



*N° d'ordre 04/2021*

# THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**Mme Maroua HIMEDI**

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

**Sujet de thèse :** Gestion intégrée des ressources en eau et étude des risques d'inondation dans le périmètre urbain de Fès

Thèse présentée et soutenue le Jeudi 07 Janvier 2021

Devant le jury composé de :

| Nom Prénom                | Titre | Etablissement                                 |                    |
|---------------------------|-------|-----------------------------------------------|--------------------|
| Hassan TABYAQUI           | PES   | Faculté Polydiscipline de Taza                | Président          |
| Abdelkarim ELARRIM        | PES   | Faculté des Sciences et Technique de Tanger   | Rapporteur         |
| Abdelhadi ELOUALI         | PES   | Faculté des Sciences de Mèknes                | Rapporteur         |
| Lahcen BENAABIDATE        | PES   | Faculté des Sciences et Techniques de Fès     | Rapporteur         |
| Mohamed BENABDELHADI      | PES   | Faculté des Sciences et Techniques de Fès     | Examineur          |
| Hind CHERKAQUI            | PH    | Faculté des Sciences et Techniques EL Hocaïma | Examineur          |
| DAKAKI Abderrahim LAHRACH | PES   | Ecole Nationale des Sciences Appliquées Fès   | Directeur de thèse |

Laboratoire d'accueil : **Ecologie Fonctionnelle et Génie de l'Environnement (EFGE)**

Etablissement : **Faculté des Sciences et Techniques de Fès**

**Soutiens de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat, Maroc**

## Résumé

La région de Fès se situe au niveau de la plaine de Saïss entre les chaînes du Moyen Atlas et du Rif. Elle est parcourue par un réseau hydrographique constitué de l'oued Fès et ses affluents. L'étude de la gestion intégrée dans cette région pour les ressources en eaux nous a permis de définir deux grands systèmes un naturel et un autre sociale. Ces deux derniers sont composées de plusieurs sous-systèmes inter-indépendants et qui sont le climat, l'irrigation, l'agriculture, le relief et l'industrie.

La nappe de Fès connaît un déficit de 136,9 Mm<sup>3</sup>/an qui s'explique par une alimentation déficitaire. En effet le climat de la région a connu plusieurs périodes de sécheresse et les prélèvements n'ont pas cessé d'augmenter au niveau de cette nappe. La grande majorité de l'irrigation agricole se fait par des prélèvements directs depuis les nappes (73 %). L'eau potable est puisée essentiellement (81%) des eaux profondes et sa consommation ne cesse d'augmenter pour satisfaire la population grandissante de la ville de Fès (taux de croissance de 2,9%). La pollution est présente à cause de l'utilisation des produits phytosanitaires dans cette agriculture déraisonnée et à cela s'ajoute également les rejets industriels.

La gestion de l'eau est fondée sur une approche participative impliquant les usagers, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux. Malheureusement nous avons constaté un manque d'implication des institutions concernées et de coordination entre les différents organismes (ABHS, ABHM, ONEP, RADEEF) et d'autre part un déficit en matière de gouvernance pour l'eau. Une planification spatiale et temporelle des activités et une hiérarchisation des besoins sont nécessaires et devraient être accompagnées de propositions de mesures visant à économiser l'eau et à l'utiliser de manière rationnelle.

L'étude climatique du bassin versant d'Oued Fès montre que le climat se développe sur trois étages bioclimatiques humide (station d'Ifrane), subhumide (station de Sefrou) et limite semi-aride (station de Fès Saïss). Les fluctuations des pluies interannuelles montrent des oscillations qui varient entre séries sèches (1979-1981 et 1981-1995) et séries humides (2008 - 2011).

L'origine principale du risque d'inondation pour la ville de Fès est le débordement des eaux de l'oued Fès pendant les périodes pluvieuses. Des aménagements ont été réalisés en 1992 mais malheureusement les crues de 2008 ont montré l'insuffisance de ces aménagements. Pour répondre à ce problème nous avons adopté une étude hydrologique dans la Médina de R'cif jusqu'à Bin Lamdoune le long d'un tronçon de l'oued Fès de 330m avec des seuils de 3m. L'aménagement de seuils a pour conséquence la création de plan d'eau ce qui amplifie le risque de débordement pour les débits importants (deux cas ont fait l'objet de simulation 20 m<sup>3</sup>/s et 70 m<sup>3</sup>/s). Ce ci montre donc que les ouvrages hydrauliques proposés sont insuffisants pour transiter la crue et de ce fait des aménagements complémentaires doivent être envisagés. La première c'est procéder à la surélévation des rives du canal et la deuxième c'est d'installer des seuils mobiles, il s'agit de vannes "tout ou rien".

**Mots clés :** Gestion intégrée de l'eau, Risque d'inondation, bassin versant de l'oued Fès, climat, modélisation hydrologique.

## Abstract

The region of Fez is located at the level of the plain of Saïss between two mountain ranges : The Middle Atlas and the Rif. A hydrographic network runs through it, consisting of the Oued Fez and its tributaries. The integrated management study of water resources in this region has allowed us to define two major systems: a natural and a social one. These systems are composed of several interdependent sub-systems: climate, irrigation, agriculture, topography, and industry.

The water table of Fez has a deficit of 136,90 Mm<sup>3</sup>/year, which can be explained by a supply shortage. The region has experienced several periods of drought and the water table withdrawals have continued to increase. In fact, the vast majority of agricultural irrigation is done through direct withdrawals from the water table (73%). Drinking water is drawn essentially (81%) from deep water and its consumption is constantly increasing to satisfy the growing population of the city of Fez. Pollution is present due to the use of phytosanitary products in this aggressive agriculture, in addition to industrial discharges.

Water management is based on a participatory approach involving users, planners, and policy makers at all levels. Unfortunately, we have noticed a lack of involvement of the respective institutions and coordination between the different organizations (ABHS, ABHM, ONEP, RADEEF) as well as a deficit in terms of water governance. Spatial and temporal planning of activities and prioritization of needs are necessary and should be accompanied by the proposals on how to conserve water and use it sensibly.

The climatic study of the Oued Fez catchment area shows that the climate contains three distinct bioclimatic areas: humid (Ifrane station), subhumid (Sefrou station), and semi-arid boundary (Fez Saïss station). Interannual rainfall fluctuations show oscillations that vary between dry series (1979-1981 and 1981-1995) and wet series (2008 - 2011).

The main threat of flooding for the city of Fez comes from water overflowing from the Oued Fez during rainy periods. Some developments were carried out in 1992 but unfortunately the 2008 floods showed their inadequacy. To address this problem, we have adopted a hydrological study from the R'cif medina to Bin Lamdoune along a 330m section of Oued Fez with 3m weirs. The installation of weirs results in the creation of water bodies, which amplifies the risk of overflowing in cases of large water influxes (two cases were simulated at 20 m<sup>3</sup>/s and 70 m<sup>3</sup>/s). This shows that the proposed hydraulic structures are insufficient to handle the flood, and therefore, additional developments must be considered. The first one is to raise the banks of the canal and the second one is to install mobile weirs, the latter being "all or nothing" gates.

**Keywords:** Integrated water management, flood risk, ouef fes watershed, climatic, hydrological modelling.

## ملخص

تقع منطقة فاس على مستوى سهل سايس بين سلسلات الأطلس المتوسط والريف. يتم اجتيازها من قبل نظام المياه يتكون من واد فاس وروافده. وقد أتاح لنا دراسة الموارد المائية في هذه المنطقة نظامين رئيسيين، أحدهما طبيعي والآخر اجتماعي. وتتكون الأخيرتان من عدة نظم فرعية مستقلة، وهي المناخ والري والزراعة والصناعة.

تعرف الفرشة المائية بفاس عجزا قدره  $136,90 \text{ Mm}^3$  سنويا وهذا راجع إلى نقص اللأمدادات المائية. وقد شاهد مناخ المنطقة عدة فترات من الجفاف ولم يتوقف الاستهلاكات عن الازدياد على مستوى هذه المنطقة. وفي الواقع، فإن الأغلبية من الري الزراعي تتم عن طريق استخراج المباشر من المياه الجوفية (73 في المائة). وتسحب مياه الشرب أساسا (81 في المائة) من المياه العميقة ويستمر استهلاكها في الازدياد لإرضاء كثافة السكان المتزايدة في مدينة فاس.

ويتواجد التلوث بسبب استخدام الغير العقلاني لمنتجات وقاية النباتات في الزراعة كما يضاف إلى ذلك نفايات صناعية. وتقوم إدارة المياه على نهج تشاركي يشمل المستعملين والمخططين وصانعي القرارات على جميع المستويات. للأسف وجدنا عدم المشاركة والتنسيق للمؤسسات المعنية بين مختلف الهيئات والوكالات (ABHS، ABHM، ONEP، RADEEF) ومن ناحية أخرى وجود عجز في إدارة المياه؛ لذا فمن الضروري التخطيط المكاني والزمني للأنشطة وتحديد أولويات الاحتياجات، التي ينبغي أن تكون مصحوبة بمقترحات بشأن تدابير جديّة لحفظ المياه واستخدامها على نحو رشيد.

تظهر دراسة المناخ لمستجمعات المياه في واد فاس أن المناخ يتطور على ثلاث طبقات: من المناخ الحيوي الرطب (محطة إفران) وشبه رطب (محطة صفرو) والحدود شبه القاحلة (محطة فاس سايس). وتظهر التقلبات في الأمطار بين السنوات تذبذبات، تتفاوت بين السلاسل الجافة (1979-1981 و 1981-1995) والسلاسل الرطبة (2008-2011).

المصدر الرئيسي لخطر الفيضانات لمدينة فاس هو فيضان مياه واد فاس خلال الفترات الممطرة، وقد حدثت تطورات في عام 1992، ولكن الفيضانات التي حدثت في عام 2008 أظهرت للأسف عدم كفاية هذه التجهيزات. لمعالجة هذه المشكلة اعتمدنا دراسة هيدرولوجية في المدينة القديمة من الرصيف إلى بين لمدون على امتداد 330م لواد فاس مع عتبات 3 متر. ويؤدي تطور العتبات إلى إنشاء مخططات من المياه، مما يزيد من خطر حدوث فيضان للتدفقات الكبيرة (وقد تمت بين حالتين  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ ). وهذا يدل على أن الأعمال الهيدروليكية المقترحة غير كافية لعبور الفيضان، وبالتالي يجب النظر في تطورات إضافية: الأولى هو رفع ضفاف القناة ، والثانية هو تركيب عتبات متحركة، فهي صمامات "كل شيء أو لا شيء".

## Remerciements

*J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadrant : **M.LAHRACH Abderahim**. Je tiens à le remercier pour son accompagnement et son soutien tout au long de cette thèse et pour la grande confiance qu'il m'a accordée, pour ses précieux conseils, son esprit positif et les belles idées de recherche qu'il m'a prodiguées.*

*Je tiens aussi à présenter mes remerciements les plus distinguées aux membres de jury ; M. **BENAABIDATE Lahcen**, M. **BENABDELHADI Mohamed**, Mme. **CHERKAOUI DAKAKI Hind**, M. **ELOUALI Abdelhadi**, M. **ELARRIM Abdelkarim** et M. **TABYAOUI Hassan**.*

*A toute ma famille, j'adresse mes sincères remerciements.*

## Introduction générale

L'eau constitue un des éléments fondamentaux et familiers de notre vie quotidienne. Les ressources en eau font l'objet d'un intérêt accru de la part des organisations internationales, des gouvernements ainsi que de la communauté scientifique. Ce n'est que depuis les périodes de sécheresse enregistrées en 1990 au royaume que la prise de conscience nous a conduit à reconsidérer, la question de l'eau et l'importance de ces enjeux liés à sa disponibilité et son utilisation. Au niveau international, la première conférence mettant en évidence les enjeux que représentent les ressources en eau a été celle de Mar Del Plata (Argentine) en 1977, qui a précédé la décennie internationale de l'eau (1980-1990). D'autres conférences internationales ont vu le jour, et se sont tenues à Dublin et à Rio de Janeiro en 1992, puis celui de Kyoto ce qui a permis l'élaboration du concept de la gestion intégrée de l'eau

Pour le Maroc, la question du modèle de gestion qui ne perturbe pas les écosystèmes existants est revenue plusieurs fois pour enfin aller vers une gestion intégrée dans tout le royaume. Elle repose sur la valorisation de la ressource, la gestion de la demande et de l'offre ainsi que la lutte contre les effets dévastateurs des inondations.

Ce présent travail de recherche s'intéresse à la région de Fès qui se situent au niveau de la pleine de Saïss entre les chaînes du Moyen Atlas et du Rif. Nous allons étudier la gestion intégrée dans sa globalité avec une approche systémique qui repose sur une vision holistique, qui constitue selon mon point de vue une alternative incontournable pour comprendre et analyser les systèmes qui peuvent nous générer des problématiques ou être un obstacle de gestion (Schwarz, 1996). Et pour mener à bien ce travail nous allons étudier le bassin d'oued Fès de point de vue géologique pour connaître le substratum des écoulements. Puis une étude hydrologique et hydrogéologique nous permettra de préciser les napes et les aquifères ainsi que les ressources en eau souterraine mobilisables pour répondre au bien être environnemental, social et économique des usagers.

Dans les années 1950 et 1989 la ville de Fès a connu des crues excessivement violentes qui ont causé de très importants dégâts. Notre deuxième partie se focalisera sur l'étude d'inondation de l'un des principaux oueds de la ville de Fès qui est très peu étudié à cause de l'absence des données hydrométriques. Nous allons d'abord procéder à une analyse climatologique du bassin oued Fès pour caractériser les précipitations et leurs intensités ainsi que l'évolution climatique sur une période de 39 ans. L'étude hydrologique va nous permettre de déceler la réponse du bassin versant.

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, nous avons aussi procédé à l'exécution de plusieurs simulations hydrauliques en régime permanent pour les deux états actuel et aménagé par des seuils, à fin de comparer la capacité des ouvrages hydrauliques proposés. Tout d'abord, nous allons définir dans la Médina de Fès la zone la plus exposée au risque d'inondation et nous allons établir en suite un tronçon de 330m de l'oued Fès à l'aide du logiciel HEC-RAS, le choix de ce tronçon repose sur l'expansion de l'agglomération urbaine au tour du lit de l'oued. Puis nous allons procéder à des modélisations hydrauliques du même logiciel. L'élaboration d'un seuil avec HEC-RAS va être réalisée par l'entrée des données géométriques des points

superficiels de section considérée les distances entre les sections et les débits. Ce ci vas nous permettre de calculer l'élévation de la ligne d'eau pour des écoulements graduellement variés et d'obtenir les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers ainsi que les vitesses d'écoulement dans chaque section.

# Table des matières

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Résumé.....                                                                         | 2  |
| Abstract .....                                                                      | 3  |
| <i>Remerciements</i> .....                                                          | 5  |
| Introduction générale.....                                                          | 6  |
| Table des matières .....                                                            | 6  |
| Liste des figures.....                                                              | 12 |
| Liste des tableaux.....                                                             | 15 |
| <b>Chapitre 1 : CADRE THEORIQUE DE LA GESTION INTEGREE</b> .....                    | 16 |
| I. Gestion intégrée au Maroc.....                                                   | 16 |
| Gestion de l'eau au Maroc .....                                                     | 16 |
| Objectifs stratégiques du Maroc pour les ressources en eau .....                    | 17 |
| 1- Pressions sur les ressources en eaux.....                                        | 17 |
| 2- Recommandations pour une meilleure gouvernance du secteur de l'eau au Maroc..... | 18 |
| 3- .....                                                                            |    |
| 4- II. Gestion intégrée en globalité et son cadre théorique .....                   | 18 |
| Gestion des ressources en eau.....                                                  | 18 |
| 1- Concept de la gestion intégrée des ressources en eau .....                       | 19 |
| 2- .....                                                                            |    |
| 3- Intégration des organes de gestion.....                                          | 20 |
| 3.1 Contraintes sur l'intégration des organes de gestions.....                      | 21 |
| 4- Intégration des instruments de gestion .....                                     | 22 |
| <b>Chapitre 2 : LA VILLE DE FES ET SON CONTEXTE</b> .....                           | 24 |
| I. Situation de la zone d'études : .....                                            | 24 |
| II. Découpage administratif et évolution de l'espace urbanisé.....                  | 25 |
| 1- III. Situation du bassin versant de l'oued Fès .....                             | 26 |
| 2- IV. Cadre géologique et hydrogéologique .....                                    | 27 |
| 3- Cadre Géologique Régional .....                                                  | 27 |
| 4- .....                                                                            |    |
| 5- Géologie de la ville de Fès .....                                                | 28 |
| Contexte géologique du bassin de Sebou .....                                        | 29 |
| 1- Contexte hydrogéologique du bassin de Sebou.....                                 | 34 |
| 2- .....                                                                            |    |
| 3- Relief.....                                                                      | 37 |
| V. Cadre socio-économique.....                                                      | 38 |
| 1- Population de la région de Fès .....                                             | 38 |
| Taux d'accroissement de la population.....                                          | 39 |
| Activité économique de la ville de Fès .....                                        | 40 |
| VI. Ressources en eau .....                                                         | 44 |
| Ressources en eau souterraine mobilisables dans le bassin de Sebou.....             | 44 |

|    |                                                                                                         |    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|    | Ressources en eau de surface .....                                                                      | 47 |
|    | 2.1- Pluviométrie moyenne du bassin.....                                                                | 47 |
|    | 2.2- Variations spatiales .....                                                                         | 47 |
|    | 2.3 Variations interannuelles .....                                                                     | 48 |
| 2- | Qualité des ressources en eau .....                                                                     | 49 |
|    | 3.1 Réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines.....                                            | 49 |
|    | 3.2 Recommandations d'amélioration.....                                                                 | 51 |
| 3- | 4 Qualité de l'eau de surface.....                                                                      | 52 |
|    | 4.1 Etat des milieux aquatiques et des zones humides dans le bassin du Sebou .....                      | 52 |
|    | 4.2 Suivis de la qualité de l'eau .....                                                                 | 52 |
|    | La demande en eau dans la ville de Fès .....                                                            | 54 |
|    | 5.1 Demande en AEPI .....                                                                               | 54 |
| 5- | 5.2 Demande en eau pour l'Irrigation .....                                                              | 55 |
|    | 6- Menaces et enjeux de la région .....                                                                 | 56 |
|    | Chapitre 3 : L'APPROCHE SYSTEME DE la GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LA VILLE DE FES ..... | 58 |
|    | I. Gestion intégrée dans la ville de Fès.....                                                           | 58 |
| 1- | Application de la structure système ressource .....                                                     | 59 |
| 2- | Structure ressources :.....                                                                             | 60 |
| 3- | L'eau Potable .....                                                                                     | 61 |
| 4- | L'irrigation .....                                                                                      | 63 |
| 5- | L'eau comme élément de développement de la région : .....                                               | 64 |
|    | II. Évaluation de la ressource.....                                                                     | 66 |
| 1- | Utilisation des ressources en eau.....                                                                  | 67 |
| 2- | III. Législation et Réglementation de l'eau .....                                                       | 67 |
| 3- | L'eau potable .....                                                                                     | 69 |
|    | Tarification de l'eau.....                                                                              | 71 |
| 4- | 3.1- Tarification en eau potable dans la ville de Fès .....                                             | 71 |
|    | 3.2- Assainissement .....                                                                               | 72 |
|    | Demande en eau potable .....                                                                            | 74 |
| 5- | 4.1 Population du bassin se Sebou.....                                                                  | 74 |
|    | 4.2 Besoin en AEP .....                                                                                 | 74 |
|    | 4.3 Eau comme élément de développement de l'industrie.....                                              | 76 |
|    | 4.4 Eau comme élément de développement de l'agriculture.....                                            | 77 |
|    | L'inondation dans la gestion intégrée .....                                                             | 79 |
|    | <b>Conclusion :</b> .....                                                                               | 79 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapitre 4 : LA REPONSE ET LA PHYSIOGRAPHIEHYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS .....          | 81  |
| Caractéristique morphométriques.....                                                        | 81  |
| 1.1 Indices morphométriques .....                                                           | 81  |
| Délimitation et cartographie du bassin versant.....                                         | 83  |
| 2.1- Calcule des indices morphométries de l'Oued Fès et ses affluents : .....               | 84  |
| 1- Caractéristiques topographiques : une énergie de relief assez faible .....               | 85  |
| 3.1 Topographie du bassin d'Oued Fès .....                                                  | 85  |
| 2- 3.2 Pentés du bassin versant d'Oued Fès.....                                             | 86  |
| 3- 5.3 Le Dénivelé .....                                                                    | 87  |
| Chapitre 5 : Etude climatique du bassin versant d'Oued Fès.....                             | 89  |
| Introduction.....                                                                           | 89  |
| I. Présentation des postes d'observation climatique et choix des chroniques adéquates ..... | 89  |
| II. Le contexte local du climat.....                                                        | 91  |
| III. Contraste spatiotemporel des températures.....                                         | 93  |
| IV. Variations spatiales des précipitations moyennes annuelles .....                        | 94  |
| Méthode de Thiessen.....                                                                    | 95  |
| 1- Méthode de SPLINE.....                                                                   | 96  |
| 2- V. Variations interannuelles .....                                                       | 97  |
| VI. Variations temporelles des précipitations mensuelles .....                              | 98  |
| 1- Précipitations moyennes mensuelles.....                                                  | 98  |
| 2- Précipitations mensuelles maximales .....                                                | 99  |
| 3- Distributions des précipitations saisonnières .....                                      | 101 |
| 1- VII. Variations et intensités des précipitations annuelles .....                         | 102 |
| 2- Variation interannuelle de l'effectif des jours pluvieux .....                           | 102 |
| 3- Distribution mensuelle .....                                                             | 102 |
| Précipitation journalières maximales.....                                                   | 103 |
| Conclusion .....                                                                            | 104 |
| Chapitre 6 : RISQUES D'INONDATION ET ETUDE HYDROLOGIQUE .....                               | 106 |
| Introduction.....                                                                           | 106 |
| I. Crue et inondation.....                                                                  | 106 |
| 1- Types des crues .....                                                                    | 107 |
| 2- Historique des inondations à Fès .....                                                   | 109 |
| 2- Sites inondables et mesures préventives.....                                             | 111 |
| 2.1 Diagnostic de la situation existante .....                                              | 111 |
| 2.2 Mesures préventives .....                                                               | 114 |
| V. Etude hydrologique .....                                                                 | 115 |

|     |                                                                               |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1-  | Estimation des temps de concentration .....                                   | 115 |
| 1.1 | Présentation des formules empiriques utilisées .....                          | 115 |
| 1.2 | Résultats et discussions.....                                                 | 117 |
| 2-  | Estimation des débits de pointe pour les différentes périodes .....           | 118 |
| 2.1 | Présentation des formules empiriques régionales utilisées .....               | 118 |
| 2.2 | Résultats des calculs des débits de pointe par les différentes formules ..... | 120 |
| IV. | Modélisation de la réponse hydrologique .....                                 | 121 |
|     | Description du logiciel HEC-RAS .....                                         | 122 |
| 2-  | Etape et donnée d'entrée .....                                                | 122 |
| 3-  | Elaboration du modèle du bassin versant.....                                  | 123 |
| 1-  | 3.1 Paramétrage morpho-métrique et hydrographique des bassins versants .....  | 124 |
|     | 3.2 .La topographie.....                                                      | 125 |
| 4-  | Coefficient de ruissellement des terrains : méthode Runoff Curve Number.....  | 125 |
| 5-  | Classification et cartographie de la capacité de ruissellement des sols ..... | 126 |
| 6-  | Cartographie et classification de l'occupation du sol.....                    | 127 |
| 7-  | Cartographie du coefficient de ruissellement des terrains.....                | 128 |
| 8-  | Pluie maximale journalière de différents temps de retour .....                | 129 |
| V.  | RESULTAT ET DISCUSSION .....                                                  | 132 |
| 1-  | Modélisation de l'état actuel .....                                           | 132 |
| 2-  | Etat aménagée par des seuils.....                                             | 133 |
|     | Conclusion .....                                                              | 137 |
|     | Conclusion générale .....                                                     | 138 |
|     | Références bibliographiques .....                                             | 141 |
|     | ANNEXE 1 .....                                                                | 146 |
|     | ANNEXE 2 .....                                                                | 151 |
|     | ANNEXE 3 .....                                                                | 153 |
|     | ANNEXE 4 .....                                                                | 161 |
|     | ANNEXE 5 .....                                                                | 172 |
|     | Liste des abréviations .....                                                  | 178 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Politique de la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc. DGH, 2018 .....                                                                                               | 16 |
| Figure 2: Structure simplifiée d'un système de gestion des ressources en eau (Reynard, 2000) .....                                                                                        | 19 |
| Figure 3 : Double processus d'intégration « verticale » et « horizontale » de la gestion des ressources en eau. (Reynard, 2000). .....                                                    | 20 |
| Figure 4 : Contraintes sur l'intégration des organes de gestion (Reynard, 2000). .....                                                                                                    | 22 |
| Figure 5 : Intégration des organes de gestion les instruments (Reynard, 2000). .....                                                                                                      | 23 |
| Figure 6 : Carte de situation de la ville de Fès (HCP, 2016). .....                                                                                                                       | 24 |
| Figure 7: le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Fès .....                                                                                                                     | 25 |
| Figure 8 : Carte du découpage administratif d'Oued Fès .....                                                                                                                              | 26 |
| Figure 9 : Carte de situation du bassin versant de l'Oued Fès .....                                                                                                                       | 27 |
| Figure 10 : carte de la géologie de la zone Fès-Mèknes, (SRAT-Fès, 2013). .....                                                                                                           | 28 |
| Figure 11 : Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille du Gharb et pré-rif Occidental au 1/200.000ème (ABHS, 2011) .....                                          | 29 |
| Figure 12 : Zones structurales du bassin de Sebou (ABHS, 2010) .....                                                                                                                      | 30 |
| Figure 13: Carte géologique générale du bassin de Sebou (ABHS 2012) .....                                                                                                                 | 32 |
| Figure 15: Volume des eaux de surface et .....                                                                                                                                            | 35 |
| Figure 14: Volume des eaux de surface et souterraines utilisées pour l'irrigation (Abhs, 2014) .....                                                                                      | 35 |
| Figure 16 : Carte Topographique d'Oued Fès .....                                                                                                                                          | 38 |
| Figure 17 : Répartition de la population de la préfecture de Fès selon les quartiers (RGPH, 2014) .....                                                                                   | 39 |
| Figure 18: Taux d'accroissement de la population des Provinces et des Préfectures entre 2004 et 2014. (Ministère de l'Intérieur Direction Générale des Collectivités Locales, 2015) ..... | 40 |
| Figure 19 : Répartition des nombreuses unités industrielles de la région de Fès (RGPH, 2017). .....                                                                                       | 41 |
| Figure 20 : Evolution de la production et de la superficie des céréales entre 2014-2016 .....                                                                                             | 42 |
| Figure 21 : Evolution de la production et de la superficie des légumineuses 2014-2016 .....                                                                                               | 43 |
| Figure 22: Carte de synthèse des flux circulant des nappes du bassin de Sebou, (ABHS 2011) .....                                                                                          | 44 |
| Figure 23: Différents types et volumes des sorties des nappes du bassin de Sebou .....                                                                                                    | 44 |
| Figure 24: Ressources en eau souterraine mobilisables (Mm³/an) des différentes nappes du Sebou ..                                                                                         | 45 |
| Figure 25: Volumes des entrées et sorties des nappes du bassin de Sebou .....                                                                                                             | 46 |
| Figure 26 : Bilans hydrauliques des nappes du bassin de Sebou .....                                                                                                                       | 47 |
| Figure 27: Evolution des apports en eau de surface du bassin du Sebou .....                                                                                                               | 48 |
| Figure 28: Répartition globale de la qualité des eaux souterraines .....                                                                                                                  | 49 |
| Figure 29: Etat de la qualité globale des nappes (ABHS, 2011) .....                                                                                                                       | 51 |
| Figure 30 : Qualité des eaux de surface, (ABHS, 2011) .....                                                                                                                               | 54 |
| Figure 31 : besoins moyens en AEP industrielle par différent horizon. ....                                                                                                                | 55 |
| Figure 32: Structure du système EAU dans la ville de Fès .....                                                                                                                            | 59 |
| Figure 33 : Structure du sous-système « Ressources » de la ville de Fès .....                                                                                                             | 60 |
| Figure 34: Structure du système « Eau potable » dans la ville de Fès .....                                                                                                                | 62 |
| Figure 35 : Structure du sous-système « Irrigation » dans une zone urbaine. ....                                                                                                          | 63 |
| Figure 36 : Structure système de l'eau dans le développement économique urbain .....                                                                                                      | 65 |
| Figure 37: Structure du cycle de l'eau .....                                                                                                                                              | 66 |
| Figure 38 : Plan des ouvrages principaux et des canalisations principales de distribution d'eau potable, (RADEEF, 2019) .....                                                             | 70 |
| Figure 39: Redevance Fixe eau potable. (RADEEF, 2020) .....                                                                                                                               | 72 |
| Figure 40: Redevance de consommation domestique eau potable. (RADEEF, 2020) .....                                                                                                         | 72 |
| Figure 41 : Redevance de consommation autre type d'usage. (RADEEF, 2020) .....                                                                                                            | 72 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 42: Redevance proportionnelle usage domestique. (RADEEF, 2020) .....                                                                            | 73  |
| Figure 43: Redevance proportionnel en usage administration. (RADEEF, 2020) .....                                                                       | 73  |
| Figure 44: redevance proportionnel en usage hôtel industrie. (RADEEF, 2020).....                                                                       | 73  |
| Figure 45: Synthèse de la structure de tarification de la ville de Fès.....                                                                            | 73  |
| Figure 46: Besoins en eau potable en Mm <sup>3</sup> /an (ABHS, 2011) .....                                                                            | 75  |
| Figure 47: Extension du bassin versant de l'Oued Fès .....                                                                                             | 84  |
| Figure 48: Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued Fès (Taltasse, 1953). .....                                                        | 85  |
| Figure 49 : Cartes des pentes du bassin versant Oued Fès .....                                                                                         | 86  |
| Figure 50 : Localisation des stations et postes pluviométriques .....                                                                                  | 90  |
| Figure 51 : Climagramme des gradients bioclimatiques altitudinaux dans les différents domaines marocains et quelque station du bassin d'Oued Fès. .... | 92  |
| Figure 52 : Diagramme ombrothermique à Ifrane et à Fès (1980 - 2010), (ABHS, 2011) .....                                                               | 92  |
| Figure 53 : Températures moyennes mensuelles de la station à Fès-Saïss 1979-2018 .....                                                                 | 93  |
| Figure 54 : Températures moyennes mensuelles à Ifrane 1979-2018 .....                                                                                  | 93  |
| Figure 55 : Températures moyennes maximales et minimales de la station de Fès (1979-2018) .....                                                        | 94  |
| Figure 56 : Températures moyennes maximales et minimales de la station d'Ifrane.....                                                                   | 94  |
| Figure 57: Pluies moyennes annuelles (1978-2010) dans 20 stations du bassin versant de l'Oued Fès                                                      | 95  |
| Figure 58: Carte du polygone de Thiessen.....                                                                                                          | 96  |
| Figure 59: Spatialisation pluviométrique par la méthode Spline .....                                                                                   | 97  |
| Figure 60 : Pluies interannuelles des stations, Fès Saïss, Sefrou et Ifrane (1979-2018).....                                                           | 98  |
| Figure 61: Précipitation moyennes mensuelles à Fès-Saïss (1979-2018) .....                                                                             | 99  |
| Figure 62 : Précipitations moyennes mensuelles (mm/mois) aux stations d'Ifrane, Sefrou 1979-2018                                                       | 99  |
| Figure 63 : Précipitations mensuelles maximales aux stations Fès Saïss et Fès ABHS (mm/mois), 1979-2018.....                                           | 100 |
| Figure 64 : Précipitations mensuelles maximales (mm/mois) à Ifrane 1979-2018 .....                                                                     | 100 |
| Figure 65 : Précipitations mensuelles maximales (mm/mois) à Sefrou 1979-2018 .....                                                                     | 101 |
| Figure 66 : Précipitations moyennes saisonnières annuelles de Fès Saïss 1979-2018, .....                                                               | 101 |
| Figure 67 : Effectif des jours pluvieux à Fès ABHS, Sefrou et Ifrane (1979-2018).....                                                                  | 102 |
| Figure 68 : Distribution mensuelle de la moyennes des jours pluvieux à Fès saïss, Sefrou et Ifrane 1979-2018, .....                                    | 103 |
| Figure 69 : Précipitations journalières maximales au niveau des stations Fès Saïss, Ifrane et Sefrou pendant les années 1979-2018 .....                | 103 |
| Figure 70 : Les précipitations journalières maximales à l'échelle mensuelle .....                                                                      | 104 |
| Figure 71 : Principaux termes lies a la notion du risque (Dequincey, 2017). .....                                                                      | 107 |
| Figure 72 : Carte des cours d'eau et situation des quartiers .....                                                                                     | 110 |
| Figure 73 : Inondation dans la ville de Fès 1950. ADA Fès, 1950 .....                                                                                  | 111 |
| Figure 74 : Le tissu urbain de la ville de Fès et le réseau hydrographique .....                                                                       | 111 |
| Figure 75: partie amont du bassin versant de l'Oued El Mehras .....                                                                                    | 112 |
| Figure 76 : Canyon de l'oued Aïn Smen (1990) .....                                                                                                     | 114 |
| Figure 77: schématisation des modèles utilisés, ESRI.....                                                                                              | 121 |
| Figure 78 : Elaboration du modèle de bassin versant d'Oued Fès.....                                                                                    | 124 |
| Figure 79: plan des profils en travers sur le cours d'eau d'Oued Fès.....                                                                              | 125 |
| Figure 80: Occupation du sol dans le bassin versant d'oued Fès.....                                                                                    | 127 |
| Figure 81: Carte des coefficients des ruissellements selon la méthode Runoff Curve Number.....                                                         | 129 |
| Figure 82: Localisation des postes et station pluviométrique .....                                                                                     | 130 |
| Figure 83 : Les ajustements statiques des Pmax/24h à la loi de GUMBEL.....                                                                             | 131 |
| Figure 84: Profil en long de la ligne d'eau pour le débit 70m <sup>3</sup> /s.....                                                                     | 133 |
| Figure 85 : profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit (0.1m <sup>3</sup> /s) .....                                                     | 134 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Figure 86: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit (<math>0.5 \text{ m}^3/\text{s}</math>). .....</i>   | 135 |
| <i>Figure 87: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit de (<math>20 \text{ m}^3/\text{s}</math>).....</i>   | 136 |
| <i>Figure 88: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour le débit de (<math>70 \text{ m}^3/\text{s}</math>). .....</i> | 136 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1: Bilan des ressources en eau de la nappe du couloir de Fès-Taza, (ABHS 2016) .....                                          | 37  |
| Tableau 2 : Répartition de la population de la région de Fès en 2014 (RGPH, 2014) .....                                               | 39  |
| Tableau 3 : superficie cultivé des céréales 2015-2016 (Haut-commissariat au plan, 2017). .....                                        | 41  |
| Tableau 4 : Evolution de la production et de la superficie des céréales (Haut-commissariat au plan, 2017).....                        | 42  |
| Tableau 5: Evolution de la production et de la superficie des légumineuses (Haut-commissariat au plan, 2017).....                     | 42  |
| Tableau 6: Chiffre d'Affaires de l'Artisanat. Ministère de l'Artisanat, 2014.....                                                     | 43  |
| Tableau 7 : Synthèse des bilans des nappes du bassin de Sebou .....                                                                   | 45  |
| Tableau 8 : Ecoulements annuels moyens dans le bassin du Sebou. Pdaire, 2011 .....                                                    | 49  |
| Tableau 9: Densité du réseau de contrôle de la qualité des nappes du bassin du Sebou .....                                            | 50  |
| Tableau 10: les superficies irrigables, (DIAEA, 2018) .....                                                                           | 55  |
| Tableau 11: Evolution de la population du bassin de Sebou, par milieu de résidence .....                                              | 74  |
| Tableau 12 : Besoins en eau potable en Mm3/an, (ABHS 2011).....                                                                       | 75  |
| Tableau 13 : Ratios d'Azote et de Phosphore lessivés dans les sols .....                                                              | 78  |
| Tableau 14 : Ratios d'Azote et de Phosphore lessivés dans les sols .....                                                              | 78  |
| Tableau 15: Correspondance entre la valeur de KG et le type de réponse hydrologique attendue. Roche, 1963 in Obda, 1991 et 2004. .... | 82  |
| Tableau 16: Superficie des sous bassins versants.....                                                                                 | 83  |
| Tableau 17: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Fès et ses cinq sous-bassins versants .....                  | 85  |
| Tableau 18 : Correspondance type de relief et le Dénivelé spécifique ; (P. Dubreuil et J.Guiscafr, 1971) .....                        | 87  |
| Tableau 19 : Dénivelé du bassin versant de l'Oued Fès et ses affluents.....                                                           | 87  |
| Tableau 20 : Coordonnées des stations et des postes des données climatiques observées (ABHS, 2011).....                               | 89  |
| Tableau 21: Les coordonnées et les paramètres moyens annuels des stations de Fès Saïss et Ifrane..                                    | 90  |
| Tableau 22: Variation de la pluviométrie annuelle (1979-2018) à Fès-saïss, Ifrane, Sefrou .....                                       | 97  |
| Tableau 24 : Temps de concentration calculés par les différentes formules.....                                                        | 117 |
| Tableau 25 : Temps de concentration estimés pour les différents oueds .....                                                           | 117 |
| Tableau 26 : Valeurs des paramètres K1 et K2 pour quelques régions du Maroc (ABHS, 2011). .....                                       | 119 |
| Tableau 27 : Caractéristiques géométriques et coefficients régionaux des sous bassins versants.....                                   | 119 |
| Tableau 28 : Résultats des calculs des débits de pointe par les différentes formules .....                                            | 120 |
| Tableau 29 : Débits retenue pour les sous bassins .....                                                                               | 120 |
| Tableau 29: Nature des Sols et groupe selon SSURGO .....                                                                              | 126 |
| Tableau 30 : Coefficient de ruissèlement selon le type de sol, (NRCS, 1986) .....                                                     | 128 |
| Tableau 31: Résultats des ajustements des Pmax/24h à la loi de GUMBEL .....                                                           | 132 |
| Tableau 32: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour les sections 6,7 et 8 .....                                     | 133 |
| Tableau 33: Les débits utilisés dans la simulation HEC-RAS.....                                                                       | 134 |
| Tableau 34: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour la section 10 .....                                             | 135 |
| Tableau 35: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour la section 15 .....                                             | 136 |

# Chapitre 1 : CADRE THEORIQUE DE LA GESTION INTEGREE

## I. Gestion intégrée au Maroc

### Gestion de l'eau au Maroc

L'eau constitue une culture ancestrale dans la civilisation marocaine. Au IXème siècle les Idrissides avaient fondé la ville Fès grâce à sa situation par rapport à l'eau. Ces derniers, l'ont équipée de dizaines de kilomètres de conduire d'eau et ils ont favorisé la constitution d'une <sup>1</sup>corporation pour les gérer. Depuis son indépendance en 1956, le Maroc a consacré à l'eau toute l'attention qu'elle mérite et a mené une politique de gestion des ressources en eau qui a permis une mobilisation relativement efficiente des ressources conventionnelle.

Le diagnostic de la situation existante montre qu'il y'a un manque de coordination entre le ministère délégué chargé de l'eau et le conseil supérieur de l'Eau et du Climat. En plus, la commission interministérielle de l'eau est inactive, et les agences du bassin hydraulique sont peu efficace à cause de leur manque d'autonomie décisionnelle et des dotations financières et des moyens humains insuffisant (DGH, 2018).

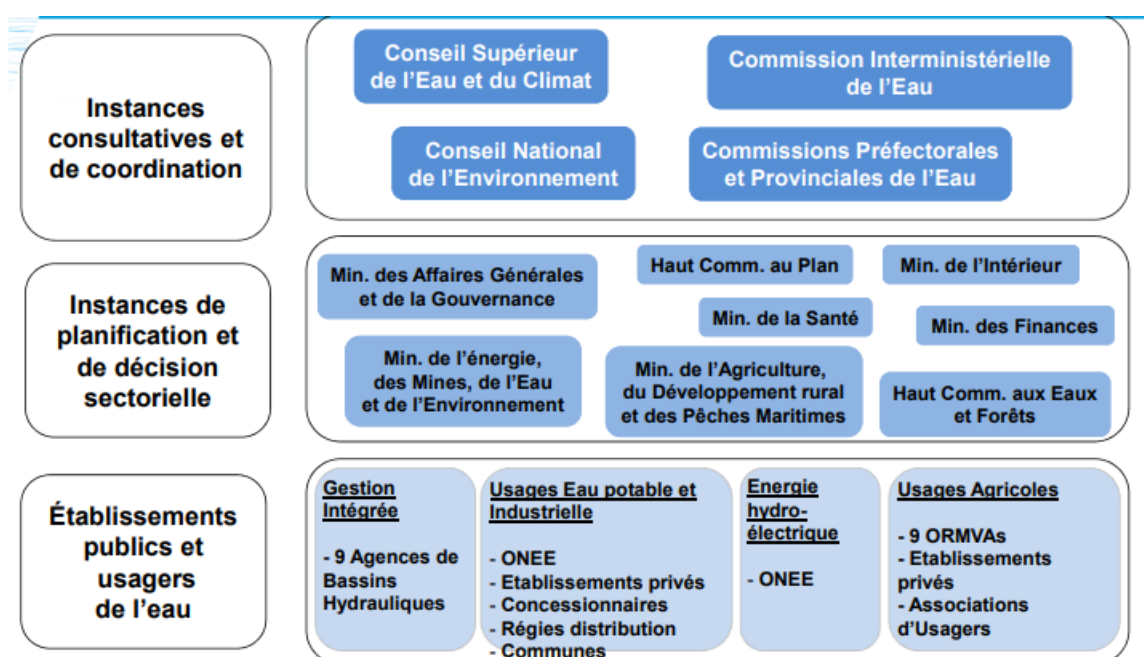


Figure 1 : Politique de la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc. DGH, 2018

Suite à la publication de la loi 10-95. Le Maroc veut porter une vision partagée des parties prenantes (fig. 1) d'une gestion intégrée commune et participative des ressources en eau, tout en mettant l'accent sur la valorisation de la ressource en prenant compte des risques liés à la surexploitation des nappes et la pollution. Sans oublier le principe « préleveur payeur » et « pollueur payeur ».

## Objectifs stratégiques du Maroc pour les ressources en eau

Les objectifs stratégiques du Maroc dans le secteur de l'eau peuvent être axés comme ci-dessous :

2-

- La gestion de la demande la valorisation de l'eau mobilisée à travers : Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) et l'amélioration des réseaux de distribution urbains et d'adduction d'eau vers les périmètres irrigués.
- La gestion de l'offre à travers le renforcement de la mobilisation des ressources en eau superficielles par la réalisation de nouveaux barrages, et la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles (le dessalement de l'eau de mer et la déminéralisation des eaux saumâtres)
- Le Programme National d'Aménagement des Bassins Versants pour la sauvegarde des bassins
- La lutte contre les effets dévastateurs des inondations (Plan National de Protection Contre les Inondations (PNPCI)
- La préservation de la qualité naturelle des ressources en eau et leur protection contre la pollution domestique industrielle et agricole.
  - Mise en œuvre du Plan National d'Assainissement Liquide (PNA) et du Programme National des Déchets Solides Ménagers (PNDM) pour l'aspect domestique
  - L'incitation à l'épuration des rejets d'eaux polluées pour l'axe industrielle
  - Le développement de l'irrigation localisée réduisant le transfert des engrais chimiques et des pesticides vers les nappes d'eau souterraine pour la pollution agricole.

3-

## Pressions sur les ressources en eaux

Le Maroc assiste ces dernières années à une accentuation de la pression sur les ressources en eau, en raison d'une part de la consommation déraisonnée par la population et par l'agriculture d'autre part l'usage d'engrais et de pesticides altèrent la qualité des nappes. Une croissance non gérée de la population urbaine et périurbaine, rend les processus de collecte, d'évacuation et d'élimination complexe. Les activités humaines exercent des pressions de plus en plus fortes, impactant négativement d'une manière quasi irréversible la quantité et la qualité des ressources en eaux, ainsi La surexploitation de certaines nappes en raison des activités économiques, comme le secteur de l'agriculture.

## Recommandations pour une meilleure gouvernance du secteur de l'eau au Maroc

Eu égard à la situation actuelle des ressources en eau au Maroc, ce dernier veut rendre la gouvernance institutionnelle plus axée sur la gestion intégrée des ressources en eau. Pour cela le conseil économique social et environnemental a proposé dans le dernier avis publié en 2014 dix recommandations sous forme de mesures opérationnelles :

4-

- Le renforcement de la concertation et de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle nationale
- Le renforcement de la concertation et de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle régionale et locale
- La mise à niveau et l'opérationnalisation du dispositif législatif et réglementaire du secteur de l'eau
- L'intensification et la diversification des moyens de mobilisation des ressources en eau
- Le renforcement de l'axe « Gestion de la demande » de la stratégie nationale à travers des programmes de maîtrise de la demande, d'économie et de valorisation des ressources en eau au niveau de toute la chaîne de valeurs du secteur de l'eau
- Le renforcement des dispositifs et des programmes de protection des ressources en eau
- La promotion du partenariat public-privé dans le secteur de l'eau
- Le développement d'un modèle de gestion équitable et économiquement viable du secteur de l'eau
- L'adaptation des programmes d'éducation, de formation et de sensibilisation aux défis du secteur de l'eau
- Le renforcement des capacités des intervenants dans le secteur de l'eau en matière de gestion de la connaissance des risques et des changements climatiques

### 14. Gestion intégrée en globalité et son cadre théorique

#### Gestion des ressources en eau

La gestion suppose, une définition commune entre les acteurs locaux d'objectifs à atteindre et l'élaboration L'adhésion des acteurs principaux est nécessaire pour que la gestion soit légitime, acceptée et respectée.

L'eau est un bien commun elle est constituée par les ressources naturelles, superficielles ou souterraine. Sa gestion est généralement confiée à un ou plusieurs représentant priver ou public et la demande est assurée par les différents types d'usagers. D'après reynard 2000, le tout forme un système qui l'a représenté simplement dans un premier temps de la manière suivante (fig. 2) :

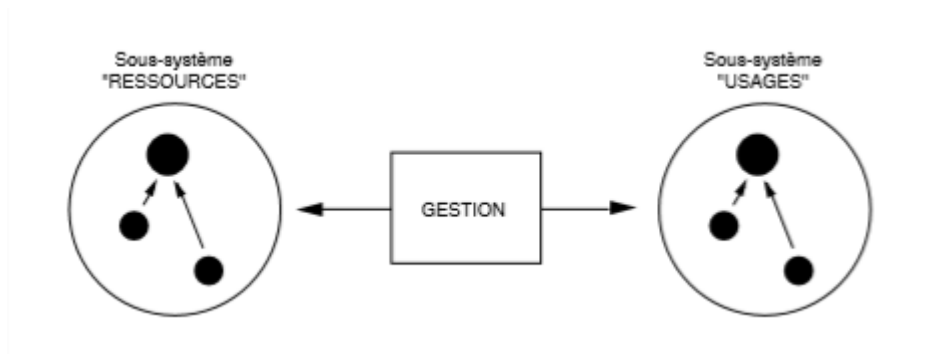


Figure 2: Structure simplifiée d'un système de gestion des ressources en eau (Reynard, 2000)

Les acteurs de la gestion se distinguent en trois types : les propriétaires, les utilisateurs et les gestionnaires, certains acteurs se retrouvant dans les trois catégories (exemple, les communes). Cette gestion s'avère parfois très complexe car elle est assurée par plusieurs acteurs qui parfois s'affrontent quand ils ont des intérêts divergents. C'est pour cela que pour une meilleure gestion des ressources, les dirigeants ont proposé une gestion intégrée des ressources est commune (Calvo, 2004).

