marge

Le taux de marge exprimé en pourcentage, est le rapport entre la marge brute et la valeur de production. Ce paramètre peut nous renseigner plus précisément sur le niveau de bénéfice que tirent les agriculteurs de leur activité selon le type de culture pratiquée.

Le tableau 9.4 montre les valeurs du taux de marge selon les types de culture. D'après ces valeurs, nous constatons que les Orangers présentent le taux de marge le plus élevé. Ce taux de marge désigne que la marge brute de cette culture représente 74,24% de la valeur de production. En revanche, nous constatons que la marge brute de la culture de l'Oignon ne représente que 11,36% de sa valeur de production. Généralement, nous pouvons déduire que la marge brute tirée de toutes les cultures, sauf la culture de l'Oignon, est généralement supérieure à 41% de la recette de production, qui est une valeur supérieure d'un tiers de la valeur de production.

Tableau 9.4 : Taux de marge selon les types de culture

Type de culture	Taux de marge (%)
Orangers	74,24
Luzerne	59,42
Céréales	52,35
Betterave à sucre	44,33
Niora	41,39
Oignon	11,36

Source : enquête de terrain (2016)

### III. 2 La rentabilité

La rentabilité est un paramètre agro-économique très utile pour se renseigner de l'efficacité de la pratique agricole d'un type de culture donné. Pour estimer la rentabilité (CHETTO, 2017) de chaque type de culture choisie pour ce travail, nous avons adopté la formule suivante :

$$\text{Rentabilité (\%)} = \frac{\text{Marge nette}}{\text{Charges variables} + \text{charges fixes}} \times 100$$

Le tableaux 9.5 consigne les valeurs de la rentabilité des six cultures choisies. Ces valeurs montrent que les orangers sont les plus rentables parmi toutes les autres cultures, avec une valeur de l'ordre de 152,93%. Cette valeur veut dire que chaque Dirham dépensé dans la

production des Orangers rapporte aux agriculteurs un bénéfice net de 1,53 Dh en moyenne. Pour les autres cultures, elles sont tous rentables sauf la culture de l'Oignon qui enregistre une rentabilité négative (-8,61%).

Tableau 9.5 : La rentabilité des différentes cultures choisies

Type de culture	Rentabilité (%)
Orangers	152,93
Luzerne	121,47
Niora	66,74
Céréales	63,01
Betterave à sucre	53,02
Oignon	-8,61

Source : enquête de terrain (2016)

#### IV. La valorisation des ressources en eau par l'irrigation à *Béni Moussa*

La valorisation est un paramètre indispensable pour évaluer l'importance et l'intérêt donné aux ressources en eau utilisées par les différents secteurs consommateur de l'eau (Irrigation, Industrie, Alimentation en eau potable (AEP), etc.). Le niveau de la valorisation de l'eau d'irrigation nous permet de connaître si les volumes d'eau d'irrigation sont utilisés d'une façon « rationnelle », s'ils sont proportionnels aux bénéfices tirés de la production agricole, et si l'utilisation des ressources en eau est prise en considération dans la production agricole. Nous avons remarqué durant notre enquête de terrain que la plupart des agriculteurs manifestent leur mécontentement du prix de l'eau d'irrigation, alors que leurs comportements vis-à-vis de cette ressource est souvent irrationnel. Les volumes d'eau utilisés en irrigation dépassent souvent les besoins des cultures, et les pertes sont non mesurables. Dans ce qui suit nous allons essayer d'estimer la valorisation de l'eau d'irrigation utilisée pour la production des six types de cultures choisies. Nous allons estimer la valorisation par la valeur de production, et par la marge brute, afin de reconnaître combien rapporte l'utilisation d'un mètre cube d'eau d'irrigation.

##### IV. 1 La valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production

La valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production a été estimée en rapportant la valeur de production au volume d'eau d'irrigation utilisé durant tout le cycle de production. Le résultat est donné en Dirhams par mètre cube. Le tableau 9.6 montre les niveaux de valorisation de chaque type de culture choisie pour cette étude.

D'après ce tableau, nous constatons que la culture des céréales présente une valorisation très considérable, tel que chaque mètre cube d'eau utilisé pour l'irrigation des céréales rapporte 5,79 Dh. Cette valorisation élevée par la culture des céréales est due au volume d'eau très faible nécessaire pour la production par rapport aux autres cultures bien que la valeur de production est assez moyenne par rapports aux autres valeurs de production. En deuxième et troisième classe, les cultures de la Luzerne et de la Niora avec une valorisation de l'ordre de 5,63 et 5.16 Dh/m<sup>3</sup> respectivement. Ces niveaux de valorisation sont aussi élevés en raison de la valeur de production très importante de ces cultures, malgré les volumes d'eau d'irrigation qui sont plus importants par rapport aux volumes d'eau consommés par les céréales. Pour les cultures de Betterave à sucre et des Orangers, la valorisation est respectivement de l'ordre de 3,68 Dh/m<sup>3</sup> et 3,00Dh/m<sup>3</sup>. Pour les Orangers la valorisation de l'eau d'irrigation est faible, sachant que le volume d'eau utilisé est très élevé pour la production des Orangers durant tout le cycle de production. En fin, la culture des Oignons présente le niveau de valorisation par la valeur de production le plus faible, même si les volumes d'eau d'irrigation utilisés pour la production ne sont pas excessifs. Cette faible valorisation de l'eau d'irrigation par la culture des Oignons est due à la faible valeur de production et aux problèmes de vente et de commercialisation de la production.

Tableau 9.6 : la valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production des six cultures choisies

Type de culture	Valeur de production (Dh/ha)	Volume d'eau d'irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	Valorisation (Dh/m <sup>3</sup> )
Céréales	29200	5040	5.79
Luzerne	87500	15552	5.63
Niora	62400	12096	5.16
Betterave à sucre	41338	11232	3.68
Orangers	70000	23328	3.00
Oignon	19250	12096	1.59

Source : enquête de terrain (2016)

D'après cette lecture, il s'avère donc que les cultures les plus valorisantes de l'eau d'irrigation doivent être protégées et soutenues afin qu'elles soient encore plus valorisantes, en rationalisant l'utilisation de l'eau d'irrigation, et en créant aux agriculteurs les conditions



favorables pour la commercialisation de leur production agricole, et en les protégeant contre les intermédiaires profiteurs.

#### IV. 2 La valorisation de l'eau d'irrigation par la marge brute

La valorisation des ressources en eau utilisées pour l'irrigation des six cultures choisies pour cette étude par la marge brute a été estimée en divisant la valeur de la marge brute moyenne de chaque type de culture par le volume d'eau d'irrigation consommé par la culture au long de tout le cycle de production. D'après le tableau 9.7, chaque mètre cube d'eau d'irrigation utilisé pour la production des six types de cultures rapporte aux agriculteurs un revenu entre 0,18 Dh et 3,34 Dh. La valeur la plus élevée de la valorisation par la marge brute concerne la production de la Luzerne, vu le niveau assez élevé de la marge brute que tire les agriculteurs de cette culture durant toute l'année, bien que les volumes d'eau d'irrigation sont élevés. Pour la culture des céréales, elle valorise bien l'eau d'irrigation en raison des volumes d'eau très faibles nécessaires pour la production. La culture la moins valorisante de l'eau d'irrigation et qui présente le niveau le plus faible de la valorisation de l'eau d'irrigation est la culture des Oignons ; ceci est dû à la marge brute très faible que tirent les agriculteurs de la production de cette culture.

Tableau 9.7 : la valorisation de l'eau d'irrigation par la marge brute tiré de la production des six cultures choisies

Type de culture	Marge brute moyenne (Dh/ha)	Volume d'eau d'irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	Valorisation (Dh/m <sup>3</sup> )
Luzerne	51992	15552	3.34
Céréales	15288	5040	3.03
Niora	28976	12096	2.40
Orangers	46324	23328	1.99
Betterave à sucre	18324	11232	1.63
Oignon	2186	12096	0.18

Source : enquête de terrain (2016)

En général, il semble que la valorisation de l'eau d'irrigation par les six cultures choisies pour cette étude est faible par rapport aux volumes d'eau utilisé pour l'irrigation de chaque type de culture, les efforts déployés par l'État et l'ORMVA de *Tadla* en matière de fourniture de l'eau d'irrigation aux agriculteurs, l'aménagement et l'entretien du réseau hydraulique, la planification des dotations et des programmes d'irrigation, l'organisation des tours d'irrigation

à l'aide des aiguadiers, etc. Nous avons remarqué d'après notre enquête de terrain, que la relation entre les agriculteurs et l'ORMVA de *Tadla* et les bureaux des arrondissements est réduite au paiement des factures de l'eau d'irrigation et à la demande des tours d'eau. En effet, les agriculteurs ont besoin d'un encadrement et d'un suivi durant toute l'année. L'encadrement doit couvrir le choix de culture, le choix des engrais et des produits phytosanitaires ainsi que leurs quantités afin de respecter les normes qui permettent une production optimale sans altérer la qualité physico-chimique des sols et des eaux souterraines. L'accompagnement des agriculteurs doit inclure la sensibilisation des agriculteurs en matière de l'utilisation des eaux d'irrigation afin de maîtriser les quantités d'eau nécessaires à chaque type de culture. La sensibilisation est aujourd'hui un impératif pour la préservation des ressources en eau du bassin versant d'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*.

Les efforts déployés par l'État en matière de rationalisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation par la motivation des agriculteurs « de moyennes et grandes exploitations » de reconverter le système d'irrigation du gravitaire au système de goutte-à-goutte méritent d'être mentionnés. Néanmoins, la plupart des exploitants n'utilisent pas ce système avec un esprit rationnel, mais leur intérêt reste de réduire les charges de la main d'œuvre et le coût de l'eau d'irrigation, et certains d'entre eux utilisent ce système économe avec l'esprit du système gravitaire, sans respecter les dotations journalières fixées pour chaque type de culture. En outre, les exploitations adoptant le système goutte-à-goutte utilisent souvent les panneaux solaires pour pomper les eaux souterraines à partir des puits et des forages. L'utilisation de cette énergie renouvelable contre l'énergie électrique ou les bouteilles de gaz, entraîne une surexploitation des eaux souterraines. Cette situation, exige un suivi de l'utilisation de la ressource en eau dans



Photo 9.1 et 9.2: L'utilisation des panneaux solaires dans le périmètre de *Béni Moussa* pour le pompage des eaux souterraines et les déverser dans les canaux d'irrigation.

Cliché R. BISSOUR, 2018)

l'irrigation, un encadrement des agriculteurs pour une pratique agricole efficace et rentable, et une sensibilisation en matière de l'utilisation de l'eau d'irrigation afin que le secteur agricole valorise bien la ressource en eau.

### IV. 3 La conscience de la rareté des ressources en eau chez les agriculteurs

La sensibilisation de l'importance de la gestion et la préservation des ressources en eau est devenue aujourd'hui une urgence pour que l'utilisation des ressources en eau dans l'irrigation soit durable et rationnelle. Vu que les volumes d'eau consommés, au long de tout le cycle de production des six cultures choisies pour cette étude, sont compris entre 5040 m<sup>3</sup>/ha et 23328 m<sup>3</sup>/ha, l'agriculture est subséquemment considérée comme le secteur le plus grand consommateur des ressources en eau.

Nous avons remarqué d'après l'enquête de terrain réalisée au niveau du périmètre irrigué de *Béni Moussa* que la majorité des agriculteurs ne sont pas conscients de la problématique de la rareté des ressources en eau. 28% de l'échantillon étudié ont exprimé leur conscience de la problématique tandis que 78% ignorent totalement la problématique de la rareté des ressources hydriques. Cette inconscience peut être expliquée par le niveau culturel et éducatif : où 44% des agriculteurs sont illettrés, 6% ont étudiés dans des « katatibs coraniques », 20% ont atteint le primaire, 16% ont atteint le collège et le secondaire, et 14% ont fréquenté l'université. Ainsi, la plupart des agriculteurs ignorent le processus que suit cette ressource hydrique avant qu'elle ne soit conduite à leurs parcelles, et les problèmes que connaît et connaîtra le climat à l'échelle globale voire régionale. Nous avons constaté que le grand souci des agriculteurs se résume dans l'irrigation de leurs parcelles en temps voulu et avec des volumes satisfaisants, sans réfléchir



Photo 9.3 : Eau souterraine pompée avec des volumes excessifs.

Cliché R. BISSOUR (2016)



Photo 9.4 : quantité de bouteilles de gaz utilisées pour pomper les eaux souterraines. Cliché R. BISSOUR (2016)



aux problèmes liés à la ressource en eau à l'amont de l'exploitation. Cependant, nous avons constaté que 42% des agriculteurs essaient de choisir les cultures les moins consommatrices de l'eau d'irrigation ; c'est ce qui explique les grandes superficies des parcelles de céréales enquêtées (103ha). En outre, 68% des agriculteurs ont exprimé leur souhait d'adopter le système d'irrigation de goutte-à-goutte, mais les contraintes de l'installation varient entre le financement (41,7%), la superficie limitée de l'exploitation (25%), la non appropriation de la terre (location) (20,8%), et les problèmes de l'héritage (12,5%).

Ainsi, les autorités responsables et chargées de la gestion des ressources en eau sont obligées d'organiser des visites et des sessions de sensibilisation au profit des agriculteurs au sujet de l'utilisation rationnelle et durable de l'eau d'irrigation. Par ailleurs, il faut que les programmes de reconversion en goutte-à-goutte soient destinés aussi bien qu'aux petits agriculteurs qu'aux grands agriculteurs.



Photo 9.5 : un bassin réservoir utilisé en système d'irrigation goutte-à-goutte.  
Cliché R. BISSOUR (2016)



Photo 9.6 : exemple d'une moyenne exploitation utilisant le système de goutte-à-goutte pour l'irrigation des agrumes. Cliché R. BISSOUR (2016)



Photo 9.7 : forme de gaspillage de l'eau d'irrigation au niveau des canaux d'irrigation en amont de la parcelle.  
Cliché R. BISSOUR (2016)



Photo 9.8 : le volume d'eau gaspillé par le système d'irrigation gravitaire et la Robta.  
Cliché R. BISSOUR (2016)

## V. L'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie des agriculteurs

Dans cette partie, nous allons essayer de traiter l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie et social des agriculteurs. Étant donné que l'agriculteur consacre tout le temps, durant toute l'année, pour son métier, et en considérant les marges brutes qu'il peut tirer des différents types de cultures que nous avons étudiées ; l'agriculture irriguée doit contribuer à l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, et doit avoir un impact favorable sur son niveau socio-économique.

### V. 1 La situation familiale

Nous avons constaté que 90% des agriculteurs sont mariés dont 4% seulement sont encore jeunes et célibataires. Le principal constat, c'est que chaque habitation comporte une ou plusieurs familles : la famille de l'agriculteur et les familles de ses fils ou de ses frères. Cela veut dire que dans la plupart des cas, chaque exploitation doit assurer la subsistance de plusieurs. Si nous rappelons que plus de 82% des exploitations ont une superficie inférieure à 5 ha (Monographie de l'ORMVAT), avec les exploitations ayant une superficie inférieure à 2 ha sont les plus répandues, nous pouvons dire que les petits agriculteurs supportent une responsabilité plus dure.

Tableau 9.8 : L'état civil des agriculteurs enquêtés

Etat civil	Célibataire	Marié	Divorcé	Veuf
%	4	90	0	6

Source : enquête de terrain (2016)

### V. 2 L'agriculteur exerce-t-il d'autre métier ?

D'après l'enquête de terrain menée dans le périmètre irrigué de *Béni Moussa*, 20% des agriculteurs ont déclaré qu'ils ont un autre métier alors que 80% entre eux ne pratiquent aucun autre métier que l'agriculture. Les agriculteurs qui exercent d'autres métiers sont, soit des fonctionnaires de l'État, soit des commerçants, et certains d'entre eux ont d'autres projets privés. Certains agriculteurs ayant d'autres fonctions ne sont pas les propriétaires de l'exploitation ; ils exercent l'activité après avoir loué la terre. Ces personnes peuvent être considérées comme de faux agriculteurs. Ceux qui nous intéressent, sont les agriculteurs disposant de leur propre

exploitation, et dont le métier d'origine est l'agriculture. Certains d'entre eux ont cherché à exercer d'autres métiers afin qu'ils puissent améliorer leur niveau de vie et dans certains cas couvrir les dépenses des charges variables de leur activité agricole. On peut dire donc que pour certains agriculteurs le revenu de leur activité agricole ne leur permet pas de couvrir tous les besoins et pour certains d'entre eux ne couvre même pas les dépenses et les charges variables de la production agricole.

### V. 3 Caractère du logement et l'accordement à l'AEP

Pour ce qui concerne le logement, nous avons constaté que la plupart des agriculteurs possèdent leur maison d'habitation, dont 74% ont un caractère « moderne », 10% sont des maisons traditionnelles et 16% des maisons mixtes. Le caractère « moderne » ne désigne pas forcément une construction bien aménagée. Chez les petits et moyens agriculteurs, nous avons remarqué que les logements sont constitués d'une construction souvent sans finition des murs de l'extérieur. Ces constructions sont dans la plupart des cas des maisons rez-de-chaussée, et dans certains cas sont constituées de R+1. En ce qui concerne l'alimentation en eau potable (AEP), nous avons remarqué que 62% des logements sont raccordés au réseau de l'eau potable, alors que 38% utilisent les eaux des puits pour l'alimentation.



Photo 9.9: exemple d'un logement bien aménagé d'un agriculteur disposant une exploitation de moyenne taille.

Cliché R. BISSOUR (2016)

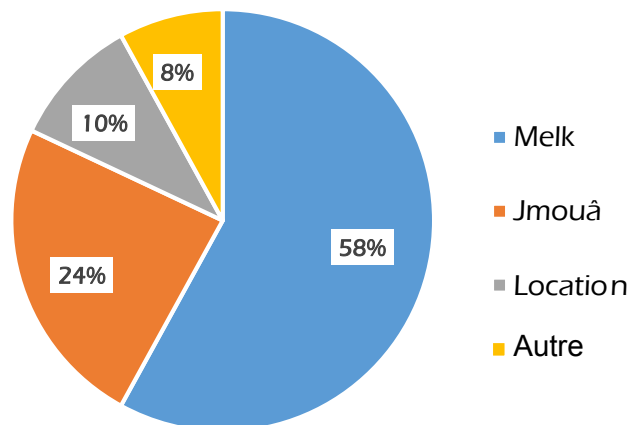


Photo 9.10: exemple d'un logement sans finition et non bien aménagé

Cliché R. BISSOUR (2018)

#### V. 4 Propriété de l'exploitation

Les chiffres tirés de l'enquête de terrains sur la propriété de l'exploitation montrent que 58% des agriculteurs ont une propriété privée (Melk), 24% d'exploitation des terrains collectifs (Jmouâ), et 10% en location. Ces données désignent que la majorité des agriculteurs disposent de leurs propres exploitations, ce qui leur permet d'agir sur leur terrain et d'exercer leur activité en toute liberté, à savoir, la construction, l'installation du système d'irrigation localisé, etc. La dominance des propriétés privées désigne aussi que les propriétaires sont exemptés de toutes charges fixes. Cependant, un grand nombre d'exploitations sont héritées, et non pas été achetées pour les exploiter en agriculture. Ce qui désigne que la majorité des agriculteurs ont hérité la terre et l'activité agricole, et non pas eu le choix d'exercer un autre métier que l'agriculture. Quant aux agriculteurs qui exploitent les terres de location, sont redevables d'une valeur locative de la terre qui varie entre 4000 et 5000 Dh/ha/an, et ne peuvent pas reconvertir le système d'irrigation du gravitaire au système localisé.



Source : enquête de terrain (2016)

Figure 9.1 : type de propriété des exploitations enquêtées (Source : enquête de terrain (2016)).

#### V. 5 Machines agricoles et moyen de transport

L'étude du matériel mécanique utilisé dans la production et les moyens de transport peut nous renseigner si l'agriculteur a pu, à l'aide des revenus de l'agriculture, de mécaniser son activité ou non. Les résultats de l'enquête de terrain réalisée montrent que 20% des agriculteurs disposent de machines agricoles, constituées essentiellement de tracteurs agricoles, de



moissonneuses-batteuses, de botteleuses ou autres. La majorité des exploitations qui disposent de machines agricoles sont des fermes de plus de 50 ha, alors que les petits agriculteurs n'ont pas accès au matériel mécanique agricole. Quant au moyen de transport, l'enquête de terrain a révélé que 18% des agriculteurs enquêtés disposent d'un camion ou d'un Pickup pour transporter leurs productions agricoles, et seulement 16% entre eux qui disposent d'une voiture alors que le reste n'utilise que les motos ou les Bicyclette pour leurs déplacements.

Cette situation désigne qu'un grand nombre d'agriculteurs, notamment les petits, ne peuvent pas, avec les revenus de leur activité, insérer la machination agricole à leurs exploitations, ou de disposer de moyen de transport de leur production. Pour ces agriculteurs, leur activité ne leur permet ni d'améliorer les techniques de la production agricole ni de disposer des commodités de la vie.



Photo 9.11 : ramasseuse-presse utilisée pour mettre les pailles en botte.

Cliché R. BISSOUR (2016)

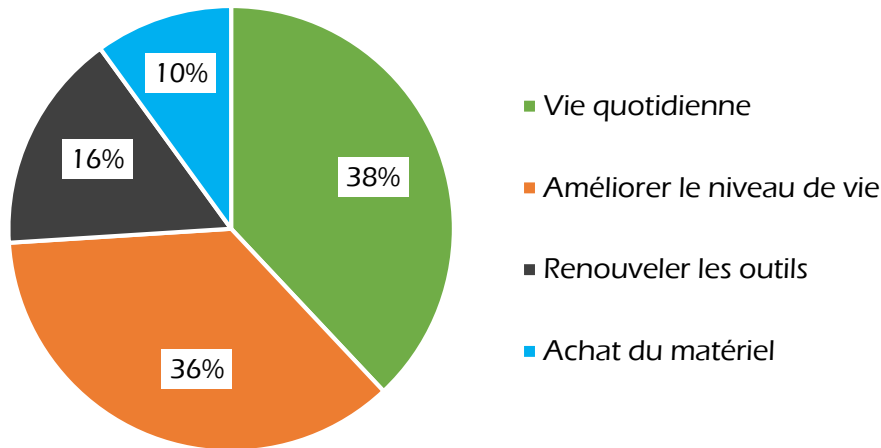


Photo 9.12 : exemple d'un matériel mécanique simple utilisé pour la fauche de la Luzerne. Cliché R. BISSOUR (2016)

## **V. 6 L'utilisation des revenus**

La question de l'utilisation des revenus des différentes cultures choisies a pour objectif de comprendre si l'activité agricole contribue à une amélioration de la situation de l'agriculteur et de son activité, ou elle ne sert qu'à assurer la vie de la famille de l'agriculteur et de couvrir ses dépenses. Nous avons demandé aux agriculteurs, durant l'enquête de terrain, comment ils utilisent leur revenu, les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 9.9. Ces résultats font apparaître que 38% des agriculteurs n'ont pu exploiter leurs revenus que dans les besoins de survie et les réinvestissent dans la production agricole de l'année qui suit. D'autre agriculteurs

déclarent qu'ils essaient d'améliorer leur niveau de vie, ils représentent 36% des enquêtés, alors que 26 % des agriculteurs ont pu, grâce aux revenus de leurs activités d'avoir et de renouveler les outils de la production agricole.