### Concept de la gestion intégrée des ressources en eau

2-

D'après GLOBAL WATER PARTNERSHIP 2012, la gestion intégrée des ressources en eau c'est une vision globale qui tient compte de la dynamique des ressources en eau au sein des espaces naturels que sont les bassins hydrographiques ou les aquifères, avec une implication de l'ensemble des acteurs du domaine de l'eau dans un nouveau cadre de gestion, permettant de concilier au mieux l'ensemble des usages pour le développement continu d'une région ou d'un pays, tout en préservant les besoins des générations futures.

Et d'après COBAMIL 2014, La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est une approche en gestion de l'eau qui s'appuie sur la gouvernance participative et sur la concertation entre tous les acteurs et usagers de l'eau ayant comme territoire d'intervention le bassin versant.

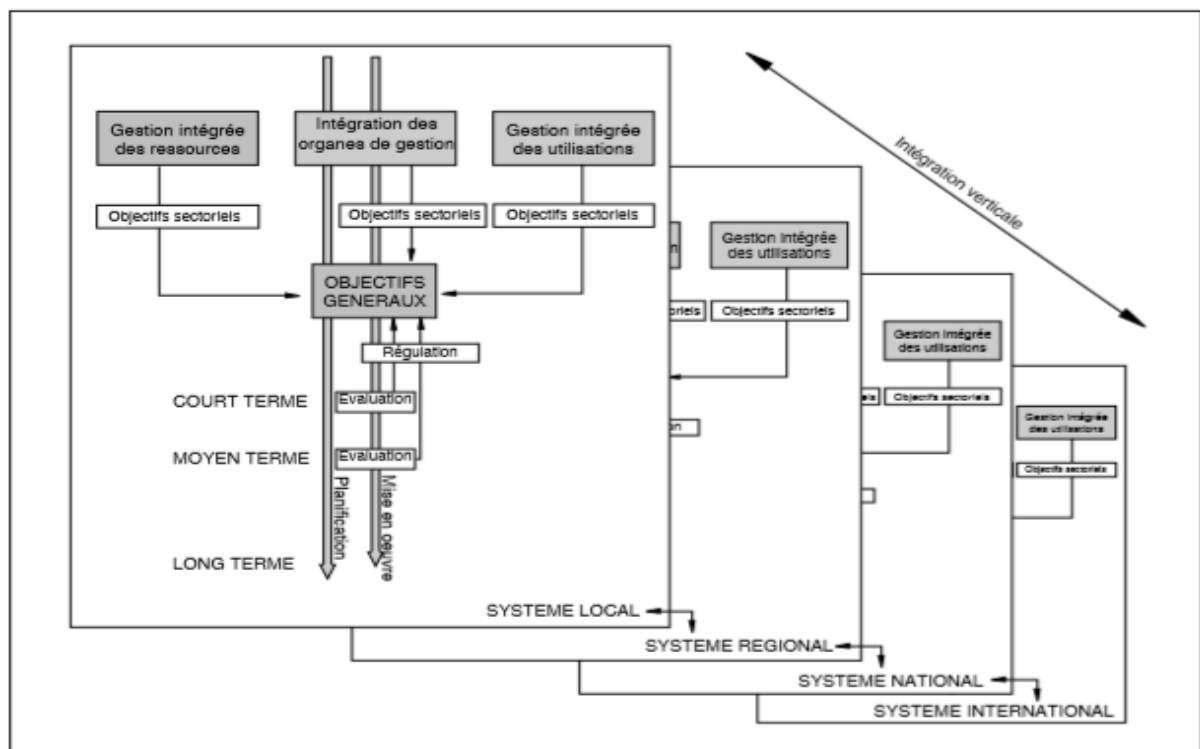
Donc le concept du GIRE c'est de reconnaître l'unicité de la ressource, et que les différents usages de l'eau sont interdépendants. D'assurer que l'eau et les ressources qui lui sont liées soient gérées de façon durable à différent échelles au niveau local pour répondre au bien être environnemental, social et économique des usagers, sans pour autant dégrader la qualité et quantité de l'eau pour ainsi préserver les ressources naturelles (Aguilera-klink et Petit, 2005 ; Amigues, Bonnieux, Goffe et Point, 1995).

Les politiciens ont compris l'importance et l'ampleur de la gestion intégrée de l'eau dans la perspective d'un développement durable. Ainsi, en préparation au Sommet de la Terre de Rio (1992), une Conférence internationale sur l'eau et l'environnement s'est déroulée à Dublin en janvier 1992. Les travaux ont débouché sur l'adoption d'une déclaration s'inspirant de quatre grands principes (OMM, 1992) :

- L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable indispensable à la vie, au développement et à l'environnement ;

- Le développement et la gestion de l'eau doivent se fonder sur une approche participative impliquant les usagers, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux ;
- Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la protection de l'eau ;
- L'eau a une valeur économique dans tous ses usages concurrentiels et doit être reconnue comme un bien économique ;

D'après Reynard, Une gestion intégrée de l'eau doit tendre à la fois à une intégration que l'on pourrait appeler horizontale des ressources (offre), des utilisations (demande) et des acteurs de la gestion (fig. 3) et à une intégration verticale des différentes échelles de gestion (de locale à internationale).



3- Figure 3 : Double processus d'intégration « verticale » et « horizontale » de la gestion des ressources en eau. (Reynard, 2000).

### Intégration des organes de gestion

La demande en eau dans les pays industrialisés a tendance à croître, créant un déficit temporaire en qualité ou en quantité. Les dirigeants des pays se sont posé la question de comment résoudre cette inadéquation entre la demande et l'offre.

Donc comme le Maroc est beaucoup d'autre pays, leur stratégie était d'adapter la demande de l'offre en minimisant le gaspillage et en proposant une série de mesure visant à économiser l'eau et à l'utiliser de manière rationnelle telle que :

- La tarification : qui est réglementé par l'Etat (commission interministérielle) et basé sur des principes de progressivité et de solidarité entre les différentes couches sociales

et différentes régions du Royaume. Cette dernière est basée sur des tranches dont le coût augmente selon le volume d'eau consommé.

- La réglementation : normes de fabrication des équipements de distribution d'eau ou consommateurs d'eau, normes d'émission applicables à la concentration ou au volume des effluents liquides (OCDE 1989) ;
- Information, sensibilisation et rôle de la société civile : L'ouverture sur la société civile et la sensibilisation du grand public et des usagers de l'eau à la raréfaction des ressources en eau, à leur vulnérabilité à la pollution ont également été renforcées ces dernières années. C'est le cas du Débat National sur l'Eau (organisé par le département de l'eau en 2006) et de celui sur la Charte Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (organisé par le département de l'environnement en 2010).
- Le contrôle des installations afin de diminuer les fuites ;
- La promotion de la recherche afin de mieux connaître les caractéristiques de la demande ;
- L'analyse des besoins en termes de qualité des eaux nécessaire

Mise à part la gestion quantitative des utilisations, il y'a la gestion entre les différents intervenant sectorielles pour veiller à éviter les conflits ainsi une planification spatiale et temporelle des activités et une hiérarchisation des besoins (Rivière-Honegger, 1990). On peut déterminer deux types de gestionnaire, les gestionnaires directs qui sont les exploitants qui par leur action agissent directement sur la ressource et Les gestionnaires indirects « public » : qui par leurs décisions incitative ou corrective peuvent agir indirectement sur la qualité et la quantité de la ressource. Ces derniers cumulent les deux fonctions se sont aussi des exploitant direct de la ressource.

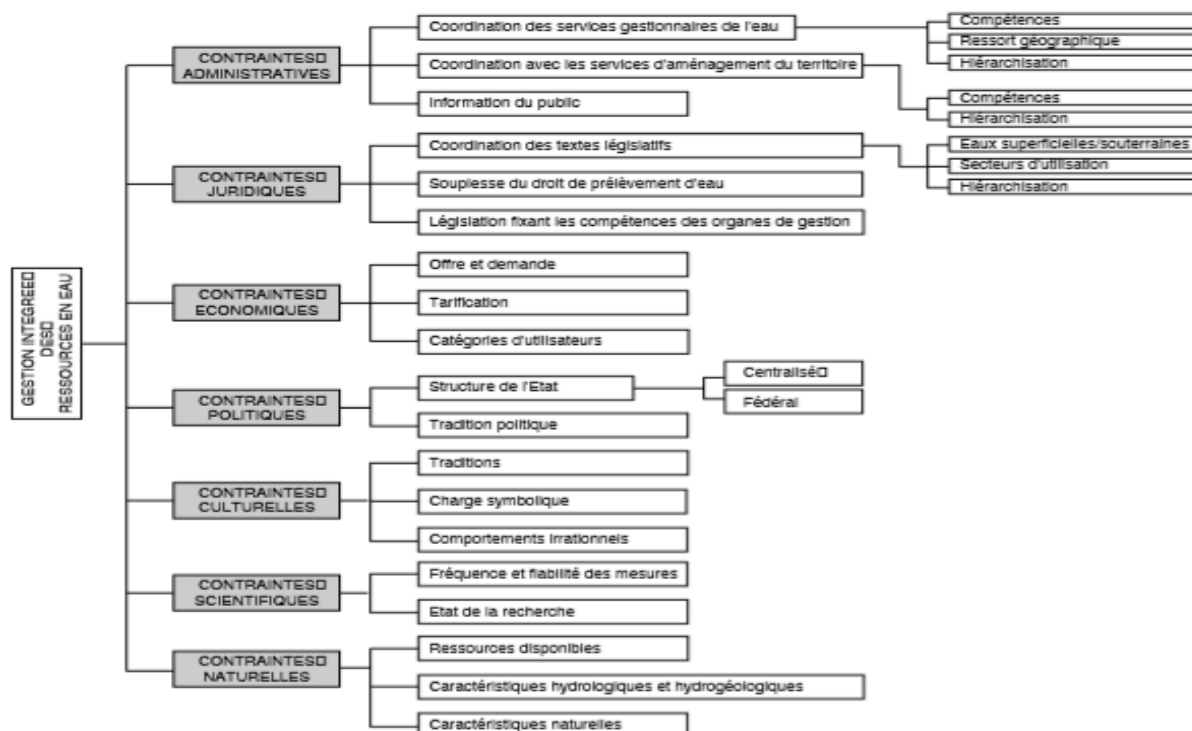
### 3.1 Contraintes sur l'intégration des organes de gestions

La gestion de l'eau est soumise à des principes d'ordre **administrative** qui sont l'expression d'une politique d'intégration avec la mise en place de structure institutionnelles efficaces, pour déterminer les compétences et les rôles de chaque service de gestionnaires tout en appliquant une politique de souplesse <<et de transparence (OCDE, 1989) pour une bonne coordination avec les autres projets. Mais également **juridique** par une bonne intégration des différents textes législatifs, tant de point de vue de leur hiérarchisation que des différents secteurs d'activités, est donc essentielle (Reynard, 2000). Une planification cohérente et souple de l'utilisation des ressources en eau, tant à l'échelon national qu'au niveau des bassins hydrauliques afin d'éviter les conflits entre les anciens et les nouveaux usagers. La législation doit fixer clairement une protection et une conservation quantitative et qualitative du domaine public hydraulique dans son ensemble, ainsi une valorisation des ressources en eau et une rentabilisation des investissements tout en prenant en considération les droits à l'eau qui sont acquis.

La gestion de l'eau nécessite une structure **économique** qui applique une tarification au consommateur ou au pollueur l'intégralité du coût tout en ne privant aucun consommateur d'eau potable et de considérer les catégories sociales pour la fixation des prix. Ainsi que de

mettre des outils de coordination tout en tenant compte des traditions socioculturelles du territoire concerné.

Les gestionnaires de l'eau sont soumis à des contraintes d'ordre **scientifique** et **technique** telles que la fréquence de mesures et leur fiabilité, l'efficacité des dispositifs de collecte de données. Ce dernier dépend du niveau de qualification du personnel. Des contraintes **naturelles** telles que la disponibilité des ressources en eau leurs caractéristiques hydrogéologique, hydrologique, bactériologique ainsi que les contraintes écologiques pluviométrique qui peuvent influencer la qualité et la quantité des ressources. De ce fait, les acteurs doivent prendre conscience des solidarités de fait qui les lie et de la nécessité de coordonner les actions afin de préserver l'équilibre des nombreuses interactions qui caractérisent le système « eau » (fig. 4).



4- Figure 4 : Contraintes sur l'intégration des organes de gestion (Reynard, 2000).

### Intégration des instruments de gestion

La gestion intégrée des ressources en eau n'a pas seulement pour but de coordonner entre les différents acteurs et utilisateur de l'eau, mais a aussi pour but de consolider un certain nombre d'instrument et outils d'analyse et de prévision pour au mieux gérer les ressources (fig. 5).

Une bonne gestion passe nécessairement par une bonne information (Reynard, 2000) : les acteurs de gestion doivent avoir facilement l'accès aux données qui doivent être fiables. Ces derniers doivent être récolté, organisé, interprété et dévoilé sous une forme uniforme et utilisable par les gestionnaires. De ce fait, il s'agit de mettre en œuvre toute une série d'instruments scientifiques et techniques à disposition pour la création d'une base de données

de l'eau uniforme qui s'appuie sur des réseaux avec un ensemble de mesures efficaces, qui récoltent des informations répondant à une méthodologie standardisée. Cette dernière, regroupe des données sur la climatologie, la météorologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la qualité des eaux, les prélèvements et les rejets.

La mise en place de ces outils ne peut être réellement efficace que si le personnel tant scientifique qu'administratif est bien formé et que si les moyens qui sont affectés à la collecte et à l'interprétation des données hydrauliques sont suffisants.

D'après Reynard 2000, les organes administratifs doivent pouvoir se baser sur un corpus de lois et de réglementations permettant d'agir sur la demande et d'infléchir son comportement, car tout simplement la préservation à long terme de la qualité de l'eau passe tout d'abord, par l'établissement de normes de qualité sur lesquelles on peut se référer. Ainsi que par la création de zones et de mesures de protection des sources et des aquifères. Quant à l'aspect quantitatif, les lois devraient surtout permettre de préserver les intérêts de tous les demandeurs d'eau et de régulariser l'aspect de la demande en eau.

La production juridique doit également s'appuyer sur une série d'instruments économiques, comme les subventions et la tarification ainsi l'application du principe pollueur payeur qui est rarement appliqué à l'heure actuelle.

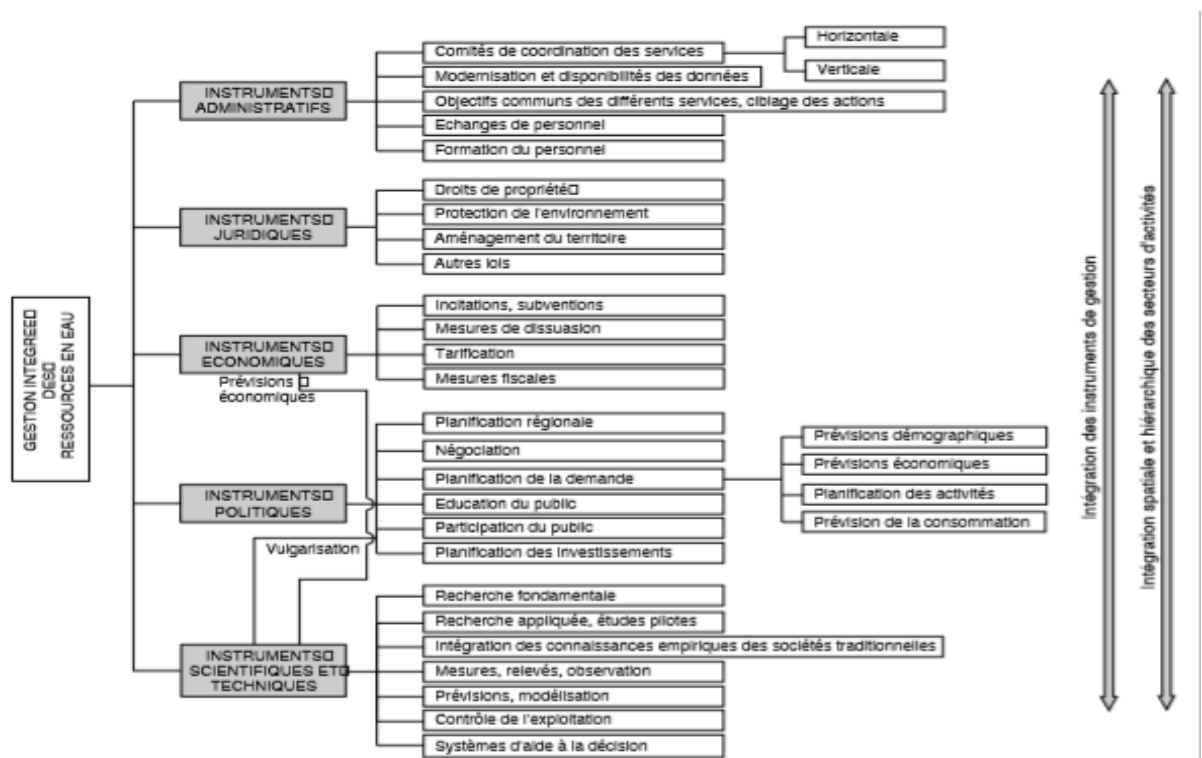


Figure 5 : Intégration des organes de gestion les instruments (Reynard, 2000).

## Chapitre 2 : LA VILLE DE FÈS ET SON CONTEXTE

### I. Situation de la zone d'études :

La ville de Fès est l'une des principales agglomérations marocaines. Son histoire remonte à plus de douze siècles. La région s'étend sur une superficie de 312 km, elle est limitée au nord par la région Taza, Al Houceima et Taounate, au Sud-Ouest par la région Meknès Tafilalet et au Nord-Ouest par la région Gharb-Chrarda-Beni Hssen. Cette région est répartie entre les provinces et préfectures qui la composent, à savoir : Taounate, Taza, MY Yacoub, Méknès, Fès, Sefrou, El Hajeb, Ifrane et Boulemane.

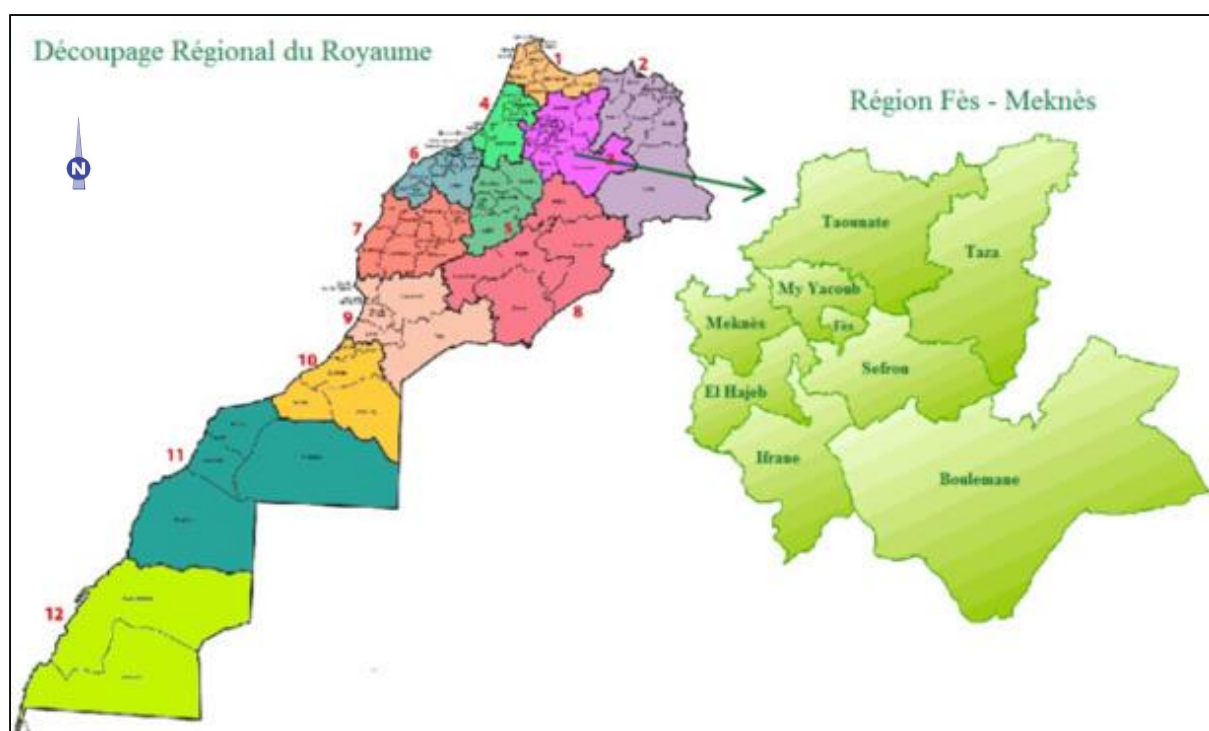


Figure 6 : Carte de situation de la ville de Fès (HCP, 2016).

La médina de Fès a été créée en 809 après J.-C sur la rive droite de l'oued Fès. Cette zone stratégique a permis de satisfaire les différents besoins de la ville en matière de ressources en eau. Aujourd'hui, la ville de Fès couvre plus de 100 km<sup>2</sup> pour une population supérieure à un million d'habitants. Cette agglomération s'est développée, d'une façon incontrôlée, dans la zone de confluence de tout le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fès. Ce dernier se compose de plusieurs sous-bassins versants drainant des oueds assez importants (oueds Boufkrane, El Mehraz, El Himmer, Ain Smen (BV oued Chekkou) et El Malleh), dont l'oued Fès est le principal collecteur (Fig. 7). Tous ces oueds traversent la ville de Fès et présentent une menace d'inondation sur son périmètre urbain.

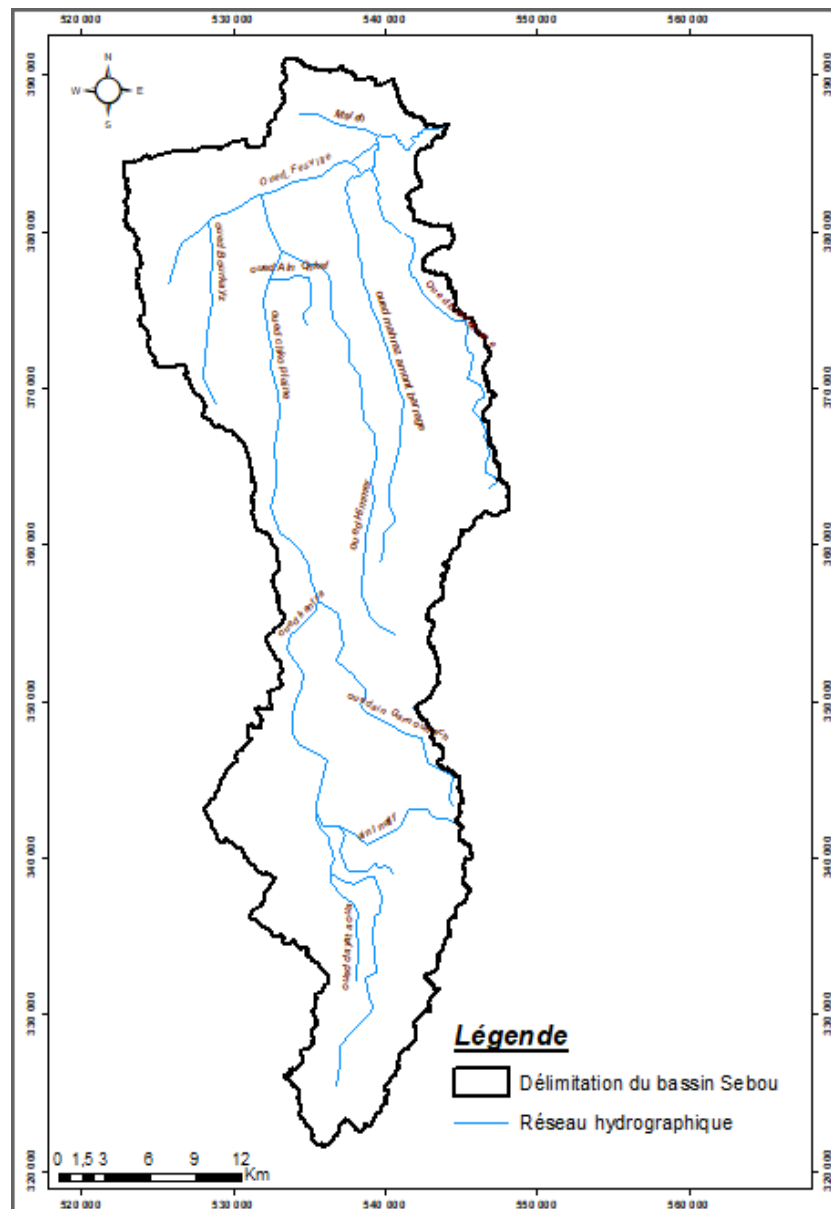


Figure 7: le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Fès

## II. Découpage administratif et évolution de l'espace urbanisé

Selon le nouveau découpage administratif la préfecture de Fès est composée des communes urbaines Agdal, Saiss, Fès-Médina, Mechoir, El Mérinide et Zouagha. Au cours des dernières décennies (1970-2010), la ville de Fès a connu un accroissement très rapide de sa population dû en grande partie au flux migratoire provenant des zones rurales et des villes environnantes. Cette situation a engendré, une forme d'occupation irrationnelle de l'espace urbain. Qui confère à la ville et à ses extensions immédiates l'aspect d'un tissu urbain désarticulé, une croissance des quartiers sous-équipés et une prolifération de l'habitat insalubre et non réglementaire qui est dépourvu des équipements publics et des infrastructures de base (SDAU, 1991).

Sur le plan administratif le bassin versant de l'oued Fès s'étale sur plusieurs unités, on a la région Fès- Meknès, Plusieurs provinces (Fès, Moulay Yakoub, Sefrou, Imouzzer...), et 13

communes rurales : Dayet Aoua ; Tizghite ; Ain Bida ; Oulad Tayeb ; Sidi Harazem ; Ain Chkef ; Sebaa Rouadi ; Ain Bou Ali ; Ain Kansra ; Ain Cheggag ; Ayt Sbaa ; Aghbalou Aqorar et Laanoussar (fig. 8).

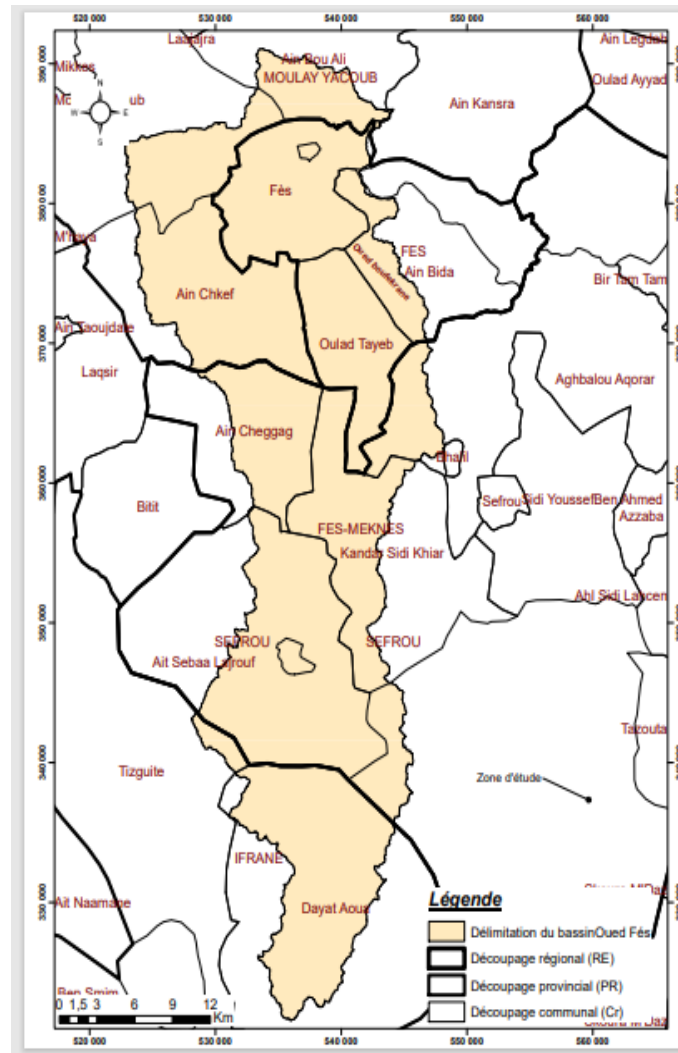


Figure 8 : Carte du découpage administratif d'Oued Fès

### III. Situation du bassin versant de l'Oued Fès

Le bassin versant de l'Oued Fès se localise entre deux unités topographiques différentes : le causse du Moyen Atlas au Sud et les rides pré-rifaines au Nord. Dans sa partie orientale, la ligne de partage des eaux est bien visible, sous forme de crêtes linéaires se terminant au niveau de l'exutoire, tandis que dans la partie occidentale, la limite du bassin versant au niveau du plateau du Saïs est discrète à cause de sa topographie quasiment plane.

Le bassin versant de l'Oued Fès s'étale sur une superficie de 879 km<sup>2</sup>, il se situe entre les parallèles 33°30' et 34°08' et entre les méridiens 4°54' et 5°09'W. L'Oued Fès est un petit sous-bassin du bassin versant de l'Oued Sebou qui s'étale sur 40 000 km<sup>2</sup>.

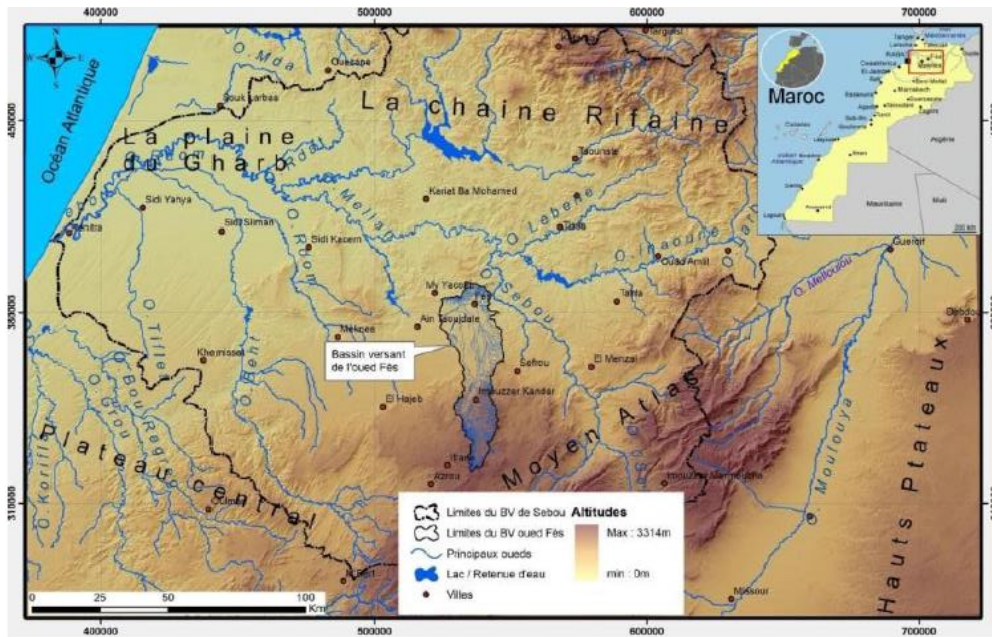


Figure 9 : Carte de situation du bassin versant de l'Oued Fès

#### IV. Cadre géologique et hydrogéologique

##### Cadre Géologique Régional

1-

La zone de l'étude se trouve dans le bassin de Meknès Fès, qui fait partie du couloir sud rifain. Cette dernière s'étend de la plaine du Rharb à l'Ouest Jusqu'au col du Touahar à l'Est, entre les deux grandes unités structurales qui forment les limites nord et Sud du bassin (Pré-rif et Moyen Atlas) une transgression marine a déposé au Miocène une série marneuse très puissante, suivie au Plio-villafranchien et au Quaternaire par des dépôts continentaux (Taltasse, 1953 ; Ahmamou, 2002).

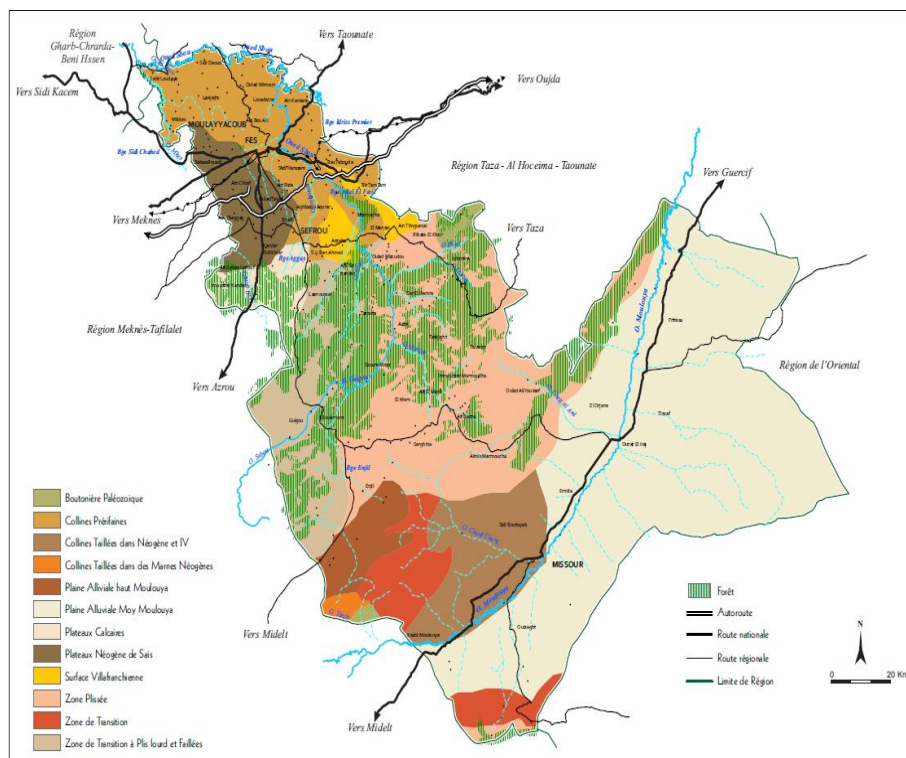


Figure 10 : carte de la géologie de la zone Fès-Meknes, (SRAT-Fès, 2013).

Les grandes unités du pré-rif et du Moyen Atlas, influencent directement la structure actuelle du bassin : le Moyen Atlas se prolonge sous le bassin et correspond au substratum anté-Néogène dans les accidents ont joué en déterminant toutes les flexures de direction SW-NE. Le Pré rif, ou plus précisément la tectonique rifaine, crée toutes les flexures de direction SE-NW.

Le substratum anté-Néogène est formé essentiellement par le Lias calcaire et dolomitique, les argiles bariolées du Trias ou les Schistes du primaire, suivant l'importance de l'érosion ou les lacunes de sédimentation.

### Géologie de la ville de Fès

Les formations géologiques de la zone du projet sont essentiellement d'âge Miocène, Pliocène et Quaternaire.

Le Miocène est représenté par le Tortonien. La série débute par des calcaires gréseux à l'Ouest et des molasses au Sud, se poursuit ensuite par des marnes blanches puis se termine par des grès et des marnes bleues. Le Miocène peut atteindre une puissance de 1000 m à la verticale de Fès, il se termine par un faciès gréseux sableux peu épais (30 à 50 m) dit "sahélien" et rapporté au Pliocène. Au Pliocène se déposent des calcaires lacustres et des poudingues.

Dans la plaine de Saïss, les calcaires et marno calcaires lacustres d'une puissance de 60 à 100 m reposent directement sur les marnes bleues du Tortonien ou sur les marnes gréseuses du Sahélien. Dans la partie orientale ils passent latéralement à des poudingues. Le Quaternaire est représenté par des dépôts sous forme de travertins localisés dans la médina de Fès (Taltasse, 1953 ; Ahmamou, 2002).

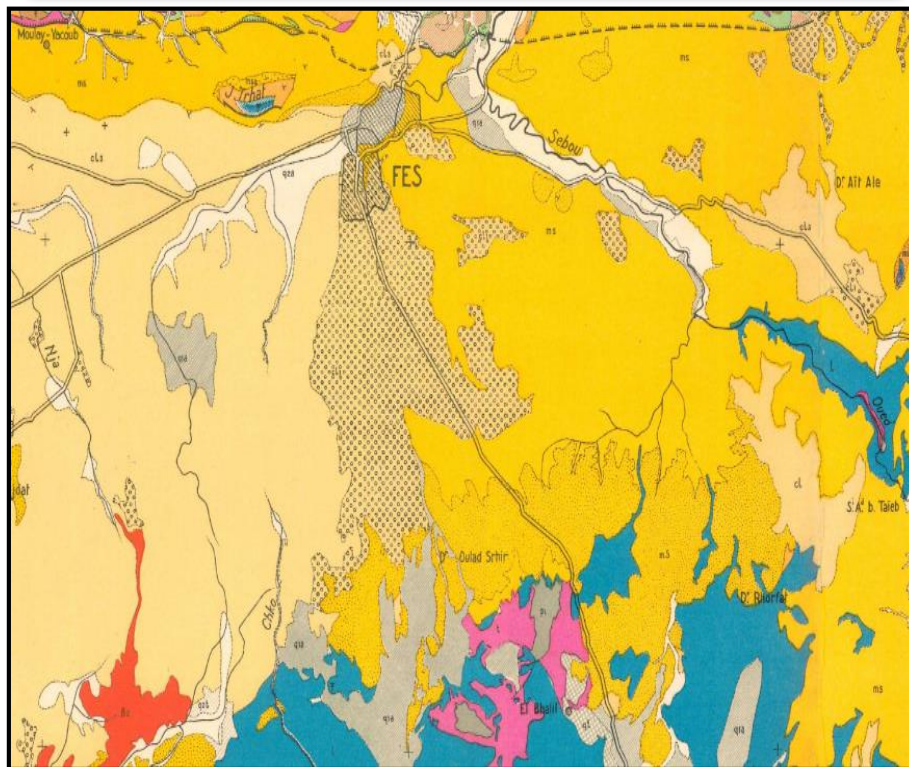
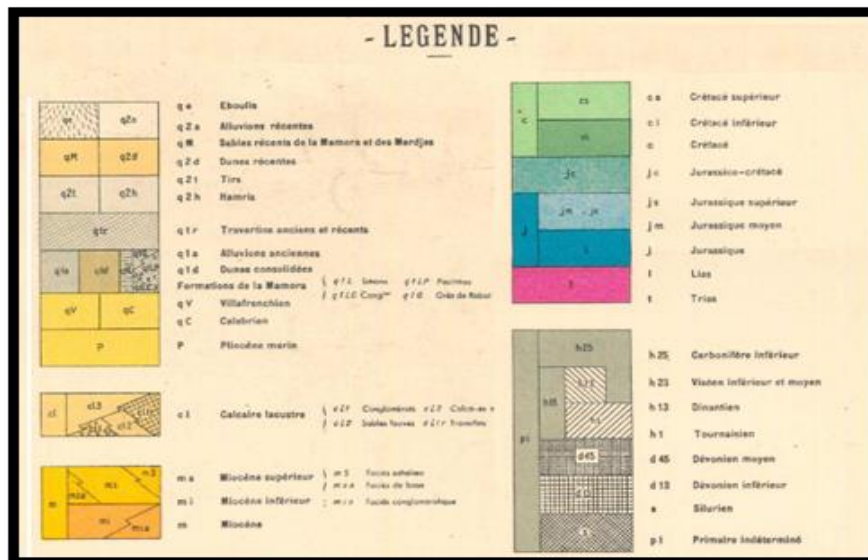


Figure 11 : Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille du Gharb et pré-rif Occidental au 1/200.000ème (ABHS, 2011)

### Contexte géologique du bassin de Sebou

Le bassin du Sebou peut être divisé en quatre zones structurales différentes L'Ouergha, le bassin du Gharb et du Saïs, le Beht et le Haut Sebou. L'Ouergha en amont du barrage Al Wahda : constitué essentiellement par des terrains argilo-marneux imperméables du Crétacé. Les bassins du Gharb Saïs et le couloir de Fès-Taza (contenus entre les chaînes du Rif et du Moyen Atlas) à remplissage essentiellement tertiaire et quaternaire perméable. Les deux dernières unités renferment également des formations calcaires du Lias. Le Beht est constitué par des formations permo-triasiques et primaires imperméables. Le Haut Sebou, qui fait partie du domaine atlasique, essentiellement constitué par les calcaires jurassiques perméables.

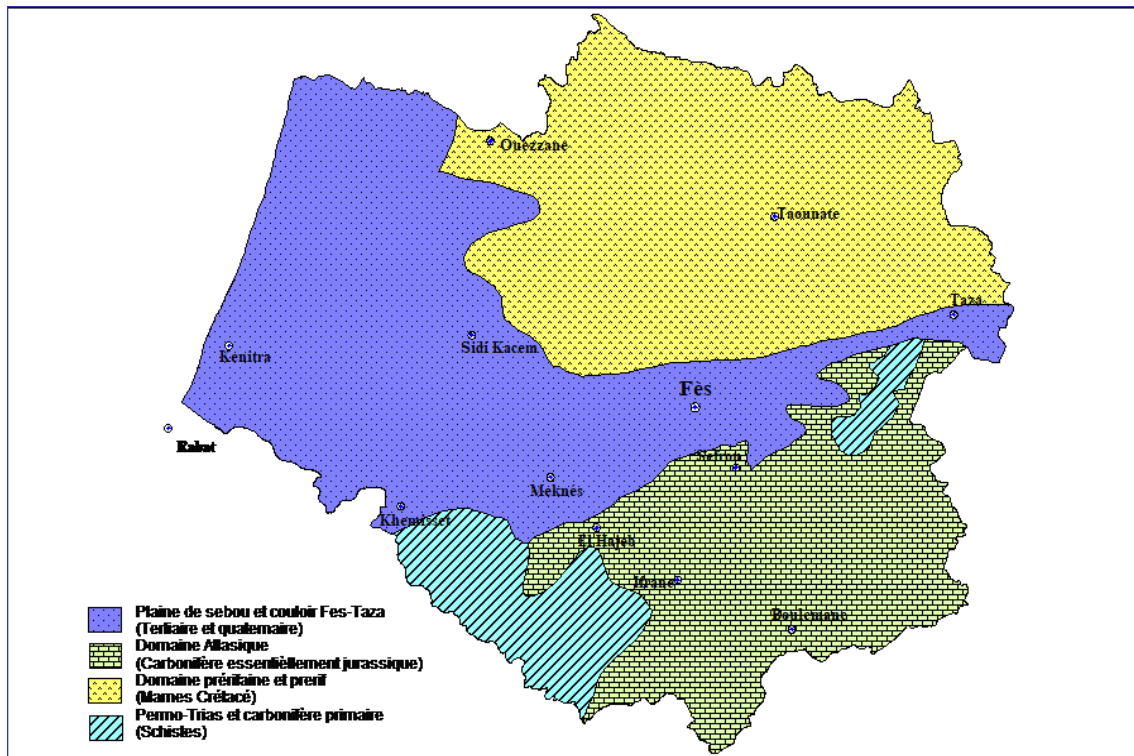


Figure 12 : Zones structurales du bassin de Sebou (ABHS, 2010)

Le bassin de Sebou qui couvre une superficie d'environ 40 000 km<sup>2</sup>, constitue une zone qui est limitée au Nord par le Rif, à l'Est et au Sud-Est par le Moyen Atlas, au Sud par le Plateau Central et à l'Ouest par l'océan Atlantique.

Le sillon sud-rifain contenant le bassin de Sebou s'est individualisé au Totonien inférieur suite à l'importante phase de distension qui a affecté l'ensemble de l'arc de Gibraltar (Cirac, 1985). La distension générale des contraintes Nord-Sud serait à l'origine de l'allongement Est-Ouest de ce sillon. Le rejet des failles bordières a entraîné par la suite l'enfoncement des bordures septentrionales de la Méséta à l'Ouest et le Moyen Atlas à l'Est.

A ces jeux de failles s'ajoute la surcharge sédimentaire due à l'érosion de l'arrière-pays en remontée isostatique entraînant la subsidence du sillon.

Ce sillon se situe dans une position charnière entre deux domaines structuraux du Maroc, très différents par la nature et l'âge des formations que par le style tectonique : le domaine méséto-atlasique au Sud et le domaine rifain au Nord. Cette différence des deux domaines bordiers du sillon sud-rifain induit une dissymétrie nette dans la forme du sillon.

Le sillon sud-rifain est un grand bassin qui reçoit des klippes ou nappes sédimentaires venant du Nord. Il est essentiellement constitué de grandes masses de marnes d'âge miocène supérieur, englobant des blocs ou « olistolithes » de taille, de nature et d'âge différents.

Le Pré-Rif demeure ainsi un grand complexe tectono-sédimentaire ou olistostrome sud-rifain dont la colonne stratigraphique type n'est pas encore connue. Cependant, deux grandes caractéristiques sont propres au Pré-Rif : sa nature olistostromique à phénomène de remaniement intense et une épaisse série de marnes miocènes à blocs. Sa limite nord est

soulignée par des massifs calcaires d'âge jurassique. Ils sont alignés selon une direction W-N-W/E-S-E à E-W. Ces formations calcaires représenteraient le substratum jurassique du Rif externe.

Le bassin de Sebou renferme plusieurs unités géologiques, dont les plus importantes sont (fig. 13) :

**Moyen Atlas** Le Moyen Atlas se subdivise en deux grands sous-ensembles : le Moyen Atlas tabulaire (ou Causses Moyen Atlasiques) et le Moyen Atlas plissé. Ils sont séparés l'un de l'autre par l'accident nord-moyen-atlasique, lui-même composé de failles, chevauchements ou flexures.

A- Les Causses moyen-atlasiques : il s'agit de blocs surélevés, limités par divers accidents faillés et édifiés en paliers. Le système se traduit en surface par des plateaux étagés d'altitudes différentes : 1100 à 1500 m pour le Causse d'El Hajeb, 1500 à 1900 m pour celui d'Azrou-Timahdit et 1900 à 2100 m à l'est d'Aguelmane Sidi Ali.

Ces Causses portent de nombreux appareils volcaniques construits à la faveur des grandes cassures (Azrou, Michlifén, vallée de l'oued Tigrigra) et dont les coulées basaltiques couvrent d'importantes superficies sur les plateaux tout en se prolongeant le long des principales vallées (oued Guigou, Beht et Tizguit).

B- Le Moyen Atlas plissé : il porte les plus hauts sommets : 3190 m au Jbel Bou Iblane et 3340 m au Jbel Bou-Nasser. Dans ce sous-ensemble, les plis d'âge tertiaire sont réguliers ou légèrement dissymétriques, mais localement, ils peuvent être rigides, brusques, faillés, discontinus et séparés par de longues cuvettes synclinales.

**Bassin Fès-Saïss et couloir Fès-Taza :** Le bassin de Fès-Méknès, appelé généralement bassin de Saïss, est un bassin néogène qui fait partie du Sillon sud-rifain. Il s'agit d'une vaste structure sédimentaire tertiaire, siège des dépôts du Miocène. Cet ensemble a constitué, au Pliocène, le fond du bassin lacustre qui est plus ou moins masqué par les formations quaternaires (limons, alluvions et argiles de décalcification). Le substratum du bassin est varié, il est le plus souvent constitué par des calcaires et dolomies du Jurassique inférieur surmontant des formations argileuses rouges et des basaltes du Trias ainsi que des schistes et des flyschs du Paléozoïque.

L'histoire tectono-sédimentaire de ce bassin peut être résumée en trois phases :

### **1<sup>ère</sup> Phase : Tortonien**

Dans le Rif, cette phase correspond à un raccourcissement qui varie de l'Est vers l'Ouest. Cette phase est responsable des émergences locales des rides pré-rifaines et le début de l'ouverture du bassin de Saïss suivant une direction NW-SE.

## 2<sup>ème</sup> Phase : Tortonien Supérieur-Messinien

La contrainte compressive à composante maximale ( $\sigma_1$ ) orientée N 00° à N 40° et à composante distensive ( $\sigma_3$ ) N 90° à N 130°, va accentuer l'individualisation du bassin de Saïss le long des accidents NE-SW, hérités du soubassement hercynien. Les rides pré-rifaines sont totalement émergées et la mer se retire définitivement du pré-rif. L'érosion de ce dernier alimente le bassin en produits détritiques inter-stratifiés dans les marnes.

## 3<sup>ème</sup> Phase : Plio-Quaternaire

Il s'agit d'une phase compressive. La compression, de direction N-S, affecte les calcaires lacustres. Le bassin de Saïss, le pré-rif et les rides sud-rifaines, sont en surrection, alors que la plaine est restée en subsidence.

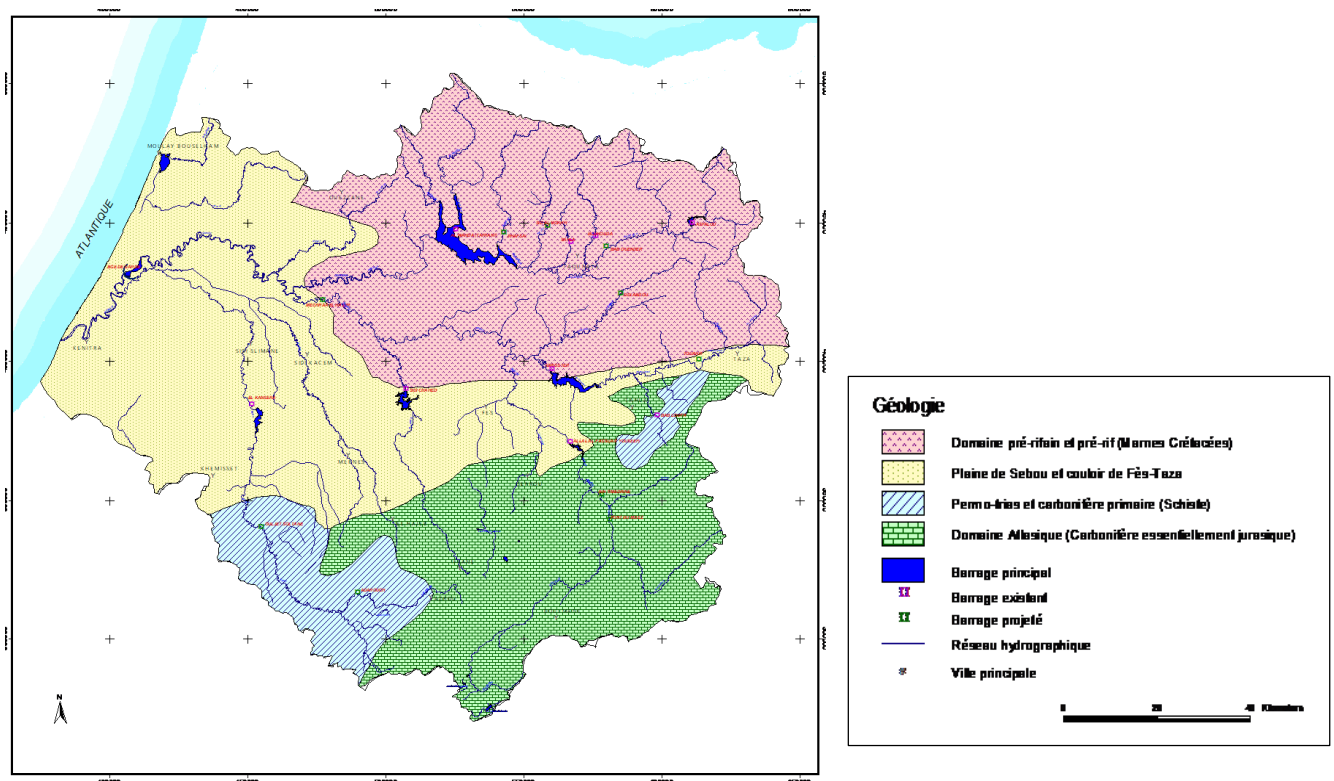


Figure 13: Carte géologique générale du bassin de Sebou (ABHS 2012)

### Bassin du Gharb et Mamora

Le bassin du Gharb occupe l'extrémité occidentale du couloir sud-rifain qui représente une unité structurale essentielle de l'architecture marocaine, au contact des domaines atlasique et rifain.

Le bassin du Gharb qui s'étend en offshore, correspond au débouché sur l'Atlantique du sillon sud-rifain. Actuellement, il représente une vaste plaine alluviale de l'Oued Sebou inférieur où rien n'affleure sauf quelques formations récentes d'âge quaternaire. Il s'agit d'une dépression subsidente apparue au Miocène supérieur et dont l'affaissement subsiste durant le Quaternaire et même jusqu'à l'actuel (Piqué et Michard, 1989). Le substratum, formé de

Crétacé, Jurassique et Paléozoïque, est le plus profond (jusqu'à 2500 m) à la suite de l'avancée maximum du complexe pré-rifain.

La plaine du Gharb correspond à un golf progressivement comblé, au cours du Mio-Pliocène et du Quaternaire, par le jeu combiné des apports fluviaux et marins. Elle communique avec le bassin du Saïss par le bassin d'El Khemisset et le seuil d'El Kanséra.

La convergence Afrique-Europe est à l'origine des phases paroxysmales et des charriages qui ont eu lieu principalement à l'Oligocène dans le Rif interne puis au cours du Miocène moyen à supérieur dans le Rif externe.

Postérieurement à ces phases paroxysmales, le Rif a connu une évolution tectonique moins intense puis une néotectonique qui se sont manifestées particulièrement par des déformations de distension (l'effondrement de la mer d'Alboran, l'ouverture du détroit de Gibraltar et l'individualisation des bassins néogènes post-nappe y compris le bassin du Gharb) et des déformations en compression qui ont eu lieu entre le Tortonien et le Quaternaire.

Les dépôts néogènes du Maroc septentrional se représentent en général à la périphérie de la chaîne rifaine, ils sont bien développés dans le sillon sud-rifain. La plaine du Gharb jouait un rôle très important au niveau des communications atlantico-méditerranéennes et elle était par conséquent dépendante des variations eustatiques. Elle se caractérisait par une sédimentation fine, fossilifère et très épaisse.

D'après Cirac (1985), la formation de ce bassin est le résultat de la succession de trois stades évolutifs :

- 1) l'ouverture provoquée par des causes structurales profondes (subduction ou distension) ;
- 2) l'accentuation de la subsidence sous l'effet de la surcharge sédimentaire entraîne l'apparition de failles de compression et la remontée isostatique de l'arrière-pays ;
- 3) le comblement du bassin se fait par progradation de nappes de remblayage de la périphérie vers le centre du bassin et par l'accrétion verticale des dépôts. Ce comblement aura comme résultat le colmatage du bassin et le retrait de la mer. Les apports proviennent de deux zones émettrices bien définies par la nature granulométrique des matériaux apportés :
  - la marge septentrionale pré-rifaine, ne fournit que des éléments très fins, silto-argileux, parmi lesquels sont transportés des tests de micro-organismes arrachés aux formations crétacées et tertiaires de l'arrière-pays ;
  - la marge méridionale mésétienne, libère des matériaux beaucoup plus grossiers, principalement vers le sommet de la série.

Le bassin du Gharb a été individualisé au Miocène terminal suite à l'obstruction du sillon sud-rifain par la remontée isostatique du seuil de Taza et le glissement de la nappe pré-rifaine du nord vers le corridor sud-rifain.

La lithostratigraphie du bassin du Gharb est largement étudiée grâce au grand nombre de forages implantés dans cette plaine dans le cadre de la recherche pétrolière et hydrogéologique.

La série sédimentaire de ce bassin a été établie par Cirac (1985). Elle se caractérise par une dominance des éléments silteux et colloïdaux, les sables sont, la plupart du temps, très fins alors que les particules les plus grossières (graviers et galets) se rencontrent sous forme d'amas lenticulaires dans les argiles.

Cette série renferme de bas en haut :

- a- Marnes grises : caractérisées par une épaisseur qui peut atteindre 3000 m et par l'importance de la pyritisation qui caractérise un environnement très réducteur ;
- b- Faluns : c'est l'accumulation de tests de mollusques sur environ 150 à 200 m d'épaisseur. Ce faciès se caractérise par l'augmentation de la composante sableuse. Les indices de pyritisation montrent que le caractère euxinique du milieu de dépôt persiste encore, mais il est moins prononcé que dans la formation précédente.
- c- Sables et calcaires sableux : l'épaisseur moyenne est de 50 à 100 m avec une phase carbonatée importante ;
- d- Sables et cailloutis plus des argiles à lentilles de calcaires.

La série du Gharb, composée essentiellement d'une série argilo-silteuse, repose sur une topographie irrégulière (anticlinale et synclinale), d'un olistostrome plastique et instable affecté par plusieurs failles de croissance.

Toute l'histoire sédimentaire du bassin du Gharb depuis son initiation jusqu'à son individualisation présente des changements rapides de l'épaisseur et du faciès, dans le temps et dans l'espace, et reflète la complexité de son environnement géologique. Ces variations sont principalement dues à l'activité tectonique et aux apports sédimentaires. Cependant, des fluctuations dans le niveau relatif de la mer, de court terme, sont surimposées aux mouvements tectoniques de plus long terme.

- 4-Le glacis de la Mamora constitue la terminaison méridionale du bassin du Gharb et constitue la jonction entre le sillon sud-rifain au nord et le massif ancien et tabulaire de la méséta au sud.

#### Contexte hydrogéologique du bassin de Sebou

Le bassin du Sebou fait partie des bassins les plus riches en eaux souterraines du Maroc. Ses ressources potentielles (800 Mm<sup>3</sup>) représentent environ 20% du potentiel mobilisable du Maroc. Ces ressources contribuent au développement économique et social de la population du bassin, en assurant l'approvisionnement en eau potable et industrielle (AEPI) d'une grande partie des centres urbains, l'AEP du milieu rural et la fourniture des besoins en eau des périmètres irrigués (petite et moyenne hydraulique).

Le volume d'eau souterraine utilisé atteint 700 Mm<sup>3</sup>/an environ. Ces ressources sont utilisées à hauteur de 22% (fig. 14) pour l'irrigation et 83 % pour l'AEPI (fig. 15).

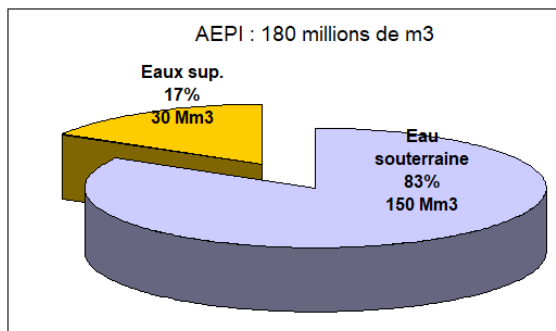


Figure 15: Volume des eaux de surface et Souterraines utilisées pour l'AEPI

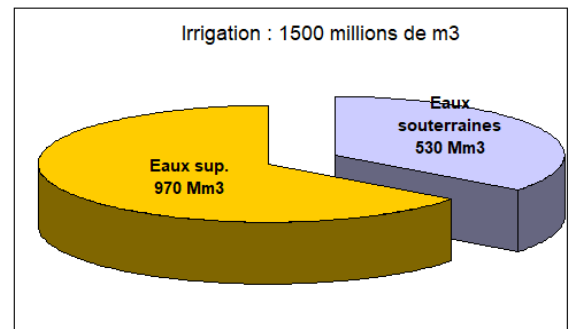


Figure 14: Volume des eaux de surface et souterraines utilisées pour l'irrigation (Abhs, 2014)

L'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) des principales agglomérations du bassin (Fès, Meknès, Kénitra, Taza, Sidi Slimane et Sidi Kacem) est assurée essentiellement à partir des eaux souterraines (forages et captages des sources). Ainsi, 83% des besoins AEPI du bassin sont assurés par cette ressource, avec un volume annuel d'environ 150 Mm<sup>3</sup> (le reste, soit 30 Mm<sup>3</sup>, étant assuré à partir des eaux superficielles) (ABHS, 2014).

Ces ressources en eaux souterraines sont contenues dans plusieurs nappes, dont les plus importantes sont, la nappe de la Maâmora, les nappes du bassin du Gharb, la nappe de Bou Agba, les nappes du bassin du Fès-Meknès (Saïss), les nappes du couloir de Fès-Taza, la nappe des causses moyens atlasique, la nappe du moyen Atlas plissé.

### Nappes du bassin du Fès-Meknès (Saïss)

Le bassin de Fès- Meknès s'étend sur environ 100 km d'ouest en est et de 30 km du nord au sud, totalisant une superficie d'environ 2200 km<sup>2</sup>. Ses limites naturelles sont constituées par l'oued Sebou à l'Est, l'oued Beht à l'Ouest, les rides pré-rifaines au Nord et les limite Nord du Causse moyen-atlasique au Sud.

Ce bassin renferme deux nappes d'intérêt inégal : La nappe phréatique qui circule dans des sables, conglomérats et par endroits dans les calcaires lacustres du Plio-Villafranchien, et la nappe profonde du lias qui circule dans les calcaires dolomitiques du Lias. Ces deux nappes sont séparées par une épaisse série marneuse du Miocène.

**La nappe phréatique** est alimentée par l'infiltration des eaux pluviales, par le retour des eaux d'irrigation et par le drainage de la nappe profonde. Son niveau piézométrique est variable et peut dépasser 70 m dans le plateau de Meknès et il s'établit à environ 30 m dans la région d'Ain Taoujdate et en bordure du causse. La minéralisation de l'eau est faible et reste inférieure à 1 g/l. Cette nappe est utilisée pour l'AEP rurale et pour l'irrigation. Ses ressources mobilisables sont estimées à environ 200 Mm<sup>3</sup>/an. Le suivi piézométrique de la nappe, montre

que cette dernière est très sensible à la sécheresse. La partie Est de la nappe a connu une baisse variant entre 6 et plus de 20 m en certains endroits.

**L'aquifère profond** du bassin Fès-Méknès couvre une superficie d'environ 3000 km<sup>2</sup>. Sa profondeur varie entre 0 au Sud du bassin et plus de 1000 m au contact des rides pré-rifaines au Nord. Son alimentation se fait par abouchement direct avec la nappe des causses moyen atlasiques. Cet abouchement est estimé à 170 Mm<sup>3</sup>/an. Ses eaux circulent du Sud vers le Nord, et se mettent en charge sous une épaisse série de marnes imperméables du Miocène. Cet aquifère présente une zone d'artésianisme importante, qui diminue avec la surexploitation de la nappe.

La nappe est exploitée par des forages profonds pour l'AEP des villes de Meknès, Fès et les grandes agglomérations situées dans la plaine (Ain Taoujtate, Ras El Ma, Sebaa Ayoune et Haj Kaddour). Les ouvrages qui l'exploitent peuvent atteindre des profondeurs de 1500 m, les historiques piézométriques de la nappe montrent une tendance générale à la baisse, avec une moyenne d'environ 3m/an. Les pressions des forages artésiens sont également en baisse, ces baisses sont le résultat de la surexploitation de la nappe et de la sécheresse. Le bilan global des deux nappes du bassin de Fès-Meknès enregistre un déficit d'environ 136,9 Mm<sup>3</sup>/an en 2019. Le maintien de ce rythme de pression sur les ressources en eaux souterraines de la plaine de Saïss compromettra la sécurité de l'approvisionnement en eau potable et aura des conséquences néfastes dans les secteurs agricoles, touristiques, industriels, économiques et environnementaux (ABHS, 2019).

### **Nappes du couloir de Fès-Taza**

Le couloir de Fès-Taza couvre une superficie d'environ 1200 km<sup>2</sup>. Il renferme deux niveaux aquifères d'importance inégale, le premier est représenté par les grès du Miocène de faible potentiel mobilisable, le second est représenté par les carbonates liasiques constituant l'aquifère principal de la zone. Sa ressource mobilisable est estimée à 267 Mm<sup>3</sup>/an. Ce dernier est subdivisé en plusieurs compartiments différents (au moins 11), résultat des mouvements tectoniques subis par le bassin. Ces compartiments sont généralement limités par des failles et drainés par plusieurs sources. Cette structure rend difficile une caractérisation hydrogéologique précise de l'aquifère.

L'alimentation de la nappe profonde du Lias est assurée à 69,1% par les infiltrations des eaux de pluie (105 Mm<sup>3</sup>/an), par la drainante descendante depuis les formations de couverture et par les écoulements souterrains provenant du bassin de Fès-Méknès et d'autre part les infiltrations qui se situe au niveau du moyen atlas (47 Mm<sup>3</sup>/an) ce qui représente 30,9% de cet alimentation. La nappe est exploitée pour l'AEP de Matmata, Tahla, Oued Amlil, .... Ainsi que pour l'irrigation et l'AEPI. Les prélèvements actuels sont de l'ordre de 18 Mm<sup>3</sup>/an, dont 1.2 Mm<sup>3</sup>/an servant à l'AEPI. Le bilan établi dans le cadre du Sebou en 2016 est excédentaire de 44 Mm<sup>3</sup>/an (tab.1).

Tableau 1: Bilan des ressources en eau de la nappe du couloir de Fès-Taza, (ABHS 2016)

| ENTRÉES                                                 | Mm³/an      |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| Infiltration des eaux de pluie                          | 105         |
| Alimentation par le Moyen Atlas                         | 47          |
| Entrées totales                                         | 152         |
| SORTIES                                                 |             |
| Sortie vers le N-W du bassin (champ captant et sources) | 94,6        |
| Prélèvements AEP                                        | 6,6         |
| Prélèvements agricoles (IP : 1513 ha)                   | 6,8         |
| Sorties totales                                         | 108         |
| <b>Bilan (Entrées-Sorties)</b>                          | <b>+ 44</b> |

## Relief

5- Les reliefs de la Région de Fès prennent différentes formes englobant : les collines, les montagnes et les plaines. Au nord se trouve les collines du prè-Rif hautes de 400 à 500m avec des pics culminants à 900m c'est le cas de la montagne Zalagh. La colline du Saïs se situe entre le début des collines du Rif et les montagnes du Moyen-Atlas, L'altitude qui progresse du sud vers le nord à une hauteur de 400 jusqu'à 700m. Ce passage se rétrécit vers l'Est dans la direction de la ville de Taza qui est connue comme un axe de passage entre l'Est et l'Ouest du Maroc.

A l'Est et au Sud-Est du Moyen-Atlas se situent les plaines de Moulouya centrale qui prennent de la hauteur du Sud vers le Nord (700 à 1200m). Dans ce secteur à dominance rocheuses, la terre végétale est faiblement représentée. Quand elle existe, elle est recouverte d'une couche dure (encroutement calcaire), sauf au fond des vallées où on retrouve des terres alluviales et agricoles de grandes envergures.

Le Moyen-Atlas présente un groupe de reliefs de grandes envergures qui a une vue sur la colline du Saïs et les plaines de la Moulouya. Il est constitué de deux entités qui se distinguent sur la base de leur altitude : Le côté Nord-Ouest constitué de collines avec des hauteurs de 1000 à 1200m. Le côté Sud-Est constitué de montagnes inclinées où on trouve les sommets les plus hauts (montagne de Tichoukt culminant à 2796m). On trouve aussi dans la région de larges dépressions avec places creuses riches en terres agricoles et où les eaux pour l'irrigation sont abondantes.

La zone de l'étude, comprenant la ville de Fès, s'étend sur le secteur Nord, elle fait partie de la plaine de Saïs. La plaine de Saïs à une altitude décroissante du Sud vers le Nord qui se relève au contact des rides pré rifaines. L'altitude de la zone d'étude varie entre 400 à 700m.

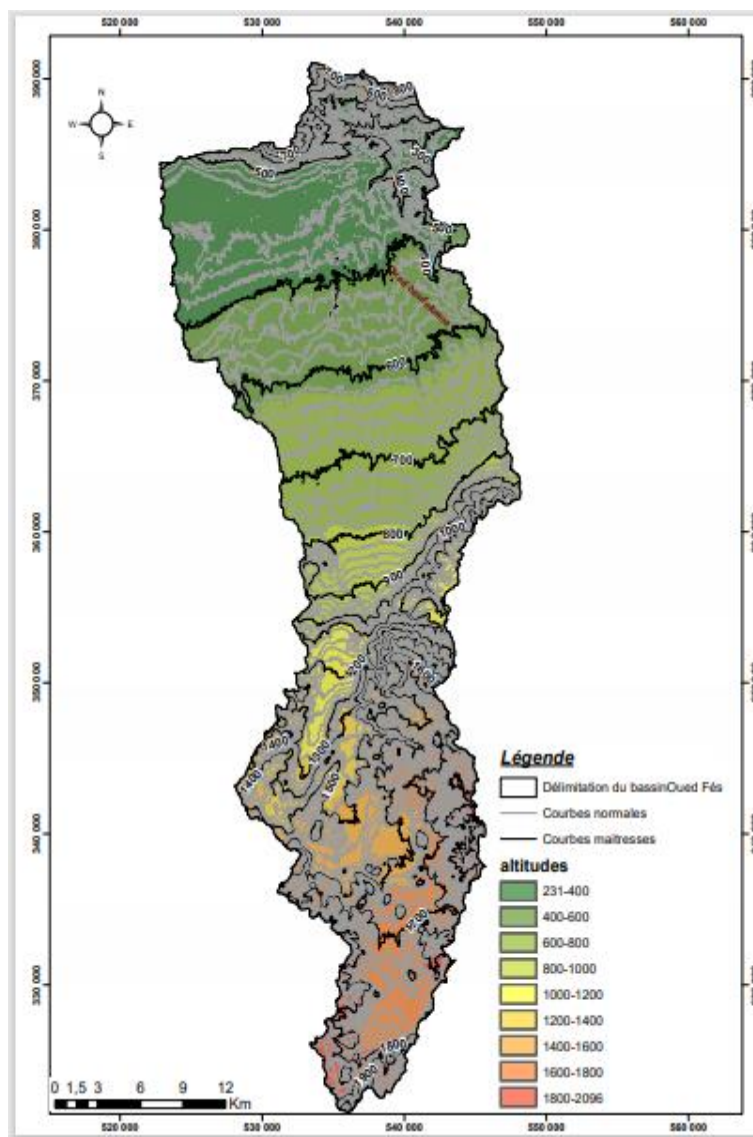


Figure 16 : Carte Topographique d'Oued Fès

## 1- V. Cadre socio-économique

### Population de la région de Fès

Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014, la Région de Fès compte **1 808 295** habitants dont **1 150 131** dans la préfecture de Fès. La Région Fès compte 1 573 055 habitants, soit 5.1% de la population du Royaume. Dont la population urbaine représente 69% et la population rurale 31%. La densité moyenne de la population est 81 hab./Km<sup>2</sup>. En outre, la densité moyenne la plus élevée c'est au niveau des centres urbains de la région, cette densité est évaluée à quelques 800-1000 personnes/ha, alors que la médina de Fès a une densité largement supérieure de 1200 personnes/ha.

Tableau 2 : Répartition de la population de la région de Fès en 2014 (RGPH, 2014)

| Région                           | Ménage         | Population       |
|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>Préfecture: Fès</b>           | <b>265.036</b> | <b>1.150.131</b> |
| Agdal (Arrond.)                  | 37.421         | 142.407          |
| Méchouar Fès Jdid (Mun.)         | 5.416          | 20.560           |
| Saïss (Arrond.)                  | 48.983         | 207.345          |
| Fès-Médina (Arrond.)             | 17.342         | 70.592           |
| Jnan El Ouard (Arrond.)          | 43.333         | 201.011          |
| El Mariniyine (Arrond.)          | 47.898         | 209.494          |
| Zouagha (Arrond.)                | 57.346         | 260.663          |
| <b>Cercle : Fès Banlieue</b>     | <b>7.297</b>   | <b>38.059</b>    |
| Oulad Tayeb                      | 4.626          | 24.594           |
| <i>Dont Centre : Ouled Tayeb</i> | 2.848          | 14.187           |
| Ain Bida                         | 1.443          | 7.843            |
| Sidi Harazem                     | 1.228          | 5.622            |
| <i>Dont Centre : Skhinate</i>    | 822            | 3.509            |

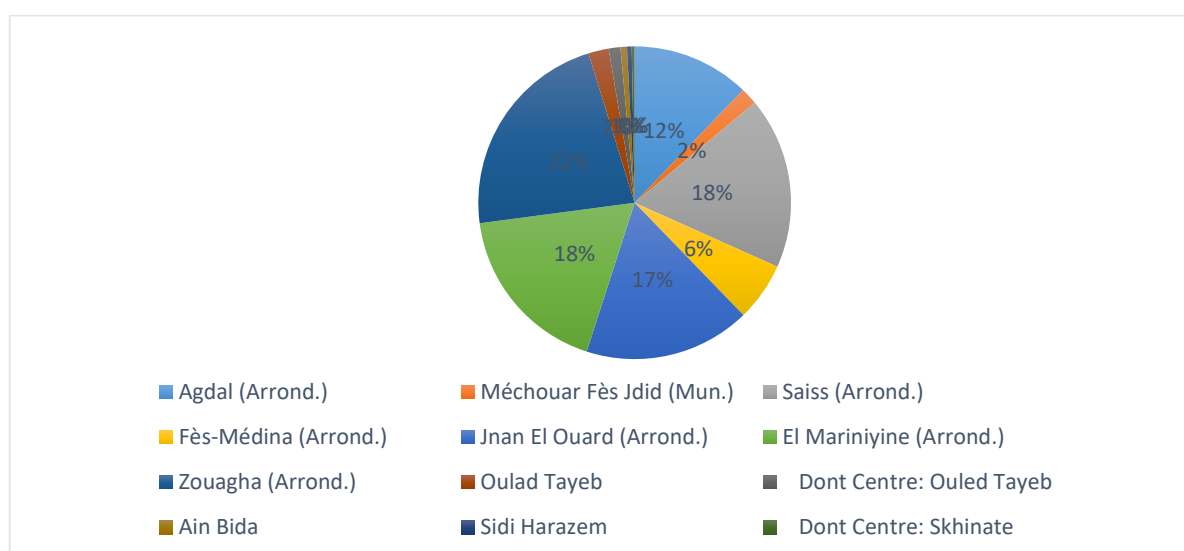


Figure 17 : Répartition de la population de la préfecture de Fès selon les quartiers (RGPH, 2014)

### Taux d'accroissement de la population

Cet accroissement concerne essentiellement les préfectures de Fès et de Meknès ainsi que la province de Moulay Yaâcoub qui ont enregistré des taux d'accroissement respectifs de 1,63%, 1,59% et 1,47% et qui dépassent le taux d'accroissement de la Région qui est de 0,9% et celui national (1,25%). Le développement futur de cette infrastructure doit prendre en compte les besoins d'une population grandissante avec un taux de croissance moyen d'environ 2.9%.

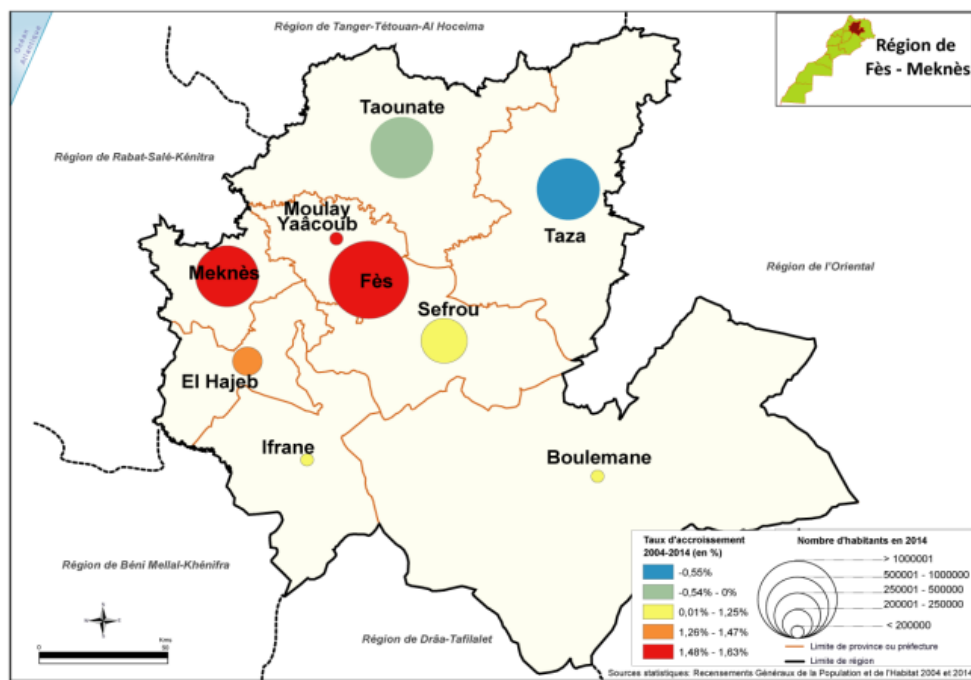


Figure 18: Taux d'accroissement de la population des Provinces et des Préfectures entre 2004 et 2014.  
(Ministère de l'Intérieur Direction Générale des Collectivités Locales, 2015)

### 3- Activité économique de la ville de Fès

La région Fès est une région riche en patrimoine et culture. Celle-ci est la capitale historique du Maroc et la capitale culturelle et artisanale du royaume. L'ancienne Médina est classée patrimoine mondial et au cœur du développement touristique de la région qui contribue grandement à son développement socio-économique. De plus, la région dispose d'un ensemble d'atouts des ressources et de matière première diversifiée, ainsi la présence d'une main d'œuvre qualifiée. Son emplacement géographique favorise le développement économique et social de son territoire, son économie repose essentiellement sur l'industrie, l'artisanat, le tourisme et l'agriculture.

Le secteur **industriel** connaît une activité importante. Ce dernier compte un total de 14 zones industrielles réparties sur une superficie de 421 ha, avec un total de 664 unités (SEAU GLOBE). Le type d'industrie qui prédomine au niveau de la région est l'industrie agroalimentaire et textile, avec de nombreuses unités de trituration d'olives et de tannerie.

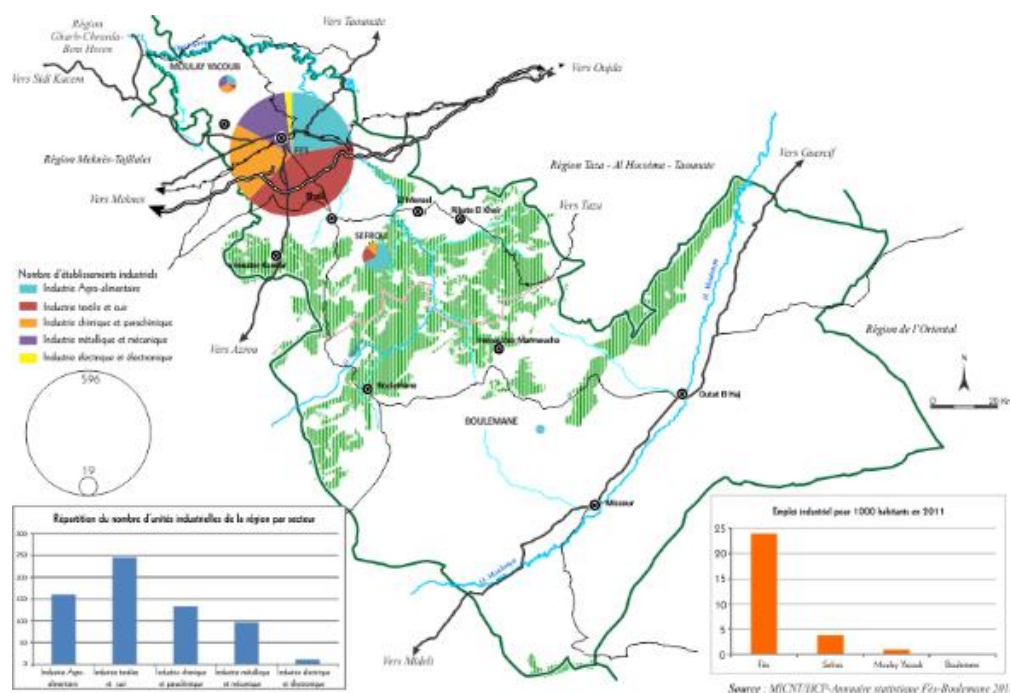


Figure 19 : Répartition des nombreuses unités industrielles de la région de Fès (RGPH, 2017).

Le secteur industriel de la région demeure dans sa globalité peu développée et son apport au niveau national ne reflète pas les atouts et les richesses par rapport à la région en matières premières et en capital humain. La situation de l'appareil productif régional ne lui permet pas de continuer à faire face à la concurrence nationale et internationale, ni de préparer efficacement l'avenir par les investissements nécessaires aux produits de demain. En outre, depuis une dizaine d'années, les coûts salariaux qui constituaient le pilier de l'avantage compétitif des centres urbains de la région s'orientent vers la hausse. Il est donc nécessaire de redonner à la région les moyens d'un repositionnement offensif durable dans la compétition relancée par le Pacte National pour l'Emergence Industrielle.

C'est une région **agricole** qui dispose d'une superficie agricole utile (SAU) de 325 867 HA. La superficie irriguée qui représente 9,5% de l'ensemble de la SAU, est située à raison de 58% dans la province de Boulemane et 25% dans la province de Séfrour. Les terres labourables représentent 78,6% de la SAU de la région. 35,7% de ces terres se situent dans la préfecture de Zouagha My Yacoub, 27,8% dans la province de Séfrour et 25,6% dans la province de Boulemane. L'agriculture dans la région de Fès reste dominée par la culture en bour des céréales (tab. 3).

Tableau 3 : superficie cultivée des céréales 2015-2016 (Haut-commissariat au plan, 2017).

| Superficie cultivée des principales par région 2015-2016 | BLE DUR    |            | BLE TENDRE |            | ORGE       |            | MAIS       |            |
|----------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                          | Production | Superficie | Production | Superficie | Production | Superficie | Production | Superficie |
| Fès                                                      | 131,1      | 21         | 299        | 57,6       | 101        | 12,1       | -          | -          |

Superficie : en millier d'hectare ; Production : en millier de quintaux ;

Tableau 4 : Evolution de la production et de la superficie des céréales (Haut-commissariat au plan, 2017)

| Evolution de la production et de la superficie des céréales | 2015-2016  |            | 2014-2015  |            | 2013-2014  |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                             | Production | Superficie | Production | Superficie | Production | Superficie |
| Fès                                                         | 536,5      | 92,5       | 2743,5     | 96,2       | 2210,9     | 96,2       |

Superficie : en millier d'hectare ; Production : en millier de quintaux ;

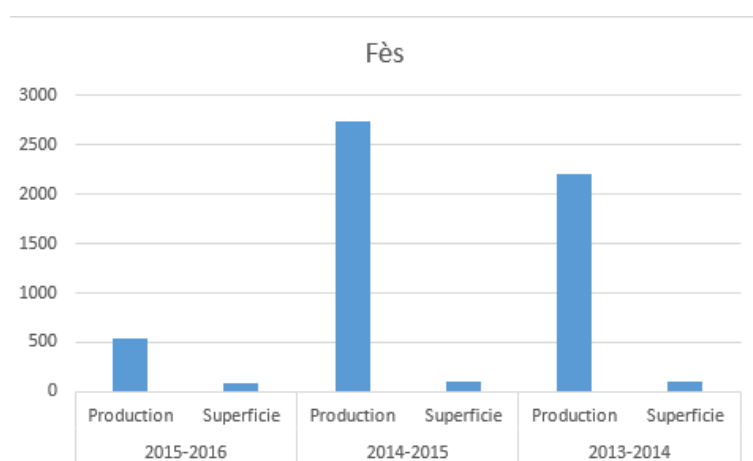


Figure 20 : Evolution de la production et de la superficie des céréales entre 2014-2016

La culture des légumineuses est également une culture très répandue et occupe une importante superficie, On a une baisse de la production des céréales pour la région de Fès tandis que la superficie irriguée est restée quasiment la même. Le réchauffement climatique a été identifié comme l'un des facteurs contribuant à la baisse de l'agriculture (tab. 5).

Tableau 5: Evolution de la production et de la superficie des légumineuses (Haut-commissariat au plan, 2017)

| Evolution de la production et de la superficie des légumineuses | 2015-2016  |            | 2014-2015  |            | 2013-2014  |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                                 | PRODUCTION | SUPERFICIE | PRODUCTION | SUPERFICIE | PRODUCTION | SUPERFICIE |
| Fès                                                             | 106        | 21,4       | 235,6      | 33,1       | 212,3      | 37,9       |

Superficie : en millier d'hectare ; Production : en millier de quintaux ;

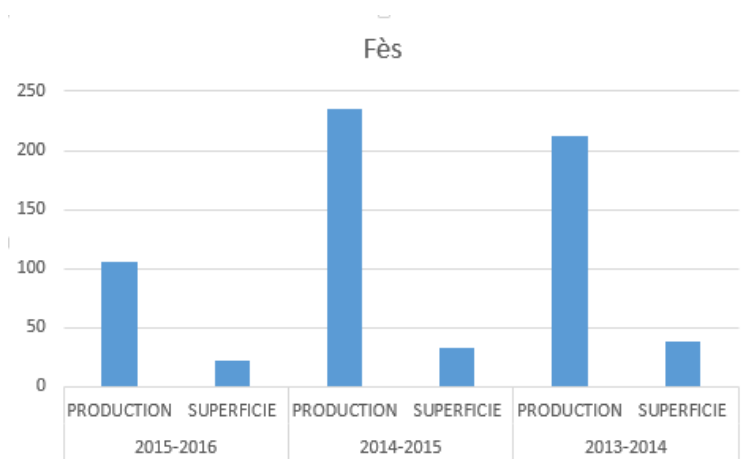


Figure 21 : Evolution de la production et de la superficie des légumineuses 2014-2016

Le secteur artisanal est considéré comme l'une des composantes fondamentales de la structure économique et sociale de la région. La ville de Fès est considérée comme la capitale marocaine de l'artisanat, Cette dernière regroupe 52888 artisans répartie en plus de 200 métiers soit 17% de la population active. Les artisans conservent leurs modes de production, leur savoir-faire et leur originalité. Le secteur de l'artisanat à Fès concentre 81% des artisans, dont 46,76% à l'ancienne médina. Le chiffre d'affaires à augmenter de 7% entre l'année 2012 et 2013 (tab. 6).

Les principales activités artisanales sont : la céramique et la poterie, la tapisserie, la boissellerie, la vannerie, l'orfèvrerie, l'argenterie, le cuivre et la dinanderie, la soierie et la broderie, la maroquinerie, l'habillement en cuir, la sculpture et la peinture du bois, la ferronnerie ...

Tableau 6: Chiffre d'Affaires de l'Artisanat. Ministère de l'Artisanat, 2014

|            | CA 2012 | CA 2013 |
|------------|---------|---------|
| <b>Fès</b> | 2671    | 2850    |

La région de Fès recèle des potentialités et des atouts touristiques remarquables pouvant jouer un rôle de premier choix dans la promotion de la vie économique et sociale. Grâce à son patrimoine historique et architectural qui développe un tourisme essentiellement culturel. La culture et les traditions font de cette région un pôle d'attraction unique dans son genre. En effet, la région dispose de deux des quatre grandes villes impériales du Maroc, ce sont deux cités médiévales qui ont fait désormais l'objet d'une attention particulière, par plusieurs organismes nationaux et internationaux pour préserver leur authenticité, déclarés patrimoines universels de l'UNESCO : la ville de Fès en 1976 et la ville de Meknès en 1996.

## VI. Ressources en eau

### Ressources en eau souterraine mobilisables dans le bassin de Sebou

Les entrées totales des nappes du bassin s'élèvent à environ 1887 Mm<sup>3</sup>/an alors que les sorties totales s'élèvent à environ 2011 Mm<sup>3</sup>/an, et sont réparties en 769 Mm<sup>3</sup>/an (environ 39 %) des prélèvements d'AEP et agricoles, ce qui représente environ 798 Mm<sup>3</sup>/an (41 %) du drainage des sources et des oueds et 395 Mm<sup>3</sup>/an (environ 20 %) des autres sorties (abouchement souterrain, sortie vers la mer, etc) (fig. 23). Les sorties nettes (en dehors des échanges souterrains entre les nappes du bassin) s'élèvent à environ 1568 Mm<sup>3</sup>/an. On constate que le bassin de Sebou est déficitaire d'un volume moyen d'environ 126,3 Mm<sup>3</sup>/an (Tab. 7).

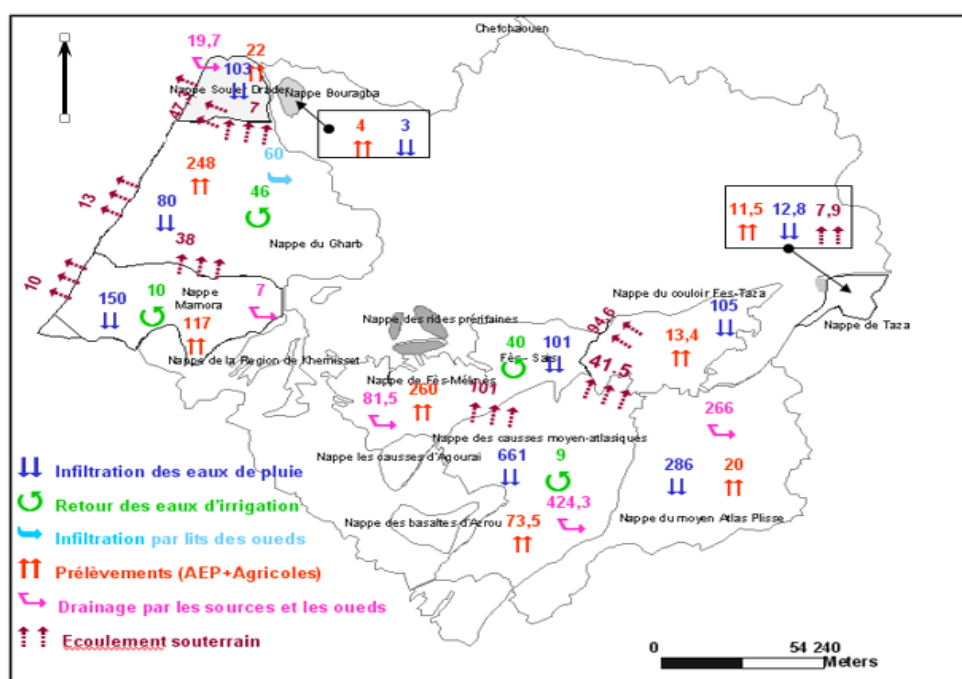


Figure 22: Carte de synthèse des flux circulant des nappes du bassin de Sebou, (ABHS 2011)

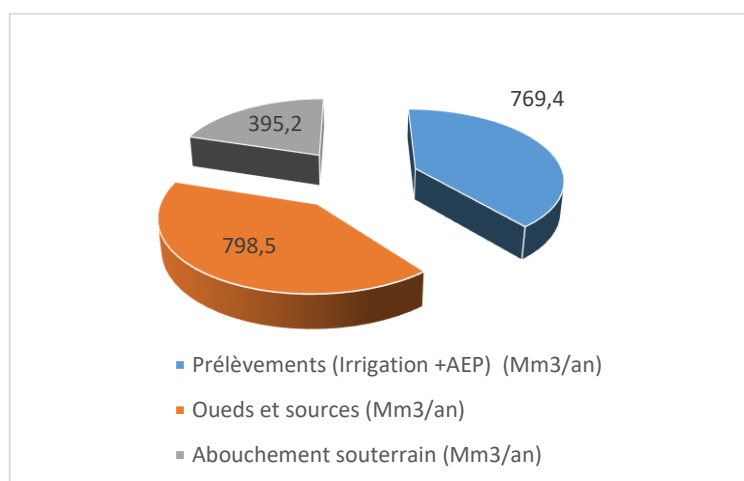


Figure 23: Différents types et volumes des sorties des nappes du bassin de Sebou

Les nappes actuellement déficitaires (niveaux piézométriques en baisse) sont celles de - Meknès (libre et profonde), Gharb, Mamora, Taza et Bou Agba; Seule la nappe du Lias profonde du couloir de Fès-Taza est excédentaire d'un volume de 38,5 Mm³/an et celle des basaltes quaternaires du Moyen Atlas tabulaire d'un volume moyen de 15 Mm³/an (fig .26). Les ressources en eau souterraines supplémentaires mobilisables dans le bassin, s'élèvent à 75 Mm³/an, représentant 4.5 % des entrées nettes du bassin et environ 7 % des débits des écoulements naturels. Ces ressources sont réparties en 40 Mm³/an pour la nappe liasique profonde du couloir de Fès-Taza, 20 à 30 Mm³/an pour la nappe de Dradère-Souière et 10 Mm³/an pour les basaltes quaternaires du Moyen Atlas tabulaire (fig. 24).

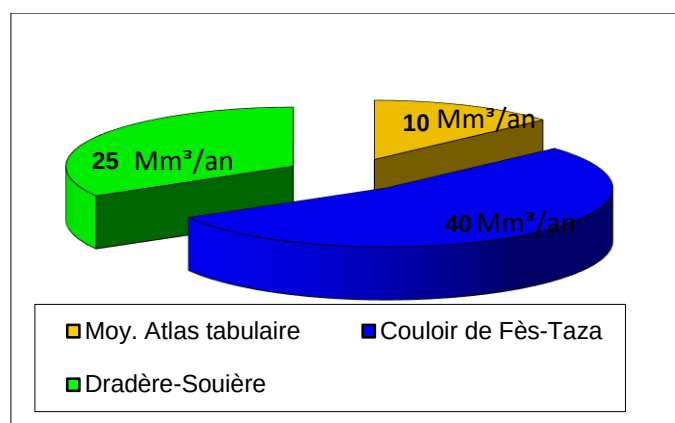


Figure 24: Ressources en eau souterraine mobilisables (Mm³/an) des différentes nappes du Sebou

Tableau 7 : Synthèse des bilans des nappes du bassin de Sebou

| Nappe ou bassin<br>Hydrogéologique | Entrées<br>Totales<br>(Mm³/an) | Prélèvements<br>divers<br>(Mm³/an) | Oueds et<br>sources<br>(Mm³/an) | Abouchement<br>souterrain<br>(Mm³/an) | Sorties<br>totales<br>(Mm³/an) | Bilan<br>(Mm³/an) | Ress. en Eau<br>mobilisables<br>(Mm³/an) |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| Moy. Atlas tabulaire               | 690,5                          | 73,5                               | 424,3                           | 162,4                                 | 660,2                          | 30,3              | 10                                       |
| Moy. Atlas plissé                  | 286                            | 20                                 | 266                             |                                       | 286                            | 0                 | 0                                        |
| Fès-Meknès                         | 241,5                          | 260                                | 81,5                            |                                       | 341,5                          | -100              | 0                                        |
| Gharb                              | 224                            | 248                                |                                 | 13                                    | 261                            | -37               | 0                                        |
| Mamora                             | 160                            | 117                                | 7                               | 48                                    | 172                            | -12               | 0                                        |
| Couloir de Fès-Taza                | 156,5                          | 13,4                               | 48,5                            | 94,6                                  | 156,5                          | 0                 | 0                                        |
| Dradère-Souière                    | 111                            | 22                                 | 19,7                            | 69,3                                  | 111                            | 0                 | 20 à 30                                  |
| Taza                               | 12,8                           | 11,5                               |                                 | 7,9                                   | 19,4                           | -6,6              | 0                                        |
| Bou Agba                           | 3                              | 4                                  |                                 |                                       | 4                              | -1                | 0                                        |
|                                    |                                |                                    |                                 |                                       |                                |                   |                                          |

|              |               |              |               |               |             |               |               |
|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| <b>Total</b> | <b>1887,3</b> | <b>769,4</b> | <b>798,5</b>  | <b>395,2</b>  | <b>2011</b> | <b>-126,3</b> | <b>Env 75</b> |
| <b>(%)</b>   |               | <b>39,2%</b> | <b>40,7 %</b> | <b>20,1 %</b> |             |               |               |

Les volumes supplémentaires mobilisables (fig. 25), ainsi que l'emplacement des futurs ouvrages d'exploitation, devront être confirmés au préalable par des études hydrogéologiques et de modélisation, basées sur des données actualisées en quantité et en qualité suffisantes (cartes et historiques piézométriques, prélèvements divers, débits du drainage des sources et des cours d'eau, paramètres hydrodynamiques, etc). Ceci à fin d'étudier avec précision l'impact des prélèvements supplémentaires sur les différents termes des bilans, sur les niveaux piézométriques, sur le débit du drainage naturel (sources, cours d'eau superficiels, abouchement souterrain, etc) et sur la qualité de l'eau des nappes a exploité.