Source : enquête de terrain (2016)

Figure 9.2 : les sortes de l'utilisation des revenus de l'agriculture irriguée.

D'après nos constats, seuls les agriculteurs possédant les moyennes et grandes exploitations ont pu réaliser des revenus très satisfaisants, qui leur permettent de réinvestir dans l'amélioration et le renouvellement des techniques et modes de production agricole et/ou dans d'autre projet. Tandis que les agriculteurs de petites exploitations, les marges brutes qu'apportent leur activité agricole ne suffisent qu'à garantir leur subsistance quotidienne. En outre, nous avons constaté que ces petits agriculteurs ne comptent pas seulement sur la production agricole, mais pour la plupart d'entre eux, l'élevage constitue le principal bien de subsistance ; ces agriculteurs constituent 74% des enquêtés.

Ainsi, nous pouvons dire que l'activité agricole, en général, a pu, avec ses revenus ou à l'aide d'autres activités associées, d'améliorer le niveau de vie et le développement des outils de production de certains agriculteurs, notamment pour les agriculteurs des grandes et moyennes exploitations. Tandis que pour les agriculteurs de petites exploitations, ils ne sont capables, avec les revenus de la production de leurs exploitations, que d'assurer le nécessaire de la vie de leurs familles, sans disposer des moyens de confort et de bien-être, et sans pouvoir aussi développer les techniques de production végétale, Certains agriculteurs cherchent ou exercent d'autres emplois en vue d'améliorer leur niveau de vie.



Photo 9.13 : exemple d'un petit agriculteur disposant d'une micro-exploitation de la Luzerne exploitée pour l'élevage. Cliché R. BISSOUR (2016)



Photo 9.14 : élevage traditionnel des bovins dans une exploitation de moyenne taille. Cliché R. BISSOUR (2016)

## Conclusion

L'étude de la rentabilité des six cultures qui font l'objet de cette recherche a montré que les cultures de la Luzerne, des Orangers et de la Niora, sont les plus rentables, avec des valeurs de production souvent supérieures à 62000Dh/ha et des marges brutes comprises entre 29000 Dh/ha et 52000 Dh/ha. Pour les autres cultures, le coût élevé des charges variables et les problèmes de commercialisation rétrécissent les marges de bénéfices. Les résultats de l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation en mode d'irrigation gravitaire fait apparaître un contraste marquant en termes de valorisation par la valeur de production et par la marge brute. La valorisation de l'eau d'irrigation par la culture de l'Oignon reste la moins significative avec 1,6 Dh/m<sup>3</sup> pour la valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production et 0,2 Dh/m<sup>3</sup> pour la valorisation par la marge brute. Si on tient en considération les problèmes liées aux ressources en eau, comme la variabilité climatique, la rareté des ressources en eau, ou les problèmes liés à la gestion de l'eau d'irrigation à l'amont de l'exploitation, ces cultures ne sont pas suffisamment valorisantes de l'eau d'irrigation. Cette situation exige d'adopter des programmes de sensibilisation et de soutien au profit des agriculteurs pour les aider à bien rationaliser l'utilisation des eaux pour l'irrigation, soit en les orientant à pratiquer des cultures moins consommatrices, soit en les accompagnant à reconverter le système gravitaire en système d'irrigation localisé (goutte-à-goutte). Il s'avère donc que la réussite des programmes nationaux ou régionaux de gestion des eaux d'irrigation ne peut être garanti qu'à travers la sensibilisation et l'accompagnement des utilisateurs de l'eau d'irrigation.

Nous avons déduit après l'étude de l'impact de l'agriculture irriguée sur le niveau de vie des agriculteurs que, pour une grande partie, leur activité n'assure que le nécessaire de la vie. Les causes sont diverses. Elles varient entre la taille réduite de l'exploitation, le nombre des membres de la famille de l'agriculteur, le coût élevé des charges variables, le manque de ressources nécessaires pour la reconversion en système de goutte-à-goutte pour minimiser les coûts de l'eau d'irrigation et de la main d'œuvre et améliorer la production, etc. Pour outrepasser cette situation, certains agriculteurs exercent d'autres métiers, soit le commerce ou d'autre projet personnel.

## Conclusion de la troisième partie

Les ressources en eau, qui marquent une situation vulnérable face à la variabilité hydro-pluviométrique au niveau du bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane*, souffrent d'une pression accrue par le secteur agricole à l'aval, au périmètre irrigué de *Béni Moussa*. Il est certain que la construction du barrage *Bin El Ouidane* a eu comme l'un de ses objectifs d'arroser les terres de *Béni Moussa*, et depuis lors, le barrage a bien assuré sa fonction. Cependant, les années ayant un caractère sec ont touché significativement la réserve d'eau du barrage, et la demande croissante en eau du périmètre irrigué aggrave, de plus, la situation. Le système d'irrigation gravitaire est l'un des principaux aspects du gaspillage et de perte d'eau. Les modes d'irrigations associés au système gravitaire sont largement adoptés par les agriculteurs du périmètre irrigué.

Le PNEEI, qui est la principale composante du Plan Maroc Vert, vise à une économie directe de l'eau d'irrigation en généralisant la reconversion du système d'irrigation gravitaire au système localisé. Pourtant, plusieurs contraintes ont freiné l'introduction du système à la plupart des exploitations, malgré les prérogatives accordées au programme, à savoir le financement. La dominance des exploitations de taille réduite, inférieure à cinq hectares reste l'une des principales contraintes. Ainsi, la persistance du système gravitaire entraîne une consommation excessive des eaux d'irrigation, et qui contribue ainsi à d'autres charges supplémentaires (prix élevé d'eau consommée, mains d'œuvre de l'irrigation). Les charges de l'eau varient d'une culture à l'autre, selon les volumes d'eau d'irrigation attribués à chaque type de culture, avec une charge très élevée pour les Orangers et la Luzerne, avec 7452 Dh/ha et 6833 Dh/ha successivement. Ces volumes d'eau apportent des rendements qui varient d'une culture à l'autre.

Certaines cultures (Céréales et Betterave à sucre) ont l'avantage d'apporter deux rendements : principal et secondaire, et d'autres sont récoltées à plusieurs reprises (Luzerne, Niora). L'étude du rapport revenu ou marge brute et volume d'eau consommé permet d'évaluer le niveau de valorisation de l'eau d'irrigation par l'agriculture irriguée. Les résultats obtenus montrent que les ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid* via barrage *Bin El Ouidane* restent faiblement valorisées. Certaines cultures consomment des volumes d'eau énormes sans avoir des marges brutes suffisantes (le cas de l'Oignon pendant certaines années). Certes, la valorisation de l'eau d'irrigation occupe une grande priorité dans le PNEEI, mais elle reste jusqu'à présent, très limitée, seules les grandes exploitations adoptants le système

d'irrigation localisé et produisant des agrumes qui valorisent bien l'eau d'irrigation. Les autres exploitations, de petite et moyenne taille, sont les principales causes de la dégradation des ressources en eau, et participent à une raréfaction et gaspillage notable de l'eau. L'absence de la conscience et l'ignorance reste le premier facteur qui entraîne la surutilisation de la ressource. La première action qu'il faut faire pour valoriser l'eau d'irrigation est la sensibilisation des consommateurs de l'eau d'irrigation et leur accompagnement durant tout le cycle de production agricole. La formation du citoyen responsable est certainement la solution la plus optimale pour une meilleure gestion et protection des ressources en eau.

La réserve enregistrée en novembre 2017 (16,7% du volume du barrage) est considérée l'une des rares réserves marquant l'histoire du barrage, elle peut être le « tocsin » qu'on doit faire sonner pour une meilleure et durable gestion de la ressource en eau, non pas seulement à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*, mais à l'échelle de tous les bassins hydrauliques du Maroc.

## Conclusion générale et perspective

---

La situation du bassin versant de l'oued *El Abid* dans le Haut Atlas central lui confère des potentialités hydriques et naturelles exceptionnelles. Ces potentialités contribuent à un fonctionnement hydrologique soutenu et permanent. La topographie, la densité hydrographique et la lithologie convergent pour maintenir l'écoulement superficiel des eaux en périodes sèches comme en périodes humides. Les conditions climatiques qui régissent le bassin versant montrent, durant les 33 années précédentes, une variabilité spatio-temporelle remarquable de la pluviométrie, avec une extension presque dominante du climat du type semi-aride. La sécheresse à l'échelle du bassin versant est bien connue, la succession des années sèches pendant les années 1990, et la fréquence équivalente entre les années humides et des années sèches sont des indices qui confirment que le climat du bassin a un caractère sec. Cette sécheresse peut être une donnée structurelle, mais pour la confirmer, il faut disposer d'une série de données climatiques qui s'étalent sur au moins un siècle. Cette situation, certes inquiétante a sans doute des répercussions néfastes sur la réserve de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*. La succession des déficits pluviométriques affecte le régime hydrométrique des principaux cours d'eau du bassin versant, et par conséquent, les apports d'eau au barrage. Les volumes d'eau retenue par le barrage subissent par l'effet des canicules d'importantes pertes d'eau par l'évaporation. Cette perte par évaporation est accompagnée d'autres pertes dues aux fuites à travers les fissures et les vannes du barrage. Le volume d'eau total moyen perdu annuellement s'élève à 59,8 Mm<sup>3</sup>. Tous ces paramètres interviennent directement pour réduire la réserve hydrique du barrage et ainsi touchent les secteurs bénéficiant des ressources en eau du barrage, notamment l'agriculture irriguée à *Béni Moussa*.

Le périmètre irrigué de *Béni Moussa* abrite des exploitations de différentes tailles pratiquant différents types de cultures, à savoir les agrumes, les Betteraves à sucre, la Luzerne, les céréales, les cultures maraichères et le piment Rouge ou Niora. L'étude de la production de ces six cultures par le suivi de différentes charges variables et leur rendement montre une grande différence entre eux. La marge brute qu'apporte chaque culture est étroitement liée au volume des charges variables et les conditions de commercialisation du produit. Les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation par le biais du système gravitaire sont énormes. Ils varient entre 23328 m<sup>3</sup>/ha pour les orangers et 5040 m<sup>3</sup>/ha pour les céréales. L'évaluation du niveau de valorisation de l'eau d'irrigation par ces cultures montre que la Luzerne est la culture la plus valorisante des ressources hydriques avec 3,34 Dh/m<sup>3</sup> (valorisation par la marge brute), alors que la culture des



Oignons n'enregistre que 0,18 Dh par mètre cube d'eau consommé. L'interprétation des revenus qu'apporte l'agriculture irriguée aux agriculteurs indique que seuls ceux possédants les grandes et les moyennes exploitations bénéficient de la production agricole (la taille de l'exploitation a un effet positif sur l'amélioration du rendement). Alors que les petits agriculteurs, en raison de la taille réduite de l'exploitation, les coûts élevés des charges variables, le manque du matériel mécanique pour la production, l'analphabétisme, le manque des techniques de négociation, ne sont pas capables de tirer profit de leurs travaux en agriculture.

Le site du lac *Bin El Ouidane* joue actuellement un rôle supplémentaire. Il est considéré aujourd'hui comme l'un des sites touristiques les plus attrayants à l'échelle régionale. Il offre, avec son lac artificiel, un paysage et des vues panoramiques magnifiques. Cependant, toute diminution de la réserve, comme celle enregistrée en 2017, pourrait affecter cette potentialité touristique caractéristique de la région de *Béni Mellal Khénifra*.

Cette étude révèle donc une situation alarmante et critique des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid*, malgré le fonctionnement hydrologique résistant aux périodes sèches, et soutenu par les systèmes karstiques de la montagne, qui se développent dans tout le bassin versant. Cette situation est aggravée par l'utilisation irrationnelle et non consciente de cette ressource pour l'irrigation du périmètre de *Béni Moussa*, malgré les efforts déployés par l'Etat pour la reconversion des systèmes non économes de l'eau d'irrigation au système localisé ou le goutte-à-goutte.

Plusieurs mesures sont ainsi imposantes pour faire face à la raréfaction des ressources hydriques de l'amont à l'aval, parmi lesquelles on cite :

### *À l'échelle du bassin versant*

- L'équipement du bassin versant de l'oued *El Abid* par d'autres stations hydroclimatiques comme l'oued *Wabzaza* et le cours de l'*Assif Melloul*, et dans des endroits de moyennes et hautes altitudes pour suivre et quantifier les apports de la neige et pour bien estimer le gradient thermique à l'échelle du bassin versant,
- La réalisation des études de prospection pour quantifier les réserves d'eau souterraines karstiques,
- La mesure des débits des grandes sources pour le suivi et la caractérisation de leur fonctionnement hydrogéologique,

## Conclusion générale et perspectives

---

- Le reboisement des forêts qui ont subi une forte dégradation en s'intéressant aux versants dépourvus de toutes sortes de végétations, comme les versants de la cuvette de Ouauizerht qui dominant le lac artificiel de *Bin El Ouidane*.
- Sensibiliser la population de la montagne pour la protection de la forêt et leur fournir des alternatives, afin de lutter contre la forte dégradation des forêts du bassin versant et de l'envasement de la retenue du barrage *Bin El Ouidane*.

### *Au niveau du lac de Bin El Ouidane*

- Le dévasage ou l'évacuation de la vase et des sédiments pour réduire la perte de la capacité de la retenue du barrage
- L'entretien du barrage et de ses vannes pour lutter contre les fuites.
- Trouver des solutions adéquates pour minimiser les pertes d'eau par l'effet de l'évaporation
- La sensibilisation des riverains de la retenue pour bien protéger et valoriser le site du barrage.

### *Au niveau du périmètre irrigué de Béni Moussa*

- L'encadrement et la sensibilisation des agriculteurs quant aux problèmes de la raréfaction des ressources en eau pour rationaliser l'utilisation de l'eau d'irrigation pour la production agricole,
- L'orientation des agriculteurs à pratiquer les cultures les moins consommatrices de l'eau et qui apportent des revenus très satisfaisants,
- La facilitation de la procédure de reconversion vers le système d'irrigation localisé,
- Le suivi des agriculteurs le long de tout le cycle de production et établir des relations de confiance avec l'office et les arrondissements,
- Protéger les agriculteurs contre les intermédiaires profiteurs pour valoriser leur produit,
- La création d'une chaîne de commercialisation des produits agricoles à travers laquelle tous les agriculteurs peuvent commercialiser leurs produits avec un prix unitaire commun. L'agropôle de *Béni Mellal* qui est en cours de construction peut être la solution adéquate pour bien valoriser la production végétale et les produits terroirs de la région de *Béni Mellal Khénifra*
- Limiter l'expansion des espaces urbains et du bâti (l'éclatement urbain).

## Conclusion générale et perspectives

---

Ces mesures ne peuvent aboutir que si chaque individu et chaque communauté inculque en lui des valeurs de citoyenneté, de responsabilité et du respect de la nature et de leur environnement, et exploite les ressources naturelles d'une façon durable.

Nous avons essayé à travers cette thèse de connaître la situation des ressources en eau et de comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant à l'amont, et d'évaluer, à l'aval, au niveau du périmètre irrigué de *Béni Moussa* la valorisation de ces ressources par l'agriculture irriguée. D'autres axes, qui ne sont pas traités dans cette étude, sont envisagés et seront notre souci dans la recherche, pour avoir plus de précisions sur la situation et la valorisation des ressources en eau du bassin versant de l'oued *El Abid*, ces axes peuvent être présentés comme suit :

- La quantification des apports de la neige, en utilisant des données satellitaires spatiales et en mesurant, d'une façon saisonnière, l'épaisseur de la neige et la durée de fonte,
- La quantification des volumes d'eau prélevés par la population de la montagne et destinés à l'irrigation des parcelles situées au fond des vallées,
- L'étude multi-chronique de la dynamique du couvert végétal à l'échelle du bassin versant avec plus de précision spatiale et temporelle,
- Le suivi des apports de certaines sources d'eau situées dans le bassin versant,
- La simulation des apports des deux principaux cours d'eau du bassin en s'appuyant sur des données pluviométriques issues des modèles climatiques,
- Élargir l'étude de la valorisation de l'eau d'irrigation :
  - En comparant entre le système d'irrigation localisé, le système d'aspersion et le système gravitaire,
  - En étudiant d'autres types de cultures,
  - Avec un suivi mensuel de la production végétale,
  - L'étude de la valorisation moyenne de l'eau d'irrigation pendant plusieurs années pour savoir le niveau de valorisation de l'eau pendant une année sèche et une année humide, afin de comprendre l'impact du climat sur le niveau de valorisation de l'eau,
- Comparer entre le niveau de valorisation de l'eau d'irrigation au niveau des périmètres de *Béni Moussa* et de *Béni Amir*, afin de caractériser les différences qui peuvent exister entre les deux périmètres,
- L'étude de la valorisation du site du lac *Bin El Ouidane* par le biais du tourisme écologique.

## Références bibliographiques

---

- AMGHAR, S., et JELLAL J. (2005) : « La valorisation de l'eau d'irrigation par les productions végétales dans le périmètre irrigué de Doukkala ». *Ingénieries* N° 41. pp. 39 - 49.
- ARRIFI, E-M. (2009) : « L'économie et la valorisation de l'eau en irrigation au Maroc : un défi pour la durabilité de l'agriculture irriguée », Symposium international « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) », Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009, pp. 48-54.
- AUSSENAC, G. (1969) : « Influences du couvert forestier sur les précipitations ». *R. F. F.* XXI - 7-, pp. 631-635
- AZOUGGAGH, M. (2001) : « Matériel d'irrigation : Choix, utilisation et entretien » *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Transfert de technologie en agriculture*, 6 pages.
- BAGNOULS, F. et GAUSSEN, H. (1957) : « Les climats biologiques et leur classification ». *Annales de Géographie*, 355. Pp. 193-220.
- BAHZAD, H. (1982) : « Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerranéens : Liban, Syrie et Maroc ». Livre deuxième. Thèse de doctorat d'état, université d'Aix-Marseille II, Institut de Géographie, 336 pages.
- BEAUDET, G., RUELLAN, A. (1967) : « Le cadre géomorphologique de la pédogenèse au Maroc ». *Cahier de la recherche agronomique*. N°24, pp. 1-26.
- BENTAYEB, A. et LECLERC, C. (1977) : « Le Moyen Atlas : le cause moyen atlasique », *Ressources en eau du Maroc*
- BENTEKHICI, N. (2006) : « Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie) ». Conférence francophone ESRI, 11 et 12 octobre, Issi-les-Moulineaux, consulté le 20 aout 2016. URL : <http://www.esrifrance.fr/sig2006/bentekhici.html>.
- BERGAOUI, M. (2001) : « Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de SILIANA en Tunisie ». *Science et changement planétaire. Sécheresse* 12. Pp. 205-213.
- BIGOT, S., YAO BROU, T., OSZWALD, J., DIEDHIOU, A. (2005) : « Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales ». *Sécheresse*, 16 (1), pp. 5-13
- BILLAUX, P., BRYSSINE, G. (1967) : « Les sols du Maroc. In : Congrès de pédologie méditerranéenne : excursion au Maroc ». Congrès de Pédologie Méditerranéenne, 1966, Madrid *Cahiers de la Recherche Agronomique*, 1 (24), pp. 59-101.
- BISSOUR, R. et EL KALKI, Y. (2018) : « Fluctuations pluviométriques et leurs impacts sur le régime hydrologique du bassin versant de l'oued *El Abid* en amont du barrage de *Bin El Ouidane* (Haut Atlas Central) ». *Acte du colloque : Climat, Eau et Société (CES'2015) : De la gestion des ressources en eau à la gestion des systèmes aquatiques*, pp. 12-26
- BISSOUR, R. et EL KALKI, Y. (2018) : « Apport de la télédétection spatiale à l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued *El Abid* amont barrage *Bin El Ouidane* ». *Revue de la faculté des Lettres et des Sciences Humaine de Béni Mellal*. 17 pages. Sous presse.
- BLACHE, J. et DRESCH, J. (1943) : « Recherches sur l'évolution du relief dans le Massif Central du Grand Atlas, le Haouz et le Sous ». *In: Revue de géographie alpine*, tome 31, n°3, 1943. Pp. 429-434

## Références bibliographiques

---

- BODIAN, A. (2011) : « Approche par modélisation pluie-débit de la connaissance régionale de la ressource en eau : Application au haut bassin du fleuve Sénégal ». Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 288 pages.
- BODIAN, A., DEZETTER, A., et DACOSTA, H. (2012 ) « Apport de la modélisation pluie-débit pour la connaissance de la ressource en eau : application au haut bassin du fleuve Sénégal », Climatologie, pp. 109-125.
- BOUANANI, R., BABA-HAMED, K. et BOUANANI, A. (2013) : « Utilisation d'un modèle global pour la modélisation pluie-débit : cas du bassin d'Oued Sikkak (NW algérien) ». Revue «Nature & Technologie ». C- Sciences de l'Env ironnement, n° 09/Juin 2013, pp. 61-66.
- BOUAZIZ, A., BELABBES, K. (2002 ) : « Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc ». Hommes, Terres & Eaux, 32 (124) : 57-72
- BOULARBAH, S., HAMMANI, A., BOUARFA, S., KUPER, M. (2017) : « Analyse de la première expérience de reconversion collective vers l'irrigation localisée : cas du secteur pilote de *Tadla* », Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. (2017) 5 (1), pp.76-82.
- BRUNET-MORET, Y. (1979) : « Homogénéisation des précipitations ». Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., ml. XVI, nos 3 et 4, 1979, pp. 144-170.
- BRUNET-MORET, Y. (1994) : « Retour sur l'homogénéisation des pluies annuelles par Vecteur Régional ». ORSTOM. 6 pages.
- BRUNET-MORET, Y. (1977) : « Test d'homogénéité ». Cah. ORSTOM, série Hydrologie XIV, n° 2, pp. 119-129.
- CASTANY, G. (1982) : « Principes et méthodes de l'hydrogéologie », Collection DUNOD. Bordas, Paris. 238 pages
- CECCHI, P., GOURDIN, F., KONE, S., CORBIN, D., ETIENNE, J., CASENAVE, A. (2009) : « Les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire : inventaire et potentialités hydrologiques ». Sécheresse 20 (1), pp. 112-22
- CHARRIERE, A., HADDOUMI H., MOJON P.-O., FERRIERE J., CUCHE D., ZILI L. (2009) : « Mise en évidence par ostracodes et charophytes de l'âge paléocène des dépôts discordants sur les rides anticlinales de la région d'Imilchil (Haut Atlas, Maroc) : conséquences paléogéographiques et structurales ». C. R. Palevol. 8, pp. 9-19.
- CHARRIERE, A., IBOUH H. & HADDOUMI H. (2011) : « Le Haut Atlas central de *Béni Mellal* à Imilchil ». Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc, Vol. 4. Notes et mémoires du service géologique, n° 559, Rabat. 167 pages.
- CHERIFI O. (2001) : « Apports du bassin versant et processus throphodynamiques du lac de barrage *Bin El Ouidane* (Maroc) », thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, 293 pages + annexe.
- CHETTO A. (2017) : « Coûts de production et rentabilité des agrumes dans le Gharb ». in Agriculture du Maghreb. N° 108 - Décembre 2017/Janvier 2018. pp. 52-57.
- CNGM (Comité National de Géographie du Maroc). (1962) : « Etages bioclimatiques ». Atlas du Maroc, N° 6b. Edita Casablanca.
- COCHET, A. & COMBE M. (1977) : « Massif ancien du Haut Atlas ». Ressources en eau du Maroc, tome III
- COMBE, M. (1977) : « Haut Atlas calcaire ». Ressources en eau du Maroc, domaines atlasique et sud-atlasique. Tome III. Notes et mémoire du Service. Géologique. Maroc, N°231, , pp. 116-139.
- COMBE, M., DUROZOY G. et EL HEBIL A. (1977) : « Massif Anti-Atlasique ». Ressources en eau du Maroc : Domaines atlasique et sud-atlasique. Tome III, Notes et mémoire du Service Géologique. Maroc, N°231.
- COUVREUR, G. (1974) : « Le rôle de la neige dans l'évolution des formes karstiques de haute montagne du Haut Atlas central (Maroc) » - Mémoires et Documents du CNRS, Nouvelle série, vol. 15, Phénomènes karstiques, tome II, pp. 135 - 138.