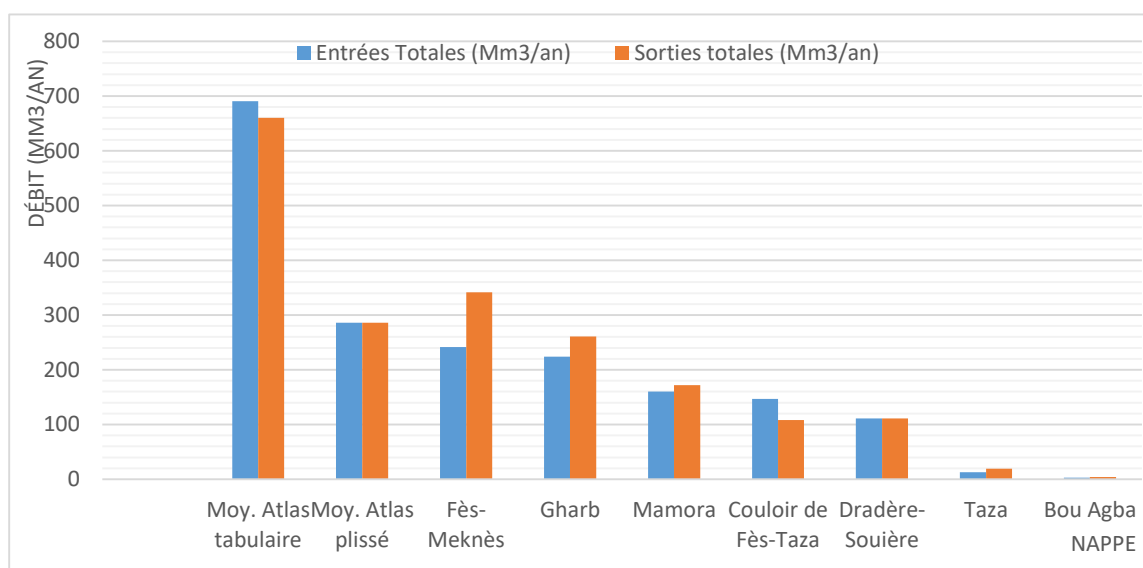


Figure 25: Volumes des entrées et sorties des nappes du bassin de Sebou

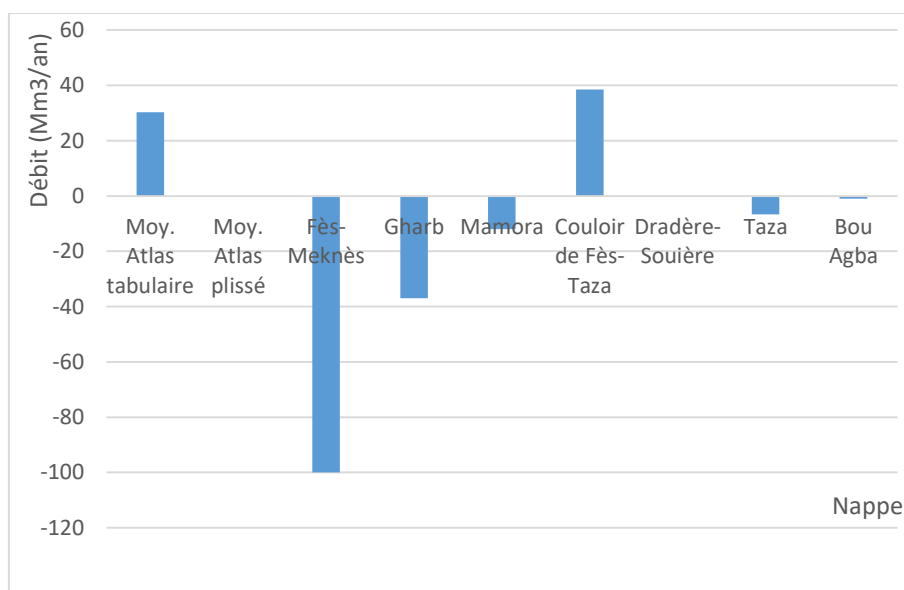


Figure 26 : Bilans hydrauliques des nappes du bassin de Sebou

Ces données sont certes un peu anciennes (2002) toute fois nous avons pu récupérer de nouvelles données de 2019 uniquement sur la nappe qui nous intéresse qui est la nappe de Fès -Meknes. En 2011 le déficit était de 100 Mm<sup>3</sup>/an et il est passé en 2019 à 136.9 Mm<sup>3</sup>/an. Ce qui malheureusement aggrave la situation et montre des prélèvements en perpétuel augmentation depuis cette nappe.

### Ressources en eau de surface

Le bassin comprend un ensemble de plaines, limitées par les montages du Rif et de l'Atlas dont les plus importantes sont la basse plaine alluviale du Gharb et la plaine de Saïss. D'après le réseau hydrographique, l'Oued Sebou contient quatre principaux affluents. On a le Sebou qui est issu du moyen Atlas et constitué par les bassins du haut Sebou (6 000 km<sup>2</sup>) de l'Inaouène (5 200 km<sup>2</sup>) et du moyen Sebou (5 400 km<sup>2</sup>), le barrage Idriss 1er, on a l'Ouergha, qui a une superficie de l'ordre de 7 300 km<sup>2</sup> contrôlé par le barrage Al Wahda à 5 km en amont de M'Jara. Il y'a le Beht, qui a une superficie de l'ordre de 9 000 km<sup>2</sup> contrôlés par le barrage El Kansera, il reçoit l'oued R'dom avant de rejoindre le Sebou dans la plaine du Gharb. Et pour finir le bas Sebou, dont la superficie couvre environ 6 000 km<sup>2</sup>, et qui constitue un chenal instable et insuffisant pour supporter les débits de crues, il est contrôlé par le barrage Allal Al Fassi.

#### 2.1- Pluviométrie moyenne du bassin

La pluviométrie moyenne du bassin est de 750 mm avec une grande variation entre 400 mm sur le haut Sebou, au niveau des vallées encaissées de Beht et de 1.800 mm sur les hauteurs du Rif. Elle se caractérise par l'existence de deux saisons bien distinctes : une saison sèche de mai à septembre et une autre humide d'octobre à avril et également par une variabilité interannuelle très prononcée.

Les apports en eau moyennes annuelles s'élèvent à 5 560 Mm<sup>3</sup> par an, soit 887 m<sup>3</sup>/hab en moyenne. C'est un des niveaux les plus élevés du Maroc (moyenne nationale est de 604 m<sup>3</sup>/hab). Comme le reste du Maroc, le Sebou doit faire face à une grande variabilité des apports en eau, temporaire mais aussi spatiale qui peuvent varier dans un rapport de 1 à 20.

#### 2.2- Variations spatiales

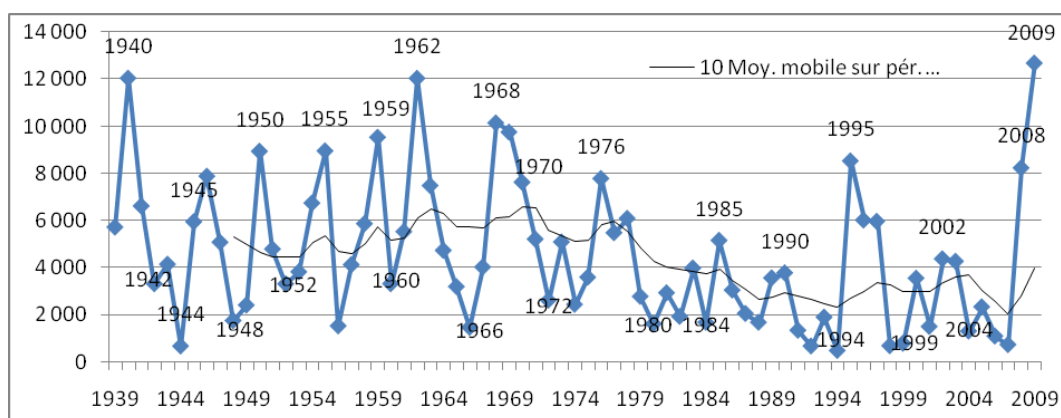
Les débits spécifiques ou débits moyens interannuels par unité de surface sont d'environ 1l/s/km<sup>2</sup> (Haut Sebou, oued Mikkès, Bas Sebou) à 3 et 4 l/s/km<sup>2</sup> sur les oueds Inaouène – Lebene, et 10 à 15 l/s/km<sup>2</sup> sur le bassin de l'oued Ouergha. Les coefficients de ruissellement (rapport entre les écoulements annuels moyens, mesurés en mm et les précipitations annuelles moyennes) varient entre 10 % environ (Haut et Moyen Sebou), de l'ordre de 20 % sur les oueds Inaouène, Lébène, Beht et Bas Sebou, et 40 % sur l'oued Ouergha.

Ces variations sont due à la variation de la perméabilité des sol et donc à la nature géologique du sol. Par exemple, le sol du bassin de l'Ouergha, à l'amont du barrage Al Wahda, est constitué essentiellement de terrains argilo-marneux imperméables du crétacé alors que dans le sud de Khémisset, on rencontre du schiste réputé par sa grande perméabilité, mais nous avons également les fortes précipitations enregistrées sur le bassin de l'oued Ouergha. L'accroissement du déficit d'écoulement annuel (précipitation - ruissellement) se fait à un rythme plus faible que l'accroissement de la pluie. À un certain moment, le déficit d'écoulement paraît tendre vers une valeur asymptotique de l'ordre de 600 mm.

Les déficits d'écoulement sont beaucoup plus stables spatialement car ils ne varient que dans une fourchette de 450 à 600 mm environ alors que les coefficients d'écoulement varient dans une fourchette de 1 à 4 (10 % à 40 %) et que les écoulements eux-mêmes varient de 1 à 10 (40 à 400 mm).

### 2.3 Variations interannuelles

Les apports annuels peuvent varier dans un rapport de 1 à 28 entre deux années (année très sèche 1994/95 et année humide 1995/96 et 2009/2010). Entre les deux séries 1939-2009 et 1973-2009, comparables à celles utilisées pour les précipitations, on trouve une diminution de 23 % en moyenne des apports sur la dernière période. Cette diminution relative est encore plus forte (40 à 50 % selon les sous bassins) (tab. 8). L'effet de la sécheresse est donc considérablement marqué sur les apports, contrairement à l'effet des précipitations. En effet, lorsque ces dernières diminuent, le déficit d'écoulement reste à peu près constant, tandis que le ruissellement diminue donc très fortement en valeur relative (fig. 27).



A ces valeurs il y a lieu d'ajouter les apports des derniers affluents rive gauche du Sebou, qui descendent de la région de Tiflet, ou périurbains de Kenitra et confluent avec le Sebou (ou l'oued Beth) entre le barrage de garde et la ville de Kenitra. Ces apports sont faibles en été, non valorisables pour l'irrigation car non contrôlée par des retenues, mais représente à l'échelle annuelle un apport supplémentaire à l'embouchure de l'ordre de 100 Mm³ sur la période 1939-2009 et de 70 Mm³ sur la période 1973-2009 (tab. 8).

Pour rester exhaustif le bassin versant comprend également de petits Oueds côtiers. Il s'agit des oueds M'Da, Dradere et Souière, qui ne sont pas des affluents directs de l'oued Sebou mais débouchent dans la Merja Zerga et la Merja Halloufa. Les apports des oueds M'Da (station de Moulay Ali Cherif) et Dradere (station de Lalla Mimouna) sont estimés respectivement à 1.77 m³/s et 0.90 m³/s sur la période 1973-2009, et 2.09 m³/s et 2.32 m³/s ramenés à la période 1939-2009, ce qui représente, sur cette dernière période, un apport moyen annuel de 139 Mm³.

Tableau 8 : Ecoulements annuels moyens dans le bassin du Sebou. Pdaire, 2011

| Station      | Sous- bassin             | Débit (m3/s) 37/71 ans |               | Volume (Mm3) |              | Diminution relative (%) |
|--------------|--------------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------------------|
|              |                          | 1973-2009              | 1939-2009     | 1973-2009    | 1939-2009    |                         |
| Allal Fassi  | Barrage Allal Fassi      | 15,22                  | 19,21         | 480          | 606          | -21%                    |
| Dar Arsa     | confluence sebou inawene | 3,06                   | 3,86          | 97           | 122          | -21%                    |
| Idriss 1er   | Barrage Idriss 1er       | 12,63                  | 17,52         | 398          | 553          | -28%                    |
| Sidi Abou    | Lben                     | 2,05                   | 2,74          | 65           | 86           | -25%                    |
| Sidi Chahed  | Mikkas                   | 0,92                   | 1,44          | 29           | 45           | -36%                    |
| Azib Soltane | MoyenSebou intermediaire | 1,87                   | 2,69          | 59           | 85           | -30%                    |
| Bge Al Wahda | Ouergha                  | 67,70                  | 85,45         | 2 136        | 2 696        | -21%                    |
| khenichet    | Ouergha                  | 4,85                   | 6,47          | 153          | 204          | -25%                    |
| Hadkort      | Rdat                     | 2,70                   | 3,60          | 85           | 114          | -25%                    |
| Kansera      | Beht                     | 8,32                   | 11,25         | 262          | 355          | -26%                    |
| Souk Had     | Rdom                     | 2,88                   | 3,74          | 91           | 118          | -23%                    |
|              | <b>Total Sebou</b>       | <b>122,20</b>          | <b>157,97</b> | <b>3 856</b> | <b>4 984</b> | <b>-23%</b>             |

### Qualité des ressources en eau

3-

#### 3.1 Réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines

Le réseau de suivi de la qualité des nappes mis en place par l'ABH Sebou montre que 47% des points qui comporte 226 stations de contrôle présentent une qualité moyenne à bonne, mais 34% sont très mauvaise qualité, due principalement à une contamination par les nitrates dans les régions à forte activité agricole (Gharb, saïss et Mamora). Cette pollution est le résultat conjugué d'un usage abusif des produits agrochimiques et de système d'irrigation gravitaire, non économe en eau, permettant à une part importante des eaux d'irrigation de migrer vers la nappe



Figure 28: Répartition globale de la qualité des eaux souterraines

Le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines est constitué par 94 piézomètres (tab. 9).

Tableau 9: Densité du réseau de contrôle de la qualité des nappes du bassin du Sebou

| Nappe       | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Nombre de piézomètres | Densité des points de contrôle par Km <sup>2</sup> |
|-------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|
| Fès-Meknès  | 2200                          | 31                    | 1 piézo. pour 71 km <sup>2</sup>                   |
| Gharb       | 4000                          | 27                    | 1 piézo. pour 148 km <sup>2</sup>                  |
| Maâmora     | 1900                          | 23                    | 1 piézo. pour 83 km <sup>2</sup>                   |
| Fès-Taza    | 1200                          | 6                     | 1 piézo. pour 200 km <sup>2</sup>                  |
| Moyen Atlas | 8800                          | 7                     | 1 piézo. our 1257 km <sup>2</sup>                  |

On distingue que la qualité la mieux contrôlée est celle des nappes de Fès-Meknès elle a 1 piézomètre chaque 71km<sup>2</sup>, et la qualité qui est contrôlée de manière moyenne sur les nappes du Gharb et de Fès-Taza (densité comprise entre 150 et 200 km<sup>2</sup> pour un piézomètre). Et la moins bien contrôlée est celle du Moyen-Atlas (la densité est supérieure à un piézomètre pour 1000 km<sup>2</sup>). La qualité des eaux souterraines du bassin varie en général selon la nappe, elle est excellente pour les paramètres organiques pour l'ensemble des nappes et globalement bonne pour la qualité bactériologique (ABHS, 2011).

La situation est bonne pour les nappes du Moyen Atlas, globalement bonne à moyenne pour la nappe du Gharb, globalement moyenne à mauvaise pour la nappe de la Mamora, et Mauvaise à très mauvaise pour la nappe phréatique de Fès-Meknès (fig 29). Mauvaise pour les teneurs en nitrates au niveau des principales nappes avec des pourcentages de points dépassant la valeur maximum admissible (50 mg/l pour l'eau potable) de 60 % pour les nappes de Fès-Meknès et du Gharb et de 45 % pour la Mamora.

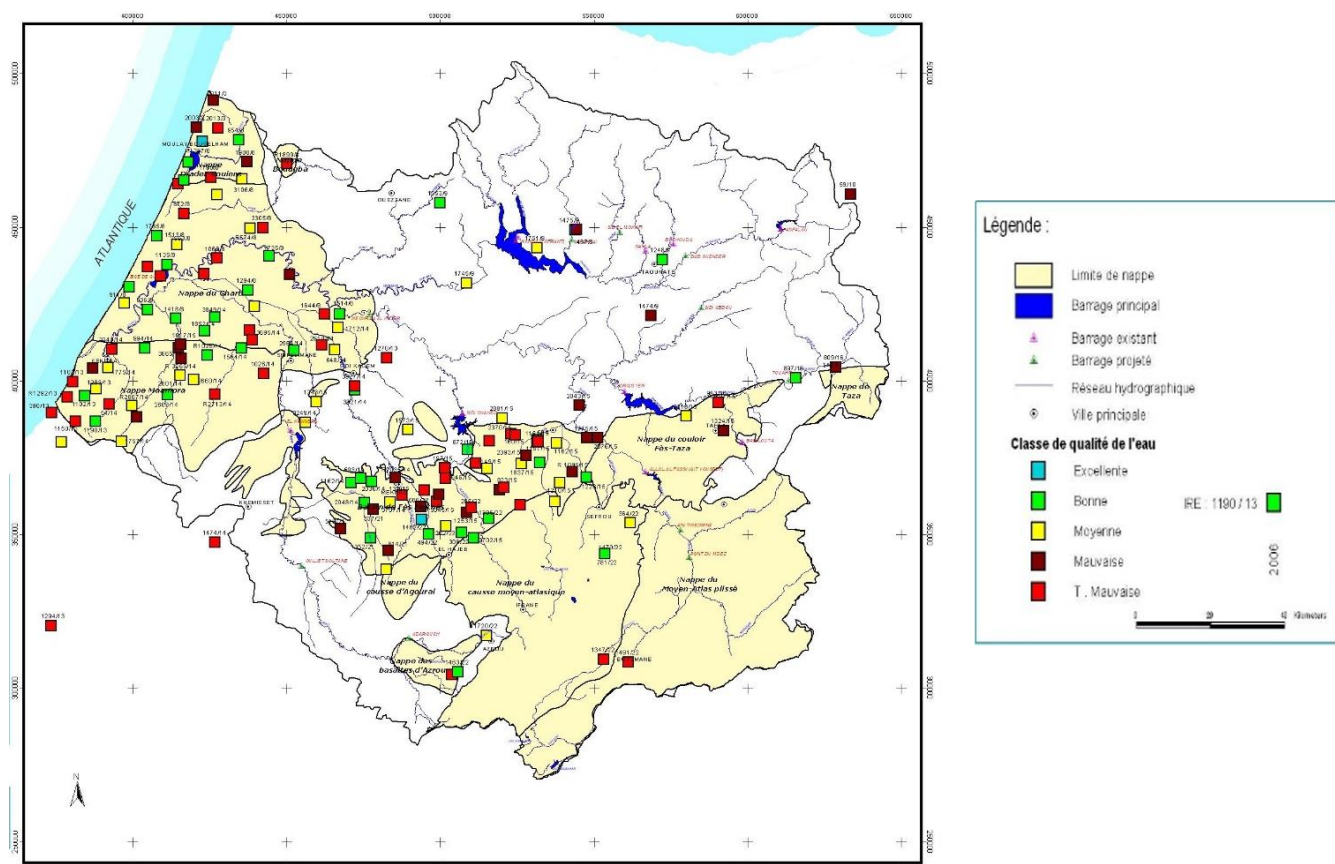


Figure 29: Etat de la qualité globale des nappes (ABHS, 2011)

Les résultats d'analyses effectués en quelques points des nappes de Fès –Meknès de 1999 à 2001 et de la moyenne Moulouya de 2008 à 2011. La qualité des eaux de la nappe de Fès – Meknès d'après les valeurs obtenues était variable d'un point à l'autre. Néanmoins, elle était en général de qualité bonne à moyenne. Le piézomètre étudié au niveau de la moyenne Moulouya met en évidence une eau de qualité moyenne avec une concentration en  $\text{NO}_3$  et en chlore en croissance.

### 3.2 Recommandations d'amélioration

Les opérations suivantes sont recommandées pour améliorer la qualité globale actuelle des eaux souterraines du bassin de Sebou (ABHS, 2012) :

- L'épuration des eaux usées domestiques, industrielles et minières avant leur rejet dans le milieu naturel ;
- La rationalisation de l'utilisation des engrais chimiques et des produits phytosanitaires dans les périmètres et parcelles agricoles (GH et PMH), dont la dose utilisée (97 Kg. N/ha) dépasse largement parfois la dose appliquée au niveau national (62 Kg. N/ha) ; cas du bassin de Fès-Meknès ;
- Le remplacement progressif des prélèvements d'eau souterraine dans la zone côtière (nappes de la Mamora, Gharb et Dradère-Souïère), par des eaux d'origine superficielle. Ceci afin de limiter l'invasion des eaux marines ;
- La localisation précise et le suivi du biseau salé par tomographie électrique le long du littoral des nappes côtières ;

- La localisation des déversements des eaux souterraines des nappes côtières dans l'océan atlantique par thermographie infrarouge, ce qui permet d'identifier les zones présentant un risque d'intrusion du biseau salé ;
- La caractérisation de la vulnérabilité des nappes à la pollution à travers des études spécifiques ;
- L'élaboration des modèles numériques de transport de la pollution en régime transitoire (en 2D et en 3D), couplés avec des modèles hydrodynamiques, pour la simulation de l'évolution temporelle et de la distribution spatiale des teneurs des différents ions, notamment ceux des nitrates et des chlorures au niveau des périmètres agricoles et de la zone côtière
- La mise en place des périmètres de protection autour des captages d'eau potable ;
- L'application de la loi sur l'eau 10/95 notamment ses articles relatifs aux principes préleveur/payeur et pollueur/payeur, afin de limiter l'invasion des eaux marines dans les zones côtières et la pollution des nappes par des rejets industriels, miniers et par une utilisation excessive des engrais chimiques et des produits phytosanitaires.

## 4 Qualité de l'eau de surface

### 4.1 Etat des milieux aquatiques et des zones humides dans le bassin du Sebou

Le suivi de la qualité des milieux aquatiques et des zones humides dans le bassin du Sebou se limite à un suivi des hauteurs dans les cours d'eau et dans les retenus de barrage, et la réalisation des jaugeages périodiques dans les principales sections des cours d'eau et au niveau des sources. Un suivi plus ou moins régulier du niveau d'eau au niveau de certains lacs naturels, un suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau au niveau des principaux cours d'eau et retenues de barrages, et au niveau de certaines sources. Les mesures restent cependant ponctuelles dans le temps et risquent de ne pas être représentatives.

Le suivi reste donc incomplet et ne permet pas de dresser un état de la qualité des milieux aquatiques et des zones humides dans le bassin du Sebou couvrant tous les aspects. Les aspects manquants sont le suivi de la qualité de l'eau des lacs et des zones humides, et de la qualité physique de ces milieux eux même, ainsi qu'un suivi de la qualité physique des cours d'eau et enfin un suivi des indicateurs biologiques. Compte tenu de ce qui précède, on se limitera dans ce qui suit à l'évaluation de l'état de qualité de l'eau.

### 4.2 Suivis de la qualité de l'eau

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface est composé de 8 stations primaires localisés en aval des principales sources de pollution ou au niveau des prélèvements d'eau importants dont la fréquence d'échantillonnage est trimestrielle. Il y'a 23 stations secondaires pour obtenir des informations complémentaires dont la fréquence des prélèvements et des analyses est bi-annuelle, et 7 stations au niveau des retenues de barrage pour lesquelles l'échantillonnage se fait en surface, au milieu et au fond de la retenue avec une fréquence semestrielle.

L'état de qualité des ressources en eau publié par la DGH en 2003, dresse les états de qualité des cours d'eaux observées pendant les années 1999/2000 et 2000/2001. Les états de qualité des ressources en eau de surface du bassin du Sebou sont représentés sur la carte ci-après. En comparant les deux états, on constate une amélioration de la qualité de l'eau au niveau de 11 % des stations échantillonnées étant donné que la seconde campagne a été réalisée après une période de hautes eaux, tandis que la première a été réalisée en période de basses eaux d'une année jugée sévèrement sèche (1999/2000). Par contre, des stations n'ont pas connu de changement au niveau de l'état de qualité des eaux telles que les stations situées à l'aval des rejets d'eau usée où la qualité est restée très mauvaise.

L'étude sur la qualité montre qu'il y'a La qualité de l'eau a été très mauvaise pendant toute la période du suivi au niveau des stations Dar El Arsa, Souk El Had et aval Sidi Slimane. Ces eaux ne peuvent être utilisées à aucun usage et peuvent constituer une menace pour les riverains. Les eaux de bonne à moyenne qualité sont situées au niveau des stations Ain Timedrine (Sebou), El Kouchet (Inaouène), Khénichet (Ouergha) et Mograne (Sebou aval). Mais, cette qualité s'est dégradée légèrement lors des crues par l'élévation des teneurs du phosphore total et de la DCO. En ce qui concerne la pollution par les métaux lourds et les matières organiques, l'ensemble des données recueillies depuis 1994 a été analysé afin d'évaluer la qualité spécifique, les tendances d'évolution et l'impact des rejets urbains sur la qualité des cours d'eau. Il ressort de cette analyse que :

- Les teneurs en phénol ont dépassé 10 µg/l au niveau de l'ensemble des stations situées en aval des rejets urbains ;
- La qualité en termes de chrome total a été généralement bonne à moyenne. La station aval Fès semble la plus polluée avec 100 % des mesures de mauvaise qualité, viennent ensuite la station aval Meknès et la station aval Sidi Slimane;
- Une dégradation de la qualité de l'eau en termes de Sélénium a été observée sur la période 1994-2001. Elle est devenue mauvaise à partir de 1997 surtout en aval de Fès, Meknès et Taza;
- Les teneurs en Arsenic, Mercure, Nickel, Plomb ont été généralement faibles au niveau de l'ensemble des stations hormis quelques teneurs moyennement élevées en aval de Fès et Meknès.

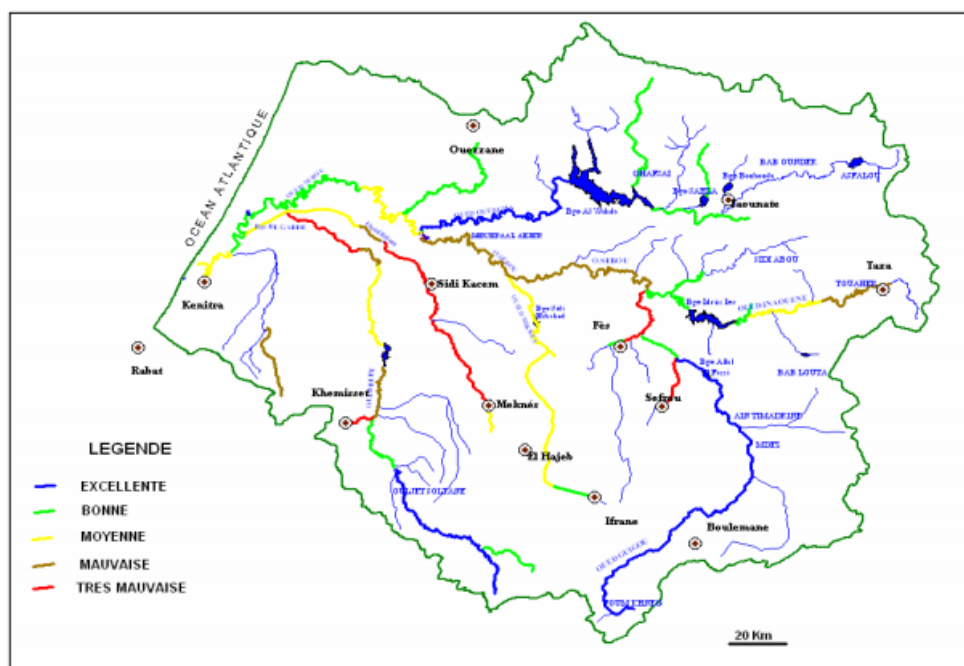


Figure 30 : Qualité des eaux de surface, (ABHS, 2011)

#### La demande en eau dans la ville de Fès

5-

Selon les données communiquées par l'ONEP et la RADEEF, la production en eau potable globale au niveau de la région Fès-Méknès s'est élevée à environ 92 Mm<sup>3</sup>, en 2010, enregistrant une augmentation de 6,2 % par rapport à l'année 2009. Cette production a été alimentée à hauteur de 19 % à partir des eaux superficielles et 81 % à partir des eaux souterraines. Sur le plan provincial, plus des deux tiers de la production en eau potable régionale est destinée à la préfecture de Fès avec plus de 82 Mm<sup>3</sup> en 2010. La province de Sefrou se situe en 2ème position avec environ 6 Mm<sup>3</sup>, suivie de la province de Boulemane et Moulay Yacoub en dernière position. Les ressources en eau souterraine jouent un rôle primordial dans l'approvisionnement en eau de la région. Le phénomène d'artésianisme, très répandue au niveau de la plaine de Fès, constitue un avantage qui pousse à avoir recours à l'exploitation de ces ressources. Il assure environ 60 % les volumes d'eau souterraine exploités pour l'AEPI avec plus de 43 Mm<sup>3</sup> /an pour la ville de Fès

#### 5.1 Demande en AEPI

La demande en eau potable et industrielle dans la province de Fès est évaluée à 67.11 Mm<sup>3</sup>/an en 2015. Cette demande passera à 82.43Mm<sup>3</sup>/ an à l'horizon 2030 (fig. 31).

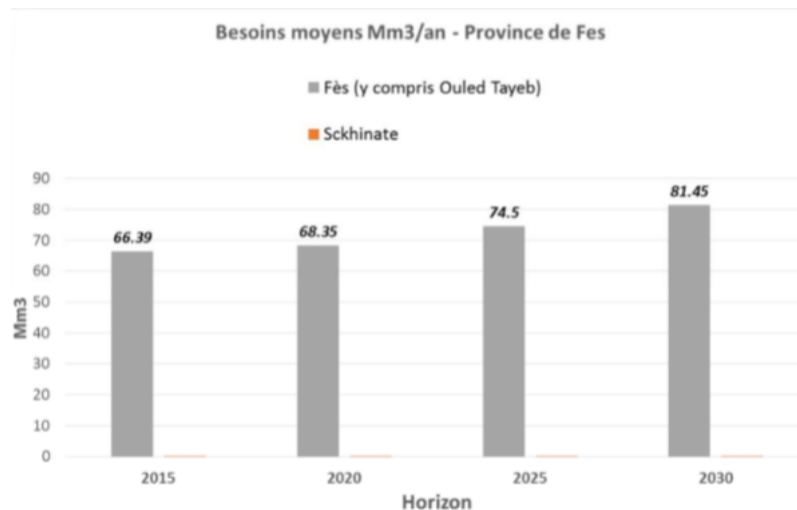


Figure 31 : besoins moyens en AEP industrielle par différent horizon.

## 5.2 Demande en eau pour l'Irrigation

Le secteur agricole est de loin le premier consommateur de l'eau au niveau régional, le volume d'eau mobilisé pour l'irrigation au niveau de la région est de 239 Mm<sup>3</sup> en 2008, ce qui correspond à environ 73 % des mobilisations en eau au niveau régional, alors que la superficie agricole irriguée est faible et ne représente que 12 % de la superficie agricole utile de la région. Les superficies irrigables dans la province de Fès étaient élevées en 2018 à 2052 HA avec une efficacité de 86% pour le réseau de distribution et de 67% pour le type d'irrigation, en tenant compte d'une efficacité totale, le besoin en eau a été évalué à 3630 m<sup>3</sup>/ha avec un prélèvement total de 1293 Mm<sup>3</sup> (DIAEA, 2018).

Tableau 10: les superficies irrigables, (DIAEA, 2018)

| Secteur         | Superficie PMH Ha |
|-----------------|-------------------|
| Ain Chkef       | 230               |
| Ain Smen        | 160               |
| Sidi Harazem    | 450               |
| Route de Séfrou | 672               |
| Route d'imouzer | 437               |
| Forage F6       | 103               |
| TOTAL           | 2052              |

## 6- Menaces et enjeux de la région

La région de Fès est l'une des plus denses à l'échelle nationale, avec une densité de population qui sont majoritairement concentré dans la zone urbaine. Cette dernière à un rythme de croissance élevé comparé au rythme nationale (Direction régionale de Fès, 2010).

Sur le plan économique, la population de la région puise l'essentiel des éléments nécessaires pour son bien-être et son développement dans les espaces et les ressources de la région, dont les principales composantes sont l'eau, le sol. Le secteur de l'industrie et l'agriculture qui constitue un des piliers de l'économie de la région montre une forte exploitation des ressources naturelles, malgré les incontournables efforts législatifs, organisationnels et opérationnels qui ont été menés par le gouvernement.

Le manque de données et l'absence d'information de certain composant favorise l'exploitation anarchique des ressources naturelle. Sans oublier que les composantes naturelles eux même, font l'objet de plusieurs pression d'ordre naturelle à des degrés différents, qui engendre des problèmes environnementaux allant de la pollution des ressources en eau, à la dégradation physico-chimique du sol, en passant par la dégradation de la biodiversité. On peut distinguer de type de problématique ceux qui sont directement liées aux composantes environnementales et ceux au non environnementaux, dans le cas de notre étude on va analyser les problématiques directement liées aux composantes environnementales, on distingue les pressions sur les ressources en eau et celles sur les ressources au sol.

- Les pressions sur les ressources en eau

La ville de Fès avec sa situation au centre du pays et sa mitoyenneté avec des zones bien arrosées du rif et du moyen atlas au sud, bénéficie d'un bon apport en eau. Cependant, les ressources en eau sont soumises à des pressions qui proviennent principalement de facteurs climatiques, des rejets liquides et solides qui affectent ainsi la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau. Les ressources en eau sont affectées par un problème de pollution ils sont contaminées par les rejets domestiques non épurés, par les effluents résultant des activités artisanales et industrielles en l'occurrence ceux générés par la médina de Fès et par la pollution agricole par la diffusion des engrais et pesticides. On a la raréfaction de l'eau qui résulte suite aux changements climatiques qui ont comme conséquences la diminution des nappes. Le bilan quantitatif du dernier PDAIRE, monte un déséquilibre certain entre les entrées et les sorties d'eau du aussi un déséquilibre dû à la consommation et la demande croissante en eau des divers secteurs d'activité.

- Les pressions sur les ressources en sol

Le sol subit d'une part une multitude de pressions aussi bien naturelles qu'anthropiques qui nous envoie à la perte en sol par l'érosion, l'urbanisation (expansion des constructions) et la déforestation. D'autre part la dégradation de la qualité du sol par la pollution diffusée par l'activité agricole, par les lixiviats des décharges public et les rejets directs domestiques et industriels.

Un déficit en matière de gouvernance pour le sol, le diagnostic de l'état de l'environnement de Fès a révélé qu'il y a une insuffisance en historique de donnée et la quasi absence d'information tel que la tendance évolutive de la qualité des sols. Ce manque de suivi et un handicap pour l'environnement car il encourage à l'exploitation anarchique des ressources naturelle.

## Chapitre 3 : APPROCHE SYSTEMIQUE DE LA GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LA VILLE DE FES

### I. Gestion intégrée dans la ville de Fès

Au niveau de la ville de Fès, cette préoccupation est bien présente. Elle est attestée par la récente création d'un pôle de gestion de l'eau dans l'agence du bassin hydraulique de Sebou, mandatée par un contrat de gestion participative de nappe, faisant suite à la loi sur l'eau 36/15. Ce contrat repose sur une démarche participative et de concertation de la gestion des ressources avec la participation et l'engagement des partenaires régionaux et locaux ce qui a pour but de garantir un développement environnemental et socio-économique durable et pour objectif de rééquilibrer le Bilan de la nappe et la restauration des débits des sources et lacs, de sécuriser l'AEP, de protéger et préserver des systèmes écologiques (Dayas, zones humides...) et d'assurer la durabilité du développement des secteurs touristiques, industriels, économiques et environnementaux et particulier celui de l'agriculture.

Les partenaires dans la mise en œuvre du contrat de la nappe sont principalement constitué des autorités et les établissements publics (ministère de l'intérieur, Agriculture, Equipement, ONEE, ABH...), les élus (Conseil régional, Conseils Provinciaux, Chambres d'Agriculture et d'Industrie, Associations des usagers de l'eau...) et l'association de la société civile.

Ainsi qu'une création d'un comité de gestion des barrages. Qui ont pour consigne la gestion des barrages, la garantie de l'eau pour AEP pour un minimum de 3 ans, la garantie de l'eau pour l'irrigation et la valorisation maximale de l'eau par turbinage. Cette comité est composé de :

- L'agence du bassin hydraulique du Sebou ;
- Autorités locales ;
- Secrétariat d'Etat Chargé de l'Eau ;
- Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole (Ministère de l'Irrigation et de la pêche maritime) ;
- Office Régional de Mise en valeur Agricole du Gharb (ORMVAG).
- Office National de l'Electricité et de l'eau Potable-Branche Electricité ;
- Les associations des usagers de l'eau agricole.

### Application de la structure système ressource

Dans un premier temps, nous proposons un modèle de gestion par « système » à travers la mise en évidence du processus système qui va nous permettre par la suite, de définir les différents sous systèmes sociaux et écologiques ce qui peut nous générer des problématiques ou être un obstacle de gestion (Chevallier, 1983 ; Prelaz-drouz, 1995).

- 1- On peut déterminer dans un premier temps, un système général et simplifié qui a pour but de montrer et comprendre la grande interaction entre le système principale qui est la ressource et les sous-systèmes. Pour l'intégration des organes de gestion on a distingué deux type de système, le système naturel qui fournit la ressource les aquifères, la pluie, les eaux de sources et les eaux de rivière, et le système social qui l'utilise.

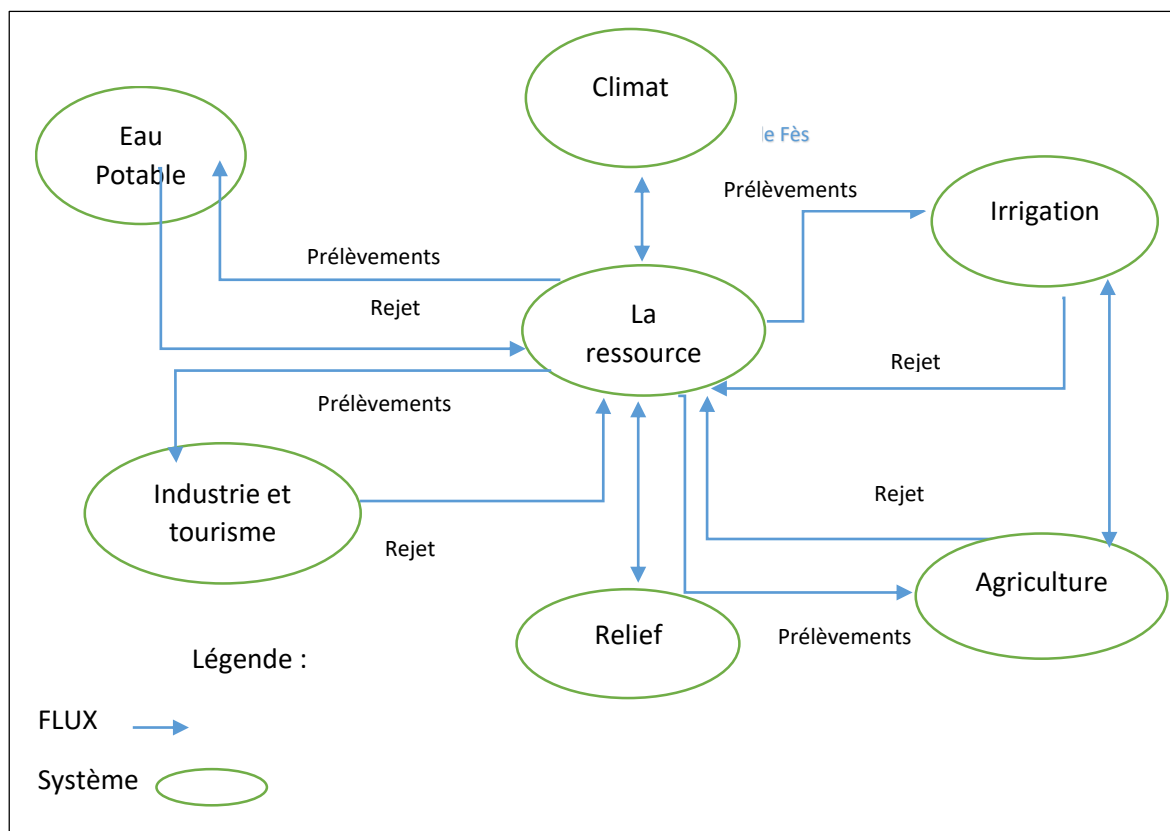


Figure 32: Structure du système EAU dans la ville de Fès

Les situations de conflit ou de complémentarité, sont souvent créées par la rareté de la ressource et l'état de la pénurie qui en résulte, avec le poids des sous-systèmes. Les sous-systèmes climat et relief qu'on va développer sont importants car ils agissent directement sur la ressource et par la suite peuvent modifier complètement le comportement du système.

## Structure ressources

Les ressources en eau dans une ville dépendent de son environnement local, la spécificité d'un milieu est marquée par l'influence de ses sous-systèmes qui l'entourent (la biosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère), sur la disponibilité de la ressource. Le système climatique se caractérise par une forte variation saisonnière de la disponibilité de la ressource, notamment en hiver, qui se caractérise par des températures basses avec des précipitations assez importantes. En effet, le contexte géologique et géomorphologique provoque un morcellement spatial de la disponibilité de l'eau, en raison des variations de perméabilité et de rapidité des écoulements de surface, notamment en raison de la pente.

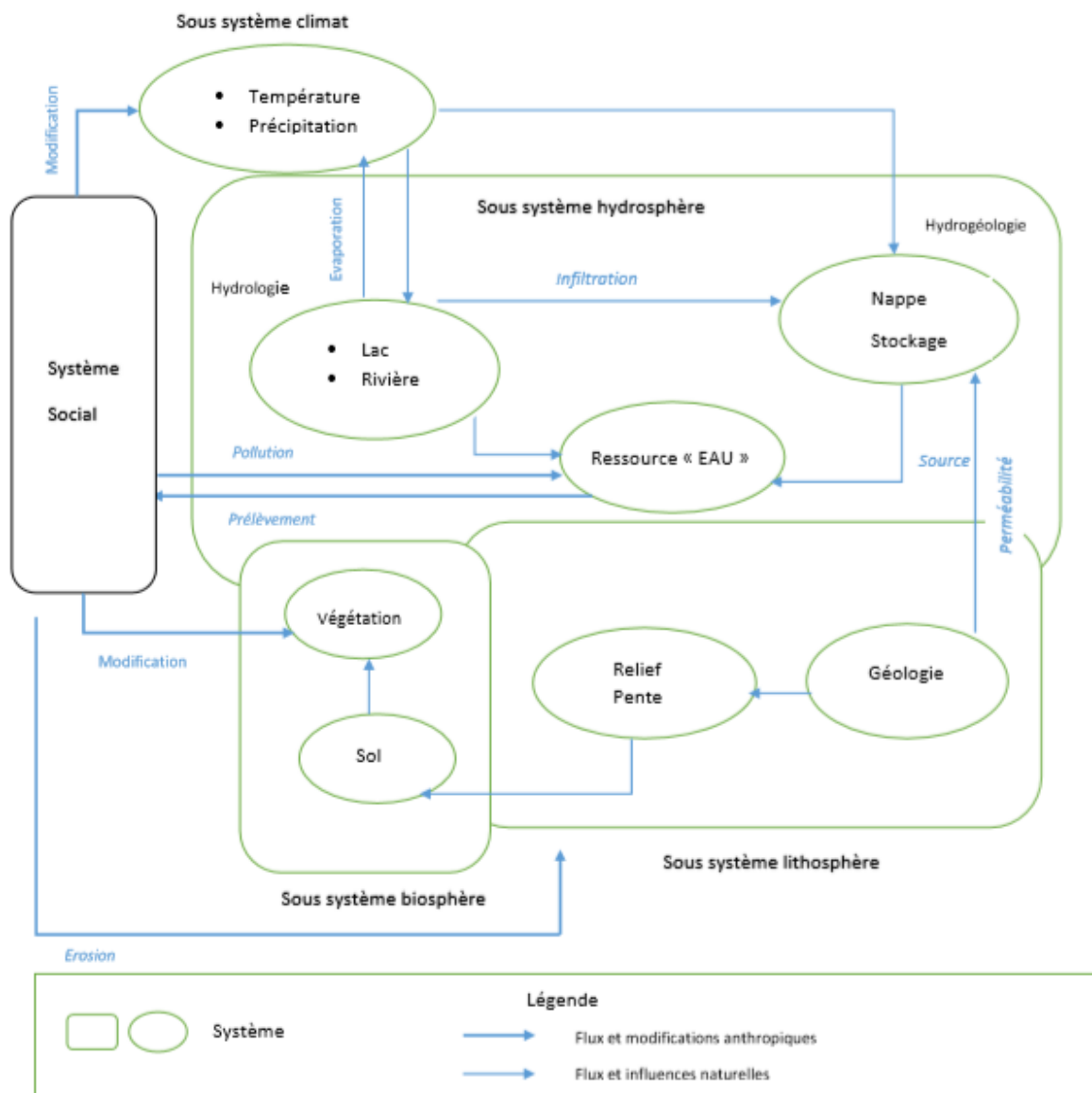


Figure 33 : Structure du sous-système « Ressources » de la ville de Fès

Le système ressource peut envelopper plusieurs sous système qui sont en interaction entre eux, le système social peut modifier directement le système climat, comme l'émission des gaz carbonique émis par l'homme qui est la principale cause du réchauffement climatique. Une fois le système climat est modifié, il peut engendrer un bouleversement de la température qui

en corrélation avec les précipitations, ce qui influence naturellement le sous-système hydrosphère qui touche le système Eau. Donc le système ressource est influencé par les sous-systèmes qui l'entourent de façon anthropique ou naturelle et cela peut impacter directement tout le système. Deux types de ressources peuvent être distingués les ressources renouvelables et les ressources non renouvelables. Les ressources renouvelables sont définies par les écoulements superficiels et souterrains formés ou entrant dans le territoire et les ressources non renouvelables sont définies en termes de stock et non de flux. Ce sont des volumes d'eau extractibles d'aquifères profonds à très faible taux de renouvellement : <1% par ans (Haut-commissariat au plan Rabat, 2006).

### L'eau Potable

Dès l'indépendance, conscient de cet aspect, le Maroc s'est doté d'une politique dynamique dans le secteur de l'eau avec pour objectif de vaincre la vulnérabilité de la disponibilité en eau face aux aléas climatiques, en maîtrisant et en stockant les eaux des années humides pour pouvoir faire face aux années de sécheresse. L'objectif visé était de répondre à la demande croissante en eau potable des populations et de donner à l'agriculture un essor important en vue de satisfaire les besoins alimentaires de ces populations et d'encourager l'exportation des produits agricoles (A.goumi, 2005).

Dans un environnement urbain l'eau potable a connue des efforts importants dans ce secteur durant les deux dernières décennies qui ont permis de rattraper le retard enregistré durant les années 70. Ainsi que d'assurer un développement considérable tant sur le plan organisationnel et institutionnel qu'au niveau des infrastructures, de la couverture et de la qualité de service. C'est ainsi que la production urbaine en eau potable dans le royaume est passée de 260 millions de m<sup>3</sup> en 1972 à et 840 millions de m<sup>3</sup> en 1996. Une production multipliée par 5 entre 1972-1996 dont 60 % provient des eaux de barrages. Cet effort a même par périodes dépassé le rythme de la croissance démographique, sur la période 1972-1992 on a constaté un triplement de la production et sur la période 1972-1992 pour une population qui a doublé à peine (A.goumi, 2005).

| Année                                               | 1972 | 1981 | 1992 | 1996 |
|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Production urbaine en eau potable en m <sup>3</sup> | 260  | 510  | 810  | 840  |

Dans un environnement urbain, la composante qualitative va être influencée par plusieurs facteurs internes qui sont le contexte hydrologique et hydrogéologique. Et par une série externe qui touche autant au système socio-économique comme le taux d'urbanisation, qui peut dégrader directement la qualité de l'eau potable avec l'élévation de sa consommation car l'usage même de l'eau dégrade sa qualité et doit être épuré avant le retour au système naturel, en ajoutant le facteur des normes de qualité et l'infrastructure de traitement et d'épuration.

La composante quantitative est influencée par le contexte climatique et par une série de facteurs tels que le taux d'urbanisation, le taux de consommation et la croissance de la

population. Le système technique influence la consommation par le niveau des infrastructures de raccordement. Quant au système administratif, il influe sur la consommation par la question de la tarification.

Le facteur discriminant est celui de l'agriculture des fluctuations saisonnières. Ces fluctuations peuvent occasionner des problèmes et conflits si les périodes de l'agriculture coïncide avec les périodes de faible disponibilité de la ressource et/ou à de forte demande de la part des autres sous-systèmes d'utilisation (irrigation). Elles peuvent également induire des modifications du fonctionnement du sous-système « Offre potable >>

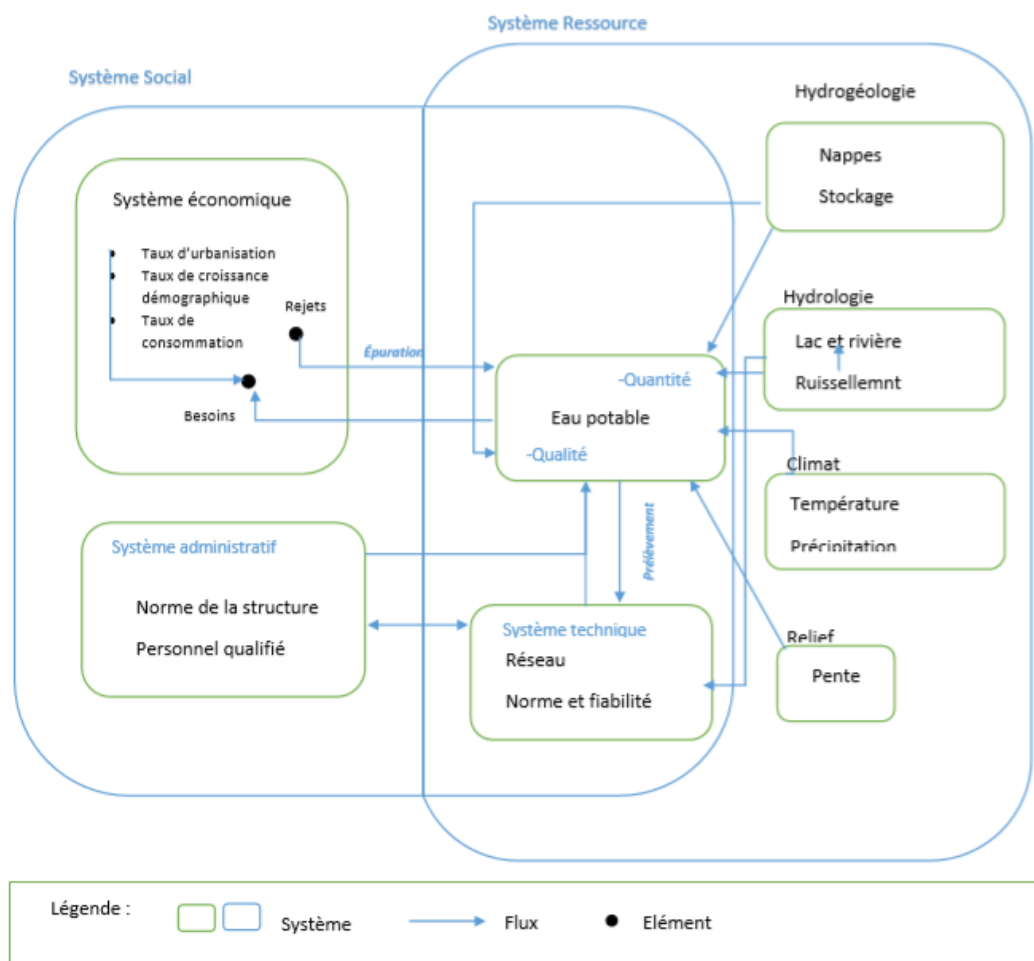


Figure 34: Structure du système « Eau potable » dans la ville de Fès

## L'irrigation

Au Maroc, les prélèvements d'eau sont très fortement dédiés à l'agriculture. L'homme a mis en point plusieurs solutions dont l'application artificielle de l'eau (réseau d'irrigation) sur les terrains pour faciliter la croissance des cultures et des pâturages. En 2005, 13,4 milliards de m<sup>3</sup> ont été mobilisés, dont 10 milliards de m<sup>3</sup> sont des eaux superficielles et près de 3,4 milliards de m<sup>3</sup> sont des eaux souterraines. La répartition de l'utilisation de ces eaux montre que près de 90% ont été utilisés en irrigation et les 10% restants répartis entre le secteur industriel et l'alimentation en eau potable.

L'agriculture irriguée s'est imposée comme composante de l'économie nationale et régionale en tant que levier de production de richesses et de création d'emplois. Les réseaux d'irrigation varient en fonction des lieux selon le climat et la morphologie, le type de cultures et le type d'utilisation du sol.

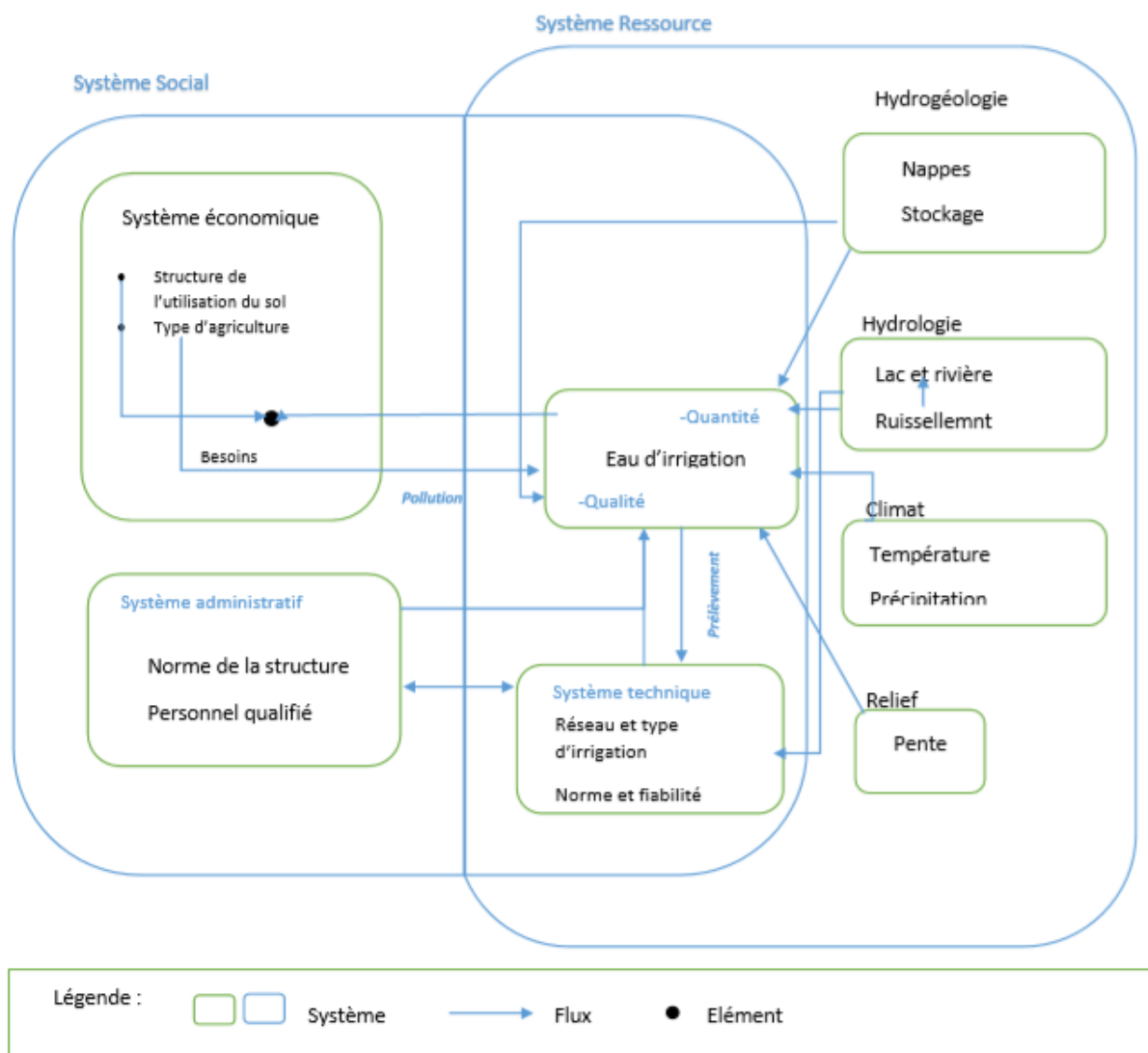


Figure 35 : Structure du sous-système « Irrigation » dans une zone urbaine.

On peut déterminer le sous-système climat qui est le facteur le plus important dans la mesure où il influence la distribution des précipitations et les valeurs de l'évaporation qui peuvent

déterminer par la suite la quantité d'apport artificiel d'eau nécessaire. On a le sous-système hydrologiques et hydrogéologiques viennent également influencer sur la quantité d'eau d'irrigation disponible. La morphologie du terrain qui influence le choix des techniques d'irrigation et l'organisation du réseau de canalisations. La présence des fortes pentes peuvent influencer les pratiques d'irrigation et nécessite souvent des techniques particulières (fig. 35).

Le type de sol et le type d'agriculture sont des facteurs d'influence de type de réseau d'irrigation et aussi la quantité d'eau utilisée. Si les impacts positifs de l'irrigation militent en sa faveur, il n'en demeure pas moins que son développement a souvent été accompagné de plusieurs changements et/ou dégradations des milieux physique, biologique et humain (Carmantrand, 1991).

### L'eau comme élément de développement de la région

L'eau peut être considérée dans la région de Fès comme un élément de développement il est désigné comme étant la garantie de l'emploi et de la sécurité alimentaire (Valiron, 1995). En effet, la part de l'amont agricole en 2016 est de 33% de la superficie nationale agricole utile, aussi bien pour l'agriculture que pour l'industrie, le secteur est très bien développé dans la région en particulier dans l'agroalimentaire de type huilerie et sucrerie qui représente 65% de la production nationale, ainsi que l'industrie du cuir et du textile qui représente 60% de la production national.

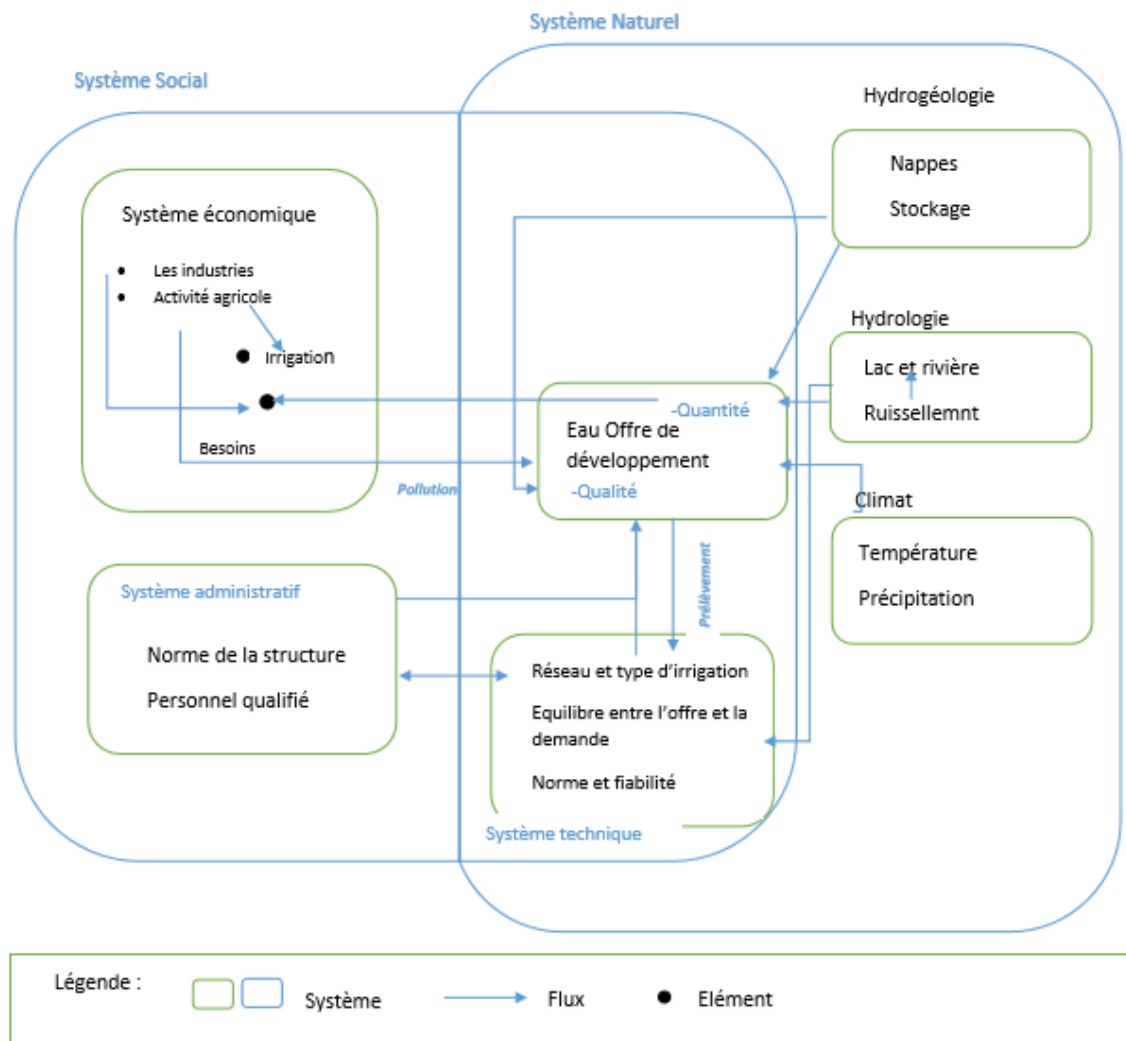


Figure 36 : Structure système de l'eau dans le développement économique urbain

Plusieurs composantes naturelles de la région de Fès le prédisposent à être un territoire agricole par excellence, le climat qui permet le développement de différentes cultures. La région se caractérise par l'existence de potentialités d'irrigation appréciables (oueds important et eau souterrain), des plaines fertiles comme la plaine du Saïss, une zone de montagne et des plateaux de zone aride pour l'élevage et des cultures diversifiées. Ce ci explique pour une large part le développement économique des activités agricoles dans la région.

Afin de comprendre le fonctionnement de ces différents systèmes qui influencent les conditions locales, il faut analyser les données de notre zone d'étude en se référant à la structure système décrite au paravent. J'organise mon propos en quatre parties : La première partie sera consacrée à l'évolution historique de la perception de l'eau dans la ville de Fès. Dans la deuxième partie, je mets l'attention sur les trois aspects principaux : le cadre naturel, utile pour comprendre le fonctionnement du système « ressources », le développement historique récent, qui donnera plusieurs clés de compréhension sur le fonctionnement du système « utilisations », et finalement la structure démographique, principalement en termes

de population qui est nécessaire à la quantification des usages et à l'appréciation de la pression sur la ressource.

## II. Évaluation de la ressource

Le cycle d'eau se présente généralement par trois états, liquide, gazeux et solide, on peut donc dire que l'eau touche au sous-système hydrosphérique et atmosphérique. D'après Lévêque et al., (2003) « si l'homme agit incontestablement pour modifier son environnement, ce dernier exerce en retour une influence sur les comportements sociaux culturels et technologiques » donc ses sous-système sont un ensemble de dépendance qui sont en interaction entre eux, dans lequel l'eau circule selon un cycle qui le fait passer d'un état a un autre. Toute modification du cycle de l'eau provoquera automatiquement des modifications sur les autres sous-systèmes.

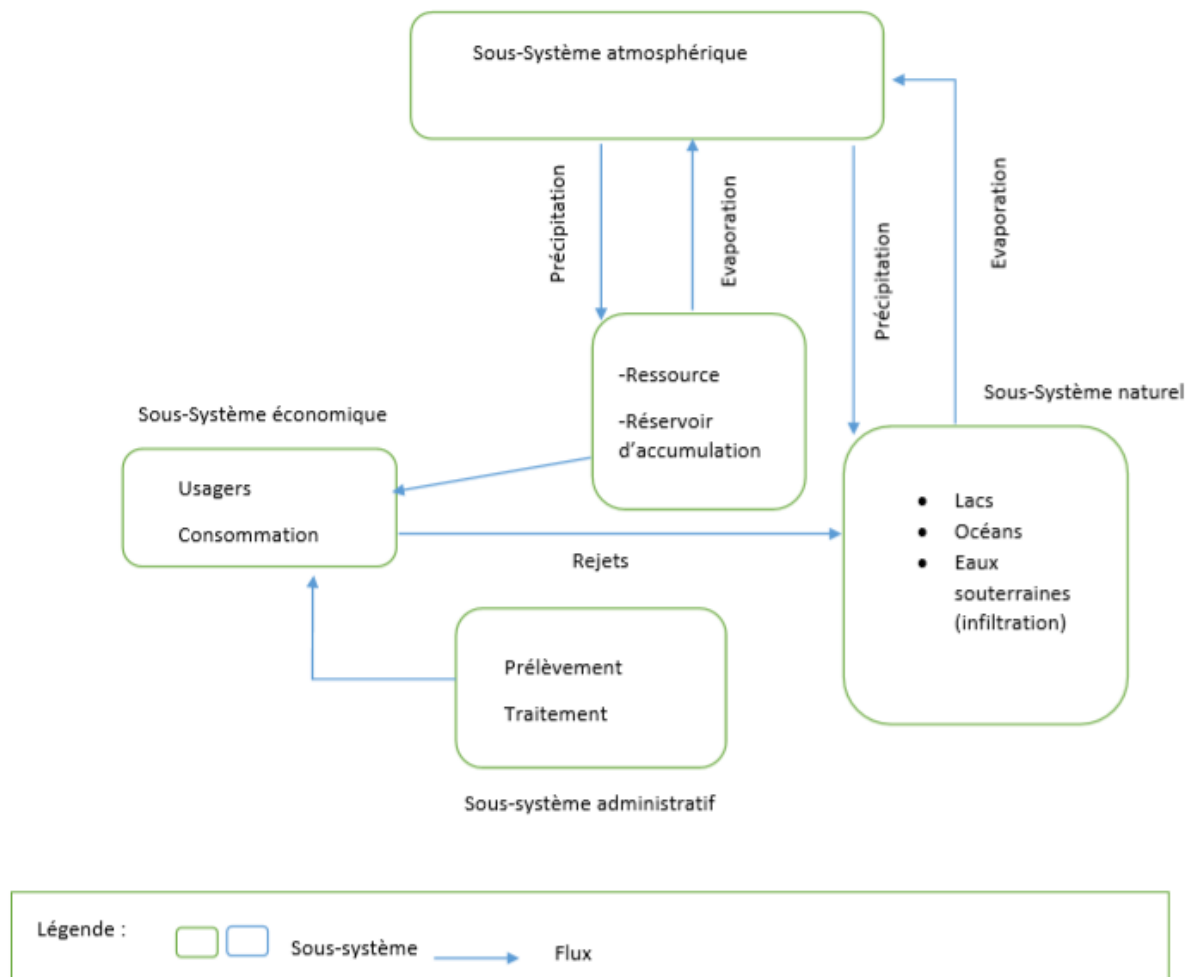


Figure 37: Structure du cycle de l'eau

Dans un environnement qui est dénaturé par l'activité humaine, l'impact se fait sentir principalement dans les trois éléments du système naturel, qui dégrade principalement la qualité des eaux par l'irrigation, les rejets qui résultent par les activités économiques et industrielles et la quantité de l'eau par la surexploitation de la ressource. On peut déterminer

deux types d'impact qui modifie également le cycle d'eau, un impact direct tels que les prélèvements et rejets, et un impact indirect qui résulte de certaines pratiques d'utilisation des sols (agriculture, déforestation...)

### III. Utilisation des ressources en eau

Dans la Région de Fès il y'a plusieurs système d'utilisation d'eau : l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, la production énergétique et les usages agricoles et industrielle. Cette analyse de la structure et du fonctionnement du système va nous permettre de prendre part à la question centrale de la pénurie d'eau en déterminant la quantité d'eau requise pour chaque domaine d'utilisation par rapport à l'ensemble d'eau disponible tout en mettant en évidence les relations qu'entretiennent les acteurs.

#### Législation et Réglementation de l'eau

Dans le cadre de la refonte de la législation actuelle des eaux la gestion des ressources en eau <sup>1</sup>repose à la fois sur une loi générale adaptée en 1995 et sur une multitude de textes législatifs sectoriels relatifs aux différents domaines des politiques publiques.

Adaptée par la chambre des représentants le 15 juillet 1995, la loi 10-95 sur l'eau constitue la base légale de la politique de l'eau au Royaume. Elle repose sur un certain nombre de principes qui découlent de plusieurs objectifs à savoir :

- la mise au point d'une planification de l'aménagement et de la répartition des ressources en eau basée sur une large concertation entre les usagers et les pouvoirs publics ;
- la protection de la santé de l'homme par la réglementation de l'exploitation, de la distribution et de la vente des eaux à usage alimentaire ;
- la réglementation des activités susceptibles de polluer les ressources en eau ; et notamment, la prévision des sanctions et la création d'une police des eaux pour réprimer toute exploitation illicite de l'eau ou tout acte susceptible d'altérer sa qualité ;
- la répartition rationnelle des ressources en eau en période de sécheresse pour atténuer les effets de la pénurie ;
- une plus grande revalorisation agricole grâce à l'amélioration des conditions d'aménagement et d'utilisation des eaux à usage agricole (Bulletin Officiel N° 4325 du 20/9/95).

Jusqu'à présent, plusieurs textes d'application de cette loi ont été promulgués qu'on peut citer comme suit :

- Décret n° 2.96.158 du 20 Nov. 1996, relatif à la composition et au fonctionnement du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat.
- Décret n° 2.96.178 du 24 Oct. 1997, fixant la procédure de déclaration pour la tenue à jour de l'inventaire des ressources en eau.
- Décret n° 2.96.536 du 20 Nov. 1996, relatif à l'Agence de bassin hydraulique de l'Oum Er Rabia.

- Décret n° 2.97.223 du 24 Oct. 1997, fixant la procédure d'élaboration et de révision des plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau et du plan national de l'eau.
- Décret n° 2.97.224 du 24 Oct. 1997, fixant les conditions d'accumulation artificielle des eaux.
- Décret n° 2.97.787 du 4 Fev. 1998, relatif aux normes de qualité des eaux et à l'inventaire du degré de pollution des eaux.
- Décret n° 2.97.657 du 4 Fev. 1998, relatif à la délimitation des zones de protection et des périmètres de sauvegarde et d'interdiction.

La loi sur l'eau permet donc d'établir de nouvelles règles d'utilisation de l'eau plus appropriée aux conditions économiques et sociales du Maroc moderne et jette les bases d'une gestion efficace de l'eau dans le futur pour relever les défis attendus pour la sécurité de l'approvisionnement de la population. Cette nouvelle loi permet par ailleurs de valoriser encore plus les efforts considérables consentis pour la mobilisation et l'utilisation de l'eau et de les rendre compatibles avec les aspirations au développement économique et social du Maroc du XXI siècle.

En Aout 2016, la nouvelle loi **36-15** a été publiée au Bulletin officiel (N° 6494, page 67-94) qui repose sur un total de 11 chapitre avec 163 article. Parmi les chapitres de ce texte de loi, le chapitre 10 a été consacré au "Système d'Information sur l'Eau", ce qui permet de clarifier d'avantage le rôle de ce système et la relation entre ses acteurs.

En effet, l'article 129 indique que l'Agence du Bassin Hydraulique est tenue de mettre en place un système d'information sur l'eau au niveau du bassin versant, et que l'administration centrale est en charge de l'intégration de ces différents systèmes régionaux pour l'établissement d'un système d'information sur l'eau à l'échelle nationale.

Parmi les avancées enregistrées par cet article, l'attribution à l'ABH et à l'administration centrale, du rôle du partage et mise à disposition des données et information utiles pour les acteurs et grand public. Aussi, l'article 130, attribue à l'administration centrale et aux ABH, le rôle de la collecte des données sur l'eau détenues par les différents acteurs concernée. En plus, cet article définit clairement, que toute administration est tenue à transmettre d'une manière périodique toutes données et documents en relation avec les ressources en eau.

Ainsi, ces deux articles établissent d'une manière claire la relation entre les différents acteurs concernés par la production et l'utilisation des données sur l'eau. Ce qui permettrait de relever les défis d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau, au niveau du bassin versant et à l'échelle nationale.

## L'eau potable

C'est en 1980 que la première directive sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine a été adoptée. La garantie de la fourniture d'une eau de qualité suffisante aux citoyens européens a ainsi été considérée comme relevant d'une initiative communautaire, compte tenu des aspects sanitaires et environnementaux associés.

2-

La directive a retenu une liste de paramètres organoleptiques, physico-chimiques, indésirables, toxiques et microbiologiques auxquels elle a associé des valeurs impératives. Comme souvent, ces valeurs constituent des maxima : les Etats membres peuvent retenir des valeurs plus strictes. Elle a également déterminé la fréquence et le type d'analyses à assurer pour contrôler le respect des valeurs de qualité. Elle a enfin prévu des adaptations au progrès technique pour les annexes techniques concernant les fréquences minimales d'échantillonnage ou les méthodes analytiques de référence.

La régie de la ville de Fès (RADEF) assure l'alimentation en eau potable pour une population dépassant les 1 .204 .000 personnes à l'intérieur des villes de Fès, Sefrou, Bhalil, ainsi que dans les communes rurales ; Bir Tam-tam, Ras Tabouda, Sidi Hrazem, Ain Timgnai, Oulad Taib, Douar Ait Taleb, et douar Ain Alquadi (fig. 38).

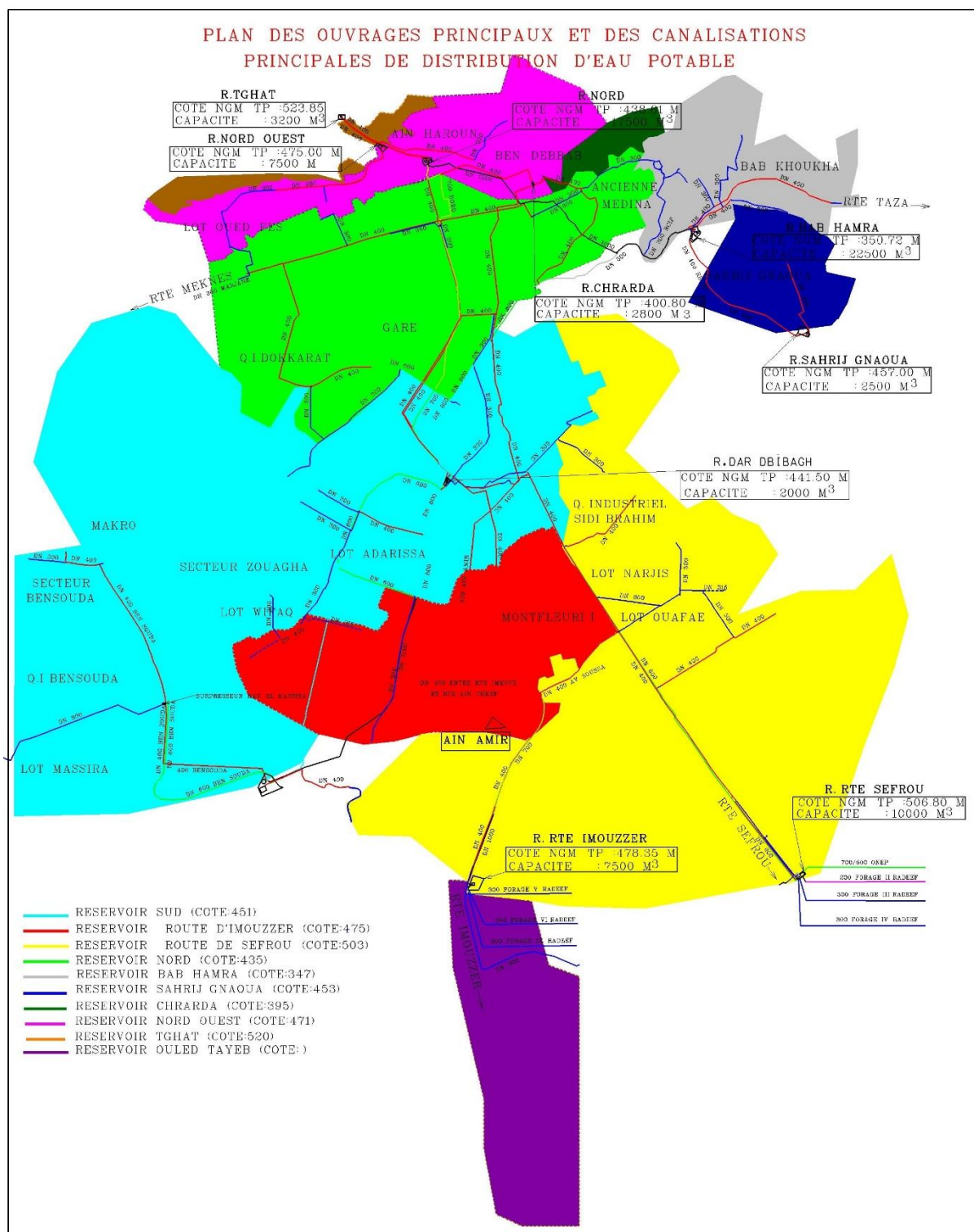


Figure 38 : Plan des ouvrages principaux et des canalisations principales de distribution d'eau potable, (RADEEF, 2019)

Les ressources en eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable au Maroc sont de qualité différente selon leur origine et les influences anthropiques qu'elles subissent. Ainsi, l'objectif des producteurs de l'eau potable étant de fournir au consommateur une eau qui ne présente pas de risque pour la santé humaine et qui respecte la norme marocaine relative à la qualité des eaux alimentaires, chaque eau superficielle devra subir un traitement

approprié. C'est ainsi que ces normes fixent les exigences auxquelles doit satisfaire la qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable pour un niveau de traitement donné (Anderson, 2000). Conformément à l'article 51 de la loi sur l'eau définit les normes de qualité auxquelles une eau doit satisfaire selon l'utilisation qui en sera faite.

L'alimentation en eau potable de la ville de Fès et des centres gérés par la Régie est assurée à partir d'une part d'une production RADEEF (forages et Sources, 24% de la production totale), d'une autre part par Une production ONEP (Forages et eau traitée de l'oued Sebou 76%).

### Tarification de l'eau

Au Maroc, l'eau est un enjeu prioritaire car c'est une ressource limitée et menacée par la pollution. Théoriquement tout prélèvement doit faire l'objet d'un paiement d'une redevance, <sup>3</sup>le concept de « préleveur-payeur » adopté en 1995, elle vise à faire prendre conscience de la rareté de l'eau, en lui donnant un prix et aussi pour lutter contre le gaspillage et la dégradation des ressources en eau.

Le recouvrement du coût d'approvisionnement en eau est un objectif difficile à atteindre, car les usagers ne paient ni les coûts d'investissement ni les charges d'exploitation et de maintenance des ouvrages de mobilisation de l'eau brute. L'état marocain couvre une grande partie des charges liées aux barrages, elle représenterait entre 2,54 à 5,2 Dirhams/m<sup>3</sup>. Tous les usagers doivent appliquer la même structure Tarifaire une redevance fixe, un tarif au volume et une participation au dépense de raccordement tout cela pour recouvrir les coûts du réseau de distribution. Cependant quelques usagers ne parviennent pas à recouvrir leur frais (Meknès, Oujda...) ainsi l'état et ses partenaire sont contraint de subventionner l'investissement non seulement de l'approvisionnement mais aussi de la distribution.

Le prix de tarification de la consommation est très différent d'une ville, ou d'une commune à une autre; le principe diffère selon qu'il s'agit de l'eau potable ou de l'irrigation et aussi si les prélèvements sont à l'extérieur ou à l'intérieur des zones d'action des offices régionaux. En application du décret du ministre délégué auprès du chef de gouvernement chargé des affaires générales et de gouvernances N° 2682.14 publié au bulletin officiel N°6275 bis du 22 juillet 2014.

#### 3.1- Tarification en eau potable dans la ville de Fès

En ce qui concerne la facturation de la consommation, les éléments à payer par le client portent sur une redevance fixe (montant forfaitaire fixé selon le type d'usage), une redevance de consommation d'Eau sur la base des tarifs en vigueur, et la TVA en vigueur (Fig. 39).

Pour les clients particuliers l'eau est facturée à un prix qui dépend du niveau de leurs consommations avec un mode de facturation progressif et sélectif. La facturation progressive est basée sur le principe de plus on consomme, plus on paie, tout en gardant le bénéfice du tarif à tranche. Et la facturation sélective, consiste à appliquer le tarif de la tranche entamée à la totalité de la consommation de l'abonné sans recul de tranche. Ce mode de facturation est appliqué pour toute consommation mensuelle strictement supérieure à 12 m<sup>3</sup>. Elle a été appliquée dans le but d'inciter les grands consommateurs à l'économie de l'eau.

| Tarif                                                             | Prix Unitaire<br>DH-HT | TAUX<br>TVA | Montant<br>TVA | Prix Unitaire<br>DH-TTC |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
| Usage domestique                                                  | <b>6,00</b>            | 7%          | 0,42           | 6,42                    |
| Usage Préférentiels,<br>Industriels, Hôtels et<br>Administrations | <b>10,00</b>           | 7%          | 0,70           | 10,70                   |

Figure 39: Redevance Fixe eau potable. (RADEEF, 2020)

| Système tarifaire | Tranche de<br>consommation<br>(m <sup>3</sup> ) |                        |             |                |                         |
|-------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
|                   |                                                 | Prix Unitaire<br>DH-HT | TAUX<br>TVA | Montant<br>TVA | Prix Unitaire<br>DH-TTC |
| Tarif à tranche   | 0 à 6                                           | <b>1,95</b>            | 7%          | 0,14           | 2,09                    |
|                   | 7 à 12                                          | <b>7,07</b>            | 7%          | 0,49           | 7,56                    |
| Tarif sélectif    | 13 à 20                                         | <b>7,07</b>            | 7%          | 0,49           | 7,56                    |
|                   | 21 à 35                                         | <b>8,79</b>            | 7%          | 0,62           | 9,41                    |
|                   | >=36                                            | <b>8,84</b>            | 7%          | 0,62           | 9,46                    |

Figure 40: Redevance de consommation domestique eau potable. (RADEEF, 2020)

| Tarif au m <sup>3</sup> | Prix Unitaire<br>DH-HT | TAUX<br>TVA | Montant<br>TVA | Prix Unitaire<br>DH-TTC |
|-------------------------|------------------------|-------------|----------------|-------------------------|
| Administration          | <b>8,84</b>            | 7%          | 0,62           | 9,46                    |
| Préférentiel            | <b>5,86</b>            | 7%          | 0,41           | 6,27                    |
| Industriel              | <b>5,56</b>            | 7%          | 0,39           | 5,95                    |
| Hôtels                  | <b>7,97</b>            | 7%          | 0,56           | 8,53                    |

Figure 41 : Redevance de consommation autre type d'usage. (RADEEF, 2020)

Le prix diffère selon les types d'usager car l'usage domestique utilise l'eau comme bien de consommation finale alors que les industriels et irriguant l'utilise comme consommation intermédiaire (fig. 40 et 41).

### 3.2- Assainissement

Pareille pour l'assainissement, les éléments à payer par le client portent sur La redevance fixe, le produit assainissement calculé sur la base du volume consommé selon les tarifs en vigueur, et la TVA en vigueur. On a aussi des tarifs par tranche et aussi par nature d'usage : domestique, administration, industrie et hôtels auxquelles l'eau est facturée à un tarif unique (fig. 42).

| Tranche de consommation (m <sup>3</sup> ) | Prix Unitaire DH-HT | TAUX TVA | Montant TVA | Prix Unitaire DH-TTC |
|-------------------------------------------|---------------------|----------|-------------|----------------------|
| 0 à 6                                     | <b>0,51</b>         | 7%       | 0,04        | 0,55                 |
| 7 à 20                                    | <b>1,26</b>         | 7%       | 0,09        | 1,35                 |
| >=21                                      | <b>2,54</b>         | 7%       | 0,18        | 2,72                 |

Figure 42: Redevance proportionnelle usage domestique. (RADEEF, 2020)

| Tranche de consommation (m <sup>3</sup> ) | Prix Unitaire DH-HT | TAUX TVA | Montant TVA | Prix Unitaire DH-TTC |
|-------------------------------------------|---------------------|----------|-------------|----------------------|
| Tranche unique                            | <b>2,54</b>         | 7%       | 0,18        | 2,72                 |

Figure 43: Redevance proportionnel en usage administration. (RADEEF, 2020)

| Tranche de consommation (m <sup>3</sup> ) | Prix Unitaire DH-HT | TAUX TVA | Montant TVA | Prix Unitaire DH-TTC |
|-------------------------------------------|---------------------|----------|-------------|----------------------|
| Tranche unique                            | <b>3,04</b>         | 7%       | 0,21        | 3,25                 |

Figure 44: redevance proportionnel en usage hôtel industrie. (RADEEF, 2020)

On peut dire que le prix doit être choisi de manière à orienter l'allocation de l'eau vers les usages qui lui donnent la meilleure valorisation.

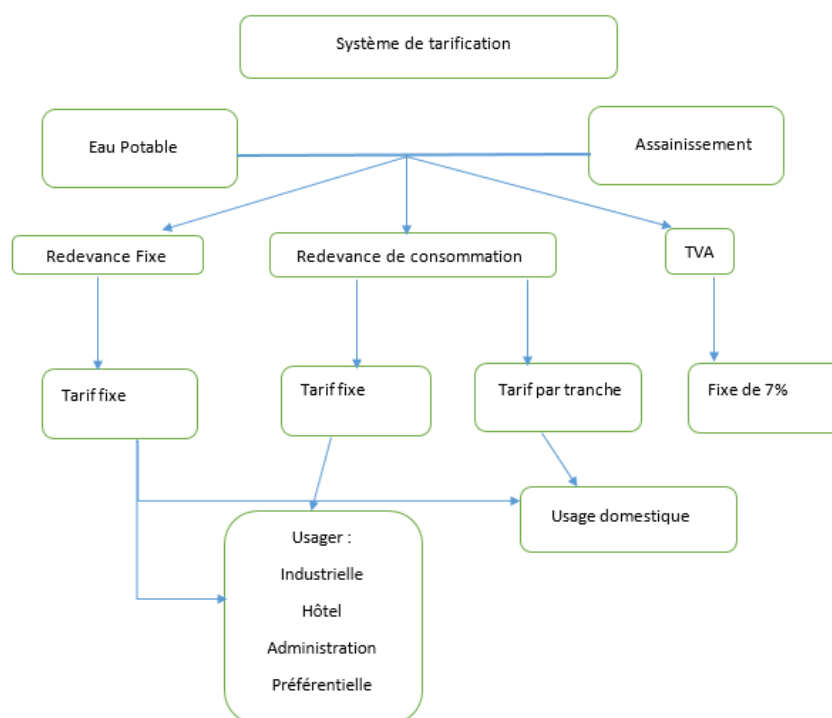


Figure 45: Synthèse de la structure de tarification de la ville de Fès

Dans la ville de Fès un seul système s'applique c'est le mode de tarification incitatif, puisque si la consommation globale augmente, les tarifs augmentent, et de ce fait elle permet chaque année de couvrir les frais de fonctionnement du service des eaux, conformément aux exigences légales et égalitaire.

#### Demande en eau potable

Pour déterminer de la demande en eau potable dans les centres urbains, on doit prendre en compte certain paramètre on a la population, le taux de branchement, les dotations par catégorie d'usager par rapport à la population branchée pour les particuliers branchés, ou à la population non branchée pour les particuliers non branchés, ou à la population totale pour les administratifs et pour les industriels. Ensuite les rendements de production et de distribution, à la fin les coefficients de pointe journalière.

#### 4.1 Population du bassin se Sebou

La population totale de ce bassin s'élevait, en 2020, à 4 119 754 habitants, répartie par milieu de résidence, 3 913 983 habitants en milieu urbain (54 % de la population totale du bassin et 3 913 983 habitants en milieu rural (46 % de la population totale du bassin et 24,14 % de la population rurale du Royaume).

Sur la base de l'analyse des tendances passées, à travers l'exploitation des résultats des différents recensements réalisés dans le royaume, et en tenant compte de l'ensemble des actions de planification familiale, entreprises par les pouvoirs publics, mais également du rayonnement de certains centres, l'I.C. a retenu des TAIM objectifs pour chaque centre urbain et commune rurale. Sur la base de ces TAIM, il a calculé la population, pour les différents horizons du projet (tab, 11).

*Tableau 11: Evolution de la population du bassin de Sebou, par milieu de résidence*

|                           | 2004             | 2010             | 2015             | 2020             | 2025             | 2030             |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Population urbaine</b> | <b>3 071 594</b> | <b>3 436 572</b> | <b>3 773 339</b> | <b>4 119 754</b> | <b>4 534 443</b> | <b>4 949 982</b> |
| <b>Population rurale</b>  | <b>3 241 986</b> | <b>3 431 416</b> | <b>3 597 703</b> | <b>3 752 512</b> | <b>3 913 983</b> | <b>4 083 984</b> |
| Population totale         | 6 313 580        | 6 867 988        | 7 371 042        | 7 872 266        | 8 448 426        | 9 033 966        |
| Part population urbaine   | 49%              | 50%              | 51%              | 52%              | 54%              | 55%              |

On a la population urbaine du bassin atteindrait 4,54 et 4,95 millions d'habitants, respectivement en 2025 et 2030, soit environ 55 % de la population totale du bassin. La population rurale du bassin atteindrait 3,91 et 4,1 millions d'habitants, respectivement en 2025 et 2030, soit environ 45 % de la population totale du bassin. La population totale du bassin atteindrait 8,5 et 9,0 millions d'habitants, respectivement en 2025 et 2030.

#### 4.2 Besoin en AEP

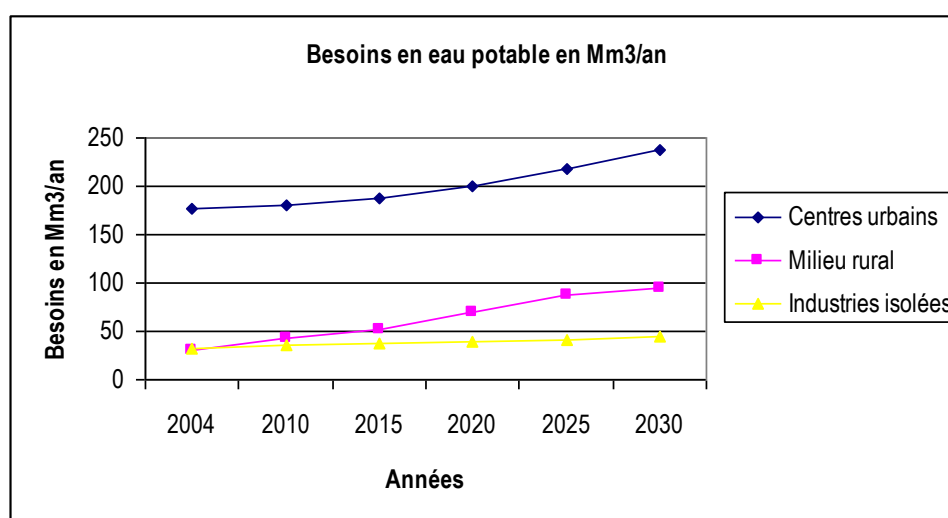
Sur la base d'une analyse critique de l'ensemble des statistiques de consommations (par type d'usager), de distribution et de production, des centres urbains, sur la période 1994-2004, et des fiches "Besoins en eau potable", établies en mars 2006, par l'ONEP/DPS, et de

l'exploitation et de l'analyse critique de différentes sources d'informations sur les dotations unitaires en milieu rural. L'I.C. a déterminé les différents ratios, servant de projection pour les années à venir, et a procédé au calcul des besoins en eau potable, aussi bien pour les centres urbains et les communes rurales que pour les industries isolées (tab. 12).

*Tableau 12 : Besoins en eau potable en Mm<sup>3</sup>/an, (ABHS 2011)*

|                                 | <b>2004</b> | <b>2010</b> | <b>2015</b> | <b>2020</b> | <b>2025</b> | <b>2030</b> |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Centres urbains                 | 176         | 180         | 188         | 200         | 217         | 237         |
| Milieu rural                    | 30          | 42          | 51          | 69          | 87          | 94          |
| Industries isolées              | 31          | 35          | 36          | 38          | 40          | 43          |
| <b>Total</b>                    | <b>237</b>  | <b>257</b>  | <b>275</b>  | <b>307</b>  | <b>344</b>  | <b>374</b>  |
| Part Besoins urbains            | 74%         | 70%         | 68%         | 65%         | 63%         | 63%         |
| Part Besoins Rural              | 13%         | 16%         | 19%         | 22%         | 25%         | 25%         |
| Part Besoins industries isolées | 13%         | 13%         | 13%         | 12%         | 12%         | 11%         |

Les besoins moyens de la zone du projet s'élèvent actuellement à 344 Mm<sup>3</sup>/an (63 % pour les centres urbains, 22 % pour le milieu rural et le reste pour les industries isolées). Ces besoins atteindraient 374 Mm<sup>3</sup>/an, en 2030 (dont 63 % pour les centres urbains, 25 % pour le milieu rural et le reste pour les industries isolées) (tab.12). Une étude des scénarios bas et hauts a été effectuée, pour les besoins en eau potable en milieu urbain, et a porté sur la variation des principaux paramètres, déterminant de la demande en eau potable. Ces besoins ont varié entre 200 et 275 Mm<sup>3</sup>/an, en 2020 et 2025, respectivement pour le scénario bas et celui haut (fig. 46).



*Figure 46: Besoins en eau potable en Mm<sup>3</sup>/an (ABHS, 2011)*

#### 4.3 Eau comme élément de développement de l'industrie

L'alimentation de la ville de Fès est assurée à partir des eaux souterraines de la nappe-profonde de Fès-Méknès et des eaux superficielle d'oued Sebou, qui sont traité par la station de traitement de Fès, constitué de deux tranches de 800L chacune. La zone de Fès et ses périphériques abrite de nombreuses unités industrielles. Ces dernières sont alimentées à partir des réseaux d'eau potable et donc comptabilisé dans les centres urbains. L'unité industrielle de la zone d'étude consomme jusqu'à 30% du bassin de Sebou. Les unités industrielle les plus répandue dans la région sont : les unités d'huileries qui peuvent atteindre un volume journalier de consommation d'eau de 36 000m<sup>3</sup>/j, les tanneries avec 742 157m<sup>3</sup>/j et les abattoirs jusqu'à 109m<sup>3</sup>/j. la prévision des consommations industrielles atteindront en 2030 une plus-value de 70% (Pdaire, 2011).