## Références bibliographiques

---

- COUVREUR, G. (1988) : « Essai sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central calcaire (Maroc) ». Notes et mémoires du service géologique du Maroc, Rabat. N°318. 391 pages.
- DE FOUCAULD, C. (1998) : « Reconnaissance au Maroc ». Challamel, réimpr. L'Harmattan, coll. Les Introuvables), Paris, 499 p
- DESANGES, J. & RISER J. (2012) : « Atlas », in *Encyclopédie berbère, 7 / Asarakae – Aurès* [En ligne], mis en ligne le 01 décembre 2012, consulté le 26 août 2016. URL : <http://encyclopedieberbere.revues.org/1213>
- DJELLOULI, F., BOUANANI, A., BABA-HAMED K. (2015) : « Caractérisation hydrologique du bassin d'oued Louza à l'aide d'un modèle pluie-débit global ». *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°23, September 2015, pp. 275-286.
- DRIOUECH, F., MAHE, G., DEQUE, M., DIEULIN, C., EL HEIRECH, T., MILANO M., BENABDELFADEL H. et ROUCHE N. (2010) : « Évaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc ». In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources. Proc. of the Sixth World FRIEND Conference*, Fez, Morocco, October 2010, IAHS Publ. 340, pp.561-567.
- DRISSA-SORO, T., B. DJE KOUAKOU, E. AHOUSI KOUASSI, G. Soro, A. MICHEL KOUASSI, K. E. KOUADIO, MARIE-SOLANGE Oga Yéi et Nagnin Soro, (2013) : « Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) », *Vertigo - revue électronique*, Volume 13 Numéro 3. DOI : 10.4000/vertigo.14468
- DUBREUIL, P. (1974) : « Initiation à l'analyse hydrologique », MASSON & C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS-O.R.S.T.O.M, 217 pages.
- EL GHACHI, M. (2007) : « La Seille : Mode de fonctionnement hydrodynamique sous influence anthropique, évolution historique et tendance actuelle ». Tome I. Thèse de doctorat de l'Université Paul Verlaine de Metz. 344 pages.
- EL KHALKI, Y, HAFID, A. (2002) : « Turbidité, indicateur du fonctionnement perturbé du géosystème karstique de *Béni Mellal* (Moyen Atlas méridional, Maroc) ». *Karstologia* 40, pp 39-44
- ELBOUQDAOUI, K., HAIDA S., ABOULABBES O., BENAABIDAT L., ZAHRAOUI M. & OZER A. (2006) : « Evolution du régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc) ». *Geo-Eco-Trop*, 30.2, pp. 41-56.
- ELYOUSSI, M. (1986) : « Sédimentologie et paléogéographie du Permo-Trias du Haut Atlas central (Maroc) ». Thèse de doctorat de l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble. 195 pages.
- ETIENNE, H., GUESSAB D, et ARCHAMBAULT C. (1975) : « La plaine du *Tadla* ». Ressources en eau du Maroc. Tome II. Notes et mémoire du Service. Géologique. Rabat.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) AQUASTAT, (2014) : « Le système mondial d'information sur l'eau de la FAO » Site consulté le (24/05/2018) <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexfra.stm>
- FOUCAULT, A et RAOULT J-F. (2010) : « Dictionnaire de Géologie ». Dunod : 7<sup>ème</sup> édition, Collection : UniverSciences. 416 pages.
- FTOUHI, A, (1994) : « Les revenus des agriculteurs : cas du périmètre irrigué du *Tadla* ». in « Mutations socio-spatiales dans les campagnes marocaines ». Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines-Rabat. Série : colloques et séminaires N°28. Pp. 85-94.
- GANDINI, J. (2006) : « Pistes du Maroc à travers l'histoire : Tome 1, Haut et Moyen Atlas ». Serre Editeur, Collection Guide J. GANDINI, 550 pages
- GIRARD, G., THOUVENOT R. et SONNIER A. (1951) : « Hydraulique et électricité au Maroc ». Réalités Marocaines, revue semestrielle. Editions Fontana. Casablanca. 206 pages

## Références bibliographiques

---

- GUEZAL, J., EL BAGHDADI M., BARAKAT A., et RAIS J. (2011) : « Le magmatisme Jurassique-Crétacé de Béni-Mellal (Haut-Atlas central, Maroc): géochimie et signification géodynamique ». Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°33, pp. 17-23.
- HADIOUI, M., FAYSSSE N. et KEMMOUN H. (2014) : « Participation des agriculteurs à la conception d'un projet de reconversion à l'irrigation localisée dans le périmètre du *Tadla* ». Alternatives Rurales, Revue de communication et débat sur les alternatives agricoles et rurales. Numéro 2, Novembre 2014. Unité Mixte de Recherche DRIDURA <https://alternatives-rurales.org/>. pp.96-109
- HAIDA, S., PROBST J.L., AIT FORA A. et SENOUSSE M. (1999) : « Hydrologie et fluctuation hydroclimatique dans le bassin versant du Sebou entre 1944 et 1994 ». Science et changements planétaires. *Sécheresse*, 10 : 221-226.
- HAKMAOUI, A., ZAKI N., BAYE Y. et OUATMANE A. (2013) : « Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué de *Tadla* ». Bulletin mensuel d'information et de liaison, transfert de technologie en agriculture. MAPM/Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. 6 pages
- HAMMANI, A., EL MASRI A., BOUAZIZ A. et KUPER M. (2009) : « Valorisation de l'eau souterraine par les cultures fourragères dans le périmètre irrigué du *Tadla*, Maroc ». T. HARTANI, A. DOUAOUI, M. KUPER. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, May 2008, Mostaganem, Algeria. Cirad, 10 p.
- HIEZ, G. (1977) : « Homogénéisation des données pluviométriques. Cah. ORSTOM, série hydrologique, vol XIX, n° 2, pp. 129-172.
- HIEZ, G. (1986) : « Bases théoriques du "vecteur régional". Les premières applications et leur mise en œuvre informatique ». "Propos recueillis par B. Pouyaud". Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier : pp. 1-35.
- HOUCINE, A. (2002) : « Caractérisation agro-climatique de la sécheresse et contribution à l'élaboration d'une application SIG pour son suivi spatio-temporel à l'échelle régionale ». Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle en Agronomie, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 85 p.
- IBOUH, H., CHAFIKI, D., BOUABDELLI, M., SOUHEL, A., EL BACHRI, F., EL HARIRI, K. et CANEROT, J. (2000) : « Rôle de la tectonique distensive du Toarcien inférieur dans l'évolution de la chaîne Haut Atlasique Central du Maroc ». Strata, série 1. Vol. 10, pages: 103-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2014.03.005>
- IBOUH, H., MICHARD A., CHARRIERE A., BENKADDOUR A. et RHOUJJATI A. (2014): « Tectonic-karstic origin of the alleged "impact crater" of Lake Isli (Imilchil district, High Atlas, Morocco) ». C. R. Geoscience pag 8. [doi.org/10.1016/j.crte.2014.03.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2014.03.005)
- IBOUH, H., SAIDI, A., BOUABDELLI, M., YUBI, N., BOUMMANE, K., AIT CHAYEB E. H. et BOUGADIR, B. (2002) : « Les roches volcaniques triasico-liasiques du Maroc : exemple de la ride de Tasraft (Haut Atlas central) ; données pétrologiques, géochimiques et implication géodynamiques ». Africa Geoscience Review, Vol. 9, N°1, pages 75-92.
- IRD-(ORSTOM). (1998) : « KhronoStat version 1.0. Logiciel, Orstom, Montpellier.
- JENNY, J. (1984) : « Dynamique de la phase tectonique synsédimentaire du Jurassique moyen dans le Haut Atlas central (Maroc) ». Eclogae geol. Helv. Vol. 77 N°1. Pages 143-152.
- JONES, P.D. et HARRIS, I.C. (2013): « CRU TS3.21: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.21 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2012) ». University of East Anglia Climatic Research Unit. NCAS British Atmospheric Data Centre, 24 September 2013. [doi:10.5285/D0E1585D-3417-485F-87AE-4FCECF10A992](https://doi.org/10.5285/D0E1585D-3417-485F-87AE-4FCECF10A992).



## Références bibliographiques

---

- KARROUK, M.S. (2009) : « Changement climatique, prédiction et retour des précipitations au Maroc : de l'observation et le suivi spatiaux à la modélisation ». Revue de géographie du Maroc N°1, Vol. 25. Pages 7- 34.
- KOBRY, A., ELIAMANI, A. (2004) : « L'irrigation localisée dans les périmètres de grande hydraulique, atouts et contraintes dans le périmètre du *Tadla* au Maroc ». Projet INCO-WADEMED, Actes du Séminaire : Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat, du 19 au 23 avril 2004. 11 pages
- KOUASSI, M. (2007) : « Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire ». Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 210 pages.
- LABORDE, J.P. (2009) : « Éléments d'hydrologie de surface ». École Polytechnique de l'Université de Nice - Sophia Antipolis, 202 pages.
- LAHLOU, A. (1994) : « Envasement des barrages au Maroc ». Collection Sciences et Techniques, éd. Wallada, Maroc, 286 pages.
- LAVILLE, E. (1978) : « Indice des jeux successifs d'un accident synsédimentaire sur les structures plicatives du versant Nord du Haut Atlas central, (Maroc) ». Bull. Soc. Géol. France, (7), 20. pp 329-337.
- LECARPENTIER, C. (1975) : « L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques ». in : Annales de Géographie. 1975, t. 84, n°464. pp. 385-414. DOI : 10.3406/geo.1975.18972
- LEVEQUE, P. (1952) : « Géologie appliquée aux grands travaux du Maroc (Zone française) Fascicule I : Les aménagements de l'oued *El Abid* ». Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N° 98, Edition Félix Moncho, Rabat. 168 pages.
- LOUAMRI, A. (2013) : « Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie Orientale): hydrologie et aménagement des eaux ». Thèse de doctorat, Université de Constantine 1, 315 pages.
- LUBES, H., MASSON, J.M., SERVAT, E., PATUREL, J.E., KOUAME, B. et BOYER, J.F. (1994) : « Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etudes bibliographiques ». Programme ICCARE, Rapport n°3, ORSTOM, Montpellier.
- MISSEARD, Y. (2006) : « Le relief des Atlas Marocains : Contribution des processus Asthénosphériques et du raccourcissement crustal, aspects chronologique ». Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise.
- MOGHLI, E. et BENJELLOUN TOUMI, M. (2000) : « Valorisation de l'eau d'irrigation par les productions végétales dans les grands périmètres irrigués au Maroc ». Revue Hommes, Terres & Eaux, N116, 30-38 pp.
- MONBARON, M. (1982) : « Un relief anti-bathonien enfoui sur la ride du Jbel La'bbadine (Haut Atlas central, Maroc) : conséquences pour la chronologie de l'orogénèse atlasique ». Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 48, Nr. 114. pp. 9 – 25.
- MONBARON, M., PERRITAZ, L. (1993) : « Le plateau des Aït Abdi (Haut Atlas central, Maroc), un modèle de karst perché d'altitude en zone semi-aride ». Third International Geomorphological Conference, Hamilton, Canada, non publié.
- MONBARON, M., PERRITAZ, L. (1994) : « Ressources en eau d'un karst marocain », Universitas Friburgensis, n° 2, Fribourg, pages :19-22.
- MONBARON, M. et MONBARON, J. (2015) : « La route des dinosaures : Itinéraires à travers le Geoparc M'Goun, Haut Atlas, Maroc », Géoparc M'Goun, Conseil Régional de *Tadla* Azilal, 142 pages.
- MORTIER, F. (1961) : « Les eaux des calcaires du Lias au Maroc ». Colloque d'Athènes, 10-19 Septembre, Vol. 56 and 57, Gentbrugge, pages 132-142

## Références bibliographiques

---

- MOUELHI, S. (2003) : « Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier ». Thèse de Doctorat, ENGREF, CEMAGREF Antony, France, 323 pp.
- MOUELHI, S., MICHEL, C., PERRIN, C. et ANDRÉASSIAN, V. (2006a) : « Linking stream flow to rainfall at the annual time step: The Manabe bucket model revisited ». *Journal of Hydrology*. Volume 328, Issues 1–2, pp. 283-296.
- MOUELHI, S., MICHEL, C., PERRIN, C. et ANDRÉASSIAN, V. (2006b) : « Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model ». *Journal of Hydrology*. Volume 318, Issues 1–4, 1 March 2006, Pages 200-214
- MOUELHI, S., NEMRI, S., JEBARI, S. et SLIMANI, M. (2017) : « Couplage entre un modèle Pluie-débit GR2M et un générateur de pluie pour évaluer le transfert entre deux barrages de Semi-aride tunisien Sidi Saad et El Houareb », *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 19 No. 4 Mar. 2017, pp. 944-959
- MUSY, A. et HIGY, C. (2004) : « Hydrologie : Science de la nature ». Collection gérer l'environnement. Presse polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne (Suisse). 314 pages
- OLOUKOI, J., MAMA, V. J. et BERNADIN, A. F. (2006) : « Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin ». *Téledétection*, 2006, vol. 6, n° 4. Pages :305-323
- ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer). (1972) : « Etude hydrologique de l'Oum Er Rbia ». Ministère des Travaux Publics et des Communications, Direction de l'Hydraulique, Maroc. 501 pages.
- OTMANE, A., BABA-HAMED, K., BOUANANI, A. et SAFA, A. (2017) : « Prédétermination des valeurs de crues extrêmes et contribution de la plaine de Sidi Bel-Abbès dans le bilan hydrologique du bassin versant de l'oued Mekerra » TSM 7-8 : pp.27–48
- PATUREL, J.E., SERVAT, E., KOUAME, B., BOYER, J. F., LUBES NIEL, H. et MASSON, J. M. (1996) : « Procédures d'identification des ruptures dans des séries chronologiques - modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne ». *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement : (Actes de la conférence de Paris, mai 1995)*. IAHS Pub. N° 238. 1996. Pp. 99-110.
- PERRITAZ, L. (1995) : « Contribution à l'étude géomorphologique et hydrogéologique d'un karst perché en domaine méditerranéen : le plateau des Aït Abdi (Haut-Atlas central Maroc) ». PhD thesis, University of Fribourg, Switzerland. 178 pages.
- PERRITAZ, L. (1996) : « Approche géomorphologique du plateau karstique des Aït Abdi (Haut Atlas central, Maroc) », *Karstologia* no 28, AFK, SFS, Bordeaux.
- PERRITAZ, L. (1996) : Le " karst en vagues" des Ait Abdi (Haut-Atlas central, Maroc) ». *KARSTOLOGIA* N° 28 - 2/ 1-12
- PERRITAZ, L. et MONBARON, M. (1998): « Geomorphological approach to the *Ait Abdi* Karst Plateau (Central High Atlas, Morocco) ». *Zeitschrift für Geomorphologie*. Supplementband, N° 109, pp. 83-104.
- PIQUE, A. (1994) : « Géologie du Maroc : les domaines régionaux et leur évolution structurale ». Imprimerie El Maarif Al Jadida. 284 pages.
- PREFOL, P. (1986) : « Prodige de l'irrigation au Maroc : Le développement exemplaire du *Tadla* 1936-1985 ». Paris, Nouvelles éditions latines. 266 pages,
- PROBST, J.L. (1989): « Hydroclimatic fluctuation of some European rivers since 1800: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe ». G. Petts Ed, John Willey and sons, Ch 3, 41-55.
- QADEM, A. (2015) : « Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du Haut Sebou (Maroc). », Thèse de Doctorat de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdelah et l'Université de Lorraine. 358 pages.

## Références bibliographiques

---

- RENARD, F, COMBY J. (2006) : « Evaluation de techniques d'interpolation spatiale de la pluie en milieu urbain pour une meilleure gestion d'événements extrêmes : le cas du Grand Lyon ». La Houille blanche n°6, 2006, 6 pages.
- RIAD, S. (2003) : « Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc ». Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille & Université Ibnou Zohr d'Agadir, 154 pages.
- ROCHE, M. (1963) : « Hydrologie de surface, Gauthier - Villars Editeur - ORSTOM, Paris. 431 pages.
- ROLLEY, J. (1973) : « Etude géologique de l'Atlas d'Afourer - Haut-Atlas central – Maroc ». Thèse de doctorat, Université de Grenoble I. 192 pages.
- ROUSSET, P. (1996) : « La régulation des réseaux d'irrigation » La Houille Blanche, 8. 42-45  
DOI : <https://doi.org/10.1051/lhb/1996086>
- ROUSSET, P. (2003) : « La régulation des réseaux d'irrigation gravitaire » Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençale.
- SARANN, Ly, CATHERINE CHARLES, AURORE DEGRÉ. (2013): « Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale ». A review, Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol 17(2), 392-406.
- SARIH, S. (2008) : « Géodynamique et transferts sédimentaires gravitaires des bassins liasiques du Haut Atlas central (Maroc) », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 308 pages.
- SGHIR, S. (2002) : « Aménagement hydro-agricole des Doukkala : impacts sur l'organisation socio-économique et spatiale ». Thèse de doctorat, Université de Metz, 276 pages + Annexes.
- SIRTOU, M. (1995) : « Etude hydro-climatologique des bassins du N'Fis, du Rheraya, de l'Ourika et du Zat (Maroc) ». Thèse de doctorat de l'Université de Metz, 243 pages + Annexes.
- SMETS, H. (2003) : « La sensibilisation aux valeurs liées à l'eau et à la bonne gouvernance : réglementation sociale d'un bien économique dans un esprit de solidarité », in Vertigo, La revue en sciences de l'environnement sur le web, Vol. 4, n° 3, décembre. DOI : 10.4000/vertigo.1966
- SORO, G., AHOUSSE, E., KKOUDIO, E. K., SORO, T. D., OULARE, S., SALEY, M. B., SORO N. et BIEMI, J. (2014) : « Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) », Afrique SCIENCE, 10 (3). Pages :146 - 160
- SOUHEL, A., EL BCHARI F., EL HARIRI K., LAGE B., CANEROT J., CHAFIKI D., M. ETTACHFINI E. & LOWENER R. (2011) : « Haut Atlas central, partie Nord-Ouest ». Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc, Vol. 7. Notes et mémoires du service géologique, n° 562, Rabat. 111 pages.
- SOUTTER, M., MERMOUD, A., MUSY, A. (2007) : « Ingénierie des eaux et du sol : processus et aménagements » Presses polytechniques et universitaires romandes : Lausanne. 294 pages.
- TAÏBI, A. N., EL KHALKI Y., EL HANNANI M. (2015) : « Atlas régional, région du *Tadla Azilal*, Maroc ». Université d'Angers. 90 pages. [www.flshbm.ma](http://www.flshbm.ma)
- THIERRY RUF. (1992) : « Aménagements hydroagricoles anciens ». In : Systèmes irrigués. Montpellier : CIRAD, Systèmes Irrigués : Rencontres, Montpellier (FRA), 1992/09/02, pp. 7-13.
- VAUCHEL Ph. (2000-2004) : « Hydraccess : Base de données hydrométriques sous Access 2000 ». Dakar, IRD : 21pages.
- YACOUBI-SOUSSANE, M., MOUMEN, M., BEKRAOUI, A., KHIATI, D., NAJIH, A. (1999) : « Economie de l'eau d'irrigation ». Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N°58, Transfert de technologie en agriculture, 4 pages.

## Références bibliographiques

---

- ZIMMER, D. (2013) : « L'Empreinte eau : Les faces cachées d'une ressource vitale », Ed. Charles Léopold Mayer. 211 pages
- ZIMMERMANN, M. (1904) : « Le comité du Maroc. Mission du comité sous la direction du marquis de Segonzac ». In: Annales de Géographie, t. 13, n°70, 1904. pp. 372-373.  
[www.persee.fr/doc/geo\\_0003-4010\\_1904\\_num\\_13\\_70\\_6565](http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1904_num_13_70_6565)

### Cartes géologiques

#### Echelle 1/100.000

- (1990) : « Carte géologique de Tounfite, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°357.
- FADILE, A., (2003) : « Carte géologique d'Imilchil, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°397.
- HADRI, M., (1997) : « Carte géologique de Tinejdad, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°385.
- JENNY, J., (1997) : « Carte géologique d'Azilal, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°339.
- JOSSEN, J-A., (1990) : « Carte géologique de *Zawyat Ahançal*, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°355.
- MILHI, A., (1997) : « Carte géologique de Tinghir, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°377.
- MONBARON, M. (1985) : « Carte géologique de *Béni Mellal* ». Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°341
- ROLLEY, J-P, CHOUBERT G. et Faure-Muret A., (1977) : « Carte géologique de *Afourer*, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°247.

#### Echelle 1/200.000

- BOURCART, J. et ROCH E., (1942) : « Carte géologique provisoire des régions de d'Ouaouizarht et de Dadès, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°54.
- DUBAR, G., (1939) : « Carte géologique provisoire du Haut atlas de Midelt, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n°339.

#### Echelle 1/500.000

- CHOUBERT, G., MARÇAIS J. et al. (1954) : « Carte géologique de Rabat, Division des Mines et de la Géol., Rabat.