La **POLLUTION INDUSTRIELLE** est constituée par les rejets d'eau usée brute des sucreries, papeteries, tanneries, huileries, abattoirs, etc. Le volume total des rejets est très élevé ; évalué à environ 39.5 Mm<sup>3</sup>/an (environ 1.2 m<sup>3</sup>/s). Ces rejets génèrent environ 55 218 tonnes/an de pollution organique (DBO<sub>5</sub>), 148 357 tonnes/an de pollution chimique, 463 619 tonnes/an de matière en suspension, 1 912 tonnes/an de NTK, 156 tonnes/an d'Azote totale et 31.5 tonnes/an de mélasse. Les déchets solides industriels constituent également une source potentielle importante des ressources en eau du bassin. La quantité annuelle des déchets industriels générée est évaluée à environ 391 000 tonnes/an (dont 537 tonnes/an de déchets dangereux), constitués notamment de déchets du sucre raffiné et de la mélasse purifiée et du secteur des huiles et des graisses végétales.

Le Maroc étant un pays en voie de développement et centrée sur le processus de production, la consommation ne prendra qu'un coté c'est l'accroissement d'année en année. Sans aucun doute l'eau apparait ici comme une composante essentielle de développement et doit être mis en valeur, mais la demande industrielle agit ici en double sens comme une unité de développement économique mais aussi en sens inverse en menaçant l'intégralité des sites naturelles par les rejets industrielle et par la pollution de l'écosystème. Dans ce double jeu, l'intervention de l'état est sollicitée pour protéger les sites écologiques et pour stabiliser la demande en eau potable en minimisant les pertes par la tarification.

Si on prend la demande en eau industrielle en système, cette dernière aura plusieurs sous-systèmes, des sous-systèmes stabilisant l'usage (l'état) par la tarification et la législation, ainsi des sous-systèmes comme les acteurs pour lutter contre la pollution et aussi pour gérer au mieux les ressources pour pouvoir économiser et avoir accès à la ressource.

Si on prend la demande en eau industrielle en système, cette dernière aura plusieurs de sous-système : des sous-systèmes stabilisant l'usage qui sont l'état, par la tarification et la législation, ainsi des sous-systèmes comme les acteurs pour lutter contre la pollution et aussi pour gérer au mieux les ressources pour pouvoir économiser et avoir accès à la ressource.

Donc la demande en eau industrielle et aussi un sous-système qui doit être pris en compte dans notre unité de gestion intégrée, et doit prendre une fonctionnalité spécifique dans le processus qui est un sous-système économique de la consommation.

#### 4.4 Eau comme élément de développement de l'agriculture

L'eau est un élément essentiel, il constitue une matière première pour l'unité agricole donc c'est un élément majeur pour le développement agricole et du coup économique. Selon la loi 10-95 sur l'eau, cette dernière recommande une gestion optimisée de l'allocation de la ressource en eau et la prise en compte de la valorisation économique de l'eau pour le choix des variantes de gestion et d'aménagement et cela dans le cadre d'une démarche concertée entre les usagers et les pouvoirs publics. Et l'étude du PNE avait insisté sur la nécessité de s'assurer de la réalité de la demande en particulier pour les projets de développement (PNE, 2003).

Dans notre zone d'étude, le potentiel agricole existant sur le bassin du Sebou représente une superficie irriguée de 357000 ha environ répartis selon le type d'irrigation : aménagés en grande hydraulique, PMH traditionnelle irriguée à partir des eaux de surface, en irrigation privée (IP) à partir des eaux souterraines et de surface et PMH moderne (Projet Moyen Sebou et Sahla). On constate que les irrigations privées (IP) ont pris une large place dans l'agriculture du bassin, puisqu'elles représentent 168 982 ha, soit 47,5 % de la superficie totale équipée. Dans le cadre de la stratégie de développement de l'agriculture les superficies irriguées sont appelées à augmenter. La superficie irriguée passera globalement de 357.000 ha actuellement à plus de 412.000 ha à l'horizon de 2030 avec une demande en eau de 3230 Mm<sup>3</sup>.

La demande agricole globale a été découpée en 44 unités de demandes réparties selon la source d'approvisionnement et les modes d'exploitations ont été définies. L'unité de prélèvement agricole (UPA) est définie comme un ensemble de périmètres agricoles présentant les caractéristiques communes, un point de prélèvement agricole identique dans le schéma hydraulique du bassin, et des conditions d'accès à la ressource et de pratiques d'irrigation similaires sur le plan technique et économique. Ces conditions sont essentiellement le type de réseau d'irrigation (gravitaire modernisé, gravitaire traditionnel, basse pression, moyenne pression), le type de ressource accessible (« eau de surface » ou/et « eau souterraine »).

D'après le Rapport du PDAIRE 2011, La pollution agricole est engendrée par l'utilisation des engrais chimiques (nitrates et phosphates) et des produits phytosanitaires, aussi bien au niveau des périmètres irrigués que des zones en bour. Les quantités d'Azote et de Phosphate lessivées par ha dans les sols (tab. 13).

Tableau 13 : Ratios d'Azote et de Phosphore lessivés dans les sols

|                               | Ratios retenus en Kg/ha/an |           |
|-------------------------------|----------------------------|-----------|
|                               | Azote                      | Phosphate |
| Grande hydraulique            | 30                         | 5         |
| Petite et Moyenne hydraulique | 25                         | 3         |
| Bour                          | 10                         | 2         |

Les charges polluantes d'origine agricole s'élèvent à environ 9 500 tonnes/an d'Azote et à environ 1591 tonnes/an de Phosphate. Ces quantités augmenteraient à l'horizon 2025 d'environ 30 % pour l'Azote et d'environ 25 % pour le Phosphate (tab. 14).

Tableau 14 : Ratios d'Azote et de Phosphore lessivés dans les sols

|       | Superficie en ha |         | Quantité d'Azote et de Phosphate lessivées en tonnes |        |           |       |
|-------|------------------|---------|------------------------------------------------------|--------|-----------|-------|
|       |                  |         | Azote                                                |        | Phosphate |       |
| Année | 1997             | 2015    | 1997                                                 | 2015   | 1997      | 2015  |
| GH    | 91 977           | 211 351 | 2 759                                                | 6 341  | 460       | 1 057 |
| PMH   | 99 575           | 130 710 | 2 489                                                | 3 268  | 299       | 392   |
| Bour  | 416 000          | 269 984 | 4 160                                                | 2 700  | 832       | 540   |
| Total | 607 552          | 612 045 | 9 409                                                | 12 308 | 1 591     | 1 989 |

Les produits phytosanitaires rejoignent également les cours d'eau superficiels avec un ratio d'environ 0.5 à 1% des quantités utilisées au niveau des parcelles agricoles. Une partie de ces quantités peut contaminer les nappes d'eau souterraine lorsque celles-ci sont alimentées par les eaux d'origine superficielle contenant ces produits phytosanitaires.

## L'inondation dans la gestion intégrée

Au Maroc dans le cadre légal adopté en 1995, La Loi sur l'eau (Loi no. 10-95) établit les instruments juridiques relatifs à l'utilisation et à la conservation des ressources en eau. La loi appelle à la création d'agences de bassin, elle définit le statut juridique et les fonctions des agences de bassin et leur confère une autonomie financière. Un des objectifs stratégique au Maroc dans le secteur de l'eau et un des piliers des agences de bassin est l'amélioration de la gestion des ressources en eau et de la prévention des inondations (plan national de protection contre les inondations PNPCI). Ces inondations constituent un risque majeur, elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes par an (Simona et Cedric, 2007).

Le Maroc a connu au début du 21<sup>e</sup> siècle des inondations majeures qui ont causé des dégâts économiques importants dans plusieurs régions du pays. Les événements catastrophiques de la vallée de l'Ourika en 1995, de la ville de Tétouan et de la plaine de Martil en 2000, des régions de Mohammedia, Berrechid et Settat en 2002, de la région de Tanger en 2008, de la plaine du Gharb en 2009, de la région de Taza en 2010 et de la région de Khénifra en 2011, et la Ville de Fès en 1989.

On n'a vu précédemment le renforcement de la concertation et de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle nationale les fait par l'instauration de l'approche « programme intégré » lors des phases de planification à moyen terme, de validation, de budgétisation et de financement des projets de développement des ressources en eau comme celui de l'aménagement contre les inondations. C'est pour cela que la prévention des catastrophes liées à l'eau par la mise en œuvre des actions pour lutter contre les risques naturels et accidentels et l'aménagement des ouvrages de protection, est importante pour une bonne gestion des ressources. Pour bien gérer le risque des inondations, la première étape qui constitue consiste à élaborer un modèle pluie-débit ayant pour objet d'analyser le fonctionnement hydrologique du bassin d'Oued Fès. A travers la simulation des événements historiques et probables, on essaie de quantifier et de décrire les composantes principales de l'écoulement et du débordement des crues.

## Conclusion

Grace à la combinaison d'une exploitation efficace des ressources et d'innovation technologique (IR ...) soutenue, une croissance de la productivité ne peut être que bénéfique. La grande variabilité du système d'exploitation suppose une gestion intégrée des divers constituants de ces systèmes. Pourtant, il existe un impact dans le renouvellement des ressources mais aussi de matière technologique, donc on peut dire que la gestion doit être intégrée mais aussi conservatrice dès le moment ou en doute sur la fragilité de la ressource (**approche de prudence et de précaution**). Ainsi la terre agricole est une source de production alimentaire, énergétique (feu de bois) et textile (laine...), mais elle est aussi la source de plusieurs impacts externes, puisque on a une influence sur l'environnement par les pratiques agricoles et les produits phytosanitaires. On peut dire que l'activité agricole doit être estimée en fonction des effets environnementaux, donc la communication représente l'outil premier pour une prise de conscience efficace entre les intervenants (usager et pouvoir public) et pour

une gestion agricole plus équilibré avec moins d'impact ainsi qu'une utilisation modulée des outils.

## Chapitre 4 : REPONSE ET PHYSIOGRAPHIEHYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS

La réponse hydrologique est la manière dont réagit le bassin, cette analyse est importante pour comprendre le comportement hydrologique d'un bassin versant. Généralement, cette dernière est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à son exutoire, la réponse peut être représentée sous forme d'un hydrogramme de crue qui traduit l'évolution du débit concentré suite à un épisode pluvieux. La réponse hydraulique peut être de différentes nature selon l'influence de plusieurs facteurs qui sont les précipitations, la morphologie et les propriétés physiques du bassin versant. En général, la réponse hydrologique est caractérisée par sa vitesse qui est le temps de concentration du bassin versant et son intensité qui est le débit de pointe de la crue.

Afin d'évaluer la réponse hydrologique globale du bassin versant de l'oued Fès ainsi que celle de ces cinq sous-bassins versants il faut faire une analyse des caractéristiques physiographiques pour évaluer l'impact de cette dernière, donc on va mettre l'accent sur l'analyse des caractéristiques morphométriques et topographiques, ainsi que la perméabilité du sol et l'hydromorphométrie.

### 1- Caractéristique morphométriques

Le bassin hydrologique ou bassin de drainage d'une rivière considérée en un point donné de son cours, représente l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée sur chacun de ses points qui se dirige vers un point commun appelé **exutoire** (Kisangala, 2008).

La quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique en vue de la recherche des causes des variations du régime hydrologique dans l'espace pour être homogène doit se faire avec des méthodes précises, définies et universelles (Ntombi, 1999 ; Dubreuil, 1974).

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire de celui-ci, ce dernier joue un rôle déterminant sur la réponse hydrologique.

#### 1.1 Indices morphométriques

Dans un bassin versant on peut retenir cinq caractères important l'indice de compacité, la superficie, la longueur et la largeur du rectangle équivalent ainsi que la longueur du cours d'eau. Les formules retenus sont les plus couramment utilisé dans les méthodes de calcul des caractéristiques morphométriques des bassins versants (Roche, 1963 ; Frecaut et Pagney, 1983 ; Bravard et Petit, 1997 ; Cosandey et Robinson, 2000 ; Obda, 1991 et 2004 ; Taous, 2005, Giret. 2007).

- L'indice de compacité de Gravelius (Kc)

Il existe différents indices morphologiques permettant de qualifier la forme du bassin, et de comparer les bassins versants entre eux. La variable la plus couramment retenue par les

hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'*indice de compacité de Gravelius* ( $K_G$ ), il est défini comme le rapport du périmètre du bassin étudié à la circonférence du cercle ayant la même surface (Gravelius 1914, Wisler & Brater, 1959; Roche, 1963; Ward, 1975; OMM, 1996), le bassin est considéré comme bien drainé si l'indice tend vers 1. Ce coefficient est défini par la formule suivante :

Où : le périmètre du bassin versant (km)

: La superficie du bassin ( $Km^2$ )

La compacité des bassins versants renseigne sur la rapidité de la réponse d'un bassin versant suite à un épisode pluvieux. Lorsque le bassin versant est allongé, le temps d'acheminement mis par une goutte d'eau pour atteindre l'exutoire est plus long donc le temps de réponse est donc plus important et le débit de pointe peut être atténué par ce phénomène de retard (tab. 15).

Tableau 15: Correspondance entre la valeur de  $K_G$  et le type de réponse hydrologique attendue. Roche, 1963 in Obda, 1991 et 2004.

| Indice             | Forme                   | Réponse            |
|--------------------|-------------------------|--------------------|
| $K_G < 1,25$       | Bassin compact          | Réponse rapide     |
| $1,25 < K_G < 1,5$ | Bassin de forme moyenne | Réponse moyenne    |
| $K_G > 1,5$        | Bassin allongé          | Réponse plus lente |

- Longueur du rectangle Equivalent L

Cette notion a été introduite pour comparer des bassins entre eux de point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. C'est une transformation qui permet d'assimiler le bassin à une forme rectangulaire de même périmètre et de même superficie. La longueur du rectangle équivalent (L) s'exprime comme suit :

$$L = \frac{C\sqrt{S}}{1.12} * (1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{C})^2})$$

Avec : S = la superficie ( $km^2$ ) et C = indice de compacité de Gravelius.

- Largeur du rectangle équivalent (l)
- Il s'exprime comme suit :

$$l = \frac{S}{L}$$

Avec : **S** = la superficie (km<sup>2</sup>) et **L** = longueur du rectangle équivalent.

#### Délimitation et cartographie du bassin versant

L'oued Fès est le principal collecteur d'un réseau hydrographique moyennement dense (fig. 47), il draine une surface relativement réduite de 879 Km. Les principaux Oueds qui contribuent à la formation des débits de pointe les plus importants à l'entrée de la ville sont Oued Boufekrane, Oued El Mehrez et Oued El Himmer.

Tableau 16: Superficie des sous bassins versants

| <i>Sous bassins</i> | <i>POINT DE<br/>CALCUL</i> | <i>SUPERFICIE DU<br/>BASSIN KM<sup>2</sup></i> |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| Boufekrane          | Entrée de<br>la ville      | 48                                             |
| El Mehrez           |                            | 122                                            |
| El Himmer           |                            | 80                                             |
| Chekkou             |                            | 428                                            |

Ces bassins versants ont été délimités sur les cartes topographiques (au 1 : 50'000) de Fès Est, Fès Ouest, Ain Taoujdate, Sefrou, Ifrane et Ayoun Snan, puis cartographiés à l'aide du Système d'Information Géographique ArcMap©.

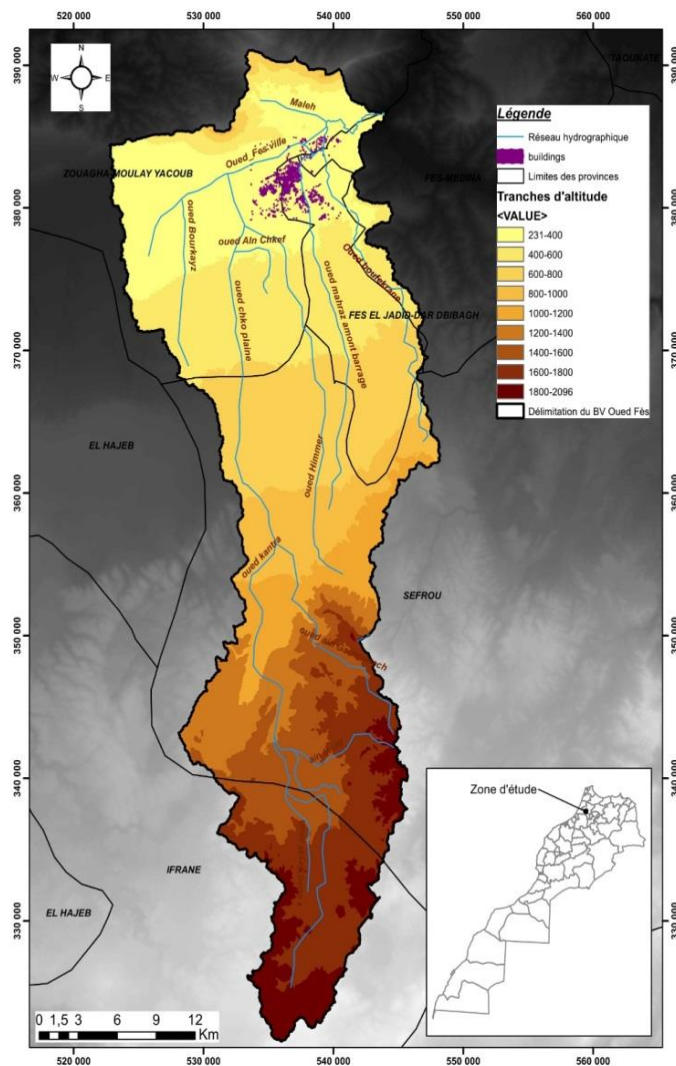


Figure 47: Extension du bassin versant de l'Oued Fès

### 2.1- Calcule des indices morphométriques de l'Oued Fès et ses affluents :

On constate que le bassin d'oued Fès a un indicé de Gravelius égale à 1,95, on constate qu'il est supérieur à 1,5 qui veut dire qu'il se caractérise par une forme allongée ; par conséquent nous pouvons estimer que sa réponse hydrologique tendra à être lente (tab .17). La réponse hydrologique du bassin versant d'oued Fès ne dépend pas seulement de sa morphométrie mais aussi de ses affluents, on constate que ces derniers n'ont pas le même indice de Gravelius donc leur réponse hydrologique diffèrent.

D'après une analyse globale, on peut dire que les premiers gonflements des crues de l'oued Fès vont coïncider avec la réponse hydrologique d'oued El Himmer vue sa taille et sa forme. Pour confirmer cette première interprétation il nous reste a analysé l'impact des autres caractéristiques physiographiques des bassins versant étudiés.

Tableau 17: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Fès et ses cinq sous-bassins versants

| BVS                 | Surface | Périmètre | indice de Gravelius Kc | Longueur du rectangle équivalent L | Largeur du rectangle équivalent l |
|---------------------|---------|-----------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Oued Fès            | 80      | 62,29     | 1,95                   | 29,97                              | 2,67                              |
| Oued Boufekrane     | 48      | 60,37     | 2,44                   | 30,16                              | 1,59                              |
| Oued El Mehraz      | 122     | 44,5      | 1,13                   | 13,18                              | 9,26                              |
| Oued El Himmer      | 80      | 45,2      | 1,41                   | 19,27                              | 4,15                              |
| Ain smen / Ain chkf | 145     | 92        | 2,14                   | 45,08                              | 3,22                              |

## Caractéristiques topographiques : une énergie de relief assez faible

### 3.1 Topographie du bassin d'Oued Fès

3-Le bassin versant d'Oued Fès se compose de trois unités topographiques différentes le cause du moyen Atlas, le plateau de saïs et les rides préifaines. Le cause du Moyen Atlas au Sud Correspond à la zone la plus élevée. Il prend l'allure de plateaux étagés du Sud (avec une altitude de 2096m) vers le nord (avec une altitude de 1400 m). Cette unité est dominée par les formations massives d'âge secondaire (calcaires et dolomies du Lias) reposant en discordance sur le substratum argileux du Trias (fig. 48 inspirée de Taltasse, 1953).

Le plateau Saïs représente une topographique relativement plate avec une douce inclinaison du Sud vers le Nord. Il s'agit d'une dépression de remplissage mio-plio-quaternaire surmontant les calcaires et dolomies du Lias et les formations complexes du Dogger (Fassi, 1999).

Les rides préifaines au Nord du bassin versant, apparaissent comme une montagne moyennement élevée : Jbel Tghat (860m) et Jbel Zalagh (900m), elles surplombent la vallée de l'oued Fès par des versants Raides et ravinés présentant une superposition de formations liasiques (calcaires blanchâtres) reposant directement sur le substratum triasique (argiles) (Cherai, 2009).

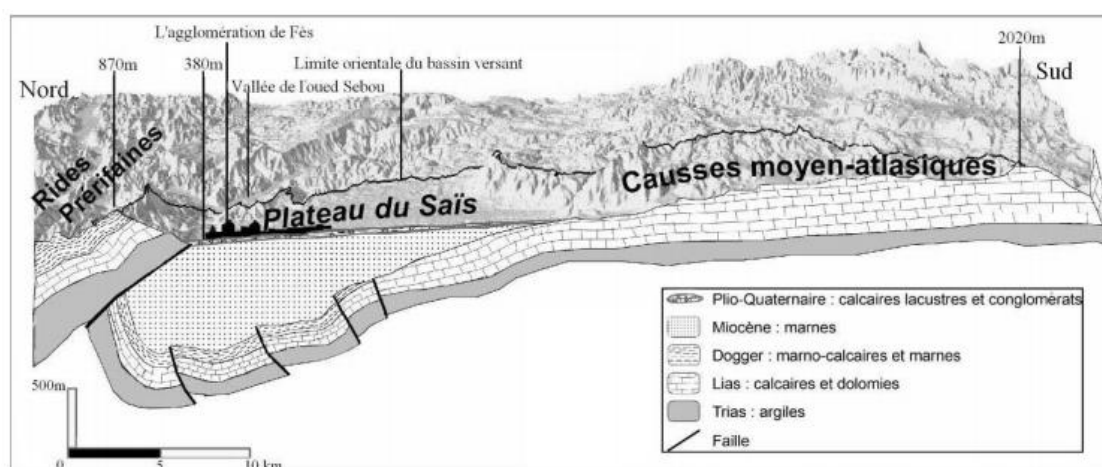


Figure 48: Coupe géologique schématique du bassin versant de l'oued Fès (Taltasse, 1953).

### 3.2 Pentas du bassin versant d'Oued Fès

La carte des pentes renseigne sur la variation de la raideur du relief. Cette variation joue un rôle primordial dans la détermination des caractéristiques du bassin versant. Cette carte montre que les pentes les plus rudes se concentrent dans la partie amont au sud, est du bassin où les valeurs dépassent 20%. Le reste du bassin est caractérisé par des pentes faibles à modérées avec une valeur moyenne qui ne dépasse pas 1.96 %, malgré le grand dénivelé théorique du bassin versant oued Fès (2030 m – 187 m= 1840 m).

A l'échelle des sous-bassins versants (fig. 49), les terrains à faible pente (<15%) occupent la majeure partie des sous-bassins (54% pour Boufkrane ; 62% pour El Mehrz ; 79% pour El Himmer et 59% pour Chekkou) ce qui correspond au bassin de saïss, tandis que les autres classes de pentes occupent des surfaces moins importantes dans la partie sud-est (20% - 35%), voire même négligeables pour les pentes les plus fortes (35% - 40%). Le bassin versant de l'oued El Malleh présente une exception, car il se développe sur les versant méridionaux des rides prérfaines, caractérisés par la dominance des terrains accidentés, les pentes supérieures à 10% occupent plus de 65% de sa surface.

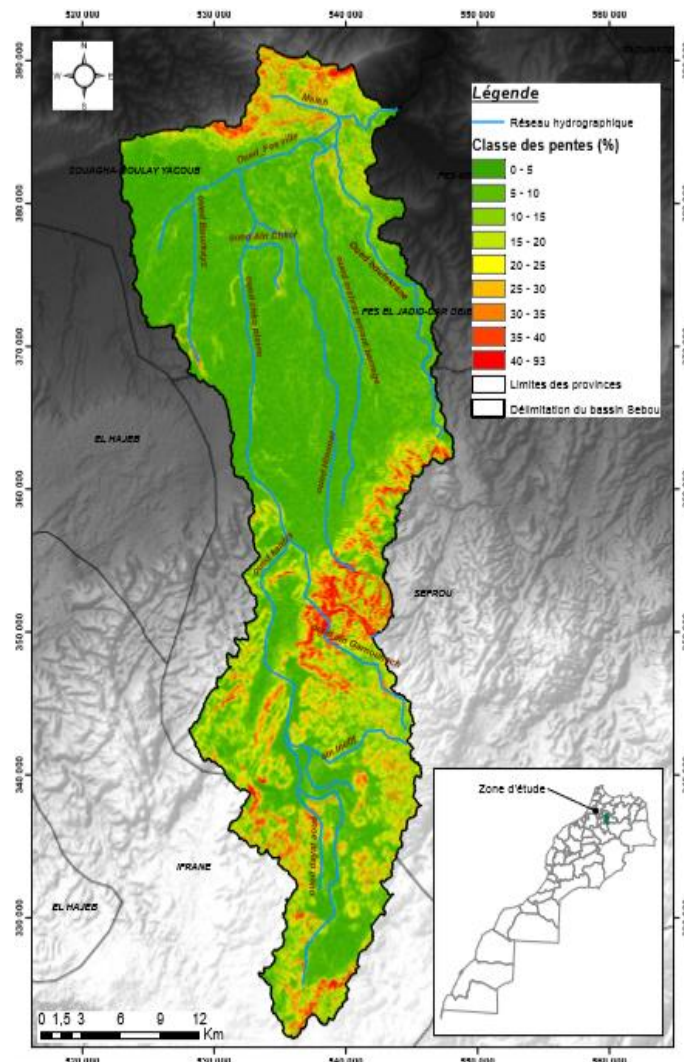


Figure 49 : Cartes des pentes du bassin versant Oued Fès

### 5.3 Le Dénivelé

D'après les courbes hypsométriques de nos bassins versants nous pouvons dire que le système de pente diffère d'un bassin à un autre. L'indice de relief le plus couramment utilisé pour caractériser la pente c'est le dénivelé Spécifique (DS) qui est défini par :

$$DS = PU \times \sqrt{S}$$

Avec  $PU = \frac{DU}{L} \times 100$

La dénivelée D, évaluée en mètres, est prise égale à celle qui sépare les altitudes ayant approximativement 5 % de la surface du bassin au-dessus et au-dessous d'elles ; H, et HP, se déterminent à l'estime au vu de la carte altimétrique sans tracer la courbe hypsométrique :

$$DU = H5\% - H95\%$$

H : l'altitude ; PU : la pente utile en % ; DS : Dénivelée spécifique ; L : la longueur du rectangle équivalent

Tableau 18 : Correspondance type de relief et le Dénivelé spécifique ; (P. Dubreuil et J.Guiscafr, 1971)

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| Relief très faible  | Ds < 10m         |
| Relief faible       | 10 < Ds < 25m    |
| Relief assez faible | 25 < Ds < 50m    |
| Relief modéré       | 50 < DS < 100 m  |
| Relief assez fort   | 100 < DS < 250 m |
| Relief fort         | 250 < DS < 500 m |
| Relief très fort    | DS > 500m        |

L'étude des dénivelés spécifiques montre que l'ensemble des sous bassins présentent des valeurs qui les qualifient de relief assez faible. Toutefois le sous bassin « d'oued Fès » présente un relief modéré (tab. 18 et 19).

Tableau 19 : Dénivelé du bassin versant de l'Oued Fès et ses affluents

| Bassin Versant       | Surface Km <sup>2</sup> | Dénivelé |
|----------------------|-------------------------|----------|
| Oued Boufekrane      | 48                      | 28       |
| Oued El Meherz       | 122                     | 22       |
| Oued El Himmer       | 80                      | 36       |
| Oued Fès             | 80                      | 62       |
| Aïn Chkef / Aïn Smen | 145                     | 14       |

L'étude des caractéristiques de l'indice de gravéilius du bassin d'oued Fès se caractérise par une forme allongée, les zones de montagne sont assez faiblement réparties et ne sont présentes que dans sa périphérie nord-sud-est, avec des altitudes moyennes (altitude). La majeure partie du bassin versant est occupée par le plateau de saïs qui représente une pente faible (valeur de la pente). L'étude du dénivelé a montré des valeurs qui qualifient notre bassin de relief faible. Tous ses résultats montrent que notre bassin va avoir un comportement hydrologique assez faible et les eaux de surface vont avoir un écoulement de faible vitesse dans toute la région de Fès tant qu'il n'y a pas de crue.

## Chapitre 5 : Etude climatique du bassin versant d'Oued Fès

### Introduction

La ville de Fès est située dans la partie Nord-Ouest relativement arrosée par rapport au reste du pays. Le climat de la région joue un rôle important dans l'influence du fonctionnement hydrologique d'Oued Fès, la température, l'évaporation et les précipitations peuvent déterminer les caractéristiques hydrographiques et hydrologiques des bassins versants. Ce chapitre vise à étudier les caractéristiques du climat de notre bassin versant, tout en mettant l'accent sur les précipitations qui génèrent les inondations (Benistom, 1996).

#### I. Présentation des postes d'observation climatique et choix des chroniques adéquates

Les coordonnées des stations et des postes pluviométriques qui couvrent une grande partie du bassin versant de l'Oued Fès représentent un réseau d'observation assez large (tab. 20).

Pour l'étude des variations spatiale, interannuelles, temporelle et tendances des précipitations, nous avons choisi les stations de Fès-Saïs, Sefrou et Ifrane. Le choix de ces stations a été guidé par deux raisons : d'une part, les stations d'Ifrane, Sefrou et Fès Saïs traduisent respectivement la situation en amont (le Moyen Atlas), dans la partie médiane (le dir) et à l'aval (le Saïs) du bassin de l'Oued Fès, d'autre part, ces trois stations se caractérisent par une chronique homogène assez longue.

Tableau 20 : Coordonnées des stations et des postes des données climatiques observées (ABHS, 2011).

| Stations/ Postes   | Coordonnées |        |      |
|--------------------|-------------|--------|------|
|                    | X           | Y      | Z    |
| Ain Betit          | 519458      | 355236 | 790  |
| Ain Cheggag        | 532479      | 363922 | 656  |
| Azrou              | 516864      | 317842 | 1275 |
| Azzaba             | 569572      | 359594 | 626  |
| Boulmane           | 561735      | 307215 | 1901 |
| Dayet Aoua         | 533100      | 337916 | 1572 |
| Douiat             | 526198      | 381319 | 385  |
| El Annouceur       | 549927      | 341163 | 1415 |
| Fès (ABHS)         | 535400      | 384800 | 378  |
| Fès Saïs(Aéroport) | 538105      | 370359 | 579  |
| Ifrane (Aérodrome) | 524539      | 323451 | 1664 |
| Immouzzar Kander   | 535757      | 348248 | 1355 |
| Ras Tabouda        | 532479      | 363922 | 560  |
| Sefrou             | 538105      | 370359 | 989  |

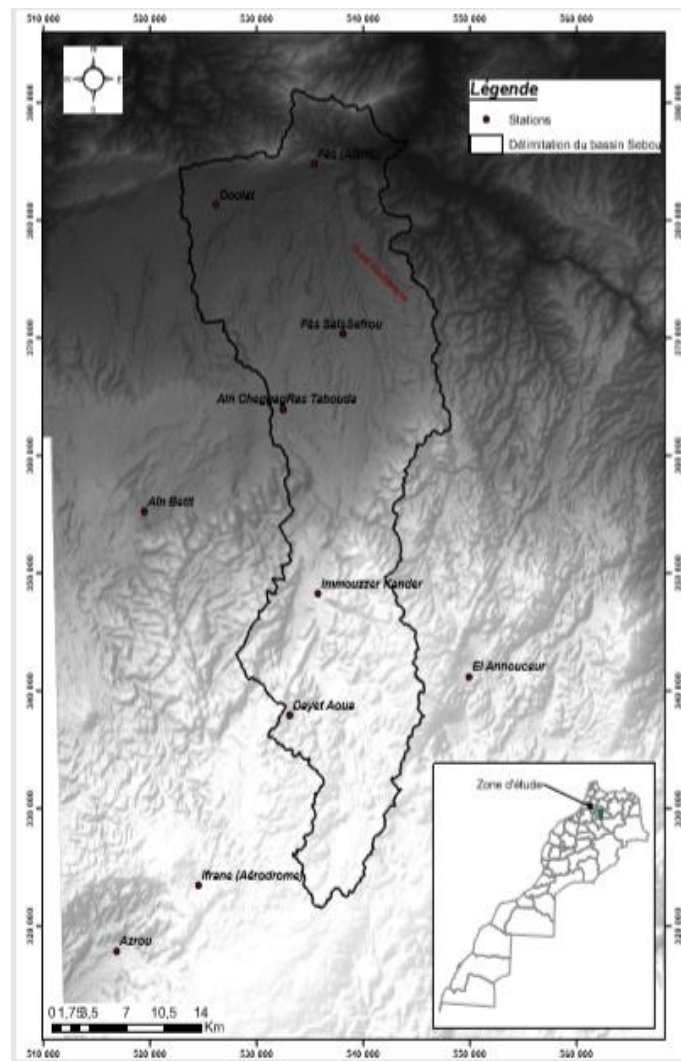


Figure 50 : Localisation des stations et postes pluviométriques

L'étude des données météorologiques nécessite une continuité et homogénéité des chroniques pour pouvoir aboutir sur de bons résultats, mais malheureusement nous nous sommes retrouvées avec des hétérogénéités des chroniques données ainsi que des lacunes d'observations. De ce fait seul trois stations météorologiques couvrant l'aire d'étude ont été retenues pour caractériser le climat de la région d'étude. Le choix de ces stations s'est imposé de lui-même, puisque ce sont des stations principales qui disposent d'une longue et complète donnée précipitation vont de 1979 à 2018 ce qui couvre une période de 38 années ce qui est largement suffisant pour avoir des interprétations très fiables (tab, 21).

Tableau 21: Les coordonnées et les paramètres moyens annuels des stations de Fès Saïss et Ifrane

| Station   | Altitude | Latitude Nord | Longitude Ouest | Pluie moyenne 1980-2018 | Température moyenne |
|-----------|----------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Fès Saïss | 579      | 33,93°        | 4,98°           | 521                     | 17,5                |
| Ifrane    | 1664     | 33,50°        | 5,17°           | 986                     | 7.72                |

|        |     |     |       |     |      |
|--------|-----|-----|-------|-----|------|
| Sefrou | 523 | 30° | 3,20° | 425 | 14,5 |
|--------|-----|-----|-------|-----|------|

Pour le contraste thermique entre l'amont et l'aval, les températures annuelles, mensuelles et les précipitations journalière et mensuelle : nous nous sommes basés sur les données thermiques disponibles sur les stations de Fès-saïs, Séfrou et Ifrane, entre les années 1979 et 2018.

## II. Le contexte local du climat

Le bassin versant de l'Oued Fès s'inscrit dans un climat méditerranéen influencé par la continentalité. Il est marqué par un été chaud et sec et un hiver frais et humide. L'amont du bassin versant (causes moyen atlas) est bien arrosé, car il constitue une barrière pour les perturbations humides atlantiques. Les températures sont relativement douces en été et froides en hiver et la neige dans cette région est fréquente et peut durer plusieurs jours à une haute altitude et sur les versants ombrés. La partie médiane du bassin versant est une zone transitoire, elle est marquée par une pluviométrie plutôt moyenne et un enneigement faible. En descendant vers le plateau de Saïs, le climat devient de plus en plus influencé par la continentalité et les précipitations sont assez faibles et principalement concentrées en hiver.

Sur le plan bioclimatique, à partir du climogramme pluviométrique d'Emberger (fig. 51), le bassin versant de l'Oued Fès se développe sur trois étages bioclimatiques, à savoir : l'humide, le subhumide et le semi-aride. Dans la même logique, les diagrammes ombrothermique de Fès et Ifrane (fig. 51) montrent que la saison sèche dure cinq mois en aval (mai à septembre à la station de Fès) et seulement trois mois à l'amont du bassin versant de l'Oued Fès (juin, juillet et août à la station d'Ifrane). Cela explique le contraste du couvert forestier entre l'amont et l'aval.

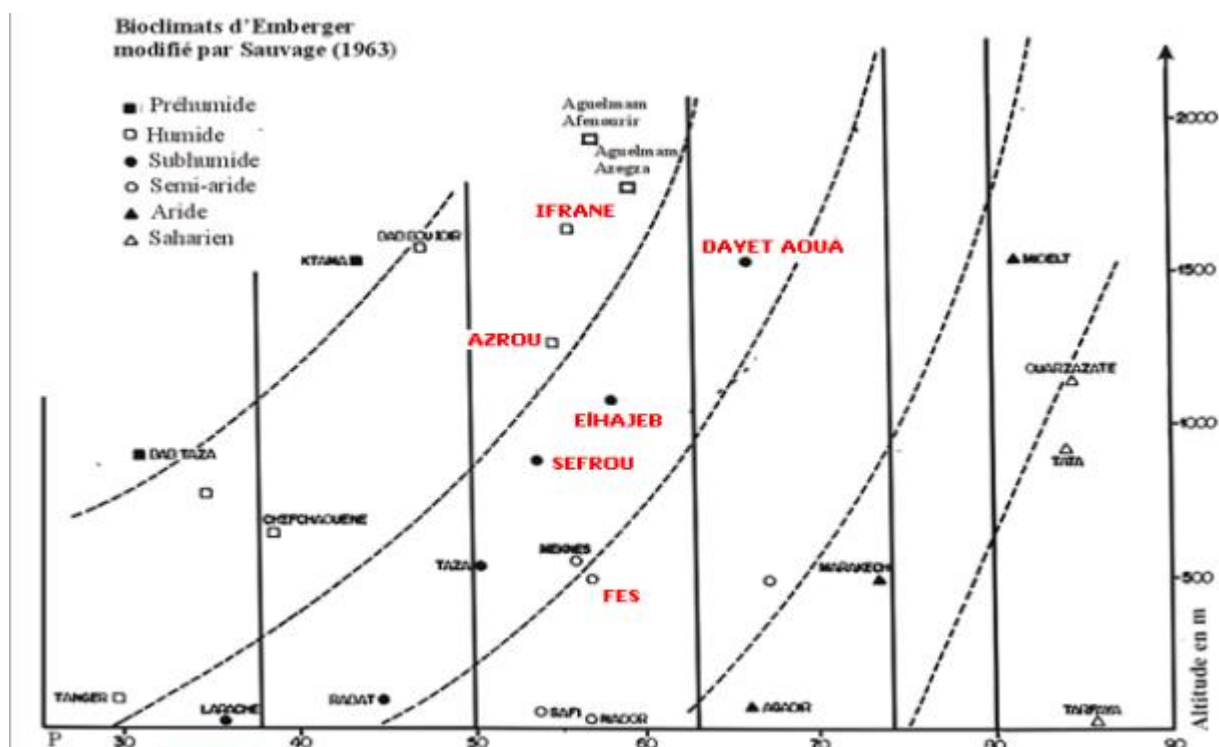
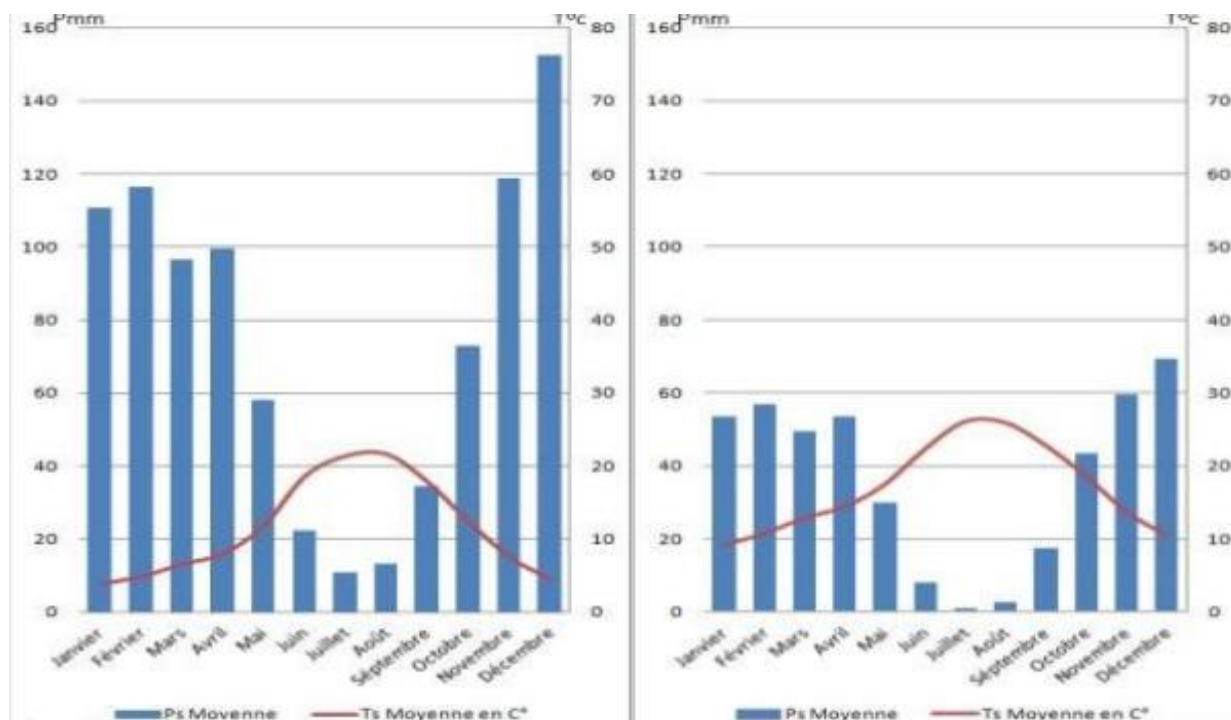


Figure 51 : Climagramme des gradients bioclimatiques altitudinaux dans les différents domaines marocains et quelque station du bassin d'Oued Fès.



Ifrane 1980 – 2010

Fès 1980 - 2010

Figure 52 : Diagramme ombrothermique à Ifrane et à Fès (1980 - 2010), (ABHS, 2011)

### III. Contraste spatiotemporel des températures

L'altitude joue un rôle essentiel dans la répartition des températures à l'échelle globale. Dans le bassin versant d'Oued Fès, le grand dénivelé des terrains crée un grand contraste thermique entre l'amont et l'aval. Pour étudier ce phénomène on a comparé les données thermométriques des stations de Fès Saïss avec une altitude de 579 m et d'Ifrane à 1664 m.

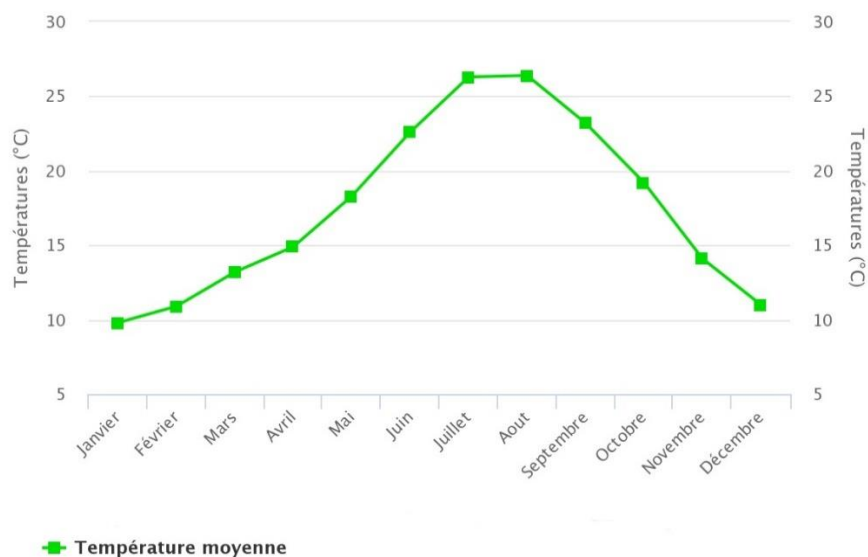


Figure 53 : Températures moyennes mensuelles de la station à Fès-Saïss 1979-2018

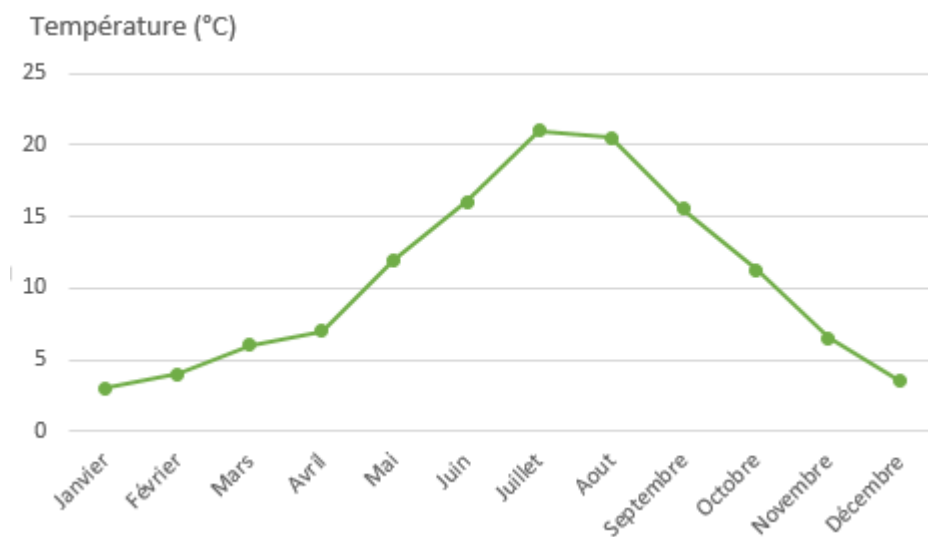


Figure 54 : Températures moyennes mensuelles à Ifrane 1979-2018

On constate que dans les stations de Fès saïss et Ifrane, les jours les plus froids de l'année correspondent au mois de janvier, avec une moyenne mensuelle de 9,8°C à Fès saïss et de 3,6°C à Ifrane, tandis que les jours les plus chauds se concentrent en août avec une moyenne mensuelle de 26,4°C à Fès saïss et de 24,5°C à Ifrane (fig. 55 et 56).

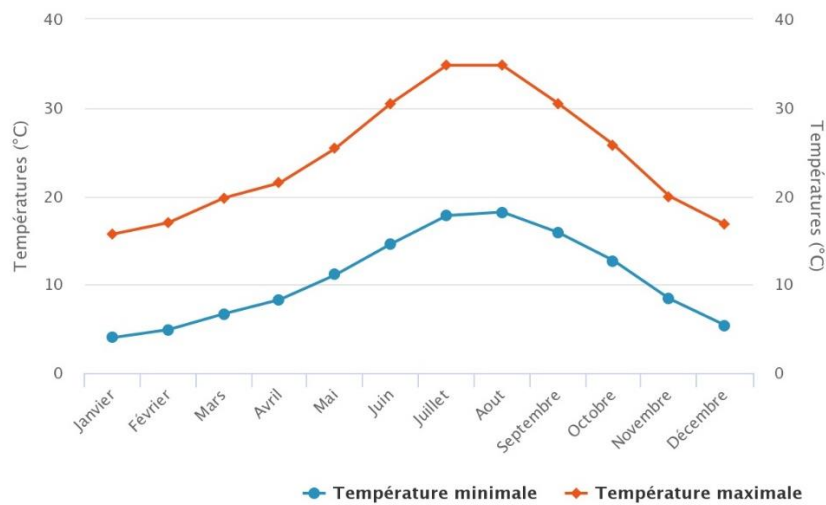


Figure 55 : Températures moyennes maximales et minimales de la station de Fès (1979-2018)

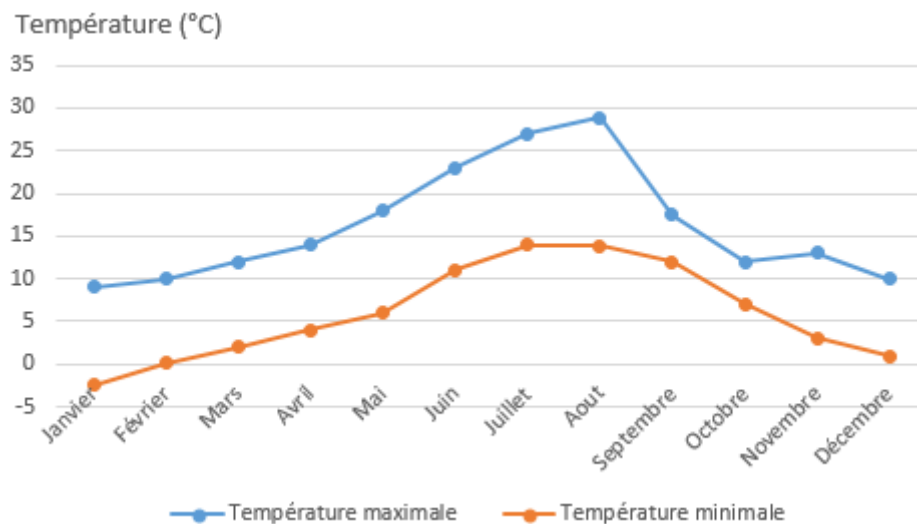


Figure 56 : Températures moyennes maximales et minimales de la station d'Ifrane

Pour ce qui est les températures extrêmes, les mois d'août se caractérise par une température moyenne maximale proche de 35°C pour la station Fès Saïss et une température de 28,5°C pour Ifrane, et une température minimale de 3,5°C et -2,5°C à Ifrane. Par ailleurs, selon la direction de la météorologie nationale, les deux régions étudiées peuvent enregistrer des records impressionnants. Le 6 janvier 1972 a enregistré -33,2°C à Ifrane, et pour le record de la chaleur la station Fès Saïss a enregistré le 17 juillet 2000 47°C.

#### IV. Variations spatiales des précipitations moyennes annuelles

Les précipitations sont marquées par une grande variation spatiale au sein du bassin versant de l'oued Fès. La pluie moyenne enregistrée varie d'une station à une autre (fig. 57). Pour obtenir une spatialisation des précipitations il existe plusieurs méthodes d'interpolation géométrique ou géostatistique, la plus couramment utilisée et celles de Thiessen et Spline. Pour

cette étude nous allons utiliser les données pluviométriques des 20 stations présentes dans notre bassin versant sur la période 1978-2010 (fig. 56).

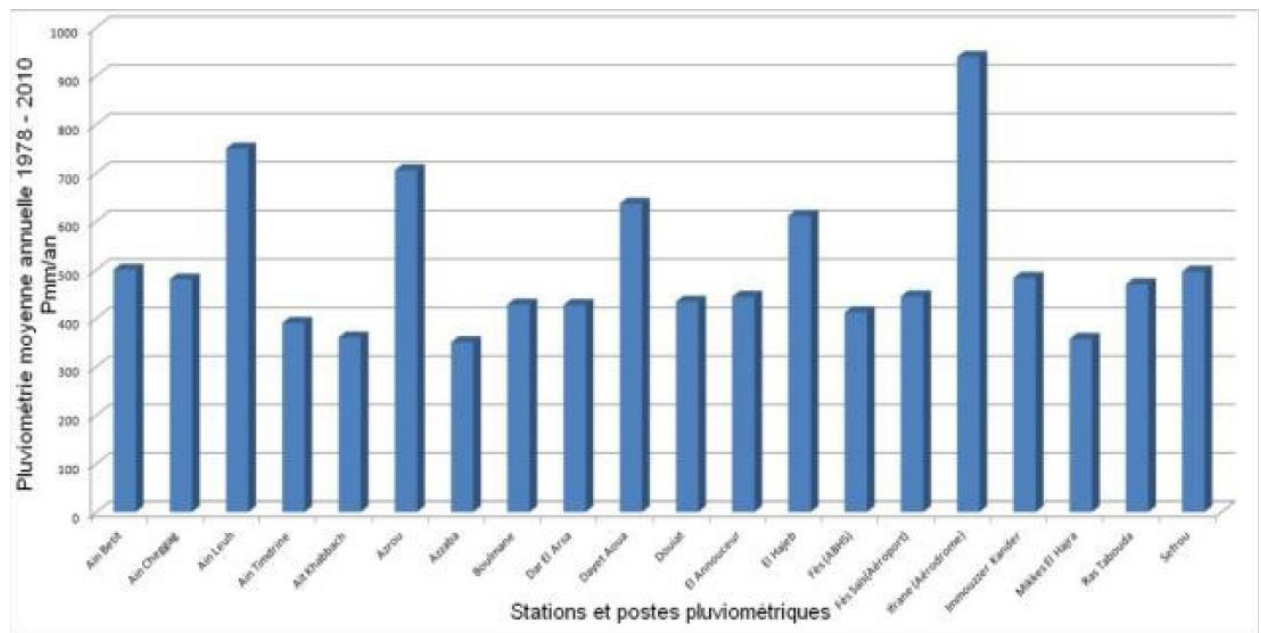


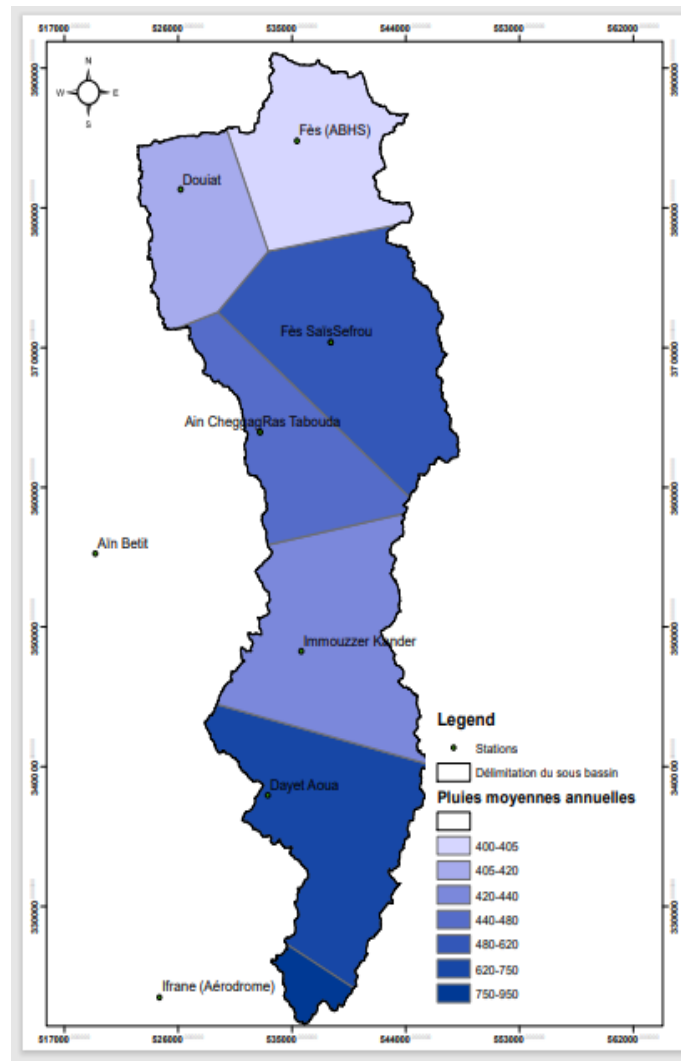
Figure 57: Pluies moyennes annuelles (1978-2010) dans 20 stations du bassin versant de l'Oued Fès

#### 1- Méthode de Thiessen

La méthode la plus couramment utilisée c'est de Thiessen elle convient quand le réseau pluviométrique n'est pas spatialement homogène. Cette dernière permet d'estimer les valeurs pondérées en prenant compte chaque point de mesure pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique.

Avec le logiciel ARCGIS, on a pu spatialiser les précipitations moyennes annuelles ce qui nous donne une vue synthétique sur la répartition de la pluviométrie dans le bassin versant de l'Oued Fès qui est représenté sous forme de polygone et qui montre les aires d'influence de chaque point observé (fig.58).

La partie du nord du bassin d'Oued Fès correspond au polygone avec une tranche de pluie moyenne entre 450mm et 550 mm, la plus grande partie de notre bassin correspond à une tranche de pluie entre 550mm et 650mm. Seul une toute petite de notre zone située dans la partie la plus au sud (en plein moyen atlas) correspond à des tranches de pluie les plus élevées entre 750mm et 985mm.



2-

Figure 58: Carte du polygone de Thiessen

### Méthode de SPLINE

La méthode de Spline permet une spatialisation des précipitations plus représentatives et rigoureuses. C'est un modèle de régressions non paramétriques, elles interpolent des valeurs ponctuelles à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnages (Gilles, 2004).

Grace au logiciel ARCGIS et ses extensions, On a pu interpoler les précipitations moyennes par la méthode Spline. Nous avons obtenu une présentation cartographique des pluies moyennes annuelles à l'échelle du bassin versant et une répartition des lames d'eau par tranches pluviométriques (fig. 59). On remarque que les précipitations sont décroissantes en partie de l'amont à l'aval, mais surtout du sud-ouest vers le nord-est. Ce phénomène s'explique par l'exposition des versants, le Nord West du bassin subit une importante décharge des masses d'air humide atlantique, tandis que la partie orientale est relativement abritée.

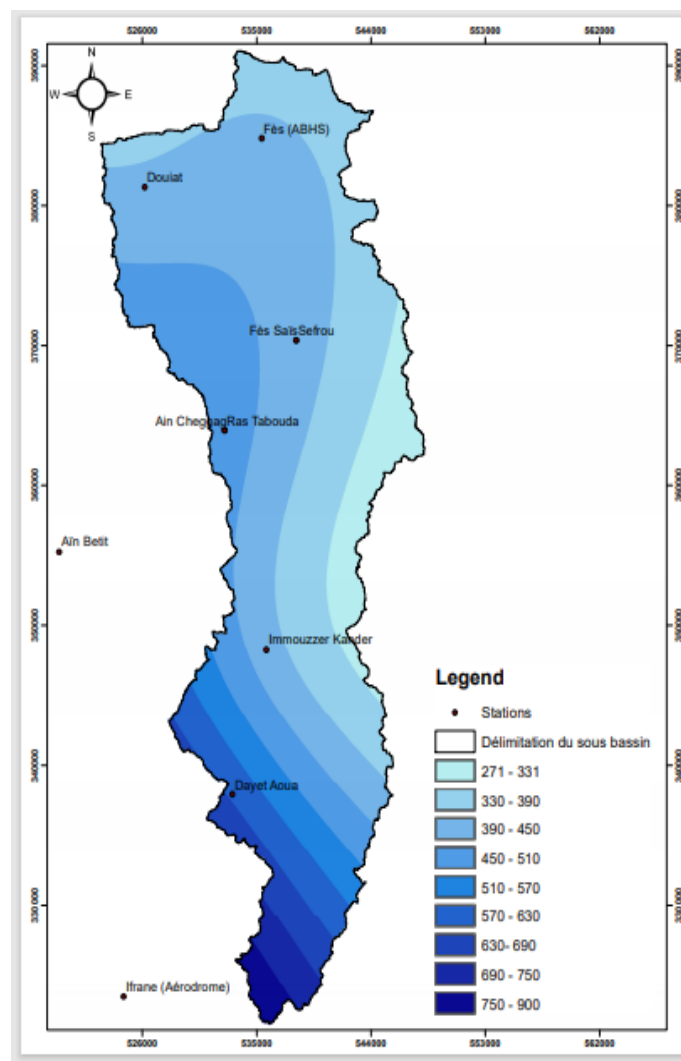


Figure 59: Spatialisation pluviométrique par la méthode Spline

## V. Variations interannuelles

Pour étudier l'irrégularité des précipitations on doit effectuer une analyse des données des stations pluviométriques. Cette dernière présente l'avantage de caractériser leur distribution dans le temps et elle permet de démontrer l'ampleur des déficits et des excédents. La mesure de la variabilité de la pluviométrie sur une période donnée peut être réalisée grâce à la moyenne interannuelle. Les années de suivi de la pluviométrie au niveau des trois stations montrent que le régime pluriannuel est très irrégulier, avec un coefficient de variation variant de 33 à 37 %. On a une bonne corrélation des pluies entre les trois stations, ainsi que l'extrême variabilité des hauteurs des précipitations d'une année à l'autre (tab. 22).

Tableau 22: Variation de la pluviométrie annuelle (1979-2018) à Fès-saïss, Ifrane, Sefrou

| Stations  | Moyenne 1979-2018 | MAX   | MIN   | Extrêmes par rapport à la moyenne |         | Ecart-type | Coefficient de variation % |
|-----------|-------------------|-------|-------|-----------------------------------|---------|------------|----------------------------|
|           |                   |       |       | Surplus                           | Déficit |            |                            |
| Fès saïss | 521               | 884,9 | 167   | 363,9                             | 354     | 186        | 35,0                       |
| Sefrou    | 425               | 865,7 | 214,9 | 440,7                             | 210,1   | 156        | 36,7                       |
| Ifrane    | 986               | 1865  | 583   | 879                               | 403     | 272        | 27,6                       |

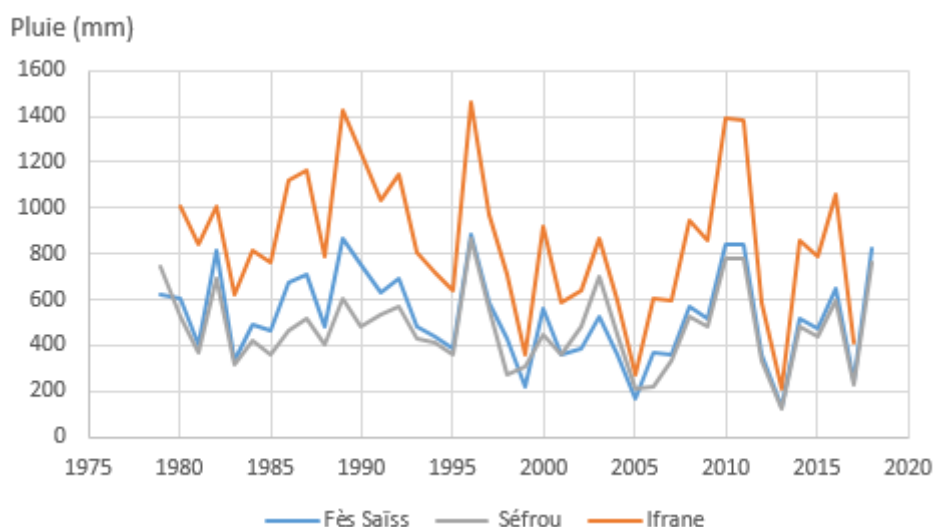


Figure 60 : Pluies interannuelles des stations, Fès Saïss, Sefrou et Ifrane (1979-2018)

D'après les fluctuations marquées par les courbes de la figure 59, nous pouvons distinguer des oscillations qui varient entre séries sèches et séries humides. En effet, ce graphique montre que pendant les années 80, les années de sécheresse sont devenues récurrentes et seules les années 1982 et 1996 se démarquent par des pluies exceptionnelles. De 2008 à 2011 la pluviométrie tend vers l'abondance on peut dire qu'on est dans une phase humide en comparaison avec les années précédentes.

#### VI. Variations temporelles des précipitations mensuelles

L'étude des variations mensuelles et saisonnières des précipitations a pour objectif de comprendre la répartition temporelle des pluies et de déterminer les fluctuations interannuelles des volumes précipités dans le bassin versant.

##### Précipitations moyennes mensuelles

La ville de Fès est relativement arrosée, vu son emplacement géographique au nord-ouest du Maroc et sa localisation orographique au pied des reliefs rifains et moyen atlasiques. La pluviométrie moyenne interannuelle obtenue durant la période allant de 1979 à 2018 est de 546,6 mm pour la station de Fès Saïss (fig. 61).

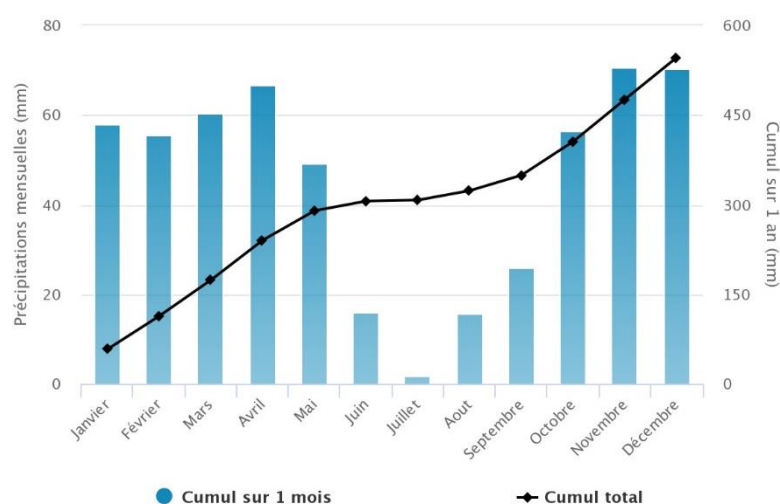


Figure 61: Précipitation moyennes mensuelles à Fès-Saïss (1979-2018)

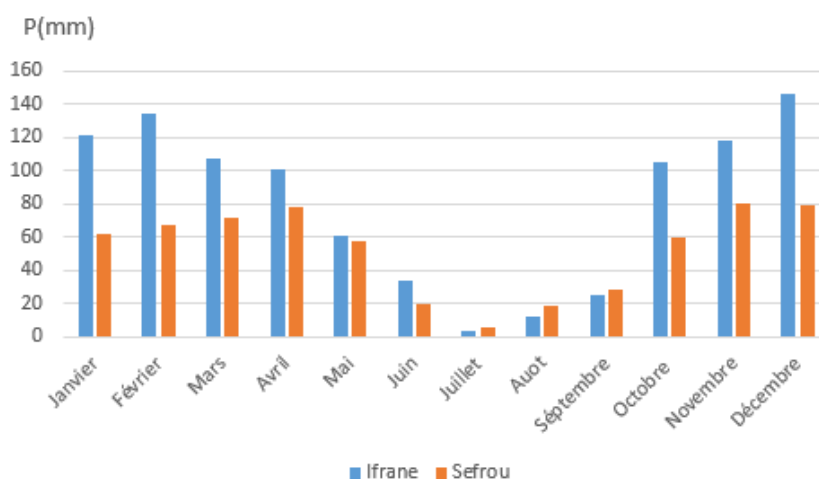


Figure 62 : Précipitations moyennes mensuelles (mm/mois) aux stations d'Ifrane, Sefrou 1979-2018

On peut remarquer que les précipitations moyennes mensuelles des trois stations sont décroissantes Ifrane, Sefrou et ensuite Fès Saïss de l'amont vers l'aval. Mais celle-ci ont la même distribution temporelle (fig. 62). La période arrosée de l'année débute d'octobre à avril, avec une précipitation maximale enregistrée de 143,54 mm en décembre dans la station d'Ifrane. La période des précipitations minimales se localise en juillet pendant la période estivale qui ne dépasse pas les 2,1mm enregistré dans la station de Fès Saïss.

### Précipitations mensuelles maximales

Afin d'intégrer les situations extrêmes des précipitations mensuelles, nous avons extrait les valeurs maximales enregistrées des stations de Fès Saïss, Fès ABHS, Ifrane et Sefrou pendant la période de 1979-2018 (fig. 62). Pareille pour les moyennes mensuelles, le mois de décembre a enregistré la valeur la plus importante dans les trois stations. Les plus importantes précipitations ont été enregistrées pendant le mois au niveau de la station Fès ABHS de (224,4

mm) pendant l'année 1979. L'analyse des données montre que pendant la saison estivale le mois de juin connaît d'importante précipitation (fig. 63).

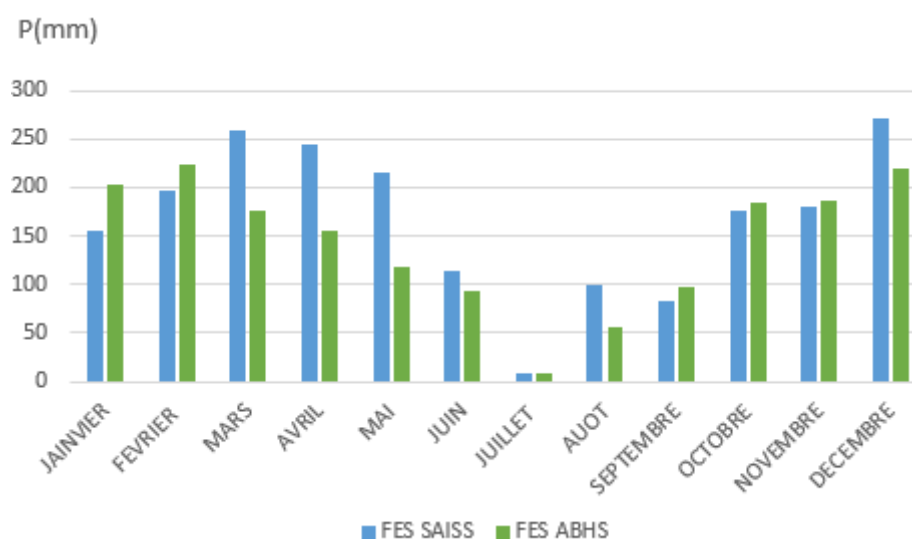


Figure 63 : Précipitations mensuelles maximales aux stations Fès Saïss et Fès ABHS (mm/mois), 1979-2018

Pour les précipitations relevées par les deux stations qui se trouvent dans la ville de Fès, on peut remarquer qu'il y a une grande homogénéité des mesures prélevées (fig. 64 et 65).

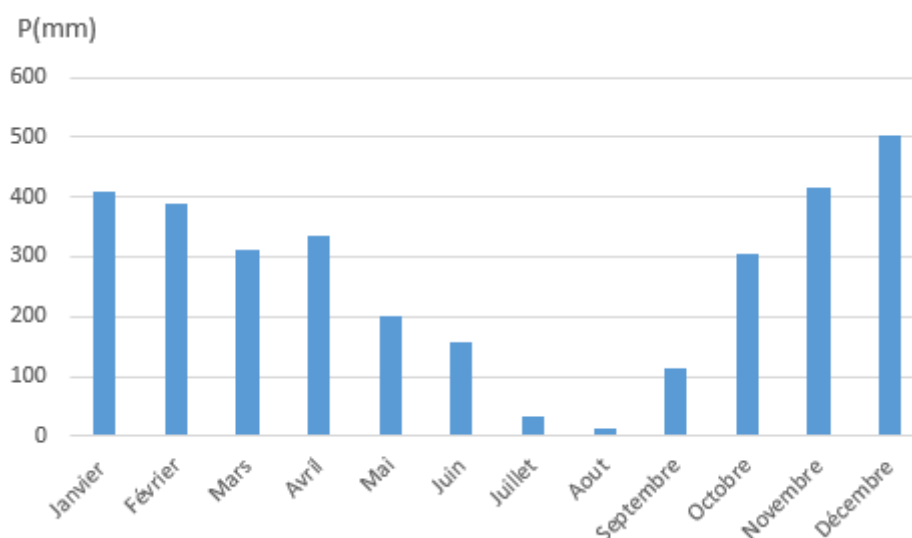


Figure 64 : Précipitations mensuelles maximales (mm/mois) à Ifrane 1979-2018

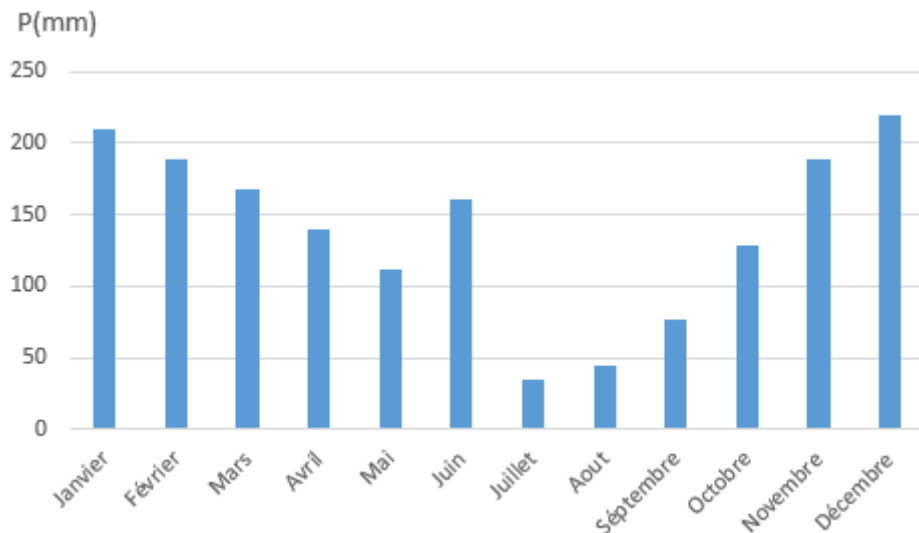


Figure 65 : Précipitations mensuelles maximales (mm/mois) à Sefrou 1979-2018

#### Distributions des précipitations saisonnières

3 Durant l'hiver la région reçoit des précipitations d'environ 189,64 mm, il est suivi du printemps et d'automne avec des pluviométries respectivement de 147,7mm et 122,5 mm, alors qu'elle ne reçoit pendant l'été que 21,93 mm (fig. 66).

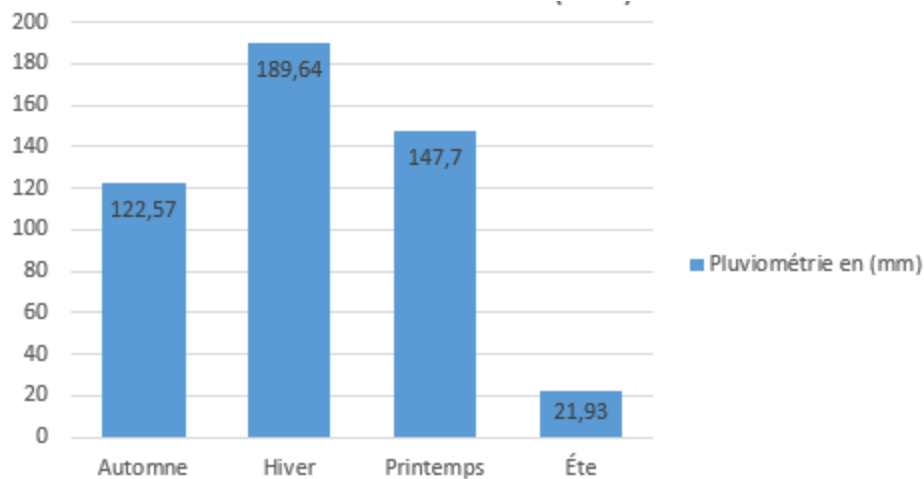


Figure 66 : Précipitations moyennes saisonnières annuelles de Fès Saïss 1979-2018,

Subséquentement les plus grandes quantités de pluie s'enregistrent en hiver ce qui représente 39.58% des précipitations annuelles, face à une très faible quantité en été qui ne dépasse pas 4.09% des précipitations moyennes annuelles.

D'après l'analyse des pluies annuelles, saisonnières et mensuelles on constate que le bassin versant d'Oued Fès se caractérise par une grande Irrégularité spatiale et temporelle. Cette

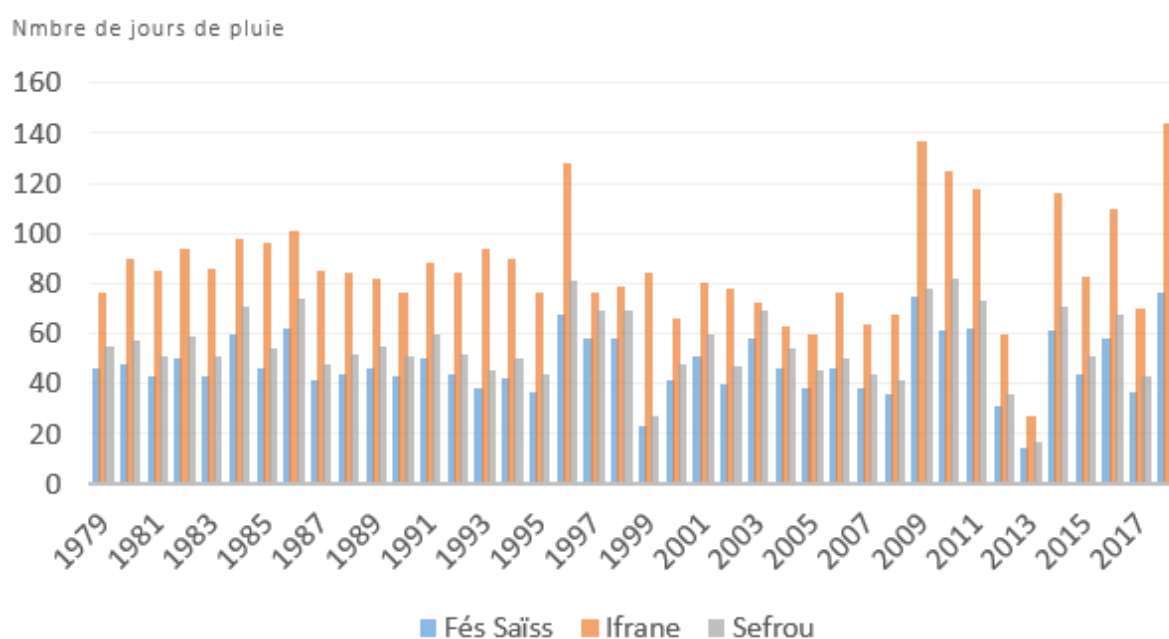
irrégularité témoigne du caractère aléatoire des phénomènes climatiques dans notre zone d'étude.

## VII. Variations et intensités des précipitations annuelles

### Variation interannuelle de l'effectif des jours pluvieux

D'après ce qui précède on note que l'effectif le plus important des jours pluvieux correspond aux années humides, tandis que les années sèches enregistrent un nombre faible des jours pluvieux. On peut dire que la variation annuelle des précipitations correspond aux mêmes années (fig. 67) du nombre des jours pluvieux donc il y'a une grande corrélation entre ces deux éléments.

D'après le graphe la station d'Ifrane a enregistré le maximum des jours pluvieux. Pour l'année 2009, la station d'Ifrane a enregistré 137 jours contre 78 à Sefrou et 75 à Fès Saïss, donc on constate une irrégularité du régime pluviométrique dans le bassin d'Oued Fès.



2

Figure 67 : Effectif des jours pluvieux à Fès ABHS, Sefrou et Ifrane (1979-2018)

### Distribution mensuelle

La distribution des précipitations mensuelles ne coïncide pas forcément avec la distribution du nombre moyen de jours pluvieux à l'échelle mensuelle. On remarque que même le mois de Février s'avère parfois bien arrosé, et a enregistré le maximum des jours pluvieux même si il reste le mois le plus cours de l'année (fig. 68).

Pour la distribution spatiale des moyennes mensuelles des jours pluvieux, on note que l'amont du bassin (station d'Ifrane) garde la supériorité numérique des jours pluvieux, tandis que la partie médiane et à l'aval du bassin on note une légère différence, surtout pendant l'hiver ou les jours pluvieux sont plus important à la station de Fès Saïss qu'à Sefrou.

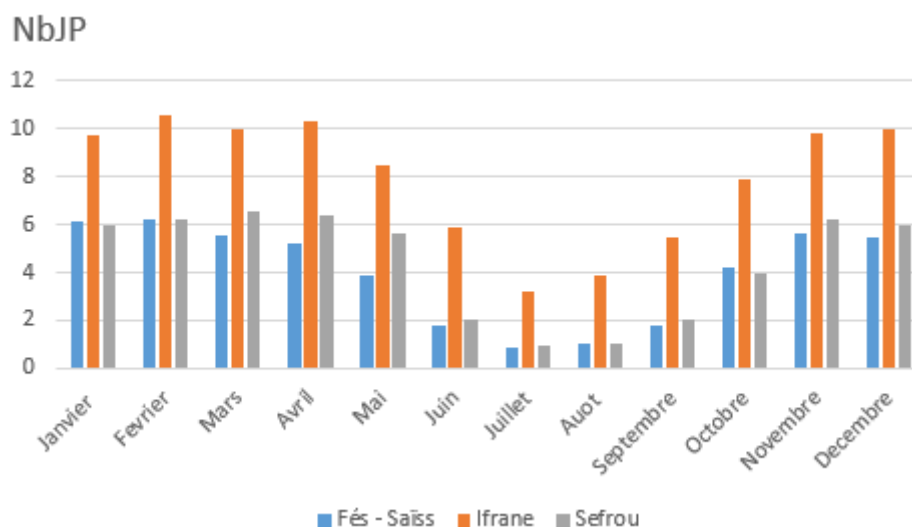


Figure 68 : Distribution mensuelle de la moyennes des jours pluvieux à Fès saïss, Sefrou et Ifrane 1979-2018,

### Précipitation journalières maximales

3-

L'étude des précipitations journalières maximales permet d'avoir une idée sur les intensités des précipitations journalières maximales qui s'abattent sur l'Oued Fès. Nous nous sommes concentrés sur les précipitations des 3 stations Fès Saïss, Ifrane et Sefrou et on nous avons relevé les précipitations journalières maximales pour la période 1979-2018 (fig. 69).

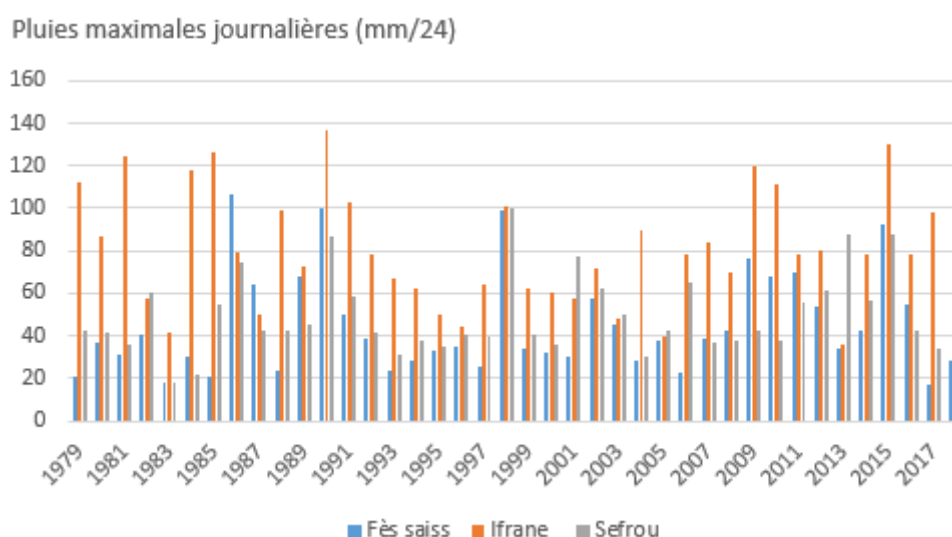


Figure 69 : Précipitations journalières maximales au niveau des stations Fès Saïss, Ifrane et Sefrou pendant les années 1979-2018

On constate une irrégularité interannuelle dans les précipitations journalières maximales. Entre le maximum de 137mm en 1990 et un minimum de 40mm en 2005 enregistré dans la

station d'Ifrane avec un écart de 97mm. Pour les stations de Fès Saïss on a un maximum de 106,9mm en 1986 et un minimum de 17mm en 2017 avec un écart 89,9mm. Pour la station de Sefrou on a un maximum de 100mm en 1998 et un minimum 18mm en 1983mm avec un écart de 82mm, donc on a un écart très comparable (fig. 69).

Les précipitations maximales journalières sont des événements aléatoires qui ne sont pas toujours liée aux variations des précipitations annuelles. Si on prend l'exemple de l'année 1996 est une année humide qui a enregistré dans la station de Fès Saïss une moyenne de 884,9mm, et pourtant, la précipitation journalière maximale n'a pas dépassé 35,1mm.

Afin d'analyser ces événements et déterminer leur apparition, nous avons extrait les précipitations journalières maximales à l'échelle mensuelles, ce qui nous a permis de constater que la plupart des hauteurs maximales surviennent pendant l'hiver, les précipitations journalières supérieures à 100mm/j a été enregistré trois fois pour le cas de la station d'Ifrane. Ces hauteurs importantes occasionnent les précipitations frontales qui sont due aux grandes perturbations atmosphériques régionales pendant l'hiver.

Pendant l'été, les précipitations journalières se caractérisent par des intensités moyennes qui sont due généralement à l'origine des orages locaux, ces orages durent quelque instant qui peuvent parfois donner des hauteurs pluviométriques importantes comme le cas enregistré au niveau de la station de Sefrou en août 1991 avec des précipitations qui a atteint 60 mm (fig. 70).

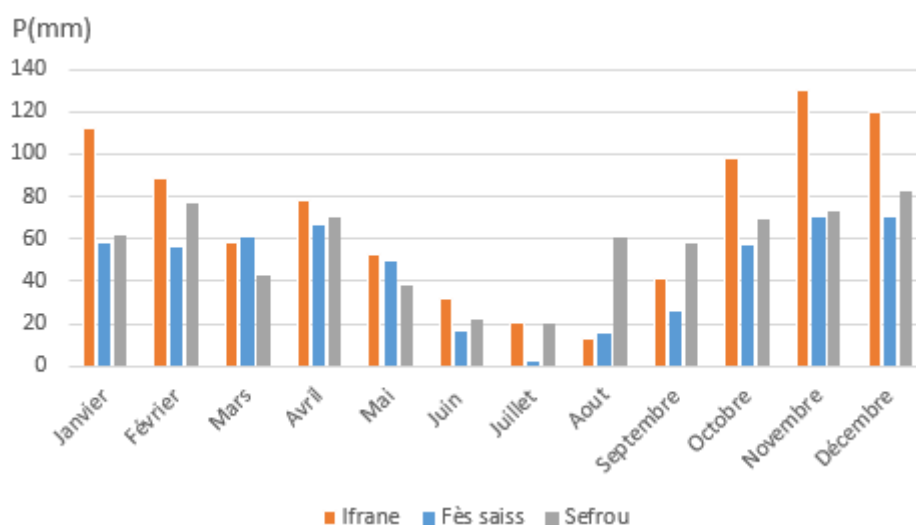


Figure 70 : Les précipitations journalières maximales à l'échelle mensuelle

## Conclusion

L'étude climatique du bassin versant d'Oued Fès a été réalisée à partir des données de trois stations Fès Saïss, Sefrou et Ifrane entre les années 1979-2018, les stations Ifrane et Sefrou se localisent au niveau du cause moyen atlasique alors que la station de Fès Saïss se localise au niveau de la plaine de Saïss. D'après le climogramme pluviométrique d'Emberger, le bassin versant de l'Oued Fès se développe sur trois étages bioclimatiques humide (station d'Ifrane),

le subhumide (station de Sefrou) et limite semi-aride (station de Fès Saïss). Les jours les plus froids sont au mois de janvier tandis que le mois le plus chaud correspond au mois d'août.

Pour obtenir une spatialisation des précipitations on a utilisé deux méthodes d'interpolation celle de Thiessen et celle de Spline. D'après le polygone de Thiessen, la partie du nord du bassin d'Oued Fès correspond à une tranche de pluie moyenne annuelle ! entre 450mm et 550 mm, la plus grande partie de notre bassin correspond à une tranche de pluie entre 550mm et 650mm. Seul une toute petite de notre zone est située dans la partie la plus au sud (en plein moyen atlas) et correspond aux tranches de pluie les plus élevées entre 750mm et 985mm. Avec l'interpolation de spline, nous avons obtenu une présentation cartographique des pluies moyennes annuelles à l'échelle du bassin versant et une répartition des lames d'eau par tranches pluviométriques. On remarque que les précipitations sont décroissantes en partie de l'amont à l'aval, mais surtout du sud-ouest vers le nord-est.

On peut remarquer que les précipitations moyennes mensuelles des trois stations sont décroissantes de l'amont vers l'aval de notre bassin (Ifrane, Sefrou et ensuite Fès Saïss), par contre elles ont la même distribution temporelle. La période arrosée de l'année est entre octobre et avril. Les précipitations maximales sont enregistrées de 143,54 mm en décembre dans la station d'Ifrane. La période des précipitations minimales se localise en juillet pendant la période estivale qui ne dépasse pas les 2,1mm enregistré dans la station de Fès Saïss. D'après les fluctuations des pluies interannuelles pendant la période étudiée, nous pouvons distinguer des oscillations qui varient entre séries sèches (1979-1981 et 1981-1995) et séries humides (2008 - 2011).

## Chapitre 6 : RISQUES D'INONDATION ET ETUDE HYDROLOGIQUE

### Introduction

L'inondation peut-être définie comme "un phénomène de submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace terrestre". Ce dernier produit des effets très divers sur les sociétés et les milieux naturels. La ville de Fès a connu à partir du milieu du 20ème siècle (1950 et 1989...) des crues-violentes qui ont causé de très importants dégâts.

La Ville de Fès se caractérise par un réseau hydrographique qui prend naissance à partir du massif de Kandar et qui s'écoule dans le sens Ouest-Est. La plus part des oueds, qui constituent ce réseau, sont soutenue par des sources. Tous ces affluents convergent vers la vallée de l'oued Fès, qui constitue ainsi le collecteur principal et qui achemine les eaux des deux versants, qui encadrent la ville de Fès, vers l'Oued Sebou.

La ville de Fès se caractérise par deux niveaux urbains différents la Ville Nouvelle en amont, la Médina en aval. Les débordements des eaux de l'oued Fès, pendant les périodes pluvieuses constituent l'une des origines principales du risque d'inondation pour la ville de Fès. Jusqu'à présent les débordements des oueds dans la Ville Nouvelle ont joué un rôle d'amortissement des crues ce qui sauvegarde par fois la Médina des inondations.

L'objectif de ce travail est d'élaborer un modèle hydraulique qui permettra de simuler l'écoulement dans l'oued Fès pour des crues de différentes périodes de retours, et de faire une comparaison de l'état actuel et l'état aménagé par des seuils ayant pour objet de remédier aux débordement menaçant la population riveraine au niveau de la ville.

### I. Crue et inondation

La crue correspond à la montée des eaux d'un cours d'eau et l'inondation au phénomène qui en résulte, l'eau déborde, se répandant sur les terrains alentours. Elle est due à des précipitations en forte quantité, auxquelles peut s'ajouter un sol imperméable ou devenu imperméable suite à une sécheresse importante.

On parle d'inondation lorsque les eaux ne peuvent plus être contenues dans le lit mineur (lit ordinaire), débordent et envahissent le lit majeur. L'inondation devient un risque lorsque nous nous installons dans le lit majeur d'un cours d'eau pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements ou d'activités.

Le risque s'appuie en règle générale sur deux composantes : l'aléa (probabilité d'occurrence d'un phénomène) auquel on associe, des enjeux ou des vulnérabilités (Dauphiné, 2001 ; Dagonne et Dars, 2005), Il est possible d'y intégrer d'autres critères, comme, par exemple, la résilience (D'Ercole, 1994). L'important est de comprendre que c'est la combinaison de deux éléments et non les éléments séparés - aléa et enjeux, par exemple, qui définit l'existence et la dynamique du risque (Meur-Férec et Morel, 2004 ; Deguinçey, 2017).

A l'origine d'un risque, il y a donc un événement, un danger éventuel plus ou moins prévisible : l'aléa. Les aléas se définissent par leur fréquence et leur intensité qui, pour être correctement envisagés, demandent d'importants travaux historiques. Ces aléas, même ceux de forte intensité, caractérisent le fonctionnement classique du système Terre et ne deviennent dangereux ou catastrophiques que si des enjeux peuvent en être affectés (fig. 71).



Figure 71 : Principaux termes liés à la notion du risque (Dequinney, 2017).

Les enjeux et la vulnérabilité sont liés à la présence humaine (personnes, habitations, activités économiques, infrastructures, ...) et sont difficiles à définir. Il n'existe pas de vulnérabilité intrinsèque mais une vulnérabilité pour chacun des aléas concernés. La vulnérabilité dépend des éléments exposés et de leurs résistances, comportements, etc. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné. Elle est modulable et évolutive en fonction de l'activité humaine. Cette définition de la vulnérabilité semble trop restrictive et lui est opposée, depuis une dizaine d'année, une nouvelle définition qui traduit la fragilité d'un système dans son ensemble et sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa (Dauphine, 2001).

Les risques naturels sont par définition rattachables aux phénomènes naturels dommageables. L'expression « risque naturel » s'utilise par opposition à celle de « risque technologique » mais elle n'implique pas que le risque soit la conséquence d'un phénomène exclusivement naturel ou que l'activité humaine n'y soit pas reliée.

La typologie des phénomènes naturels peut être répartie en fonction de sept grandes catégories, conformément à la classification retenue par le Conseil d'analyse économique (CAE) dans son rapport de 2012 sur « Les risques majeurs et l'action publique » : les inondations, les mouvements de terrain, les séismes, les avalanches, les éruptions volcaniques, les feux de forêt et les phénomènes liés à l'atmosphère. Mais nous nous intéressons ici aux inondations en relation avec les crues.

### 1- Types des crues

L'«inondation», dans le sens des effets d'une crue, à distinguer de la crue à proprement parler, est définie de la manière suivante : Submersion par l'eau débordant du lit normal d'un cours d'eau ou d'autres surfaces d'eau, ou accumulation d'eau provenant de drainages, sur des zones qui ne sont pas normalement submergées.

Une CRUE, phénomène hydrologique de base, est l'augmentation plus ou moins brutale du débit et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau. Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son "débit de pointe" et son volume. Selon la nature et le mode de genèse des crues, on peut en distinguer plusieurs types, les crues éclair, les crues fluviales, crue simple, crue multiples, crue saisonnière, crue urbaine, crues liées à la fonte des neiges et Crues liées à des embâcles et à des obstructions (OMM, 2011).

**Crues éclair** sont souvent dues à des pluies à caractère convectif très violentes sur une courte durée s'abattant sur une superficie réduite. Les crues éclair peuvent se produire dans tout endroit comportant de fortes pentes, mais elles sont plus communes dans les régions montagneuses fréquemment sujettes à de forts orages. Elles sont caractérisées par une évolution très rapide, la montée des eaux étant très brutale.

**Les crues fluviales**, souvent saisonnières, affectent les cours d'eau importants aux vastes bassins versants ; en général la montée des eaux y est lente. Les crues dans les vallées fluviales se produisent principalement dans les plaines inondables et les zones de débordement dès l'instant où le débit devient supérieur à la capacité du lit du cours d'eau et que les flots débordent des berges naturelles ou des digues artificielles.

**Crues simples** résultant de fortes pluies qui s'abattent durant plusieurs heures voire plusieurs jours sur un bassin versant et provoquent de graves crues. Généralement, ces fortes pluies sont associées à des perturbations cycloniques, des dépressions et des orages de latitudes moyennes, avec des systèmes frontaux d'échelle synoptique très marqués. On parlera de "crue simple ou élémentaire" pour une crue qui est le résultat d'un seul épisode pluvieux.

**Crues multiples** résultant de fortes précipitations dues à une succession rapide de perturbations météorologiques. Les crues multiples peuvent également affecter les grands bassins hydrographiques des zones de moyennes latitudes en hiver, lorsque des séries de dépressions actives se succèdent.

**Crues saisonnières**, Il s'agit de crues qui se produisent avec une régularité générale en raison de fortes précipitations saisonnières. Les régions du monde sujettes à un climat de mousson sont généralement les régions les plus affectées et des situations gravissimes se produisent lorsque les inondations « normales » cèdent le pas à des crues prolongées à fort ruissellement. Les inondations concernent fréquemment l'ensemble du bassin et peuvent durer plusieurs semaines.