### Webographie

<http://ormva-Tadla.ma>  
<http://www.canaux-et-territoire.info>  
<http://www.fao.org>  
<http://www.globalclimatemonitor.org/>  
<http://www.larousse.fr>  
<http://www.water.gov.ma/>  
<https://agronomie.info/fr/>  
<https://earthexplorer.usgs.gov/>  
<https://hydrologie.org>  
<https://www.hcp.ma/>  
[www.agrimaroc.net](http://www.agrimaroc.net)  
[www.dafina.net](http://www.dafina.net)

Références en arabe

- الأسعد، محمد. (2012) : "اتخاذ القرار لدى الفلاحين في الأنظمة الرع-زراعية بالبيئات شبه الجافة بالمغرب". مؤسسة دكالة-عبدة للثقافة والتنمية. دار النشر المغربية. 329 صفحة.
- التهامي، التهامي. (2004) : "التساقيات وزراعة الحبوب بمنطقة اللكوس (مساهمة في علم المناخ الزراعي)"، أطروحة لنيل شهادة الكتوراه في الجغرافيا. جامعة محمد الخامس أكدا- الرباط. 356 صفحة + الملحق.
- جلول، احسايني. (2002) : "الحوض الأعلى لواد ويرين مشاكل الإعداد وسبل التنمية المستديمة به"، الملتقى الوطني العاشر للجمهورفولوجيين المغاربة : الماء والتنمية المستدامة بحوض نهر أم الربيع. بني ملال 12-13 مارس 2002. ص. 57-82.
- حساني، بشرى. (2015) : "تحولات الفلاحة تحت تأثير التمدين بالشاوية السفلى حالة إقليم برشيد". أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه، جامعة الحسن الثاني، عين الشق-الدار البيضاء. 194 صفحة.
- الخالقي، يحيى. (2000) : " الأنظمة الهيدرولوجية الكارستية للهضاب الجنوبية الغربية للأطلس المتوسط: دراسة هيدرولوجية وهيدروكيمياوية، عين اللوح، الحمام، أجدير، عيون أم الربيع". دكتوراه الدولة في الجغرافيا: ، كلية الآداب والعلوم الإنسانية. بني ملال. 221 صفحة.
- الذكاري، عبد الرحمان. (1998): "سياسة الإعداد الهيدرو فلاحى بدكالة وأهم انعكاساتها الجغرافية. الدائرتان السقويتان الزمامرة والغربية نموذجا" بحث لنيل دبلوم الدراسات العليا. جامعة محمد الخامس، الرباط. 409 صفحة.
- الراضي، محمد. (2007) : "استعمال الموارد المائية في المجال الفلاحي بسهل تادالا: أية آفاق لتدبير مستدام؟"، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه، جامعة الحسن الثاني-المحمدية. 180 صفحة.
- كرزاي، موسى. (1988) : "النظام والبنية العقاريان للأراضي بالبوادي المغربية ودورهما في عرقلة التنمية بالارياف وانعكاساتها على المدن". تطور العلاقات بين البوادي والمدن في المغرب العربي. منشورات كلية الآداب والعلوم الإنسانية بالرباط. سلسلة: ندوات ومناظرات رقم 10. ص. 87-100.
- منير، سعيد. (2005): " تنمية المناطق الجبلية بين المعطيات الطبيعية والتهيئة البشرية (حالة أطلس تكزيرت وامتداده نحو سهل تادلة)". رسالة لنيل شهادة الدكتوراه. جامعة محمد الخامس أكدا-الرباط. 291 صفحة.

# Annexes

<b>Annexe I .....</b>	<b>301</b>
<b>Annexe II .....</b>	<b>302</b>
<b>Annexe III.....</b>	<b>303</b>
<b>Annexe IV.....</b>	<b>311</b>
<b>Annexe V.....</b>	<b>315</b>
<b>Annexe VI.....</b>	<b>316</b>
<b>Annexe VII.....</b>	<b>317</b>

Annexe I

Les valeurs pluviométriques comblées par la méthode du vecteur régional

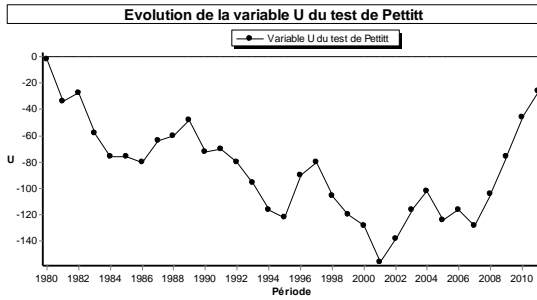
Année	<i>Tilouguite</i>	Z. Ahançal	B. Mellal	Tagzirt	Dechra El Oued	Chacha n'Amellah	Sgat
1980	414,1	366,8	439,2	542,5	523,2	574,9	420,60
1981	226,7	181,4	170,0	220,2	222,8	230,9	177,90
1982	379,0	389,1	526,1	642,2	646,3	521,9	434,10
1983	228,6	208,1	359,7	346,5	329,3	301,6	328,50
1984	279,6	227,8	329,1	380,8	369,7	297,0	489,10
1985	404,0	360,2	447,3	489,7	473,1	455,1	527,40
1986	303,9	255,5	489,9	582,1	527,6	470,0	431,10
1987	444,6	488,2	410,2	539,8	576,4	557,4	580,40
1988	407,3	358,12	418,2	534,3	392,3	476,6	614,60
1989	524,5	578,8	537,7	711,2	624,5	503,9	737,80
1990	243,7	368,5	351,1	406,6	426,4	410,4	358,30
1991	419,2	324,9	461,4	542,6	481,6	420,7	710,40
1992	291,3	309,7	379,4	431,4	408,1	336,0	587,50
1993	346,9	330,2	407,9	412,1	413,6	382,5	519,60
1994	276,5	214,5	248,7	290,0	295,3	352,6	531,80
1995	353,6	380,7	353,4	440,4	411,7	330,6	475,30
1996	697,6	660,2	747,0	902,2	970,3	906,2	1095,00
1997	548,0	427,8	666,2	565,7	470,5	617,0	885,90
1998	193,6	209,6	211,3	296,8	329,0	255,0	340,70
1999	271,4	292,1	363,0	476,2	329,0	399,6	526,90
2000	291,2	322,4	437,4	498,7	212,0	448,8	435,90
2001	199,2	222,2	207,9	258,7	154,4	331,1	268,10
2002	411,3	494,5	542,1	685,1	737,3	626,1	660,50
2003	412,3	327,4	528,6	647,6	761,8	742,6	693,80
2004	431,2	397,8	411,8	486,1	541,4	496,9	637,30
2005	219,9	221,1	273,9	285,1	277,4	225,2	361,30
2006	428,2	423	434,6	495,8	515,0	478,8	672,80
2007	319,7	333,4	363,7	408,3	468,5	339,0	427,70
2008	462,2	456,7	551,9	600,4	678,4	522,6	656,20
2009	486,4	444,4	483,4	659,7	881,8	662,7	623,70
2010	616,8	574,7	634,0	728,0	1116,9	984,5	895,40
2011	519,2	465,5	570,4	564,5	783,0	543,9	709,30
2012	475,7	383,6	575,0	551,2	774,7	600,9	641,00

\*Les cases en gris correspondent aux valeurs reconstituées

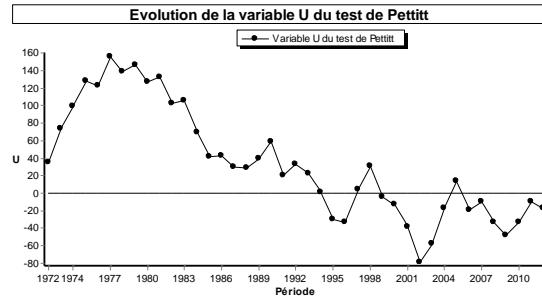


Annexe II

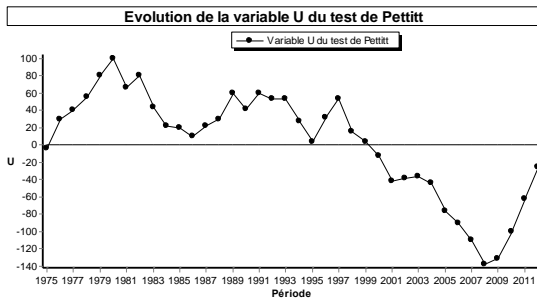
Résultats obtenus par test de petit pour les données pluviométriques annuelles des stations de la montagne.



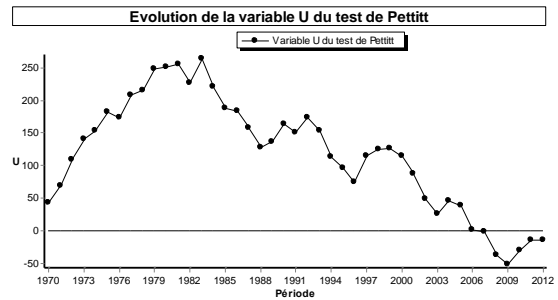
Test de petit appliqué à la station d'Ait Ouchène



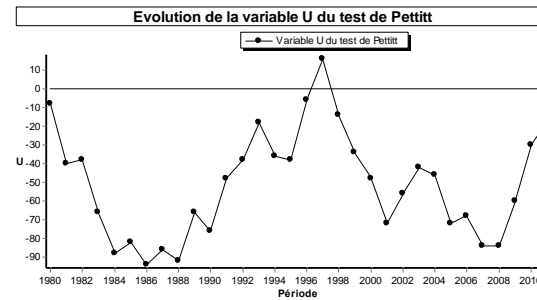
Test de petit appliqué à la station d'Ait Segmine



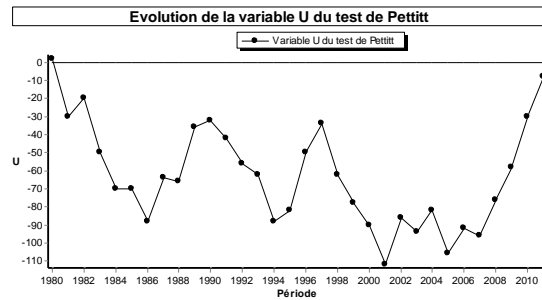
Test de petit appliqué à la station de Bin El Ouidane



Test de petit appliqué à la station de Ouairinthe



Test de petit appliqué à la station de Tizi n'Isly



Test de petit appliqué à la station de Zawyat Ahançal

**Annexe III**

Pluviométrie moyenne spatialisé pour le SBV de l'oued *El Abid à Ait Ouchène* par la méthode IDW

Année	Moyenne (IDW)	Année	Moyenne (IDW)
1980	418,8	1996	858,4
1981	195,6	1997	524,8
1982	462,9	1998	228,6
1983	244,7	1999	334,2
1984	279,8	2000	322,3
1985	431,9	2001	232,1
1986	383,7	2002	505,1
1987	484,7	2003	507,5
1988	428,9	2004	441,1
1989	575,9	2005	246,3
1990	365,5	2006	459,5
1991	540,3	2007	333,3
1992	414,8	2008	508,9
1993	435,2	2009	554,7
1994	292,8	2010	674,7
1995	419,7		

Pluviométrie moyenne spatialisé pour tout le bassin versant oued *El Abid* par la méthode IDW

Date	Moyenne (IDW)	Date	Moyenne (IDW)
1980	409,2	1996	744,3
1981	198,7	1997	511,6
1982	426,4	1998	224,2
1983	246,8	1999	322,8
1984	272,7	2000	318,7
1985	405,5	2001	217,8
1986	353,1	2002	467,4
1987	464,7	2003	456,9
1988	411,5	2004	423,7
1989	550,5	2005	243,3
1990	337,1	2006	431,9
1991	468,1	2007	328,9
1992	371,4	2008	472,3
1993	384,7	2009	504,4
1994	278,5	2010	629,3
1995	379,0		

Pluviométrie moyenne spatialisé pour le SBV de l'Assif *Ahançal à Tilouguite* par la méthode IDW

Date	Moyenne (IDW)	Date	Moyenne (IDW)
1980	375	1996	682
1981	184,8	1997	467,6
1982	387	1998	210,7
1983	220,6	1999	305,2
1984	247	2000	291,6
1985	382,4	2001	200,5
1986	288,6	2002	431,6
1987	450,9	2003	390,6
1988	383,9	2004	401,5
1989	537	2005	232,2
1990	314,6	2006	429,1
1991	418,8	2007	311,2
1992	338,5	2008	452,8
1993	355,5	2009	447,2
1994	258	2010	568,3
1995	371,4		

## Annexes

Pluviométrie moyenne spatialisé pour le SBV de l'oued El Abid à Ait Ouchène par la méthode moyenne arithmétique

Date	Moy.Arith.	Date	Moy.Arith.
1980	431,1	1996	745,2
1981	193,8	1997	507
1982	461,7	1998	228,8
1983	260,8	1999	343,7
1984	277,5	2000	324,6
1985	409,4	2001	217,9
1986	377,2	2002	496,7
1987	476,1	2003	495,2
1988	414,7	2004	424,6
1989	556,4	2005	245,7
1990	351,4	2006	442,5
1991	464,2	2007	338,2
1992	370	2008	502
1993	377,6	2009	522,8
1994	275,4	2010	672,1
1995	383,6		

Pluviométrie moyenne spatialisé pour tout le bassin versant oued *El Abid* par la méthode moyenne arithmétique

Date	Moy.Arith.	Date	Moy.Arith.
1980	407,9	1996	699
1981	208,1	1997	530,4
1982	415,8	1998	248,5
1983	286,5	1999	338,1
1984	275,2	2000	323,7
1985	388,6	2001	219,3
1986	370,8	2002	458,7
1987	453,5	2003	477,5
1988	406	2004	424,2
1989	534,4	2005	256,7
1990	354,5	2006	421
1991	452,8	2007	337,4
1992	378,9	2008	475,9
1993	365	2009	497,6
1994	285	2010	641,1
1995	367,1		

Pluviométrie moyenne spatialisé pour le SBV de l'Assif Ahançal à Tilouguite par la méthode moyenne arithmétique

Date	Moy.Arith.	Date	Moy.Arith.
1980	385,4	1996	720,8
1981	183,2	1997	518
1982	397	1998	220,6
1983	232,5	1999	342,5
1984	270,7	2000	301,3
1985	395,6	2001	214,1
1986	313,8	2002	441,7
1987	466,7	2003	432,6
1988	419,4	2004	421,5
1989	560,1	2005	250,3
1990	328,7	2006	452,1
1991	488,7	2007	321,1
1992	387,8	2008	478,1
1993	382,2	2009	460,9
1994	296,8	2010	603,2
1995	394,8		

## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisé pour le SBV de l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* par la méthode IDW

Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW
01/80	61,4	03/84	68,6	05/88	20	07/92	5,9	09/96	19	11/00	22,5	01/05	3,7	03/09	72,9
02/80	43,1	04/84	38,8	06/88	6	08/92	31,3	10/96	11,6	12/00	87,2	02/05	59,4	04/09	1,1
03/80	92	05/84	61	07/88	0,8	09/92	1,9	11/96	10,9	01/01	63	03/05	29,5	05/09	14,3
04/80	37,5	06/84	4,9	08/88	9,6	10/92	17,3	12/96	164,6	02/01	3,5	04/05	0,3	06/09	42,6
05/80	17,5	07/84	6,4	09/88	26,1	11/92	27,2	01/97	106,8	03/01	19,5	05/05	1,8	07/09	6,4
06/80	31,4	08/84	0,5	10/88	39,5	12/92	20,3	02/97	10,7	04/01	8,4	06/05	14,7	08/09	4,2
07/80	8	09/84	9,5	11/88	84,5	01/93	32,7	03/97	24,2	05/01	13,6	07/05	1,2	09/09	102,8
08/80	17,6	10/84	1,3	12/88	5,4	02/93	27,2	04/97	130,9	06/01	3,7	08/05	13,2	10/09	14,1
09/80	41,1	11/84	64,4	01/89	19,4	03/93	89	05/97	19,5	07/01	0,3	09/05	8	11/09	12,4
10/80	22,9	12/84	3,3	02/89	57,5	04/93	38,5	06/97	1,9	08/01	14,6	10/05	40,4	12/09	94,9
11/80	85,9	01/85	152,6	03/89	60,9	05/93	24,2	07/97	0,1	09/01	10,7	11/05	42,3	01/10	135,2
12/80	5,5	02/85	15,9	04/89	118,8	06/93	0,4	08/97	18,2	10/01	12,7	12/05	31,6	02/10	141,9
01/81	27,3	03/85	20,2	05/89	7,4	07/93	1,8	09/97	52,1	11/01	16,4	01/06	118,4	03/10	73,4
02/81	36,2	04/85	30,5	06/89	14,6	08/93	3,7	10/97	14,2	12/01	65,8	02/06	73,1	04/10	34,7
03/81	46,2	05/85	24,7	07/89	12,9	09/93	2,4	11/97	56,8	01/02	2	03/06	29,5	05/10	12,3
04/81	26,9	06/85	0,6	08/89	47,3	10/93	11,2	12/97	89,3	02/02	24,3	04/06	29,4	06/10	4,1
05/81	7,8	07/85	26,9	09/89	21,6	11/93	164	01/98	26,3	03/02	97,1	05/06	31,6	07/10	21,2
06/81	11,2	08/85	4,4	10/89	44,1	12/93	40,1	02/98	52,7	04/02	106,3	06/06	27,9	08/10	53,4
07/81	11,1	09/85	6,2	11/89	76,7	01/94	56,8	03/98	18,2	05/02	43,8	07/06	15,7	09/10	17,2
08/81	26,9	10/85	9,3	12/89	59,2	02/94	133,3	04/98	3,9	06/02	0,1	08/06	4,9	10/10	66,4
09/81	20,7	11/85	56,3	01/90	72,2	03/94	23,8	05/98	16	07/02	2,9	09/06	16,3	11/10	63
10/81	22,7	12/85	41,8	02/90	0,1	04/94	1,7	06/98	13,4	08/02	10	10/06	48,2	12/10	51,9
11/81	0,4	01/86	45,8	03/90	26,5	05/94	6	07/98	2,3	09/02	12,8	11/06	39,3		
12/81	36,9	02/86	63,5	04/90	74,5	06/94	2,5	08/98	7,5	10/02	25,5	12/06	25,3		
01/82	72,9	03/86	30,4	05/90	31,4	07/94	9,3	09/98	20,7	11/02	155,1	01/07	13,7		
02/82	65,2	04/86	46,5	06/90	11	08/94	10	10/98	6,6	12/02	25,1	02/07	33,6		
03/82	39,5	05/86	14,3	07/90	17	09/94	11,9	11/98	0	01/03	40,5	03/07	14,2		
04/82	86,6	06/86	37,7	08/90	17,8	10/94	16,9	12/98	61,1	02/03	35,2	04/07	90,6		
05/82	75	07/86	10,2	09/90	51,9	11/94	19,7	01/99	80,4	03/03	43,8	05/07	7,2		
06/82	10,9	08/86	5,6	10/90	12,3	12/94	0,8	02/99	31,7	04/03	27,4	06/07	0		
07/82	12,3	09/86	4,1	11/90	26,4	01/95	0	03/99	30,3	05/03	24,3	07/07	8,8		
08/82	10,3	10/86	33,6	12/90	71	02/95	43,7	04/99	1,8	06/03	13,4	08/07	7,5		
09/82	14,6	11/86	34,1	01/91	3,1	03/95	56,5	05/99	11,1	07/03	6,1	09/07	7,7		
10/82	35,5	12/86	8,3	02/91	101,7	04/95	102,1	06/99	0,9	08/03	24,9	10/07	60,2		
11/82	23,5	01/87	80,2	03/91	151,6	05/95	6,3	07/99	4,6	09/03	7	11/07	62,2		
12/82	48,1	02/87	83,7	04/91	40,4	06/95	9,3	08/99	26,4	10/03	61,3	12/07	27,7		
01/83	7,9	03/87	16,7	05/91	33,7	07/95	1	09/99	13,1	11/03	114,3	01/08	58		
02/83	59	04/87	2,7	06/91	33	08/95	13,8	10/99	44,8	12/03	109,3	02/08	47,6		
03/83	32,7	05/87	4,4	07/91	10,5	09/95	27,8	11/99	57,9	01/04	1,4	03/08	10,7		
04/83	12,1	06/87	22,1	08/91	42,9	10/95	42,9	12/99	31,2	02/04	58	04/08	9,9		
05/83	24,6	07/87	0,7	09/91	40,7	11/95	35,2	01/00	16,9	03/04	36,8	05/08	37		
06/83	6,5	08/87	1,3	10/91	35,4	12/95	80,9	02/00	0,5	04/04	34,4	06/08	4,6		
07/83	9,1	09/87	31,4	11/91	13,1	01/96	240,4	03/00	2	05/04	119,8	07/08	5,8		
08/83	1,9	10/87	33	12/91	21,1	02/96	77,7	04/00	75,8	06/04	13,7	08/08	8,3		
09/83	11,1	11/87	86,3	01/92	0,1	03/96	131,5	05/00	34,8	07/04	5,9	09/08	57		
10/83	37,8	12/87	58,6	02/92	36,4	04/96	58,9	06/00	2,8	08/04	11,2	10/08	84,2		
11/83	62,5	01/88	96,7	03/92	73,4	05/96	51,7	07/00	0,3	09/04	8,8	11/08	85,5		
12/83	22,1	02/88	74,4	04/92	89,9	06/96	88,5	08/00	9,4	10/04	48,7	12/08	100,4		
01/84	8,1	03/88	31	05/92	66,5	07/96	3,5	09/00	4,6	11/04	56,3	01/09	86,7		
02/84	6,8	04/88	6,3	06/92	44,7	08/96	0	10/00	65,3	12/04	46,1	02/09	102,2		

## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisée pour le SBV de l'Assif *Ahançal* à *Tilouguite* par la méthode IDW

Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW
01/80	55,8	03/84	60	05/88	20,9	07/92	13,2	09/96	18,7	11/00	16,6	01/05	6,1	03/09	58,1
02/80	38,5	04/84	30,3	06/88	3,8	08/92	35,6	10/96	13,7	12/00	76,5	02/05	49,9	04/09	0,7
03/80	84,2	05/84	57,3	07/88	1,1	09/92	3,8	11/96	10,9	01/01	50,9	03/05	21,4	05/09	10,3
04/80	28,6	06/84	6,7	08/88	7,9	10/92	9,9	12/96	115,1	02/01	2,4	04/05	0,8	06/09	55,4
05/80	11,1	07/84	3,9	09/88	33,7	11/92	22,8	01/97	82,8	03/01	16,8	05/05	1,4	07/09	10,7
06/80	27,4	08/84	1,3	10/88	30,4	12/92	13,3	02/97	11,2	04/01	6,4	06/05	17,3	08/09	1,9
07/80	6,8	09/84	9,8	11/88	79,5	01/93	25,1	03/97	30,1	05/01	10,6	07/05	0,6	09/09	81,9
08/80	16,2	10/84	0,7	12/88	4,6	02/93	29,2	04/97	111,5	06/01	6,5	08/05	18,5	10/09	18,8
09/80	47,2	11/84	51	01/89	11,6	03/93	68,6	05/97	16,5	07/01	0,9	09/05	10,8	11/09	6,5
10/80	21,1	12/84	4,5	02/89	64,9	04/93	22	06/97	0,8	08/01	15,2	10/05	43,8	12/09	56,8
11/80	58,7	01/85	125,7	03/89	52,5	05/93	19,1	07/97	0,1	09/01	15	11/05	33,4	01/10	110
12/80	4,9	02/85	16,4	04/89	84,8	06/93	0,4	08/97	27,2	10/01	10,1	12/05	28,3	02/10	100,4
01/81	29,3	03/85	14,6	05/89	7,5	07/93	3,4	09/97	69,3	11/01	19	01/06	91,3	03/10	73,7
02/81	39,4	04/85	36,3	06/89	31,9	08/93	6	10/97	15,7	12/01	46,8	02/06	52,7	04/10	21,2
03/81	42,4	05/85	27,5	07/89	14,6	09/93	8,1	11/97	34,1	01/02	3,9	03/06	18,3	05/10	10,6
04/81	20,2	06/85	0,8	08/89	60,3	10/93	12,1	12/97	68,4	02/02	20,9	04/06	16,3	06/10	7,2
05/81	7	07/85	25,6	09/89	18,6	11/93	128	01/98	19,7	03/02	76,9	05/06	23,8	07/10	37,7
06/81	13,5	08/85	9,6	10/89	48,6	12/93	33,4	02/98	45,5	04/02	114,7	06/06	21	08/10	60,1
07/81	11,1	09/85	14,3	11/89	59,8	01/94	49,5	03/98	22,5	05/02	47,1	07/06	11,2	09/10	22,1
08/81	27,4	10/85	17,2	12/89	52,2	02/94	115	04/98	2,9	06/02	0,1	08/06	3,3	10/10	51,9
09/81	16,6	11/85	43,3	01/90	55,4	03/94	24,9	05/98	15	07/02	1,5	09/06	22,1	11/10	38,2
10/81	13,5	12/85	40,6	02/90	0,5	04/94	7,4	06/98	18,3	08/02	15,4	10/06	90,3	12/10	35,1
11/81	1,8	01/86	30,8	03/90	48,6	05/94	9,5	07/98	1,4	09/02	16	11/06	50,9		
12/81	25,5	02/86	35,7	04/90	49,3	06/94	2,1	08/98	11	10/02	12,6	12/06	27,8		
01/82	59	03/86	22,6	05/90	30,1	07/94	5,3	09/98	23,9	11/02	105,5	01/07	17,3		
02/82	42,6	04/86	28,2	06/90	11	08/94	9,6	10/98	3,3	12/02	17,1	02/07	24		
03/82	27,2	05/86	15,6	07/90	23,3	09/94	11,8	11/98	0	01/03	26	03/07	17,1		
04/82	67,9	06/86	23,4	08/90	20,3	10/94	13,7	12/98	47,2	02/03	18,8	04/07	70		
05/82	80,9	07/86	8,6	09/90	51,1	11/94	8,4	01/99	49,2	03/03	41,7	05/07	2,1		
06/82	14,7	08/86	7,3	10/90	8,5	12/94	0,7	02/99	26,6	04/03	18,6	06/07	0		
07/82	12,1	09/86	6	11/90	12	01/95	0	03/99	29,9	05/03	19,8	07/07	9,4		
08/82	16,1	10/86	41,9	12/90	43,4	02/95	36,6	04/99	0,5	06/03	15,1	08/07	13,7		
09/82	12,4	11/86	24,1	01/91	1,4	03/95	49,9	05/99	14,5	07/03	10,9	09/07	14,3		
10/82	24,2	12/86	3	02/91	82,6	04/95	100,7	06/99	1,5	08/03	18	10/07	64,9		
11/82	16,1	01/87	57,1	03/91	108,9	05/95	4,5	07/99	1,6	09/03	6,4	11/07	53		
12/82	35,3	02/87	85	04/91	27	06/95	6,4	08/99	30,6	10/03	55,2	12/07	25,5		
01/83	7,6	03/87	18,5	05/91	16,9	07/95	2,4	09/99	13,4	11/03	96,5	01/08	60,8		
02/83	41,7	04/87	3,1	06/91	30,8	08/95	22,2	10/99	75,1	12/03	63,6	02/08	48,4		
03/83	30,3	05/87	11,2	07/91	9,8	09/95	32,3	11/99	38,1	01/04	0,2	03/08	12,2		
04/83	10,1	06/87	25	08/91	35,4	10/95	34,6	12/99	24,1	02/04	46,2	04/08	4,8		
05/83	34,9	07/87	0,5	09/91	35,9	11/95	19,3	01/00	13,9	03/04	35	05/08	34,5		
06/83	4,8	08/87	2,3	10/91	26,1	12/95	62,6	02/00	4,3	04/04	30,1	06/08	2,1		
07/83	7,7	09/87	40,5	11/91	9,3	01/96	153,1	03/00	3,8	05/04	107,4	07/08	7,5		
08/83	2,7	10/87	52,9	12/91	23,6	02/96	64,6	04/00	55,8	06/04	20,1	08/08	10,8		
09/83	11,4	11/87	63,8	01/92	0	03/96	115,8	05/00	23,8	07/04	4,4	09/08	71,1		
10/83	41,6	12/87	37,3	02/92	28	04/96	40,2	06/00	3,2	08/04	20,7	10/08	71		
11/83	46	01/88	89,3	03/92	60,6	05/96	37	07/00	1,5	09/04	6,2	11/08	56,7		
12/83	19,7	02/88	57,4	04/92	65,2	06/96	106,4	08/00	21,8	10/04	37,7	12/08	72,7		
01/84	8,7	03/88	24,7	05/92	55,4	07/96	6,3	09/00	5	11/04	54,9	01/09	67,6		
02/84	2,8	04/88	6,6	06/92	30,8	08/96	0	10/00	65,5	12/04	38,5	02/09	78,6		

## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisée pour tout le bassin versant oued *El Abid* par la méthode IDW

Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW	Date	IDW
01/80	62,6	03/84	68,1	05/88	19,8	07/92	7,8	09/96	17,4	11/00	20,6	01/05	4,3	03/09	65,1
02/80	47,3	04/84	35,6	06/88	4,6	08/92	27,7	10/96	14,2	12/00	83,5	02/05	57,3	04/09	1
03/80	90,1	05/84	63,1	07/88	1	09/92	2,9	11/96	12,1	01/01	59,6	03/05	27,4	05/09	10,7
04/80	32,5	06/84	5,1	08/88	9,2	10/92	15,1	12/96	138,5	02/01	3,5	04/05	1,1	06/09	44,6
05/80	15,6	07/84	4,7	09/88	30,1	11/92	24,5	01/97	95,4	03/01	17,6	05/05	3,5	07/09	7
06/80	29,5	08/84	1	10/88	31	12/92	16,3	02/97	13,8	04/01	9,3	06/05	12,9	08/09	3,1
07/80	7,5	09/84	8,4	11/88	82,2	01/93	27,8	03/97	28,3	05/01	13	07/05	0,8	09/09	83,8
08/80	17,6	10/84	1,3	12/88	7	02/93	29,2	04/97	122,5	06/01	4	08/05	15,2	10/09	17
09/80	42,4	11/84	58,9	01/89	19,7	03/93	81,9	05/97	19,1	07/01	0,4	09/05	7,5	11/09	13,8
10/80	22,6	12/84	3,7	02/89	62	04/93	28,7	06/97	3	08/01	11,4	10/05	43,7	12/09	81,8
11/80	71,2	01/85	138	03/89	62,3	05/93	21,5	07/97	0,1	09/01	11	11/05	38,5	01/10	128,7
12/80	6,1	02/85	16,5	04/89	101,3	06/93	1,5	08/97	18,8	10/01	9,1	12/05	31,2	02/10	126,2
01/81	29,1	03/85	19	05/89	7	07/93	2,2	09/97	57,4	11/01	18,1	01/06	107,3	03/10	75,3
02/81	37,5	04/85	35,6	06/89	19,9	08/93	4,1	10/97	16,5	12/01	60,9	02/06	65,3	04/10	29,1
03/81	50,3	05/85	29,5	07/89	12,5	09/93	4,6	11/97	48,1	01/02	4,6	03/06	26,2	05/10	11,5
04/81	25	06/85	0,6	08/89	47,4	10/93	11,9	12/97	88,6	02/02	20,9	04/06	20,8	06/10	6,1
05/81	7,2	07/85	22,2	09/89	16,8	11/93	136,3	01/98	25,3	03/02	89,9	05/06	27,3	07/10	23,2
06/81	10,9	08/85	5,8	10/89	46,1	12/93	35	02/98	49,1	04/02	111,1	06/06	21,4	08/10	49,4
07/81	10,7	09/85	8,5	11/89	66	01/94	54,3	03/98	19,8	05/02	40,5	07/06	10,6	09/10	16,7
08/81	26,9	10/85	11,7	12/89	56,6	02/94	122,2	04/98	7,4	06/02	0,1	08/06	3,5	10/10	60,5
09/81	17,9	11/85	49,9	01/90	66	03/94	27,3	05/98	16,6	07/02	1,5	09/06	17,7	11/10	54,3
10/81	18,9	12/85	39	02/90	2,1	04/94	4,5	06/98	13,8	08/02	10,6	10/06	62,8	12/10	48,4
11/81	2,9	01/86	46,7	03/90	37,9	05/94	8,2	07/98	1,5	09/02	12,4	11/06	44,6		
12/81	33,4	02/86	53,5	04/90	59,9	06/94	1,6	08/98	7,8	10/02	17,6	12/06	24,3		
01/82	66	03/86	29,5	05/90	31,4	07/94	5,7	09/98	18,9	11/02	134,2	01/07	17,8		
02/82	55,2	04/86	39,4	06/90	10,6	08/94	8,4	10/98	5,4	12/02	23,9	02/07	31,2		
03/82	35,5	05/86	16,9	07/90	18,9	09/94	11,3	11/98	0,1	01/03	35,2	03/07	15,6		
04/82	78,5	06/86	27,4	08/90	17,4	10/94	15,1	12/98	58,5	02/03	27,8	04/07	80,1		
05/82	76,9	07/86	8,2	09/90	45,2	11/94	18,3	01/99	68,9	03/03	45,9	05/07	6,9		
06/82	11,2	08/86	5,7	10/90	12,9	12/94	1,6	02/99	32,8	04/03	29,1	06/07	0,8		
07/82	11,8	09/86	4,5	11/90	21,2	01/95	1,7	03/99	30,6	05/03	19,9	07/07	7,9		
08/82	11,8	10/86	35,2	12/90	57	02/95	41,8	04/99	1,3	06/03	12,7	08/07	9,7		
09/82	12,6	11/86	34,3	01/91	3,6	03/95	49,4	05/99	13,8	07/03	7,3	09/07	9,3		
10/82	28,6	12/86	5,8	02/91	91,6	04/95	93,7	06/99	1,1	08/03	17,9	10/07	57,2		
11/82	21,4	01/87	69,7	03/91	136,2	05/95	5,3	07/99	2,2	09/03	5,8	11/07	62,4		
12/82	44,2	02/87	90,5	04/91	35,4	06/95	6,7	08/99	25,3	10/03	57,6	12/07	30		
01/83	10,3	03/87	18	05/91	20,6	07/95	1,6	09/99	10,9	11/03	109,9	01/08	60,3		
02/83	52,6	04/87	3,8	06/91	26,7	08/95	14,4	10/99	53,2	12/03	87,8	02/08	45,1		
03/83	34,2	05/87	7,8	07/91	8,8	09/95	28,5	11/99	50,1	01/04	1,8	03/08	11,9		
04/83	17,4	06/87	19,9	08/91	31,7	10/95	32,4	12/99	32,7	02/04	54,2	04/08	11		
05/83	31,2	07/87	0,6	09/91	34,1	11/95	29,4	01/00	19,9	03/04	38,2	05/08	34,7		
06/83	5,4	08/87	1,8	10/91	31,5	12/95	74,2	02/00	3,3	04/04	33,2	06/08	2,5		
07/83	8,8	09/87	31,5	11/91	12,5	01/96	182	03/00	4,1	05/04	109,7	07/08	5,3		
08/83	2,1	10/87	39,2	12/91	23,1	02/96	74,9	04/00	70,7	06/04	14,9	08/08	6,9		
09/83	10,4	11/87	73,3	01/92	0,1	03/96	123,3	05/00	30,8	07/04	4	09/08	57		
10/83	35,6	12/87	49,1	02/92	34,2	04/96	45,5	06/00	2,3	08/04	14,7	10/08	72,2		
11/83	55,3	01/88	96,1	03/92	70,4	05/96	43,8	07/00	0,9	09/04	6,1	11/08	75,3		
12/83	24	02/88	67,8	04/92	78,5	06/96	88,9	08/00	12,9	10/04	44,9	12/08	90,1		
01/84	8,2	03/88	29,3	05/92	54,6	07/96	3,6	09/00	4,5	11/04	55,5	01/09	82,1		
02/84	6,9	04/88	6,6	06/92	39,5	08/96	0,2	10/00	65,2	12/04	46,5	02/09	94,3		

## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisée pour le SBV e l'oued *El Abid* à *Ait Ouchène* par la méthode moyenne arithmétique.

Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar
01/80	64,5	03/84	66,4	05/88	22,8	07/92	7,9	09/96	15,8	11/00	18	01/05	5,4	03/09	77,3
02/80	47,2	04/84	36,7	06/88	6	08/92	21,4	10/96	12,9	12/00	82,2	02/05	56,2	04/09	1,2
03/80	99,5	05/84	65,1	07/88	0,7	09/92	2,4	11/96	10,2	01/01	57,9	03/05	29,4	05/09	11,5
04/80	37,1	06/84	4,2	08/88	9,1	10/92	15,6	12/96	151,5	02/01	4,1	04/05	0,7	06/09	39,6
05/80	21,6	07/84	3,4	09/88	24,2	11/92	25,9	01/97	83,6	03/01	17,8	05/05	1,5	07/09	5,7
06/80	21,2	08/84	0,7	10/88	39,3	12/92	15,4	02/97	11,5	04/01	7,2	06/05	12,1	08/09	5,4
07/80	5	09/84	9,4	11/88	86	01/93	28,2	03/97	24,6	05/01	13,4	07/05	1,2	09/09	76,6
08/80	15,1	10/84	1,6	12/88	3,4	02/93	26,7	04/97	122,7	06/01	2,9	08/05	14,1	10/09	12,4
09/80	39,6	11/84	66,8	01/89	21,6	03/93	79,7	05/97	22,3	07/01	0,6	09/05	7,5	11/09	13,8
10/80	22,3	12/84	3,7	02/89	62,7	04/93	26,4	06/97	2,1	08/01	11,6	10/05	44,5	12/09	95,5
11/80	78,4	19/85	143,6	03/89	63,4	05/93	19,3	07/97	0,1	09/01	10,6	11/05	43,5	01/10	135,9
12/80	6,4	02/85	19,9	04/89	108,3	06/93	0,5	08/97	21,2	10/01	9,5	12/05	29,6	02/10	144,6
01/81	25	03/85	16	05/89	7,6	07/93	2,1	09/97	55,3	11/01	15,8	01/06	111,4	03/10	79,8
02/81	34	04/85	46	06/89	17,8	08/93	4,3	10/97	18,4	12/01	66,6	02/06	69,2	04/10	44,3
03/81	44,8	05/85	31,7	07/89	11	09/93	4	11/97	53,7	01/02	1,9	03/06	28,3	05/10	11,3
04/81	26,6	06/85	0,7	08/89	41,6	10/93	15,1	12/97	91,5	02/02	22,8	04/06	26,6	06/10	6
05/81	9,3	07/85	14,7	09/89	15,5	11/93	138	01/98	24,7	03/02	94,8	05/06	34,6	07/10	21,2
06/81	9,7	08/85	5	10/89	48,2	12/93	33,3	02/98	53,3	04/02	121,3	06/06	18,4	08/10	34,1
07/81	8,4	09/85	7,3	11/89	77,3	01/94	52,8	03/98	24,6	05/02	38,1	07/06	8,2	09/10	14,1
08/81	19,3	10/85	11,6	12/89	59,4	02/94	112,7	04/98	4,5	06/02	0,2	08/06	2,3	10/10	63,6
09/81	12,5	11/85	52,9	01/90	62,3	03/94	27,8	05/98	19,6	07/02	2,6	09/06	18,8	11/10	66,6
10/81	18,1	12/85	40,4	02/90	0,2	04/94	3,5	06/98	13,8	08/02	10,5	10/06	59,5	12/10	50,6
11/81	0,9	19/86	50,1	03/90	39,9	05/94	6,5	07/98	1,1	09/02	11,5	11/06	41,4		
12/81	33,4	02/86	66,1	04/90	60,5	06/94	2,6	08/98	7,6	10/02	17,7	12/06	23,9		
01/82	63,5	03/86	36,7	05/90	35,2	07/94	4,9	09/98	15	11/02	148,9	01/07	18		
02/82	56,6	04/86	41,2	06/90	10	08/94	7,7	10/98	5,5	12/02	26,5	02/07	30,1		
03/82	36,8	05/86	16,7	07/90	15,6	09/94	14,9	11/98	0	01/03	41,1	03/07	14,5		
04/82	98,4	06/86	34,4	08/90	15,9	10/94	20,6	12/98	59	02/03	34,5	04/07	89,7		
05/82	84,5	07/86	6,8	09/90	43,8	11/94	20,5	01/99	80,6	03/03	47,8	05/07	9,8		
06/82	10,9	08/86	6	10/90	9,9	12/94	0,8	02/99	33	04/03	32,3	06/07	0		
07/82	11,1	09/86	3,9	11/90	22,3	01/95	0	03/99	28,4	05/03	16,7	07/07	7,5		
08/82	10,2	10/86	39,6	12/90	64,7	02/95	40,3	04/99	1,6	06/03	11,3	08/07	7,8		
09/82	13,3	11/86	38,5	01/91	2,3	03/95	45,7	05/99	12,1	07/03	8,3	09/07	9,1		
10/82	26,6	12/86	6,3	02/91	87,5	04/95	93,2	06/99	1	08/03	16,4	10/07	53,8		
11/82	25,9	01/87	79	03/91	145,2	05/95	6,4	07/99	1,5	09/03	7,1	11/07	67,1		
12/82	42,3	02/87	93,3	04/91	38,9	06/95	6,3	08/99	24,4	10/03	64,8	12/07	30,6		
01/83	6,6	03/87	17,2	05/91	18,8	07/95	1,8	09/99	10,7	11/03	112,9	01/08	55,9		
02/83	54,5	04/87	2,7	06/91	23,8	08/95	17,8	10/99	60,6	12/03	102,1	02/08	44,6		
03/83	37,6	05/87	5,3	07/91	8,2	09/95	25,3	11/99	52,9	01/04	1,2	03/08	13,1		
04/83	16,7	06/87	19,4	08/91	30	10/95	32,8	12/99	37	02/04	61,1	04/08	9,4		
05/83	26,3	07/87	0,5	09/91	35,3	11/95	32,8	01/00	17,8	03/04	40,8	05/08	35,3		
06/83	3,9	08/87	1,2	10/91	33	12/95	81,3	02/00	1,4	04/04	29,7	06/08	2,7		
07/83	6	09/87	36,2	11/91	10,7	01/96	178,4	03/00	2,6	05/04	110,8	07/08	4,7		
08/83	2,7	10/87	41	12/91	22,2	02/96	78,2	04/00	81,1	06/04	15,1	08/08	10		
09/83	12,4	11/87	78,8	01/92	0,1	03/96	118,4	05/00	37,6	07/04	3,6	09/08	56,7		
10/83	31	12/87	61,8	02/92	35,2	04/96	38,8	06/00	3,4	08/04	11	10/08	89,3		
11/83	65,5	19/88	94,7	03/92	64,1	05/96	46,5	07/00	0,7	09/04	5	11/08	86,7		
12/83	24,9	02/88	71,8	04/92	82	06/96	89,2	08/00	11,4	10/04	46,2	12/08	93,5		
01/84	9	03/88	32,1	05/92	56,5	07/96	5,2	09/00	5,7	11/04	51,6	01/09	86		
02/84	5,5	04/88	6,8	06/92	43,4	08/96	0	10/00	62,7	12/04	48,6	02/09	97,9		



## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisé pour le SBV de l'Assif *Ahançal* à *Tilouguitte* par la méthode moyenne arithmétique

Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar
01/80	59,4	03/84	68,9	05/88	24	07/92	11,9	09/96	17,3	11/00	20,1	05	6,4	03/09	61,2
02/80	45	04/84	34,8	06/88	4,5	08/92	33,3	10/96	14,7	12/00	79,4	02/05	55,1	04/09	0,6
03/80	90,7	05/84	64,9	07/88	1,1	09/92	3,3	11/96	12,3	01/01	55,4	03/05	24,2	05/09	9,8
04/80	28	06/84	5,7	08/88	7,1	10/92	13,7	12/96	126,7	02/01	3,8	04/05	0,8	06/09	43,7
05/80	12,1	07/84	3,9	09/88	27,3	11/92	28,5	01/97	92,2	03/01	17,3	05/05	2,3	07/09	7,1
06/80	27,6	08/84	0,9	10/88	43,8	12/92	13,8	02/97	10,1	04/01	10	06/05	15,5	08/09	2,5
07/80	6,9	09/84	14,3	11/88	86,5	01/93	27,8	03/97	27,8	05/01	9,5	07/05	1,2	09/09	90,8
08/80	18,7	10/84	0,7	12/88	4,6	02/93	34,2	04/97	118,3	06/01	3,9	08/05	27	10/09	15,7
09/80	45,6	11/84	53,8	01/89	12,1	03/93	79,3	05/97	17,2	07/01	0,8	09/05	10	11/09	9,1
10/80	22,6	12/84	3,4	02/89	62,9	04/93	23	06/97	2,4	08/01	14,7	10/05	42,3	12/09	61,2
11/80	60,5	01/85	125,3	03/89	64,4	05/93	21,1	07/97	0,2	09/01	14,6	11/05	38,8	01/10	117,8
12/80	5	02/85	16,5	04/89	96,6	06/93	0,4	08/97	23	10/01	13	12/05	26,7	02/10	104,5
01/81	26,3	03/85	17,8	05/89	11	07/93	2,7	09/97	80,3	11/01	19,1	01/06	98	03/10	79,6
02/81	41,9	04/85	37,7	06/89	25,6	08/93	5,7	10/97	18,7	12/01	52	02/06	56,6	04/10	28,2
03/81	42,6	05/85	32,5	07/89	14	09/93	5,4	11/97	47,3	01/02	3,4	03/06	23	05/10	14,3
04/81	20,3	06/85	1,2	08/89	50,6	10/93	11,6	12/97	80,5	02/02	18,6	04/06	23	06/10	4,8
05/81	9,1	07/85	20,7	09/89	18,9	11/93	135,9	01/98	19,8	03/02	82,7	05/06	29,4	07/10	28,6
06/81	12,2	08/85	7,4	10/89	51,2	12/93	35,3	02/98	47	04/02	109,4	06/06	20,5	08/10	63,3
07/81	11,3	09/85	9,9	11/89	62,3	01/94	56,6	03/98	21,8	05/02	47	07/06	13,1	09/10	18,8
08/81	26,8	10/85	16,2	12/89	60,2	02/94	123,4	04/98	3,4	06/02	0,1	08/06	3,3	10/10	60,4
09/81	17,4	11/85	46,1	01/90	64	03/94	29,3	05/98	21,7	07/02	3,6	09/06	19,5	11/10	43,2
10/81	13,7	12/85	37,5	02/90	0,2	04/94	5,2	06/98	17,7	08/02	13,8	10/06	85,4	12/10	39,8
11/81	1,2	01/86	39,3	03/90	43,4	05/94	8,5	07/98	1,9	09/02	16,2	11/06	49,9		
12/81	26,9	02/86	41,8	04/90	53,2	06/94	3,5	08/98	9,6	10/02	14	12/06	30,4		
01/82	60,6	03/86	29,9	05/90	33	07/94	6	09/98	18,4	11/02	115,1	01/07	16,2		
02/82	49,5	04/86	31,1	06/90	11,4	08/94	13,5	10/98	7,1	12/02	18	02/07	28,9		
03/82	28,6	05/86	17,6	07/90	20,3	09/94	20,7	11/98	0	01/03	31,1	03/07	16,9		
04/82	61,2	06/86	27,2	08/90	19,9	10/94	17,4	12/98	52,2	02/03	22,6	04/07	77,6		
05/82	85,4	07/86	7,3	09/90	53,7	11/94	11,9	01/99	66,2	03/03	38	05/07	4,9		
06/82	15,1	08/86	5,6	10/90	9,3	12/94	0,8	02/99	34,2	04/03	22,3	06/07	0		
07/82	11,1	09/86	6,5	11/90	14,5	01/95	0	03/99	32,2	05/03	17,4	07/07	7,3		
08/82	16,6	10/86	31,6	12/90	45,7	02/95	39,2	04/99	0,7	06/03	13,2	08/07	12		
09/82	13,8	11/86	28,9	01/91	2	03/95	48,8	05/99	17,2	07/03	12,7	09/07	12,8		
10/82	22,7	12/86	4,6	02/91	96,6	04/95	110,6	06/99	1,3	08/03	23	10/07	56,9		
11/82	19,4	01/87	61,3	03/91	129,3	05/95	4,4	07/99	2,3	09/03	7,2	11/07	59,8		
12/82	38,2	02/87	92	04/91	36,4	06/95	6,2	08/99	28,8	10/03	58,1	12/07	27,8		
01/83	7,2	03/87	15,2	05/91	22,9	07/95	1,8	09/99	12,9	11/03	120	01/08	59,1		
02/83	49,2	04/87	2,8	06/91	35,1	08/95	22,2	10/99	74,2	12/03	67,3	02/08	49,1		
03/83	31,2	05/87	7,2	07/91	11,8	09/95	29,8	11/99	44,1	04	0,3	03/08	14,8		
04/83	10,9	06/87	18,9	08/91	39,4	10/95	40	12/99	28,5	02/04	49,8	04/08	6,2		
05/83	32,4	07/87	0,6	09/91	38,9	11/95	25,1	01/00	14,2	03/04	36	05/08	36,9		
06/83	5,3	08/87	7,1	10/91	29,2	12/95	66,8	02/00	2,4	04/04	37,3	06/08	2,4		
07/83	8,2	09/87	39,3	11/91	10,2	01/96	157,1	03/00	3,5	05/04	115,2	07/08	7,2		
08/83	2,1	10/87	49,2	12/91	25,8	02/96	71,6	04/00	62,3	06/04	14,3	08/08	14		
09/83	9,7	11/87	75,3	01/92	0,1	03/96	129,2	05/00	24,1	07/04	5	09/08	61,9		
10/83	41,7	12/87	43,2	02/92	33,6	04/96	42,2	06/00	4,1	08/04	16,4	10/08	86,7		
11/83	46,6	01/88	102,7	03/92	69,9	05/96	40,3	07/00	1	09/04	6,5	11/08	57,7		
12/83	25,4	02/88	56,6	04/92	73,4	06/96	102,2	08/00	15,5	10/04	39,9	12/08	82,1		
01/84	8,4	03/88	28,2	05/92	64,9	07/96	7,3	09/00	5	11/04	53,4	01/09	74,4		
02/84	3,7	04/88	8,5	06/92	41,6	08/96	0,1	10/00	69,6	12/04	47,4	02/09	84,9		

## Annexes

Pluviométrie moyenne mensuelle spatialisé pour tout le bassin versant de l'oued *El Abid* par la méthode moyenne arithmétique.

Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar	Date	M.Ar
01/80	62,9	03/84	64,9	05/88	20,1	07/92	7,5	09/96	14,4	11/00	20,3	01/05	5,1	03/09	67
02/80	54,9	04/84	36,5	06/88	5	08/92	23,4	10/96	15,8	12/00	77,3	02/05	57,4	04/09	1,5
03/80	91,4	05/84	62,5	07/88	0,7	09/92	3,3	11/96	13,3	01/01	54,9	03/05	29,5	05/09	10,1
04/80	32,6	06/84	3,3	08/88	8,4	10/92	17,5	12/96	136,2	02/01	3,9	04/05	2,6	06/09	34,3
05/80	18,5	07/84	2,6	09/88	22,3	11/92	23,8	01/97	92,5	03/01	15,6	05/05	8,2	07/09	4,5
06/80	16,8	08/84	0,8	10/88	35,8	12/92	17,8	02/97	18,4	04/01	13,1	06/05	10,6	08/09	4,9
07/80	4	09/84	8,3	11/88	83,9	01/93	25	03/97	34,5	05/01	15,5	07/05	1	09/09	72,4
08/80	13,3	10/84	1,6	12/88	7,4	02/93	31,8	04/97	110,5	06/01	2,3	08/05	16,6	10/09	16,3
09/80	37,2	11/84	65,7	01/89	28,8	03/93	76,4	05/97	22,8	07/01	0,5	09/05	6	11/09	24,1
10/80	22,8	12/84	4,2	02/89	62,7	04/93	29,6	06/97	9,1	08/01	9,2	10/05	44	12/09	87,1
11/80	64	01/85	124,9	03/89	67,1	05/93	19,8	07/97	0,3	09/01	8,4	11/05	44,5	01/10	129,7
12/80	10,4	02/85	17,5	04/89	101,3	06/93	3,9	08/97	16,8	10/01	10,2	12/05	31,3	02/10	133
01/81	26,6	03/85	21,2	05/89	9,3	07/93	1,8	09/97	56,6	11/01	18,9	01/06	99,6	03/10	78,6
02/81	38,1	04/85	45,4	06/89	15,1	08/93	3,9	10/97	20,2	12/01	66,7	02/06	66,1	04/10	38,2
03/81	49,8	05/85	36,1	07/89	9,1	09/93	5	11/97	52,7	01/02	8	03/06	29,6	05/10	12,4
04/81	23,3	06/85	0,8	08/89	33	10/93	15,2	12/97	96	02/02	18,8	04/06	23,1	06/10	7,8
05/81	9,9	07/85	12,1	09/89	13,4	11/93	120,9	01/98	29,6	03/02	87,7	05/06	31,6	07/10	17
06/81	8,1	08/85	4,2	10/89	45,3	12/93	31,7	02/98	47,1	04/02	111,4	06/06	16,5	08/10	38,7
07/81	6,7	09/85	7,7	11/89	73,2	01/94	53	03/98	23,7	05/02	33,8	07/06	7,8	09/10	13,7
08/81	16,2	10/85	10,1	12/89	58,8	02/94	108,1	04/98	18	06/02	0,2	08/06	2,4	10/10	58,4
09/81	14,5	11/85	54,4	01/90	60,2	03/94	30,8	05/98	21,2	07/02	2,1	09/06	15	11/10	62
10/81	18,8	12/85	38,7	02/90	7,7	04/94	5	06/98	12,3	08/02	8,3	10/06	60,6	12/10	51,7
11/81	5,6	01/86	62,9	03/90	42,2	05/94	9,5	07/98	1,2	09/02	10,8	11/06	43,3		
12/81	28,4	02/86	61,7	04/90	61,5	06/94	2	08/98	6,6	10/02	17,1	12/06	25,6		
01/82	56,6	03/86	34,8	05/90	31	07/94	4	09/98	14,8	11/02	131	01/07	28		
02/82	52,6	04/86	41,3	06/90	8,5	08/94	8,4	10/98	8,1	12/02	29,5	02/07	34,1		
03/82	36	05/86	20,8	07/90	12,7	09/94	16,2	11/98	0,8	01/03	37,2	03/07	14,9		
04/82	79,7	06/86	28,3	08/90	13,7	10/94	19,1	12/98	65,3	02/03	29,8	04/07	80,6		
05/82	76,9	07/86	5,8	09/90	37,2	11/94	26	01/99	76,4	03/03	49,8	05/07	13,3		
06/82	9,9	08/86	4,8	10/90	14,3	12/94	3	02/99	36,9	04/03	39,1	06/07	2,2		
07/82	9	09/86	4,2	11/90	28,6	01/95	5,8	03/99	29,1	05/03	16,9	07/07	7,3		
08/82	10,1	10/86	32,8	12/90	59,6	02/95	46,1	04/99	1,8	06/03	9,4	08/07	7,5		
09/82	12,2	11/86	41,5	01/91	6,4	03/95	43,6	05/99	14,2	07/03	7,7	09/07	8,2		
10/82	22,4	12/86	7,8	02/91	86,4	04/95	83,3	06/99	0,9	08/03	14,7	10/07	47,9		
11/82	28,2	01/87	75,7	03/91	137,8	05/95	5,6	07/99	1,3	09/03	6,5	11/07	62,5		
12/82	36,6	02/87	92,1	04/91	42,7	06/95	5,5	08/99	19,5	10/03	58,7	12/07	30,9		
01/83	13,4	03/87	20,2	05/91	21,7	07/95	1,6	09/99	12	11/03	115,2	01/08	50,2		
02/83	56,8	04/87	5,7	06/91	20,7	08/95	14,7	10/99	54,9	12/03	92,5	02/08	42,9		
03/83	36,8	05/87	8,3	07/91	7,3	09/95	21,6	11/99	48,7	01/04	4	03/08	13,1		
04/83	31,8	06/87	18	08/91	24,3	10/95	30,3	12/99	42,4	02/04	56,5	04/08	18,9		
05/83	33,2	07/87	0,4	09/91	32,9	11/95	36,4	01/00	26,1	03/04	42,5	05/08	34,4		
06/83	4	08/87	4,1	10/91	31,3	12/95	72,7	02/00	5,8	04/04	35,9	06/08	2,2		
07/83	6,3	09/87	30,1	11/91	12,3	01/96	161,5	03/00	8,5	05/04	99,3	07/08	4,1		
08/83	2,2	10/87	38,6	12/91	22,7	02/96	74,1	04/00	72,8	06/04	12,6	08/08	8,2		
09/83	9,7	11/87	73,8	01/92	0,2	03/96	116,6	05/00	35,1	07/04	2,9	09/08	48		
10/83	26,6	12/87	55,3	02/92	42,6	04/96	43,9	06/00	2,8	08/04	10,5	10/08	82,4		
11/83	58,7	01/88	96	03/92	78,8	05/96	41,2	07/00	0,6	09/04	4,8	11/08	85,6		
12/83	28,6	02/88	74,3	04/92	73,1	06/96	77,6	08/00	9,5	10/04	45,3	12/08	85,9		
01/84	8	03/88	30,7	05/92	48,9	07/96	4,2	09/00	5,4	11/04	58	11/09	82,5		
02/84	12,7	04/88	7,3	06/92	42	08/96	0,4	10/00	59,6	12/04	51,9	02/09	93		

**Annexe IV**

L'évapotranspiration (ETP) spatiale annuelle

<b>Année</b>	<b>SBB Ait Ouchène</b>	<b>SBV Tilouguite</b>	<b>BVOEA</b>
1980	64,6 (mm)	61,7 (mm)	64,8 (mm)
1981	65,1	62,3	65,2
1982	66,3	63,4	66,4
1983	65,8	63,0	65,9
1984	63,6	60,9	63,9
1985	65,3	62,3	65,4
1986	64,3	61,5	64,5
1987	66,3	63,7	66,6
1988	65,0	62,1	65,2
1989	64,8	61,7	64,8
1990	65,2	62,3	65,4
1991	63,6	60,6	63,8
1992	62,5	59,2	62,5
1993	62,6	59,7	62,8
1994	66,1	63,4	66,4
1995	65,6	62,8	65,8
1996	63,8	61,1	64,1
1997	64,5	62,0	64,9
1998	65,7	63,1	66,1
1999	66,0	63,5	66,5
2000	66,2	63,4	66,5
2001	67,8	65,3	68,2
2002	65,9	63,6	66,4
2003	67,2	64,5	67,6
2004	65,3	62,5	65,6
2005	68,1	65,5	68,6
2006	68,4	65,5	68,5
2007	66,1	63,5	66,4
2008	65,9	63,2	66,2
2009	67,7	64,6	67,8
2010	68,3	65,7	68,6
2011	67,7	64,7	67,9
2012	68,7	65,7	68,9
2013	57,9	53,4	58,0
2014	59,2	54,6	59,2

## Annexes

L'évapotranspiration (ETP) spatiale mensuelle à l'échelle du SBV de l'oued *El Abid* à la station d'*Ait Ouchène*

Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP
01/80	11,1	02/85	21,6	03/90	34,4	04/95	32,9	05/00	75,3	06/05	121,0	07/10	161,1
02/80	17,5	03/85	25,0	04/90	34,2	05/95	99,1	06/00	126,5	07/05	158,0	08/10	150,7
03/80	24,9	04/85	44,4	05/90	76,3	06/95	107,7	07/00	156,9	08/05	154,1	09/10	102,8
04/80	44,0	05/85	60,9	06/90	111,3	07/95	151,0	08/00	151,2	09/05	94,8	10/10	53,0
05/80	70,5	06/85	113,6	07/90	152,5	08/95	143,1	09/00	95,1	10/05	61,4	11/10	24,7
06/80	108,8	07/85	151,9	08/90	143,8	09/95	81,8	10/00	45,0	11/05	24,9	12/10	21,0
07/80	154,7	08/85	150,2	09/90	102,9	10/95	61,4	11/00	25,9	12/05	12,2		
08/80	153,0	09/85	102,6	10/90	56,2	11/95	35,4	12/00	17,9	01/06	4,6		
09/80	103,2	10/85	63,4	11/90	29,6	12/95	20,0	01/01	12,4	02/06	9,6		
10/80	54,3	11/85	30,9	12/90	13,1	01/96	17,2	02/01	14,5	03/06	33,3		
11/80	26,0	12/85	12,9	01/91	8,9	02/96	12,8	03/01	39,9	04/06	53,3		
12/80	6,9	01/86	9,1	02/91	11,0	03/96	25,8	04/01	51,2	05/06	88,0		
01/81	8,3	02/86	16,5	03/91	23,9	04/96	49,9	05/01	75,1	06/06	113,0		
02/81	13,3	03/86	26,3	04/91	41,5	05/96	73,9	06/01	132,0	07/06	164,0		
03/81	38,7	04/86	33,5	05/91	71,0	06/96	112,5	07/01	153,1	08/06	147,4		
04/81	37,5	05/86	91,5	06/91	122,4	07/96	151,5	08/01	143,2	09/06	99,1		
05/81	72,5	06/86	103,4	07/91	151,8	08/96	131,4	09/01	80,5	10/06	65,8		
06/81	116,9	07/86	155,1	08/91	149,5	09/96	84,7	10/01	67,2	11/06	32,5		
07/81	150,1	08/86	143,3	09/91	98,3	10/96	59,1	11/01	25,6	12/06	10,0		
08/81	129,8	09/86	100,4	10/91	46,5	11/96	28,7	12/01	18,5	01/07	11,5		
09/81	97,4	10/86	55,0	11/91	26,2	12/96	18,1	01/02	14,6	02/07	20,1		
10/81	63,2	11/86	26,6	12/91	12,0	01/97	15,5	02/02	20,1	03/07	27,5		
11/81	34,9	12/86	10,4	01/92	8,9	02/97	21,7	03/02	28,5	04/07	38,8		
12/81	18,8	01/87	12,0	02/92	13,6	03/97	34,1	04/02	41,2	05/07	76,2		
01/82	12,1	02/87	17,0	03/92	23,9	04/97	46,8	05/02	74,7	06/07	119,4		
02/82	16,1	03/87	33,5	04/92	45,7	05/97	76,4	06/02	120,6	07/07	163,8		
03/82	30,6	04/87	58,6	05/92	80,9	06/97	106,1	07/02	152,6	08/07	144,7		
04/82	41,8	05/87	76,8	06/92	87,7	07/97	137,4	08/02	131,0	09/07	91,5		
05/82	74,5	06/87	113,3	07/92	147,3	08/97	127,8	09/02	92,3	10/07	57,5		
06/82	122,6	07/87	138,0	08/92	147,0	09/97	93,6	10/02	63,5	11/07	30,1		
07/82	160,2	08/87	139,2	09/92	100,7	10/97	63,2	11/02	30,3	12/07	12,6		
08/82	137,8	09/87	113,0	10/92	50,1	11/97	33,1	12/02	21,1	01/08	12,8		
09/82	102,8	10/87	51,6	11/92	27,0	12/97	18,3	01/03	7,7	02/08	16,3		
10/82	67,3	11/87	24,3	12/92	16,6	01/98	7,5	02/03	14,0	03/08	34,0		
11/82	23,9	12/87	17,8	01/93	8,2	02/98	20,2	03/03	34,2	04/08	56,2		
12/82	6,5	01/88	10,0	02/93	11,0	03/98	33,5	04/03	45,1	05/08	69,4		
01/83	8,7	02/88	15,0	03/93	29,1	04/98	47,4	05/03	88,1	06/08	126,4		
02/83	12,8	03/88	29,6	04/93	44,6	05/98	64,4	06/03	123,0	07/08	161,5		
03/83	39,0	04/88	47,8	05/93	71,0	06/98	119,0	07/03	156,1	08/08	150,1		
04/83	46,6	05/88	65,2	06/93	116,2	07/98	155,2	08/03	144,0	09/08	90,6		
05/83	66,6	06/88	93,8	07/93	157,5	08/98	153,6	09/03	102,7	10/08	46,1		
06/83	119,5	07/88	160,2	08/93	142,9	09/98	95,7	10/03	53,4	11/08	17,1		
07/83	141,2	08/88	156,8	09/93	80,3	10/98	55,6	11/03	24,3	12/08	10,2		
08/83	133,5	09/88	106,4	10/93	50,6	11/98	26,0	12/03	14,2	01/09	5,9		
09/83	105,2	10/88	57,6	11/93	24,2	12/98	10,8	01/04	10,4	02/09	12,0		
10/83	66,9	11/88	28,8	12/93	15,2	01/99	9,3	02/04	15,6	03/09	28,7		
11/83	34,2	12/88	8,9	01/94	7,7	02/99	8,9	03/04	27,3	04/09	40,3		
12/83	15,1	01/89	6,6	02/94	13,9	03/99	25,0	04/04	43,0	05/09	84,0		
01/84	9,2	02/89	12,2	03/94	28,5	04/99	54,5	05/04	59,0	06/09	114,8		
02/84	16,3	03/89	30,6	04/94	42,0	05/99	91,9	06/04	117,9	07/09	167,3		
03/84	24,9	04/89	34,9	05/94	79,7	06/99	119,9	07/04	155,6	08/09	152,3		
04/84	58,0	05/89	78,6	06/94	118,7	07/99	154,6	08/04	151,9	09/09	79,0		
05/84	49,8	06/89	107,7	07/94	166,1	08/99	145,8	09/04	101,7	10/09	71,1		
06/84	112,1	07/89	152,6	08/94	149,0	09/99	89,9	10/04	65,4	11/09	37,0		
07/84	165,0	08/89	144,1	09/94	87,5	10/99	58,6	11/04	23,9	12/09	19,4		
08/84	135,5	09/89	96,1	10/94	55,0	11/99	21,4	12/04	12,3	01/10	11,6		
09/84	97,7	10/89	63,5	11/94	30,1	12/99	12,8	01/05	4,2	02/10	21,2		
10/84	53,7	11/89	28,6	12/94	15,2	01/00	6,8	02/05	5,8	03/10	34,0		
11/84	27,1	12/89	22,1	1995	9,3	02/00	19,4	03/05	31,2	04/10	56,5		
12/84	14,3	1990	6,7	02/95	18,3	03/00	35,5	04/05	53,4	05/10	72,2		
01/85	6,5	02/90	21,6	03/95	27,7	04/00	38,7	05/05	96,5	06/10	110,7		

## Annexes

L'évapotranspiration (ETP) spatiale mensuelle à l'échelle du SBV de l'Assif *Ahançal* à la station de *Tilougite*

Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP
01/80	8,2	03/85	22,5	05/90	75,0	07/95	149,8	09/00	91,0	11/05	21,3
02/80	14,0	04/85	40,4	06/90	112,8	08/95	140,1	10/00	42,0	12/05	9,0
03/80	21,1	05/85	60,5	07/90	149,1	09/95	79,9	11/00	22,8	01/06	2,5
04/80	40,9	06/85	114,6	08/90	138,5	10/95	56,0	12/00	14,3	02/06	7,0
05/80	70,8	07/85	149,9	09/90	99,0	11/95	30,6	01/01	9,3	03/06	30,7
06/80	108,3	08/85	146,1	10/90	53,4	12/95	16,3	02/01	11,7	04/06	51,3
07/80	153,5	09/85	97,2	11/90	26,0	01/96	13,8	03/01	36,4	05/06	85,9
08/80	150,4	10/85	58,2	12/90	9,8	02/96	10,1	04/01	49,8	06/06	113,1
09/80	97,3	11/85	26,9	01/91	5,7	03/96	21,9	05/01	74,5	07/06	161,1
10/80	50,7	12/85	9,6	02/91	7,5	04/96	47,6	06/01	131,1	08/06	144,0
11/80	21,8	01/86	6,0	03/91	20,2	05/96	72,1	07/01	152,6	09/06	94,9
12/80	3,9	02/86	13,3	04/91	39,1	06/96	109,0	08/01	141,6	10/06	60,6
01/81	5,5	03/86	23,2	05/91	69,3	07/96	150,0	09/01	77,3	11/06	27,5
02/81	10,4	04/86	32,0	06/91	122,0	08/96	131,5	10/01	62,6	12/06	7,2
03/81	34,8	05/86	89,2	07/91	147,5	09/96	82,4	11/01	21,9	01/07	8,7
04/81	35,1	06/86	103,9	08/91	146,5	10/96	55,9	12/01	15,0	02/07	16,7
05/81	72,0	07/86	153,2	09/91	94,5	11/96	24,6	01/02	11,8	03/07	24,4
06/81	117,5	08/86	140,9	10/91	43,2	12/96	14,3	02/02	16,4	04/07	36,4
07/81	147,9	09/86	96,2	11/91	22,5	01/97	12,3	03/02	23,4	05/07	75,6
08/81	127,1	10/86	50,5	12/91	8,9	02/97	18,5	04/02	38,5	06/07	119,5
09/81	93,5	11/86	22,6	01/92	6,1	03/97	28,2	05/02	73,7	07/07	162,1
10/81	58,9	12/86	7,1	02/92	9,1	04/97	42,6	06/02	122,1	08/07	141,9
11/81	28,9	01/87	9,2	03/92	19,3	05/97	76,3	07/02	153,6	09/07	88,4
12/81	15,5	02/87	14,4	04/92	42,6	06/97	108,5	08/02	130,9	10/07	53,2
01/82	9,1	03/87	29,7	05/92	77,7	07/97	139,4	09/02	89,7	11/07	25,6
02/82	12,9	04/87	55,5	06/92	90,0	08/97	125,8	10/02	59,5	12/07	9,2
03/82	27,0	05/87	75,7	07/92	145,3	09/97	89,8	11/02	26,8	01/08	9,5
04/82	39,4	06/87	113,0	08/92	139,9	10/97	58,8	12/02	17,2	02/08	13,2
05/82	73,5	07/87	137,8	09/92	96,6	11/97	29,3	01/03	5,2	03/08	30,8
06/82	121,3	08/87	138,0	10/92	47,7	12/97	15,1	02/03	10,9	04/08	52,8
07/82	158,2	09/87	106,9	11/92	22,8	01/98	4,8	03/03	30,1	05/08	68,7
08/82	135,4	10/87	48,6	12/92	13,1	02/98	16,6	04/03	42,9	06/08	125,5
09/82	98,9	11/87	20,6	01/93	5,0	03/98	27,7	05/03	86,5	07/08	160,4
10/82	61,1	12/87	14,4	02/93	6,7	04/98	46,6	06/03	122,0	08/08	147,5
11/82	19,9	01/88	6,9	03/93	24,7	05/98	64,0	07/03	155,9	09/08	86,8
12/82	3,8	02/88	11,9	04/93	42,0	06/98	118,0	08/03	139,7	10/08	42,7
01/83	5,7	03/88	25,9	05/93	70,2	07/98	153,5	09/03	99,1	11/08	13,3
02/83	10,1	04/88	46,3	06/93	116,8	08/98	150,4	10/03	50,4	12/08	7,0
03/83	34,6	05/88	65,1	07/93	154,1	09/98	92,2	11/03	20,5	01/09	3,5
04/83	44,7	06/88	94,4	08/93	139,8	10/98	52,2	12/03	10,9	02/09	8,8
05/83	67,0	07/88	158,2	09/93	78,3	11/98	23,8	01/04	7,6	03/09	24,7
06/83	118,4	08/88	152,9	10/93	47,6	12/98	7,6	02/04	12,0	04/09	39,1
07/83	139,2	09/88	100,4	11/93	20,1	01/99	6,5	03/04	23,9	05/09	83,2
08/83	135,0	10/88	53,3	12/93	11,6	02/99	6,2	04/04	40,6	06/09	111,8
09/83	99,1	11/88	23,8	01/94	5,0	03/99	20,9	05/04	58,0	07/09	165,0
10/83	60,7	12/88	5,8	02/94	10,6	04/99	51,7	06/04	118,1	08/09	148,8
11/83	29,9	01/89	4,1	03/94	23,9	05/99	90,7	07/04	153,9	09/09	75,0
12/83	11,7	02/89	8,1	04/94	39,8	06/99	119,3	08/04	149,3	10/09	66,2
01/84	5,9	03/89	27,2	05/94	79,6	07/99	154,6	09/04	97,2	11/09	32,5
02/84	13,7	04/89	33,4	06/94	118,5	08/99	143,5	10/04	61,2	12/09	16,6
03/84	21,3	05/89	77,4	07/94	162,6	09/99	87,4	11/04	19,4	01/10	8,8
04/84	54,8	06/89	107,4	08/94	147,1	10/99	54,0	12/04	9,0	02/10	18,1
05/84	49,7	07/89	149,0	09/94	85,9	11/99	17,6	01/05	2,1	03/10	31,0
06/84	113,5	08/89	139,4	10/94	50,9	12/99	9,3	02/05	3,2	04/10	54,0
07/84	161,9	09/89	92,4	11/94	25,2	01/00	4,3	03/05	27,0	05/10	71,1
08/84	132,5	10/89	58,6	12/94	11,8	02/00	15,8	04/05	51,7	06/10	112,2
09/84	94,8	11/89	24,4	01/95	6,5	03/00	30,7	05/05	95,6	07/10	159,5
10/84	49,4	12/89	18,6	02/95	14,9	04/00	36,8	06/05	120,9	08/10	147,7
11/84	22,4	01/90	4,1	03/95	23,0	05/00	74,1	07/05	158,2	09/10	98,6
12/84	10,8	02/90	18,4	04/95	30,1	06/00	125,0	08/05	149,2	10/10	49,0
01/85	4,0	03/90	30,3	05/95	98,1	07/00	156,8	09/05	90,7	11/10	21,5
02/85	17,8	04/90	31,8	06/95	107,8	08/00	147,2	10/05	57,3	12/10	17,0

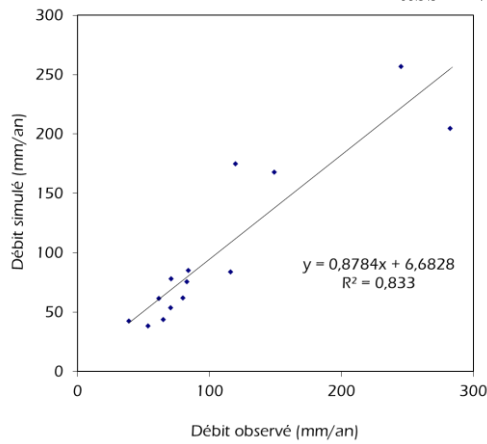
## Annexes

L'évapotranspiration (ETP) spatiale mensuelle à l'échelle du bassin versant de l'oued *El Abid*  
amont barrage *Bin El Ouidane*

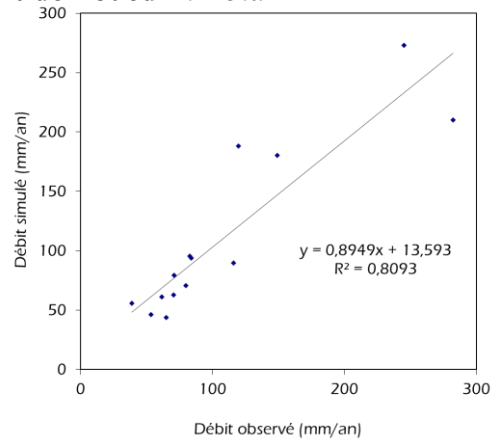
Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP	Date	ETP
01/80	10,7	03/85	25,2	05/90	77,3	07/95	153,4	09/00	94,9	11/05	24,2
02/80	16,8	04/85	43,7	06/90	114,3	08/95	144,2	10/00	45,2	12/05	11,6
03/80	24,2	05/85	62,4	07/90	153,5	09/95	82,5	11/00	25,4	01/06	4,4
04/80	44,1	06/85	116,5	08/90	143,6	10/95	60,1	12/00	17,0	02/06	9,4
05/80	72,6	07/85	153,5	09/90	102,9	11/95	34,0	01/01	11,7	03/06	33,3
06/80	110,3	08/85	150,6	10/90	56,6	12/95	19,1	02/01	14,1	04/06	53,9
07/80	156,9	09/85	102,0	11/90	28,9	01/96	16,4	03/01	39,4	05/06	88,4
08/80	154,4	10/85	62,0	12/90	12,5	02/96	12,6	04/01	52,1	06/06	115,4
09/80	102,2	11/85	30,0	01/91	8,4	03/96	25,1	05/01	76,5	07/06	165,4
10/80	54,3	12/85	12,2	02/91	10,5	04/96	50,3	06/01	134,7	08/06	148,2
11/80	25,0	01/86	8,6	03/91	23,4	05/96	74,5	07/01	155,5	09/06	99,1
12/80	6,2	02/86	16,0	04/91	41,9	06/96	112,7	08/01	144,9	10/06	64,5
01/81	8,0	03/86	26,1	05/91	71,8	07/96	153,7	09/01	80,4	11/06	31,0
02/81	12,9	04/86	34,3	06/91	125,2	08/96	134,1	10/01	66,5	12/06	9,5
03/81	37,9	05/86	92,0	07/91	152,1	09/96	85,2	11/01	24,8	01/07	11,0
04/81	37,5	06/86	105,7	08/91	150,6	10/96	59,3	12/01	17,8	02/07	19,5
05/81	73,7	07/86	156,9	09/91	98,3	11/96	27,8	01/02	14,3	03/07	27,3
06/81	119,8	08/86	144,5	10/91	46,4	12/96	17,2	02/02	19,3	04/07	39,0
07/81	151,6	09/86	100,4	11/91	25,5	01/97	14,8	03/02	27,0	05/07	77,8
08/81	131,0	10/86	54,1	12/91	11,5	02/97	21,2	04/02	41,1	06/07	122,0
09/81	97,3	11/86	25,8	01/92	8,7	03/97	32,2	05/02	76,2	07/07	165,9
10/81	62,5	12/86	9,8	02/92	12,4	04/97	46,0	06/02	123,6	08/07	146,0
11/81	32,6	01/87	11,7	03/92	22,9	05/97	78,3	07/02	155,8	09/07	91,4
12/81	18,2	02/87	16,8	04/92	45,6	06/97	109,7	08/02	133,5	10/07	56,7
01/82	11,5	03/87	32,8	05/92	80,9	07/97	141,5	09/02	92,8	11/07	28,8
02/82	15,5	04/87	58,5	06/92	91,1	08/97	129,3	10/02	63,3	12/07	11,9
03/82	30,0	05/87	77,8	07/92	149,1	09/97	93,3	11/02	29,8	01/08	12,2
04/82	42,0	06/87	115,3	08/92	145,6	10/97	62,6	12/02	20,0	02/08	15,8
05/82	75,7	07/87	140,6	09/92	100,8	11/97	32,4	01/03	7,4	03/08	33,9
06/82	124,3	08/87	141,2	10/92	50,7	12/97	17,6	02/03	13,4	04/08	56,1
07/82	162,0	09/87	112,4	11/92	25,9	01/98	6,9	03/03	33,3	05/08	70,7
08/82	138,9	10/87	51,7	12/92	15,9	02/98	19,6	04/03	45,7	06/08	128,9
09/82	103,4	11/87	23,6	01/93	7,7	03/98	31,8	05/03	89,2	07/08	163,9
10/82	64,7	12/87	17,0	02/93	10,0	04/98	48,8	06/03	124,6	08/08	151,3
11/82	23,0	01/88	9,3	03/93	28,3	05/98	66,0	07/03	159,0	09/08	90,2
12/82	6,1	02/88	14,6	04/93	44,9	06/98	120,7	08/03	144,2	10/08	45,9
01/83	8,1	03/88	29,0	05/93	72,3	07/98	157,1	09/03	103,3	11/08	16,2
02/83	12,5	04/88	48,5	06/93	119,0	08/98	154,8	10/03	53,5	12/08	9,6
03/83	38,0	05/88	66,8	07/93	158,9	09/98	95,7	11/03	23,6	01/09	5,6
04/83	47,0	06/88	96,2	08/93	143,8	10/98	55,6	12/03	13,5	02/09	11,4
05/83	68,5	07/88	162,2	09/93	80,7	11/98	26,5	01/04	10,0	03/09	28,0
06/83	120,9	08/88	157,6	10/93	50,8	12/98	10,1	02/04	14,8	04/09	41,1
07/83	142,5	09/88	105,8	11/93	23,2	01/99	8,8	03/04	26,9	05/09	85,4
08/83	137,1	10/88	56,8	12/93	14,5	02/99	8,6	04/04	43,3	06/09	116,1
09/83	104,1	11/88	27,2	01/94	7,3	03/99	24,2	05/04	60,1	07/09	168,9
10/83	64,8	12/88	8,4	02/94	13,3	04/99	54,8	06/04	120,5	08/09	153,4
11/83	33,2	01/89	6,3	03/94	27,3	05/99	93,1	07/04	157,6	09/09	78,4
12/83	14,5	02/89	11,1	04/94	42,5	06/99	122,1	08/04	153,6	10/09	70,3
01/84	8,6	03/89	30,3	05/94	81,4	07/99	157,8	09/04	101,6	11/09	35,8
02/84	16,1	04/89	35,6	06/94	121,4	08/99	147,5	10/04	64,9	12/09	19,1
03/84	24,3	05/89	79,7	07/94	166,7	09/99	90,3	11/04	22,7	01/10	11,0
04/84	58,0	06/89	109,8	08/94	150,4	10/99	57,7	12/04	11,6	02/10	20,6
05/84	51,5	07/89	153,4	09/94	88,7	11/99	20,6	01/05	4,1	03/10	33,9
06/84	115,2	08/89	144,1	10/94	54,4	12/99	12,0	02/05	5,5	04/10	56,9
07/84	165,7	09/89	96,2	11/94	28,8	01/00	6,5	03/05	30,6	05/10	73,2
08/84	136,3	10/89	62,3	12/94	14,5	02/00	18,7	04/05	54,4	06/10	113,6
09/84	98,4	11/89	27,5	01/95	8,9	03/00	34,4	05/05	98,0	07/10	163,1
10/84	53,1	12/89	21,4	02/95	17,6	04/00	39,2	06/05	123,5	08/10	152,2
11/84	25,6	01/90	6,3	03/95	26,5	05/00	76,3	07/05	161,1	09/10	102,6
12/84	13,7	02/90	21,0	04/95	32,9	06/00	128,0	08/05	154,3	10/10	52,4
01/85	6,2	03/90	33,5	05/95	100,7	07/00	159,9	09/05	94,8	11/10	24,1
02/85	20,7	04/90	34,4	06/95	109,9	08/00	152,0	10/05	60,9	12/10	19,9

Annex V

Bassin versant de l'oued *El Abid*

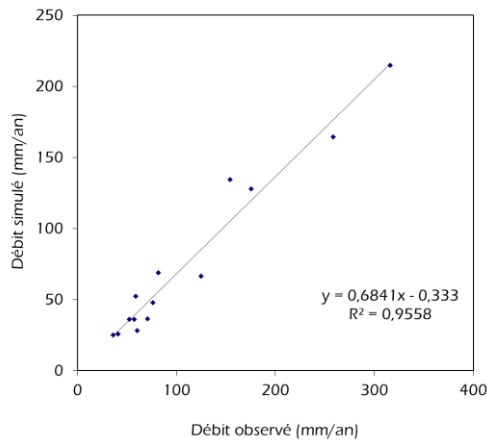


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (Pluie IDW)

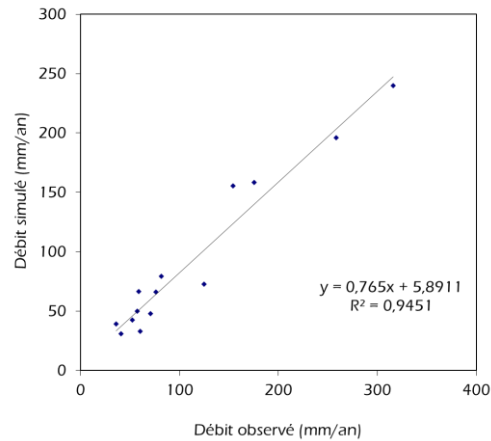


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (P. Myn arithmétique)

SBV oued *El Abid* à *Ait Ouchène*

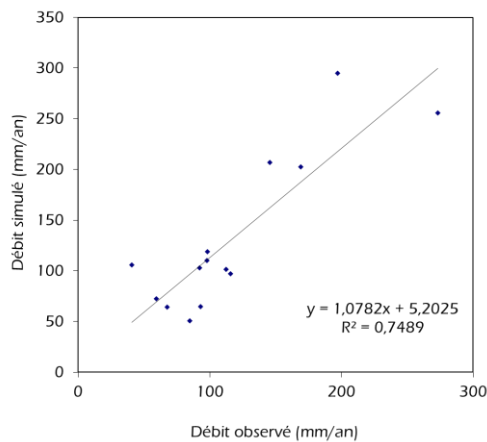


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (Pluie IDW)

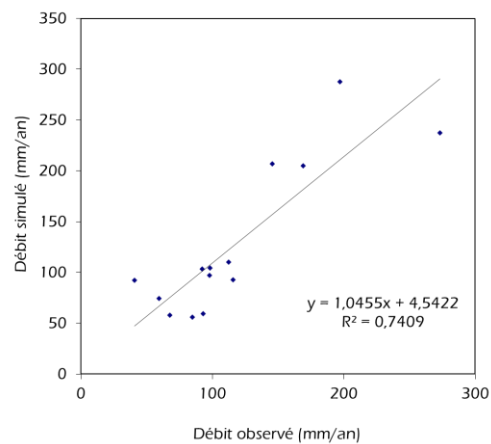


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (P. Myn arithmétique)

SBV de l'Assif *Ahançal*



Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (Pluie IDW)

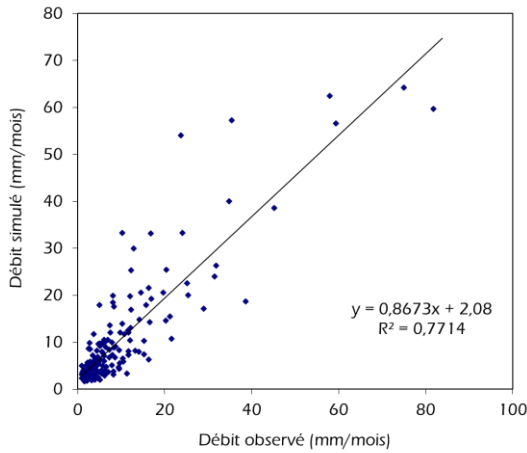


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données annuelles (P. Myn arithmétique)

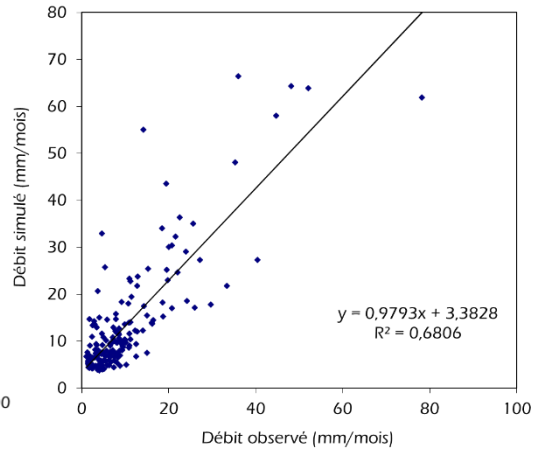


Annexe VI

Bassin versant de l'oued *El Abid*

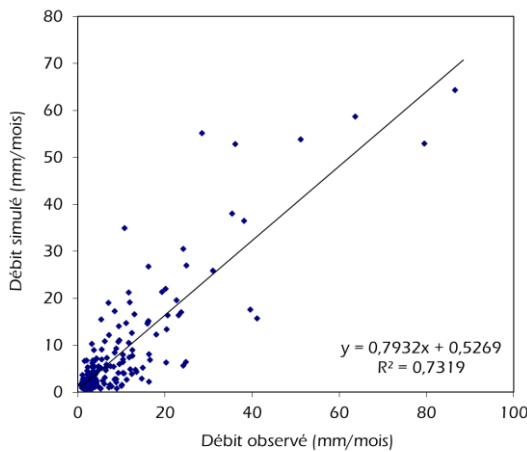


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (Pluie IDW)

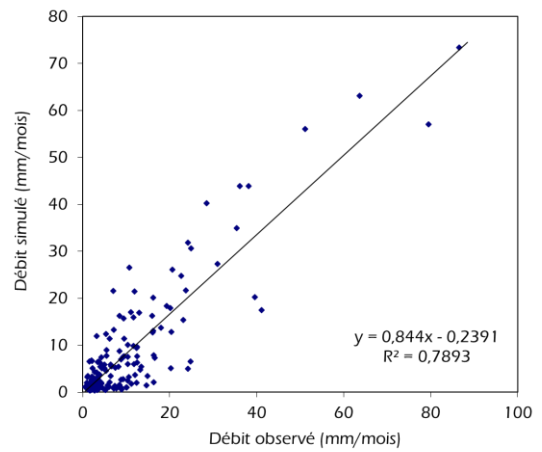


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (Pluie Myn arithmétique)

SBV oued *El Abid* à *Ait Ouchène*

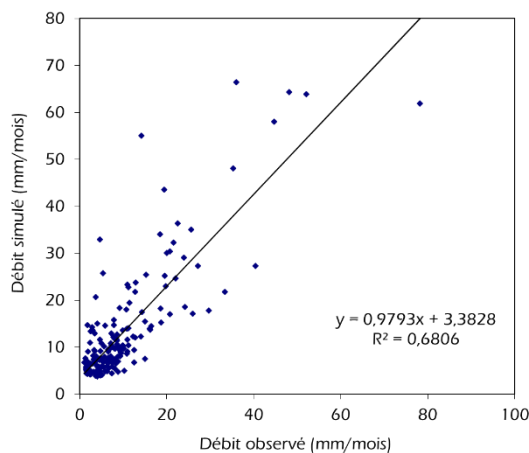


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (Pluie IDW)

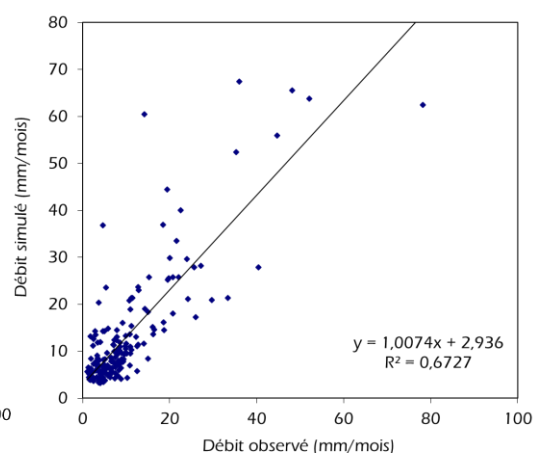


Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (P. Myn arithmétique)

SBV de l'*Assif Ahançal*



Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (Pluie IDW)



Corrélation des débit simulés et débits observés sur les données mensuelles (P. Myn arithmétique)

Annexe VII

Questionnaire

Date : .....  
 N° de questionnaire : .....  
 CDA : .....  
 Coordonnées : .....

**I- L'agriculteur**

- 1) Etat civil :  Célibataire  Marié  
 Divorcé  Veuf
- 2) Membre de la famille: .....
- 3) Niveau scolaire :  Analphabète  Msid  
 Primaire  Collège  
 Secondaire  Universitaire
- Niveau social**
- 4) Avez-vous une autre fonction ?  Oui  Non  
 Si oui :  Etat  Privé  Commerce  Autre
- 5) Le logement :  Propriété  location  Autre
- 6) Type de logement :  Moderne  Traditionnel  Mixte
- 7) Eau Potable :  Puit  ONEP
- 8) Réseau routier :  Proche  loin
- 9) Goudronnée :  Oui  Non

**II - L'exploitation**

- 10) Type de propriété :  Melk  Jmouâ  Location  
 Autre : .....

**Main d'œuvre**

- 11) Familiale  Oui  Non  
 12) Journalière  Oui  Non  
 13) Saisonnière  Oui  Non  
 14) Permanente  Oui  Non

**Outils de production**

- 15) Machines agricoles :  Tracteur agricole  Moissonneuse-batteuse  
 Botteleuse  Autres: .....

- 16) Transport :  Camion  Pickup : .....

- 17) Moyen de transport :  Bicyclette  Motocycle  Voiture

- 18) Comment vous choisissez vos cultures :  
 ORMVAT  Rendement  Quantité d'eau  Autre

**Ressources en eau**

- 19) Est-ce que vous choisissez les cultures les moins consommatrices d'eau ?  
 Oui  Non
- 20) Est-ce que vous êtes conscient de la problématique des ressources en eau ?  
 Oui  Non
- 21) L'Origine des Ressources en eau utilisées pour l'irrigation :  
 Eaux de Barrage  Puits
- 22) Type d'irrigation :  Gravitaire  Aspersion  Goutte à goutte
- 23) Si c'est le gravitaire, avez-vous pensé de le convertir en système économe en eau ?  
 Oui  Non
- 24) Si non, pourquoi ? .....
- 25) Selon vous, les volumes d'eau des canaux d'irrigation sont suffisants pour les cultures ?  
 Oui  Non
- 26) Selon vous, ces prix sont-ils :  
 Trop chères  Chères  Convenables
- 27) Quand est-ce que vous utilisez les eaux des puits ?  
 Retard de tour  Sècheresse  Prix d'eau  
 Insuffisance des eaux de réseau  Autre

**Mode d'exploitation**

- 28) Assolement  Oui  Non
- 29) Est-ce que vous laissez la terre en jachère (Mise en jachère) :  
 Oui  Non Durée : ..... Mois
- 30) Comment vous choisissez les engrais et les phytosanitaires ?  
 Guide agricole  Marchand  Agriculteur  Autre

**Le Rendement**

- 31) Selon vous, est-il :  
 Très satisfaisant  Satisfaisant  Moyen  Mauvais
- 32) Est-il :  En Croissance  Stable  En décroissance
- 33) Il couvre les dépenses :  Oui  Non
- 34) Vous exploitez les revenus pour :  
 Acheter du matériel  Renouveler les outils de production  
 Améliorer votre niveau de vie  Autre : .....

**Eleavage**

- 35) Est-ce que vous élevez des bétails :  Oui  Non
- 36) Quel type d'élevage adoptez-vous?  
 Moderne  Traditionnel  Intensif  Extensif
- 37) **Les Marchés :**  
 Hebdomadaires  Oui  Non  
 D'autres villes de la région  Oui  Non  
 D'autres villes d'autres régions  Oui  Non  
 Internationales  Oui  Non

## Annexes

		Céréale	Luzerne	Orangers	Bett. suc.	Oignon	Niora
<b>Sup. (ha)</b>							
<b>Loc. (dh/ha)</b>							
<b>Labour</b>	Nbr MO						
	Nbr JT						
	Dh/jr						
	Chges Mchn						
<b>Sem sains</b>	Qtit						
	Prix						
<b>Sem sélect</b>	Qtit						
	Prix						
<b>Eau. Canal</b>	Nbr d'irr						
	Nbr heure						
<b>Eau. Puit</b>	Nbr d'irr						
	Nbr heure						
<b>Lghbar</b>	Qtité						
	chges						
<b>Engrais</b>	Qtité						
	Prix						
	Personne						
<b>Phyto-sanytaire</b>	Qtité						
	chges						
	Personne						
<b>Autre opération</b>							
<b>Récolte arrachage</b>	Nbr Jr Tr						
	Nbr MO						
	Chrg Pers						
	Chrg mchn						
<b>Botte-lage</b>	Nbr Jr Tr						
	Nbr MO						
	Chrg Pers						
	Chrg mchn						
<b>Charges de Trans</b>							
<b>Prod. Princip.</b>	Tonnes/ha Qt/ha						
	PU						
	Remarques						
<b>Prod. Second.</b>	Tonnes/ha Bottes/ha						
	PU						
	Remarques						

## Liste des figures

Titre	Page
Figure 1 : Organigramme de la problématique de l'étude	16
Figure 2 : Schéma de l'organisation de l'étude	21
Figure 3 : Localisation de la zone de l'étude	22
Figure 1.1 : Situation des deux sous bassins versants de l'oued El Abid à Ait Ouchène et de l'Assif Ahançal à Tilouguite	27
Figure 1.2 : Les grandes unités de relief du bassin versant de l'oued El Abid	38
Figure 1.3 : Les tranches d'altitudes à l'échelle du bassin versant de l'oued El Abid	38
Figure 1.4 : Courbes hypsométriques et histogrammes des fréquences des tranches d'altitudes du bassin versant de OEA et de ses sous bassins.	40
Figure 1.5 : Répartition spatiale des classes des pentes dans le BVOEA	45
Figure 1.6 : Classification du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued El Abid selon la méthode de STRAHLER	48
Figure 1.7 : Cours d'eau principal des deux sous bassins versants de l'oued El Abid et de l'Assif Ahançal	50
Figure 1.8 : Le profil en long du cours d'eau principal de l'oued El Abid et de ses principaux affluents	51
Figure 1.9 : Le profil en long du cours d'eau principal de l'Assif Ahançal et de ses principaux affluents	51
Figure 2.1 : Carte géologique du BVOEA amont barrage Bin El Ouidane	61
Figure 2.2 : Coupes géologiques de différents endroits du bassin versant de l'oued El Abid	62
Figure 2.3 : Colonnes stratigraphiques du : (a) : Autour du Jbel Azourki, (b) Synclinale de Ouauizeght, (c) : Vallée de l'Assif Ahançal	64
Figure 2.4 : Coupe géologique de la région des plateaux des lacs	68
Figure 2.5 : Coupe structural de la ride de Tasraft	69
Figure 2.6 : Carte de perméabilité du substratum du bassin versant de l'oued El Abid	71
Figure 2.7 : Perméabilité (en %) des formations lithologiques du bassin versant de l'oued El Abid et ses deux sous bassins versants	73
Figure 2.8 : les sources d'eau et les principales zones karstiques du bassin versant de l'oued El Abid	76
Figure 3.1 : Les principales forêts du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane	83
Figure 3.2 : Organigramme de la méthodologie adoptée pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol	95
Figure 3.3 : Évolution de l'occupation du sol dans le BV de l'oued El Abid entre 1984 et 2014.	100
Figure 3.4 : Evolution temporelle des superficies des classes d'occupation des sols entre 1984, 2000 et 2014	102
Figure 4.1 : Carte de situation des stations hydroclimatiques utilisées	112
Figure 4.2 : Résultats du test de BUISSHAND appliqué à la pluviométrie annuelle des stations du bassin de l'oued El Abid	118

Figure 4.3 : Répartition altitudinale des stations pluviométriques par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle	118
Figure 4.4 : Diagramme ombrothermique de la station de Tilouguite	120
Figure 4.5: Situation des stations pluviométriques de la région du bassin versant dans le climagramme d'Emberger	122
Figure 4.6 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie des cinq stations du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane (1980-2012)	125
Figure 4.7 : L'écart à la moyenne annuelle pluviométrique des cinq stations situées dans le bassin versant (1980/2012)	130
Figure 4.8 : Classification des moyennes annuelles pluviométriques des stations situées dans le bassin versant par l'indice de SPI	133
Figure 4.9 : Chronologie des valeurs de la première composante principale	135
Figure 4.10 : la projection de 11 variables dans le plan des deux premières composantes	137
Figure 4.11 : la projection de 11 variables dans le plan du deuxième et troisième composantes	137
Figure 4.12 : variation des moyennes pluviométriques spatiales du bassin versant par la méthode du Thiessen et IDW	139
Figure 4.13 : Spatialisation des précipitations moyenne annuelles. a) par la méthode de l'Inverse du Carré de la Distance (IDW) et b) par la méthode de Polygones de Thiessen	140
Figure 4.14 : Pourcentage de stations déficitaires par rapport à la période de référence 1980-2012	141
Figure 4.15 : variabilité mensuelle des précipitations à l'échelle du bassin versant de l'oued El Abid amont barrage Bin El Ouidane	144
Figure 4.16 : Carte de situation des deux sous bassins versants et leurs cours principaux	145
Figure 4.17 : Variation annuelle du débit de l'Assif Ahançal à la station de Tillouguite (1980/81 – 2010/11)	146
Figure 4.18 : Variation annuelle du débit de l'oued El Abid à la station d'Ait Ouchène (1980/81 – 2010/11)	147
Figure 4.19 : Variation mensuelle du régime hydrométrique de l'oued El Abid à Ait Ouchène et Assif Ahançal à Tilouguite (1980/81-2010/11)	147
Figure 4.20 : l'écart à la moyenne annuelle des débits de l'oued El Abid et Assif Ahançal (1980/2010)	150
Figure 4.21 : Corrélation entre la pluviométrie annuelle spatialisée et les débits moyens annuels des deux stations hydrométriques (1980/81-2010/11)	152
Figure 5.1 : Fonctionnement du modèle GR2M et ses équations mathématiques (MOUELHI et al, 2006b)	161
Figure 5.2 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du BVOEA avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.	166
Figure 5.3 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du BVOEA avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.	167
Figure 5.4 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV d'Ait Ouchène avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.	168
Figure 5.5 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV d'Ait Ouchène avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.	169

Figure 5.6 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV de Tilouguite avec pluies calculées par méthode IDW entre 1980/81 et 2010/11.	170
Figure 5.7 : Hydrogramme de calibration des débits observés et débits simulés au niveau du SBV de Tilouguite avec pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.	171
Figure 5.8 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le bassin versant de l'oued El Abid à Bin El Ouidane avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.	172
Figure 5.9 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'oued El Abid à Ait Ouchène avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.	173
Figure 5.10 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'Assif Ahançal à Tillouguite avec des pluies calculées par IDW entre 1980/81 et 2010/11.	173
Figure 5.11 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le bassin versant de l'oued El Abid à Bin El Ouidane avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11	174
Figure 5.12 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'oued El Abid à Ait Ouchène avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.	174
Figure 5.13 : Tracés des hydrogrammes observés et calculés par GR2M pour le sous bassin versant de l'Assif Ahançal à Tillouguite avec des pluies calculées par moyenne arithmétique entre 1980/81 et 2010/11.	175
Figure 6.1 : L'évolution des apports du barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14	191
Figure 6.2 : l'évolution de l'écart à la moyenne des apports du barrage de Bin El Ouidane	191
Figure 6.3 : la fréquence des apports du Barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14	192
Figure 6.4 : L'évolution des apports du barrage de Bin El Ouidane et de de la pluviométrie moyenne entre 1987/88 et 2010/11	193
Figure 6.5 : évolution des débits de l'oued El Abid et de l'Assif Ahançal et des apports en eau entre 1987/88 et 2010/11.	194
Figure 6.6 : Variation mensuelle des apports en eau au barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14.	196
Figure 6.7 : évolution des pertes d'eau par évaporation entre 1987/88 et 2013/14	197
Figure 6.8 : variation mensuelle des volumes d'eau évaporée	198
Figure 6.9 : évolution du volume des eaux perdues par les fuites	198
Figure 6.10 : évolution des volumes d'eau évacuées par vidange du fond.	199
Figure 6.11: évolution des volumes d'eau turbinée au barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14	200
Figure 6.12 : évolution des réserves de la retenue du barrage de Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14.	201
Figure 6.13 : variation de la superficie du plan d'eau de la retenue du barrage Bin El Ouidane en 1994, 1996 et 2017. Visualiation sur des images satellites LandSat.	204
Figure 6.14: évolution du bilan hydrique de la retenue du barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14	205



---

Figure 6.15 : Evolution des prélèvements d'eau pour l'irrigation du périmètre de Béni Moussa à partir du barrage Bin El Ouidane entre 1987/88 et 2013/14	206
Figure 7.2 : Les canaux principaux d'irrigation	217
Figure 7.3 : Schémas d'un périmètre avant et après l'aménagement hydro-agricole	219
Figure 8.1 : Les différentes charges étudiées des cultures choisies	240
Figure 8.2 : répartition spatiale des exploitations enquêtées	241
Figure 8.3 : les paramètres influençant la production agricole	242
Figure 8.4 : les volumes d'eau d'irrigation attribués (en m <sup>3</sup> /ha) aux différentes cultures choisies	259
Figure 8.5 : Pourcentage des différentes charges variables de la production de chaque type de culture	262
Figure 9.1 : type de propriété des exploitations enquêtées	280
Figure 9.2 : les sortes de l'utilisation des revenus de l'agriculture irriguée	282

## Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau 1.1 : paramètres de surface, de périmètre et de forme des bassins versants étudiés	35
Tableau 1.2 : Les tranches d'altitudes et les types de reliefs correspondants	36
Tableau 1.3 : Les caractéristiques hypsométriques des deux sous bassins versants	37
Tableau 1.4 : Altitudes caractéristiques du bassin versant de l'oued El Abid et ses deux sous bassins	39
Tableau 1.5 : La pente moyenne du BV de l'oued El Abid et ses sous bassins élémentaires	41
Tableau 1.6 : Classification du relief selon la dénivelée spécifique (Ds) par l'ORSTOM	43
Tableau 1.7 : Paramètres de pente du bassin versant de l'oued El Abid	43
Tableau 1.8 : Classes de pentes en pourcentage dans le BVOEA et ses deux SBV	44
Tableau 1.9 : la pente moyenne des deux cours d'eau principaux de l'oued El Abid et Assif Ahançal	53
Tableau 1.10 : Récapitulation des paramètres morphométriques des trois bassins versants	55
Tableau 3.1 : les caractéristiques des images Landsat utilisées.	93
Tableau 3.2 : Coefficients de capacité de rétention pour chacune des classes d'occupation des sols	96
Tableau 3.3 : Matrice de confusion de la classification des images LandSat (1984, 2000 et 2014)	98
Tableau 3.4 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 1984 et 2000	101
Tableau 3.5 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 2000 et 2014	101
Tableau 3.6 : Évolution de l'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 1984 et 2014	102
Tableau 3.7 : Évolution du coefficient de rétention (Cr) dans le bassin versant entre 1984 et janvier 2014	103
Tableau 4.1 : les stations hydroclimatiques utilisées et leurs sources	111
Tableau 4.2 : nombre des années présentant des lacunes	113
Tableau 4.3 : Segmentation de HUBERT appliquée à la pluviométrie annuelle des stations du bassin de l'oued El Abid	117
Tableau 4.4 : des valeurs du SPI et le caractère correspondant	126
Tableau 4.5. Caractéristiques des années sèches pour les différentes stations (1980/2012)	127
Tableau 4.6 : Caractéristiques des années humides pour les différentes stations (1980/2012)	127
Tableau 4.7 : Fréquence de l'indice de sécheresse (SPI) de toutes les stations retenues	134

Tableau 4.8 : Composantes sélectionnées et paramètres à prendre en compte dans l'ACP.	135
Tableau 4.9: Corrélations entre les variables-stations et l'axe 2	136
Tableau 4.10 : Fréquence des années déficitaires et excédentaires du régime hydrométrique des deux cours d'eau (1980/81 à 2010/11).	141
Tableau 5.1 : valeurs des deux paramètres du modèle GR2M	162
Tableau 5.2 : Paramètres et critères d'optimisation du modèle pluie-débit GR1A	171
Tableau 5.3 : paramètres et critères d'optimisation du modèle pluie-débit GR2M	172
Tableau 5.4 : Résultats de calage et de validation du modèle GR1A avec données de précipitation de IDW.	176
Tableau 5.5 : Résultats de calage et de validation du modèle GR1A avec données de précipitation de moyenne arithmétique	176
Tableau 5.6 : Résultats de calage et de validation du modèle GR2M avec données de précipitation de IDW	177
Tableau 5.7 : Résultats de calage et de validation du modèle GR2M avec données de précipitation de moyenne arithmétique	178
Tableau 7.1 : Superficies des terrains concernés par la reconversion selon les périmètres irrigués	227
Tableau 7.2 : structure foncière des exploitations agricoles dans le périmètre du Tadla	230
Tableau 8.1 : Nombre d'exploitations enquêtées selon le type de culture	243
Tableau 8.2 : Les charges des travaux du sol des cultures étudiées	250
Tableau 8.3 : Coûts moyens des intrants des différents types de cultures	253
Tableau 8.4 : les charges de l'eau d'irrigation pour chaque type de culture	254
Tableau 8.5 : les charges de la récolte selon le type de culture	256
Tableau 8.6 : les charges de la main d'œuvre par opération effectuée et par culture	258
Tableau 8.7 : les charges totales des différents types de cultures	261
Tableau 9.1 : les rendements principaux et secondaires des cultures.	266
Tableau 9.2 : l'estimation de la valeur de production des cinq types de cultures	268
Tableau 9.3 : La marge brute et la marge nette des cultures choisies	270
Tableau 9.4 : Taux de marge selon les types de culture	271
Tableau 9.5 : La rentabilité des différentes cultures choisies	272
Tableau 9.6 : la valorisation de l'eau d'irrigation par la valeur de production des six cultures choisies	273
Tableau 9.7 : la valorisation de l'eau d'irrigation par la marge brute tiré de la production des six cultures choisies	274
Tableau 9.8 : L'état civil des agriculteurs enquêtés	278

## Liste des photos

Titre	Page
Photo 3.1: forêt de Chêne vert (Près de Tagleft)	90
Photo 3.2 : forêt du Genévrier rouge dans les versants sud du jbel Chittou (gorges de l'Assif Melloul)	90
Photo 3.3 : Arbres de Genévrier thurifère très dispersées dans le haut plateau d'Ait Abdi	90
Photo 3.4 : Mélange de forêts de Genévrier rouge et de Chêne vert dans le bassin de Tagleft	91
Photo 3.5 : forêt de Genévrier thurifère dans le plateau d'El Houanêt	91
Photo 3.6: armoise des hautes altitudes froides sèches (près du Jbel Azourki)	91
Photo 3.7 : forêt du Pin d'Alep dans le SIB de Tamga (près de la Cathédrale d'Amsefrane)	91
Photo 6.1 : Les gorge de l'oued El Abid avant la construction du barrage Bin El Ouidane	183
Photo 6.2 : La cuvette d'Ouaouizerht avant la construction du barrage Bin El Ouidane	183
Photo 6.3 : La cité d'Ait Ouarda dans laquelle les travailleurs ont été logé.	186
Photo 6.4 : L'utilisation des exploifs pour extrtaire des materiaux de construction	187
Photo 6.5 : Des enjins pour tranporter les matériaux de construction au site du barrage Bin El Ouidane	187
Photo 6.6 : Tapis roulants aériens ayant permis l'acheminement des agrégats après leurs concassage	187
Photo 6.7 : Les deux bétonnières utilisées pour le transfert des bétons au barrage sont encore un témoin de l'ère de la constrction du barrage Bin El Ouidane	187
Planche de photos 6.8 : La mie en eau de la retenue du barrage Bin El Ouidane ; a) le souk hebdomadaire d'El Had, au fond du lac Bin El Ouidane avant la mise en eau, b) le premier jour de la mie en eau après l'achèvement du barrage, c) la submersion des constructions après la mise en eau.	188
Photo 6.9 : Le barrage de compensation d'Ait Ouarda à l'aval de Bin El Ouidane	189
Photo 6.10 : Des travailleurs chargés du creusement de la galerie Ait Ouarda–Afourer sous les massifs de Tazerkount.	189
Photo 6.11 : apports très faibles de l'oued El Abid en période sèche (embouchure de l'oued dans le barrage)	194
Photo 6.12 : apports très faibles du cours de l'Assif Ahançal en période de basses eaux (embouchure du cours d'eau dans le barrage)	195

Photo 6.13 : apports de l'oued El Abid en période de hautes eaux.	195
Photo 6.14 : La dégradation du couvert végétal a pour conséquence un envasement notable du barrage Bin El Ouidane.	202
Photo 6.15 : Volume des sédiments apportés et déposés au fond de la retenue de Bin El Ouidane	203
Photo 6.16 : régression notable de la réserve du barrage Bin El Ouidane à 207,46 Mm3 en novembre 2017	303
Photo 6.17 : niveau minimal de la réserve d'eau (16,9%) du barrage de Bin El Ouidane enregistré le 19/11/2017	303
Photo 7.1 : la retenue du barrage de Bin El Ouidane	216
Photo 7.2 : le barrage de compensation d'Ait Ouaârda	216
Photo 7.3 : les eaux transférées par la galerie Ait Ouaârda-Afourer	216
Photo 7.4 : Déviateur des eaux d'irrigation vers le canal G et T.	216
Photo 7.5 : la construction du canal G pour l'irrigation de Béni Moussa Ouest	218
Photo 7.6 : Vue aérienne du tracé du canal D destiné à l'irrigation du Béni Moussa Est	218
Photo 7.7 : Vue aérienne de l'embouchure du canal intermédiaire dans l'oued Oum Er Rbia	218
Photo 7.8 : Vue panoramique du périmètre de Béni Moussa au début de l'aménagement hydroagricole	220
Photo 7.9 : Unité de contrôle et du transfert des eaux des canaux d'irrigation	231
Photo 7.10: canal à ciel ouvert des eaux d'irrigation	231
Photo 7.11: Canal tertiaire de l'irrigation du périmètre de Béni Moussa	231
Photo 8.1 : Culture des céréales en irrigué	243
Photo 8.2 : Culture de la Luzerne en irrigué	244
Photo 8.3 : Parcelle de culture du Betterave à sucre.	245
Photo 8.4 : Plante de la culture de l'oignon en irrigué	246
Photo 8.5 : une exploitation des agrumes	246
Photo 8.6 : pépinière de préparation de Niora avant la transplantation	247
Photo 8.7 : culture de Niora dans la parcelle en stade de maturation	247
Photo 8.8 : mesure du tonnage du produit de Niora avant le séchage	247
Photo 8.9 : Le séchage de Niora après la récolte et avant la transformation à Béni Moussa.	247
Photo 8.10 : un sol après un travail profond	249
Photo 8.11 : un sol laissé à sécher avant la confection sagaia	249
Photo 8.12 : Charrue à disque utilisé pour les travaux du sol superficiels	249
Photo 8.13 : un agriculteur irrigue une parcelle par le système gravitaire.	254
Photo 8.14 : sol humecté après irrigation montrant la masse d'eau énorme gaspillée	254

Photo 8.15 : Parcelle après la collecte des foins.	256
Photo 8.16 : Bottes de paille après la collecte et le pressage des résidus de foins	256
Photo 8.17 : Luzerne après fauchage lassé à sécher avant le pressage	256
Photo 8.18 : Bottes de Luzerne après le pressage	256
Photo 8.19 : feuilles de Betterave à sucre lassées à sécher sur terre	257
Photo 8.20 : Feuilles sèches de la Betterave à sucre pressées et ballées (cas très rare).	257
Photo 8.21 : volume important d'eau perdue par débordement	260
Photo 8.22 : volume gigantesque d'eau conduits par un canal secondaire	260
Photos 9.1 et 9.2: L'utilisation des panneaux solaires dans le périmètre de Béni Moussa pour le pompage des eaux souterraines et les déverser dans les canaux d'irrigation	275
Photo 9.3 : Eau souterraine pompée avec des volumes excessifs	276
Photo 9.4 : quantité de bouteilles de gaz utilisées pour pomper les eaux	276
Photo 9.5 : un bassin réservoir utilisé en système d'irrigation goutte-à-goutte	277
Photo 9.6 : exemple d'une moyenne exploitation utilisant le système de goutte-à-goutte pour l'irrigation des agrumes	277
Photo 9.7 : forme de gaspillage de l'eau d'irrigation au niveau des canaux d'irrigation en amont de la parcelle	277
Photo 9.8 : le volume d'eau gaspillé par le système d'irrigation gravitaire et la Robta	277
Photo 9.9 : exemple d'un logement bien aménagé d'un agriculteur disposant une exploitation de moyenne taille	279
Photo 9.10 : exemple d'un logement sans finition et non bien aménagé	279
Photo 9.11 : ramasseuse-presse utilisée pour mettre les pailles en botte	281
Photo 9.12 : exemple d'un matériel mécanique simple utilisé pour la fauche de la Luzerne	281
Photo 9.13 : exemple d'un petit agriculteur disposant d'une micro-exploitation de la Luzerne exploitée pour l'élevage.	283
Photo 9.14 : élevage traditionnel des bovins dans une exploitation de moyenne taille	283