**Crues urbaines** se produisent lorsque de fortes précipitations s'abattent dans les villes, créant un ruissellement rapide en provenance des zones imperméabilisées et bâties qui vient à dépasser la capacité des systèmes d'évacuation des eaux pluviales à cause du colmatage des systèmes d'évacuation par des débris obstruant les passages couverts et les ouvrages d'évacuation, souvent du fait du manque d'entretien.

**Crues liées à la fonte des neiges**, se produisent dans les régions de montagne et de hautes latitudes où de forts cumuls de neige se produisent en hiver, le dégel de printemps génère un important ruissellement d'eau de fonte à cause de l'augmentation de la température. Le taux

de fonte peut provoquer des crues, qui peuvent s'étendre à l'aval du bassin versant. Le degré de gravité des crues liées à la fonte des neiges augmentera si le dégel s'accompagne de fortes pluies et s'accroîtra davantage si le sous-sol reste gelé.

**Crues liées à des embâcles et à des obstructions**, se produisent dans les régions qui connaissent une fonte saisonnière des neiges, si celle-ci est rapide, des bancs morcelés de glace peuvent s'accumuler dans les rivières, bloquant et ralentissant le flux, provoquant ainsi l'augmentation du niveau de la rivière à l'amont de l'embâcle. Un dégagement soudain de l'«embâcle» peut provoquer une onde de crue vers l'aval similaire à celle provoquée par la rupture d'un barrage.

Dans les zones encaissées, la fonte des neiges et de fortes précipitations peuvent provoquer des glissements de terrain et des coulées de débris. À mesure que ces débris se déplacent d'amont en aval, de gros blocages peuvent se constituer. Lorsque ces derniers se disloquent ou sont rompus, de graves inondations peuvent survenir. Ces deux phénomènes sont très difficiles à prédire.

## 2- Historique des inondations à Fès

Les plus anciennes inondations répertoriées dans l'histoire de la ville de Fès remontent au 16<sup>ème</sup> siècle, cette dernière a causé le décès de plusieurs personnes dans la région de Fès, causée par des crues d'Oued Fès et ses affluents. Au XX<sup>ème</sup> siècle des crues excessivement violentes ont été enregistrées en septembre 1950 et septembre 2008, qui ont causé de très importants dégâts (ABHS, 2011). Cette période coïncide avec l'expansion de l'agglomération urbaine sur des zones à risques d'inondations vers le sud et le glissement vers le nord.

La crue du 26 septembre 1950 était très violente et a été considérée comme la plus grosse inondation à la mémoire de la population de la ville de Fès, cette dernière a inondé tous les quartiers traversés par l'Oued Agaï affluents de l'Oued Fès. Des dégâts matériels importants notamment dans les quartiers de Mont Fleuri et de Sidi Brahim. Ces inondations ont été engendrées par un orage qui a frappé l'amont du bassin versant de l'Oued Fès.

La crue du 13 octobre 1989, a enregistré des intensités de précipitations à hauteur de 26,5 mm en 30min pour la station de Sefrou, 69mm en 24h pour la station de Fès saïs, 49mm en 12h pour la station Ain Betit et 28,2 mm en 12h pour la station de Fès-ABHS.

Le débordement d'Oued El Mehrez a généré la crue la plus violente avec un débit de pointe de 150m<sup>3</sup>/s. ce débit a inondé toute sa trajectoire et a touché les quartiers de Mont fleuri et l'avenue Route de Sefrou. Par ailleurs, la crue d'Oued El Himmer a été moins importante avec un débit estimé à 50m<sup>3</sup>/s et a inondé les quartiers Zouagha, Hay Karim et Amrani. Cette crue a mis en évidence la mauvaise conception de la liaison entre les Oueds Boufekrane et Boukhareb, entraînant des débordements au niveau de Bab jadid grâce au débordement d'Oued Boufekrane.

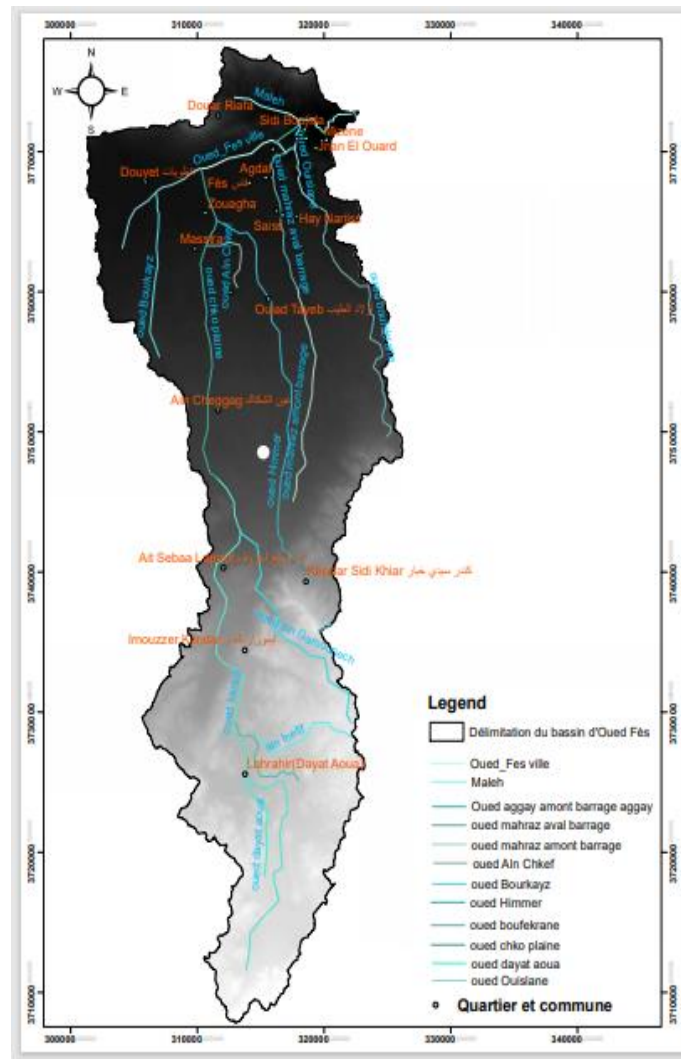


Figure 72 : Carte des cours d'eau et situation des quartiers

Après ce fléau et en guise de prévention les autorités ont construit deux barrages et un canal. Barrage el Gaada en 1992 sur l'Oued Boufekrane avec une capacité de 2,8 millions de m<sup>3</sup> et Barrage Moulay Arafa et Dhar El Mehrez sur l'Oued El Mehraz avec une capacité de 0,75 millions de m<sup>3</sup> et 0,37 millions de m<sup>3</sup>. Ils ont également aménagé un canal de transfert des eaux de l'Oued El Mehrez vers l'Oued Boufekrane avec une retenue de 35m<sup>3</sup>/s.

Malheureusement la crue du 28 septembre 2008 a provoqué encore une fois des inondations dans la ville. Cette dernière a causé des inondations de tous les quartiers situés dans la trajectoire des ondes de crue des affluents de l'oued Fès, ainsi que le débordement des deux barrages de protection (My Arafa et El Gaada) et des canaux d'évacuation ainsi d'important dégâts matériels. Cette dernière crue a montré que les aménagements sont insuffisants et qu'il faudrait faire d'autres aménagements mieux étudiés et plus adaptés. La crue du 11 septembre 2010 a provoqué des inondations des quartiers tout au long de l'oued El Himmer, ainsi la dernière crue 13 mars 2013 a provoqué le débordement des canaux de l'oued El Himmer et l'inondation généralisée de l'oued Fès amont



Figure 73 : Inondation dans la ville de Fès 1950. ADA Fès, 1950

## 2- Sites inondables et mesures préventives

### 2.1 Diagnostic de la situation existante

Le tissu urbain de la ville de Fès se développe à date d'aujourd'hui sur plus de 100km<sup>2</sup>. Comme on a vu précédemment, la ville de Fès est drainée par plusieurs oueds dont oued Fès qui est la principale artère ainsi que ses affluents (fig. 74) qui ont des débits très importants.

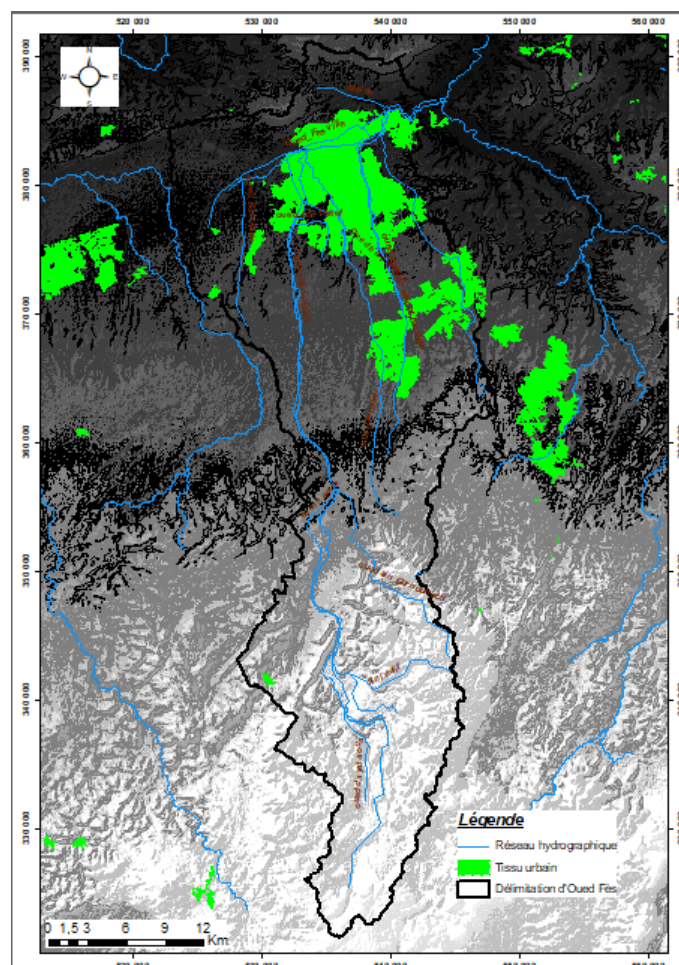


Figure 74 : Le tissu urbain de la ville de Fès et le réseau hydrographique

#### ➤ Oued Fès

Oued Fès traverse la ville avant de rejoindre l’oued Sebou. Ce dernier est alimenté par des sources très importantes grâce à ses sources son régime est permanent et son débit est plus au moins régulier. L’oued Fès est caractérisé par des lits peu marqués voir invisibles dans certaines parties et les crues se dispersent et s’étalent dans la plaine de Saïss donnant lieu à des débits amortis.

➤ Oued El Mehraz

L’oued El Mehraz prend naissance à environ 29km de la ville de Fès et draine un bassin versant qui couvre 137 km<sup>2</sup>, il est limité à l’Est par le bassin versant de Boufekrane et à l’Ouest par le bassin de l’oued el Himmer. Suite à des précipitations importantes le 13/10/1989, L’oued El Mehraz s’est mis en crue, avec des débits estimés entre 150 et 160 m<sup>3</sup>/s. les enregistrements effectués au poste de Fès DRE a s’élèvent à 28,2mm et 69mm au poste de Fès Saïss.

Le régime des écoulements de l’Oued n’est pas naturel car il dépend des règles de gestion du barrage My Arafat réalisé dans le cadre des aménagements conçu pour la protection contre les inondations. Ce dernier se caractérise par un lit mineur étroit, de faible débit, bouché par la végétation et les déchets urbains, en outre l’oued franchit les voies urbaines par des ouvrages mal conçus par rapport à la direction de l’écoulement de crue. A l’aval des maisons sont bâtit sur le lit de l’oued et demeure en situation de danger vis-à-vis des inondations.



*Figure 75: partie amont du bassin versant de l'Oued El Mehraz*

➤ Oued el Himmer

L’Oued El Himmer est le bassin le plus étalé des sous bassins de l’Oued Fès. Il occupe une surface de 80km<sup>2</sup> et a une longueur d’environ 38 km. Il est limité à l’est par le bassin de l’oued el mehraz et à l’ouest par le bassin de l’oued Chekkou (fig. 74). En amont de l’aéroport, il se caractérise par un transport solide en suspension très élevé et par un lit mineur étroit, mal défini, de faible pente et avec des berges très basses. Lors de la crue de 2000, l’oued a débordé en inondant la zone des pistes de l’aéroport.

Dans le quartier ain chkef il se caractérise par une pente faible, un lit mal défini et un faible débit et par une buse partiellement bouché par la végétation donc lors des fortes précipitations, l’oued n’assurent pas le transit des eaux, par conséquent, des débordements ont eu lieu sur la chaussée de la route et sur les terrains agricoles à côté. Au passage du quartier Zouagha, lors des fortes précipitations nous avons d’une part des débordements sur la chaussée de la route et sur les terrains agricole et d’autre part il y’a une charge solide (galets, sable et limons) qui est transporté le long d’un lit mal défini.

➤ Oued Boufekranne :

Oued Boufekranne est sur une longueur de 29km et draine un bassin qui s'étend sur 52km<sup>2</sup>. Tout au long de son trajet ce dernier reçoit l'eau de plusieurs sources et coule le plus souvent en permanence donc on peut dire que le régime de l'oued est principalement pluvial. Pendant l'été, son écoulement diminue car les sources sèchent.

-Au passage du quartier l'Aouinet Al Hajjaj, on a un développement important d'habitations grâce à l'assèchement du lit de l'oued, qui est dû à la construction du barrage al Gaada, donc ces derniers sont exposés aux inondations lors des déversements possibles du barrage en période de crue voir même lors de simples ouvertures de sa vanne de vidange de fond. On a deux points critiques situés sur le long de l'oued, l'école Mokhtar dont le mur de clôture est à 5-10 m. ainsi qu'un remblai sur lesquels les habitations sont bâties et les pieds sont presque au bord du lit mineur en cas de lâcher d'eau ceux-ci peuvent causer l'affouillement du remblai et, en conséquence, la destruction de ces constructions.

-Au passage de la médina, l'oued se caractérise par un faible débit et les buses de franchissement presque bouchées et sont sous dimensionnées. Leur capacité varie de 2 à 30m<sup>3</sup>/s alors que le débit à transiter peut atteindre 85,6m<sup>3</sup>/s. par conséquent, ces ouvrages sont des véritables points d'étranglement de l'écoulement et peuvent être à l'origine des inondations.

➤ Oued Ain Smen et Ain Chkef

Pendant la Saison humide, l'oued Ain smen est alimenté par les eaux du bassin versant d'oued Chekkou qui draine la plus grande surface du bassin de l'oued Fès (145km<sup>2</sup>). L'oued Smen et Ain Chkef déversent en rive droite l'oued Fès et sont caractérisés par des lits peu marqués et invisibles dans certaines parties. Ainsi, les crues au niveau de ces deux oueds se dispersent et s'étalent dans la plaine de Saïs donnant lieu à des débits amortis.

Le diagnostic mené sur ces deux oueds a montré une faible capacité de transit ne dépassant guère les débits des crues décennales et un sous dimensionnement des ouvrages de franchissement (ponts et ponceux) constituant ainsi des goulots d'étranglement (ABHS, 2011).



Figure 76 : Canyon de l'oued Aïn Smen (1990)

## 2.2 Mesures préventives

Des mesures préventives ont été constaté par l'agence de bassin hydraulique au sein d'une étude (PCI sud Fès, 2011), est ont donné lieu à des propositions pour la protection de la ville de Fès contre les inondations pour Oued Fès et ses affluents.

En guise de mesure préventive pour **Oued Fès**, un aménagement d'une digue en rive droite sur une longueur de 2,4 Km avec une hauteur de 2,5m pour la protection de la zone industrielle de Doukkarat, un recalibrage de l'oued Fès pour uniformiser sa débitance à 30m<sup>3</sup>/s et un recalibrage de point de vue hydraulique de trois ponts le long du tracé à l'amont du palais royal.

Pour **Oued El Mehrez** une construction d'un barrage écrêteur en amont du Douar Oulad Bouabib avec une retenue normale de 6,3Mm pour gérer au mieux les crues du bassin versant et les débits dérivés de l'oued Himmer, construction d'un avant barrage écrêteur dans le bassin de la retenue de la digue El Mehrez avec un fonctionnement passif. Une amélioration de la débitance du canal de transfert du barrage My Arafat vers l'oued Boufekranne. Un recalibrage de l'oued à l'intérieur de la ville nouvelle sur une longueur de 3.700 ml pour un débit de 30m<sup>3</sup>/s afin d'améliorer sa débitance et un aménagement de 10 ponts le long du tracé dans le but d'assurer les conditions d'écoulement à surface libre sous les ouvrages.

Pour **Oued Himmer** une construction d'un canal de dérivation vers le barrage en amont du Douar Bouabid sur l'Oued al Mehrez dimensionné pour une débitance de 84m<sup>3</sup>/s. Un recalibrage de l'oued à l'intérieur de la ville sur une longueur d'environ 2150 ml pour débiter 25m<sup>3</sup>/s et aménagement de 4 points le long du tracé et un aménagement d'un nouveau tracé de l'oued au niveau du Douar Lalla Soukaina jusqu'à la confluence avec l'oued Fès sur une longueur d'environ 3.600 ml pour transiter un débit de 25m<sup>3</sup>/s et aménagement de 8 ponts le long du tracé

En ce qui s'agit d'**Oued Boufekranne** un recalibrage de l'oued à la traversée du quartier Al Hajjaï jusqu'au pont du chemin de fer, pour y véhiculer un débit de 20m³/s a été proposé. Un recalibrage du tracé de l'oued entre le pont de la route nationale et les vannes près de sa confluence avec l'oued Boukherareb pour un débit de 26m³/s.

Les mesures préventives pour **Oued Aïn Smen** et **Aïn Chkeff**, une réalisation d'un barrage écrêteur sur l'oued Aïn Smen. D'une part Un recalibrage de l'oued le long du lotissement Daliha pour un débit de 4m³/s, ensuite un recalibrage du tracé de l'oued Aïn Smen entre la confluence avec le canal de déviation de l'oued Aïn Chkeff et le pont du chemin de fer pour une longueur d'environ 250 m pour y véhiculer un débit de 28m³/s au moyen d'un canal de forme trapézoïde revêtu en maçonnerie et à la fin un recalibrage de l'oued Aïn Chkef du débit du lotissement Ambra au niveau de sa confluence avec l'oued Smen

## V. Etude hydrologique

### 1- Estimation des temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que prend le ruissellement pour parcourir la distance entre le point le plus éloignée hydrauliquement du bassin versant pour rejoindre l'exutoire. Il est utilisé en hydrologie pour mesurer la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux (réponse hydrologique). Ce dernier joue un rôle déterminant dans la transformation pluie débit d'un bassin, son calcul se base le plus souvent sur le temps de remonté de la crue enregistrée dans un hydrogramme. Dans notre bassin, par manque de données hydrométriques, nous allons estimer le temps de concentration en se basant sur différentes formules empiriques.

#### 1.1 Présentation des formules empiriques utilisées

Les formules utilisées le plus souvent pour le contexte marocain et ont été développées à partir de plusieurs bassins expérimentaux (Chow, 1959). Les sept formules sont Kirpich, Turazza et Passini, Ventura, Ven te show, U.S corps, Californienne, Espagnole et Giandotti.

**La formule de Kirpich** a été développée en 1940, à partir de données de six bassins versants du Tennessee de moins de 45 ha, pentus (3 % à 12 %), dont le couvert forestier variait entre 0 et 56%. La formule de Kirpich a été développée sur des sols nus et peut être utilisée sur des bassins versant de 0,4 à 80 ha.

$$Tc = 32,5 \times 10^{-5} \times L^{0,77} \times I^{-0,385}$$

Tc : temps de concentration en heures; L : longueur du plus long thalweg en m et I : pente moyenne en m/m

La formule de **Turazza et Passini** :

$$Tc = 0,108 \times \frac{(A \times L)^{\frac{1}{3}}}{I^{\frac{1}{2}}}$$

Tc : temps de concentration en heures; L : longueur du plus long thalweg en Km ; I : pente moyenne en m/m et A : surface du bassin versant en km²

La formule de **Ventura** :

$$T_c = \frac{76,3}{60} \times \left( \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I}} \right)^{0,5}$$

Tc : temps de concentration en heures ; S : Surface du bassin km<sup>2</sup> ; I : pente moyenne en m/m

La formule de **Ven Te Chow** :

$$T_c = 60 \times 0,123 \times \left( \frac{L}{P^{\frac{1}{2}}} \right)^{0,64}$$

Tc : temps de concentration en minutes ; L : longueur du plus long thalweg en Km ; P : pente moyenne en m/m

La formule d'U.S **Corps** :

$$T_c = 60 \times 0,126 \times \left( \frac{L}{P^{\frac{1}{4}}} \right)^{0,76}$$

Tc : temps de concentration en minutes ; L : longueur du plus long thalweg en Km ; P : pente moyenne en m/m

La **Californienne** :

$$T_c = 0,019395 \times \left( \frac{L}{P^{\frac{1}{2}}} \right)^{0,77}$$

Tc : temps de concentration en minutes ; L : longueur du plus long thalweg en m ; P : pente moyenne en m/m

L'**Espagnole** :

$$T_c = 18 \times P^{0,1925} (L)^{0,77}$$

Tc : temps de concentration en minutes ; L : longueur du plus long thalweg en Km ; P : pente moyenne en m/m

La formule de **Giandotti** :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 \times L}{0,8\sqrt{D}}$$

Tc : temps de concentration en heure ; L : longueur du plus long thalweg en Km ; S : surface du bassin en km<sup>2</sup> ; D : dénivelée en m

## 1.2 Résultats et discussions

Le calcul des sept formules empiriques concernant le temps de concentration des différents Oueds de notre bassin versant montre des résultats qui sont relativement proches, à l'exception des résultats des formules de Turazza et Passini, Ventura et l'Espagnol (tab. 24).

Tableau 23 : Temps de concentration calculés par les différentes formules

| Oueds étudiée       | Temps de concentration Tc en heure |         |           |         |           |             |                    |               |
|---------------------|------------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|-------------|--------------------|---------------|
|                     | Turazza et Passini                 | Ventura | Giandotti | Kirpich | Espagnole | Van Te Chow | Corps Of Engineers | Californienne |
| El Mehraz           | 8.66                               | 10.95   | 4.35      | 2.76    | 1.65      | 2.73        | 2.57               | 2.75          |
| El Himmer           | 7.68                               | 8.50    | 4.24      | 3,07    | 2,54      | 3,41        | 3.53               | 3,59          |
| Boufekrane          | 8.42                               | 8.90    | 3.13      | 3.89    | 1.83      | 3.62        | 3.33               | 3.87          |
| Aïn Chekf /Aïn smen | 15.87                              | 11.73   | 4.63      | 7.18    | 6.67      | 6.03        | 6.10               | 7.14          |
| Oued Fès            | 11.21                              | 12.02   | 4.78      | 2.98    | 0.94      | 2.90        | 2.24               | 2.96          |

On effet les résultats des formules « Turazza et passini », « Ventura » ainsi que « Espagnole », nous donnent des valeurs extrême par rapport aux autres formules. Donc pour minimiser la marge d'erreur des temps de concentration on doit tout d'abord retirer ses valeurs puis calculer la moyenne des autres résultats (tab. 25).

Tableau 24 : Temps de concentration estimés pour les différents oueds

| Oueds       | El Mehraz | El Himmer | Boufekrane | Aïn Chkef/Aïn Smen | Oued Fès |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------------------|----------|
| Tc en heure | 3h03      | 3h56      | 3h56       | 6h21               | 3h17     |

Ces temps de concentration retenue sont très proche des temps de concentration réel des crues au niveau de l'agglomération de Fès Selon la note de la DRH Sebou 1989. Les temps de concentration des crues sont relativement brefs à l'exception d'Aïn Chkef/Aïn Smen dont le temps de concentration est estimé à 6h21. Ce qui nous ramène à constater que cette situation aggrave le risque d'inondation dans la ville de Fès et diminue la possibilité de faire face à cet aléa.

## 2- Estimation des débits de pointe pour les différentes périodes

La sévérité d'une crue est assez rarement quantifiée uniquement par son volume, le plus souvent, c'est son débit de pointe qui fait référence. Ce débit présente la propriété hydrologique la plus importante pour pouvoir évaluer l'aléa d'inondation. Les méthodes de calcul des débits de pointe sont diverses,

**L'analyse fréquentielle** des crues est la méthode la plus souvent utilisée pour prédire les débits de pointe pour les différents temps de retour (Exemple lois de Gumbel). Cette dernière se base sur l'analyse d'une longue série de débits maximaux qui permet de mettre en œuvre un modèle fréquentiel pour décrire le modèle statistique des valeurs extrêmes.

**L'analyse rationnelle** propose des équations qui se base sur taux de ruissellement, l'intensité de la pluie et la surface du bassin :

$$Q = c.i.A \quad A : \text{Surface du bassin} ; i : \text{Intensité de la pluie} ; Q : \text{Taux de ruissellement}$$

L'hypothèse de cette méthode est que l'intensité des précipitations est uniforme sur le bassin versant entier pendant toute la durée de l'orage, ce qui est très loin des caractéristiques pluviométriques dans notre zone d'étude.

**Les méthodes empiriques** se basent sur les différentes caractéristiques physiographiques du bassin versant afin d'estimer les débits de pointes pour les différentes récurrences. Cette dernière est utilisée le plus souvent lorsqu'on ne possède pas suffisamment de relevés hydrologiques permettant une analyse détaillée et précise (Remenieras, 1986).

Dans notre cas, on a retenu les formules empiriques qui sont les plus souvent utilisées (Mallet Gauthier, Fuller II, Fuller I, Hazen Lazarevich) qui consiste à ajuster les formules régionales adaptées à la nature du bassin versant. Elles tiennent compte de la taille et du gradient topographique du bassin versant.

### 2.1 Présentation des formules empiriques régionales utilisées

La formule de **Mallet-Gauthier** a été utilisée dans plusieurs études au Maroc, et se base sur les paramètres géographiques et climatiques des bassins versants. Son utilisation est délicate et doit être précise (tel que le choix des coefficients). Cette formule se présente sous la forme suivante :

$$Q(T) = 2 \times K \times \log_{10}(1 + aH) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log(T) - \log_{10}(S)}$$

$Q(T)$  : Débit maximal en  $\text{m}^3/\text{s}$  pour la période de retour  $T$  ;  $S$  : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$  ;  $L$  : longueur du talweg principal km ;  $H$  : hauteur moyenne annuelle des pluies en mm ;  $a$  : coefficient d'influence variant des pluies en mm ;  $K$  : coefficient variant de 0,5 (pour les grands bassins versants à faible pente) à 5,0 (pour de petits bassins versants à forte pente)

La formule de **Fullet 2** est bien adaptée pour l'estimation des crues issues des bassins versants de taille moyenne. Elle est peu sensible aux variations des coefficients par rapport aux caractéristiques physiques de nos bassins versants. Cette formule se présente comme suit :

$$Q(T) = (1 + a \times \log(T)) \times (S^{0.8} + \frac{8}{3} \times S^{0.5}) \times 4/3 \times N/100$$

Q(T) : Débit de pointe en m³/s de récurrence T ; T : Période de retour/ ans ; a : coefficient variant entre 0.7 et 0.8 selon la perméabilité et la pente du Bv étudié ; S : surface du BV en km² ; L : longueur du talweg en km ; N : Coefficient régional égal à 80 en plaine, 85 en région accidentée et 100 en montagne

La Formule de **Hazan – Lazervic** est basée sur une synthèse de renseignements recueillis dans différents bassins versants marocains. Le débit des crues milléniales est une fonction de la surface du bassin versant. Elle est adaptée pour tous les territoires marocains. Elle s'énonce comme suit :

$$Q(T) = Q(1000) \times (1 + a \log(T) / (1 + a \log(1000)))$$

Qt(1000) : Débit de pointe en m³/s de récurrence 1000 ans ; Qt(10) : Débit de pointe en m³/s de la période de retour de 10 ans ; a : coefficient variant entre 0.8 et 1.2 la perméabilité du BV étudié ; S : Surface du BV en km² ; K1 et K2 : Paramètres dépendant de la situation géographique et pluviométrique des bassins versants. Le tableau 16 récapitule les valeurs de ces paramètres pour quelques régions du Maroc.

Tableau 25 : Valeurs des paramètres K1 et K2 pour quelques régions du Maroc (ABHS, 2011).

|                | Rif central | Rif occidental | Rif oriental | Moyen Atlas |         |         | Haut Atlas Saharien |
|----------------|-------------|----------------|--------------|-------------|---------|---------|---------------------|
| K <sub>1</sub> | 15.55       | 9.78           | 7.58         | 14.94       | 13.51   | 13.47   | 9.38                |
| K <sub>2</sub> | 0.776       | 0.793          | 0.808        | 0.636       | 0.613   | 0.587   | 0.742               |
| P (mm)         | 1000-1300   | 800-1000       | 600-800      | 700-900     | 500-700 | 500-400 | 200-400             |

Nom BV    Surface km²    Coordonnées exutoire    Longueur Talweg (km)    Dénivelé %    Pente mm    Coefficients et paramètres régionaux K    K1    K2    N

Tableau 26 : Caractéristiques géométriques et coefficients régionaux des sous bassins versants

| <b>Boufekranne</b>        | 48  | 539000 | 384100 | 300 | 28 | 775  | 2.82 | 0.02 | 1.1 | 13.47 | 0.587 | 85 |
|---------------------------|-----|--------|--------|-----|----|------|------|------|-----|-------|-------|----|
| <b>El Meherz</b>          | 122 | 538900 | 384140 | 300 | 22 | 490  | 3    | 0.03 | 1.1 | 13.47 | 0.587 | 80 |
| <b>El Himmer</b>          | 80  | 533100 | 382939 | 377 | 36 | 700  | 4.4  | 0.04 | 1.4 | 13.51 | 0.613 | 85 |
| <b>Aïn Chkef/Aïn Smen</b> | 145 | 534311 | 377466 | 466 | 62 | 1450 | 2    | 0.02 | 2   | 13.47 | 0.587 | 80 |

|                 |    |        |        |     |    |     |      |      |     |       |       |    |
|-----------------|----|--------|--------|-----|----|-----|------|------|-----|-------|-------|----|
| <i>Oued Fès</i> | 80 | 529000 | 381034 | 380 | 14 | 220 | 1.59 | 0.01 | 0.7 | 13.57 | 0.587 | 85 |
|-----------------|----|--------|--------|-----|----|-----|------|------|-----|-------|-------|----|

## 2.2 Résultats des calculs des débits de pointe par les différentes formules

Le calcul des débits de pointe s'est fait pour les récurrences 10, 20, 50 et 100 ans. Les résultats obtenue montre qu'il y'as une différence entre les différentes formules utilisées, si on prend la formule « Mallet Gauthier » on peut remarquer que les valeurs trouver sont élevées par rapport aux deux formules « Fuller 2 et Hazan Lazaravic »qui donnent des résultats relativement proches (tab. 28).

Tableau 27 : Résultats des calculs des débits de pointe par les différentes formules

| Oueds      | S   | L  | H   | a   | K1    | K2    | K   | N  | Mallet Gauthier |     |     |       | Fuller 2 |     |     |      | Hazan Lazaravic |     |     |      |
|------------|-----|----|-----|-----|-------|-------|-----|----|-----------------|-----|-----|-------|----------|-----|-----|------|-----------------|-----|-----|------|
|            |     |    |     |     |       |       |     |    | Q10             | Q20 | Q50 | Q100  | Q10      | Q20 | Q50 | Q100 | Q10             | Q20 | Q50 | Q100 |
| BOUFKERANE | 48  | 28 | 470 | 0.8 | 13.47 | 0.587 | 1.1 | 85 | 144             | 168 | 195 | 214   | 82       | 93  | 108 | 119  | 76              | 87  | 101 | 111  |
| MEHREZ     | 122 | 22 | 490 | 0.8 | 13.47 | 0.587 | 1.1 | 80 | 389             | 463 | 545 | 600   | 146      | 165 | 190 | 210  | 134             | 155 | 178 | 198  |
| EL HIMMER  | 80  | 36 | 500 | 0.8 | 13.51 | 0.615 | 1.4 | 85 | 206             | 234 | 284 | 312   | 115      | 130 | 150 | 166  | 104             | 120 | 138 | 152  |
| AIN CHKEF  | 145 | 62 | 450 | 0.8 | 13.47 | 0.587 | 2   | 85 | 286             | 336 | 392 | 430   | 163      | 185 | 213 | 236  | 130             | 150 | 172 | 190  |
| Oued FES   | 80  | 14 | 450 | 0.8 | 13.47 | 0.587 | 0.7 | 80 | 208             | 245 | 287 | 315.2 | 115      | 130 | 150 | 166  | 91              | 105 | 121 | 133  |

On effet les résultats de la formule « Mallet Gauthier » nous donnent des valeurs extrême par rapport aux deux autres formules. Donc pour minimiser la marge d'erreur des débits de pointe on doit tout d'abord retirer ses valeurs puis calculer la moyenne des deux autres résultats (Fullet 2 et Hazan Lazaravic) (tab. 29).

Tableau 28 : Débits retenue pour les sous bassins

| Oueds      | Moyenne des débits retenue |     |     |      |
|------------|----------------------------|-----|-----|------|
|            | Q10                        | Q20 | Q50 | Q100 |
| BOUFKERANE | 79                         | 90  | 105 | 115  |
| MEHREZ     | 140                        | 160 | 184 | 204  |
| EL HIMMER  | 110                        | 125 | 144 | 159  |
| AIN CHKEF  | 147                        | 168 | 193 | 213  |
| Oued FES   | 103                        | 118 | 136 | 150  |

Tout de même, ces résultats ne sont que des estimations qui doivent faire l'objet de comparaison avec d'autres méthodes. Donc on va procéder à la méthode de la modélisation hydraulique, celle-ci reste plus avancée est plus récente.

#### IV. Modélisation de la réponse hydrologique

La validation hydrologique offre des possibilités de simuler la réponse hydrologiques extrême des différents sous bassins étudiés. Vu que notre bassin est non jaugé le modèle pluie-débit reste dans notre cas la méthode la plus adapté. Dans cette partie on va utiliser les données des précipitations maximales journalières disponibles dans les stations pluviométriques qui couvrent notre zone.

Pour pouvoir modéliser le comportement hydrologique du bassin versant de l'oued Fès, on va utiliser le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) développé par les ingénieurs de l'armée américaine (US ARMY Corps of Engineers). Ce logiciel est inter opérationnel avec le SIG Arcgis grâce à l'extension HEC-GEOHMS (fig. 77). Il est capable de caler le modèle événementiel pluie-débit, afin de simuler le comportement hydrologique du bassin versant de l'oued Fès suite aux épisodes pluvieux.

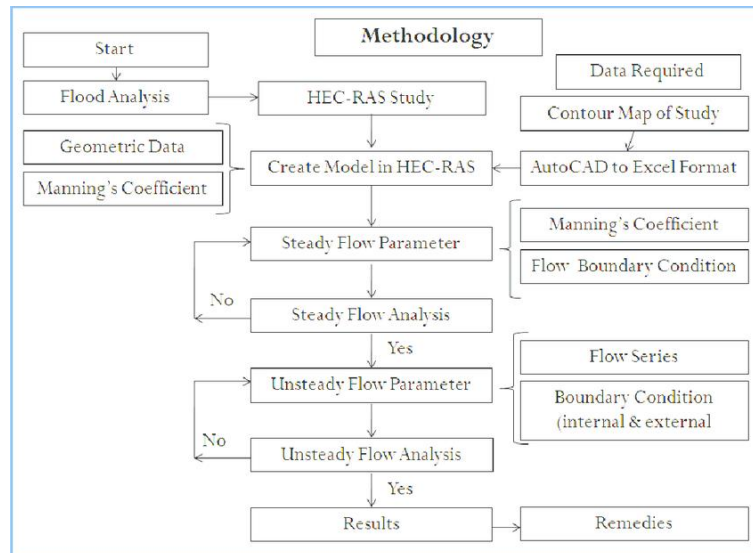


Figure 77: schématisation des modèles utilisés, ESRI

L'objectif de cette partie est de comparer l'effet des nouveaux ouvrages sur le profil hydraulique par rapport à l'état actuel. Les modélisations hydrauliques du tronçon situé en aval d'oued Fès sur un linéaire de 330m, ont été réalisées à l'aide du logiciel HEC-RAS, ce dernier permet de calculer l'élévation de la ligne d'eau pour des écoulements graduellement variés. L'objectif de cette partie est de permettre une comparaison de l'effet des nouveaux ouvrages sur le profil hydraulique de l'Oued Fès.

## Description du logiciel HEC-RAS

**HEC-RAS** est un logiciel intégré, du Corps des ingénieurs de l'Armée Américaine (USA) conçu pour un usage interactif dans un environnement à utilisateurs et tâches multiples (réseau). Le système comprend une interface graphique pour l'utilisateur (GUI), des composantes séparées pour le calcul hydraulique, des capacités de stockage et de gestion de données ainsi que des sorties graphique et numérique.

**HEC-RAS** (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System) est un logiciel informatique capable de modéliser les écoulements unidimensionnels stationnaires et les réseaux fluviaux. HEC-RAS est un progiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime permanent, d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau. Ce dernier est capable de modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels unidimensionnels transitoires. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime permanent et en régime transitoire.

HECRAS propose plusieurs possibilités de traitement des résultats de base, Il peut traiter un réseau complet de canaux, un système dendritique, ou une seule rivière. A partir de la composante d'écoulement permanent, il est possible de calculer des profils en régime d'écoulement sub-critique, critique et super-critique. L'algorithme de base découle de la solution de l'équation d'énergie à une dimension. Les pertes d'énergie proviennent du frottement (équation de Manning) et de contractions/expansions (coefficient multiplié par le changement de vitesse), on recourt à l'équation du moment hydraulique lorsque la surface de l'écoulement varie rapidement. Typiques pour ce genre de situation sont les régimes d'écoulement mixte (c.à.d. ressauts hydrauliques), l'hydraulique des ponts et le calcul des profils aux confluent des rivières. On peut tenir compte des effets de différents types d'obstacles comme des piles de ponts, des conduites, des seuils ou des bâtiments dans la zone d'inondation. On aura recours au système de l'écoulement permanent pour évaluer l'extension des surfaces inondées dans le cas d'étude de crues et de la gestion des zones d'inondation. De plus, il est possible d'apprécier l'influence des modifications apportées au canal et de la construction de digues sur les niveaux d'écoulement.

### 2- Etape et donnée d'entrée

Dans le cas du bassin d'Oued Fès, vu l'absence des stations hydrométrique nous allons procéder à un modèle pluie-débit qui se basera sur les événements pluvieux de temps de retour maximal journalier de récurrences 10, 20, 50 et 100ans vu la densité du réseau de l'observation pluviométrique.

Données d'entrée :

- La topographie des profils en travers des cours d'eau;
- Les distances entre les profils;

- Le coefficient de Manning : appelé aussi coefficient de rugosité, la valeur utilisé dans notre simulation a été déterminée sur la base du tableau de référence tableau de Van Te Chow (1959)
- Les débits et les conditions limites (amont et aval), débits de pointe en amont de chaque tronçon, pente normale (0,016)

Les résultats de calculs :

- Les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers ;
- Les vitesses d'écoulement dans chaque section ;
- Le profil en long dans le temps des lignes d'eau

### 3- Elaboration du modèle du bassin versant

L'élaboration du modèle d'un bassin versant dépend de la précision du modèle numérique du terrain (MNT). Ce dernier permet de délimiter le bassin versant et de le diviser en sous bassins versants, avec un axe d'écoulement pour chacun. La fiabilité des résultats est conditionnée par la précision du MNT.

La réalisation d'une simulation hydraulique nécessite la disponibilité de données topographiques ou altitudinales d'une résolution acceptable. Dans notre cas, on a utilisé dans un premier lieu un MNT aster à une résolution de 12 mètres extrait du SRTM du Maroc. Cette résolution n'était pas suffisante afin d'élaborer le modèle du bassin versant de l'oued Fès, surtout au niveau de la plaine de saïs. Et on a digitalisé les cartes topographiques au 1 :50 000 couvrant le bassin versant afin d'obtenir une bonne précision.

Avant de procéder à l'extraction des profils topographiques, ces données ont d'abord fait l'objet d'une vérification du système de coordonnées géographiques. Le système Lambert métrique du Nord du Maroc a été adopté pour la zone. Cette étape est extrêmement importante lors de l'intégration des profils dans le logiciel Hec-Ras. Ensuite, il a fallu convertir le MNT en TIN ou réseau de triangles irréguliers qui est un format développé par ESRI pour rendre les données plus compatibles avec le programme Hec-Ras.

La préparation et le prétraitement se font de manière automatique suivant les opérations ci-dessous :

- Fill : MNT correct du point de vue hydrologique (sans dépressions dues à l'interpolation)
- Fdr : Flow direction (direction des écoulements)
- Fac : Flow accumulation (Concentration des écoulements)
- Str : Stream définition (définition des axes d'écoulement)
- StrLnk : Stream segmentation (traçage des axes d'écoulement)
- Cat : Catchment grid délinéation (un bassin versant pour chaque axe d'écoulement)
- Catchment : (vectorisation du raster des bassins versants)

- DrainageLine : Drainage line processing (vectorisation des lignes d'écoulement)
- Adjoint Catchment : Watershed agrégation (délimitation du bassin versant oued Fès)

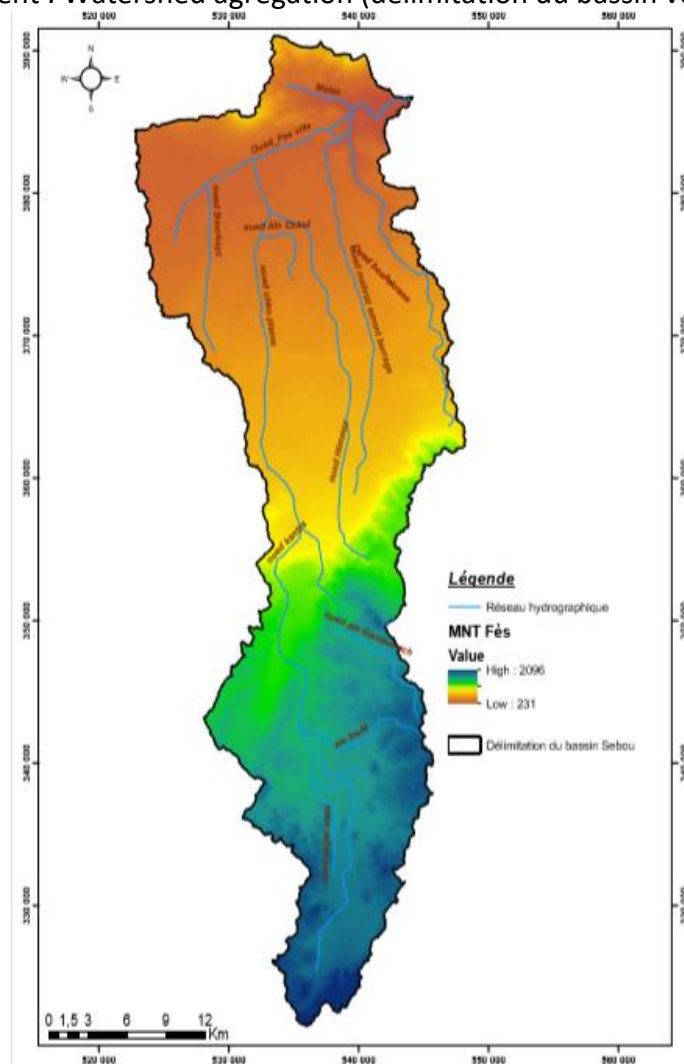


Figure 78 : Elaboration du modèle de bassin versant d'Oued Fès

### 3.1 Paramétrage morpho-métrique et hydrographique des bassins versants

Cette étape consiste à paramétrer le modèle hydrologique, dans un premier temps il faut rassembler les sous bassins versants en un seul bassin. Cette étape se fait de manière manuelle. Les exutoires des bassins correspondent aux stations sur lesquelles les résultats des simulations hydrologiques sont ensuite stockés. Les stations ont été déterminées aux exutoires considérés pour le calcul des débits de pointe via les formules empiriques, c'est-à-dire l'entrée de l'agglomération, ainsi que dans les différents points de confluences des oueds. L'objectif est de pouvoir comparer les résultats obtenus via les formules empiriques et les simulations hydrauliques.

### 3.2 .La topographie

Les données de la topographie sont indispensables à la réalisation de la présente étude. C'est grâce à ces données qu'il est possible d'intégrer la géométrie de l'oued dans le modèle. L'approche utilisée consiste à établir une série de profils topographiques à travers le lit de l'oued. Dans le cas de la présente étude, un total de 31 profils a été réalisé à l'aide du logiciel ARC-GIS (fig. 79).

L'élaboration de tels profils nécessite un fond de base qui peut être un modèle numérique de terrain, une carte topographique, etc. D'une manière générale, plus on dispose de documents et d'informations sur la topographie, plus nos profils seront représentatifs de la géométrie réelle de la section de l'oued. Toutefois, la fiabilité des résultats dépend aussi bien de la qualité de ces documents topographiques (échelle, résolution, etc.) que de leur manipulation et exploitation.

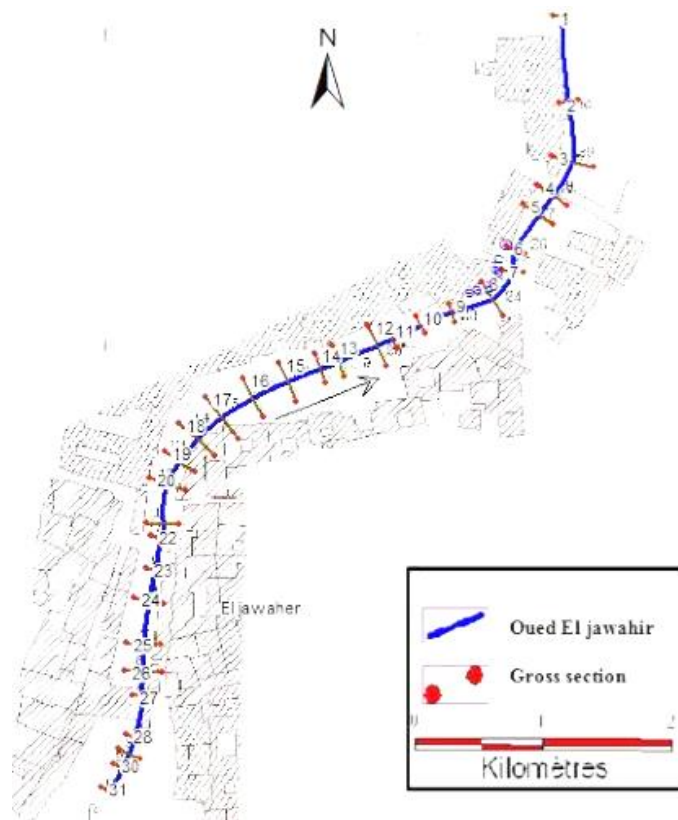


Figure 79: plan des profils en travers sur le cours d'eau d'Oued Fès

#### 4- Coefficient de ruissellement des terrains : méthode Runoff Curve Number

Pour simuler la réponse hydrologique d'un bassin versant il faut prendre en considération son coefficient de ruissellement. Ce dernier est directement influencé par l'imperméabilité des terrains qui dépend essentiellement de la nature d'occupation du sol. On définit le coefficient de ruissellement (Cr) par le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (dite "pluie nette") et la hauteur d'eau précipitée (dite "pluie brute").

Pour déterminer le coefficient de ruissellement du bassin versant de l'oued Fès, nous nous sommes basés sur la méthode Runoff Curve Number, c'est une méthode initialement proposée par le service de conservation des ressources naturelles département de l'agriculture des états Unis (USDA, 2000). Cette méthode empirique se base sur des paramètres utilisés en hydrologie pour prédire l'écoulement direct. Cette dernière est issue de la modélisation des inondations et a été adoptée par beaucoup de modèles hydrologiques (Raïlison et Miller 1981).

La méthode *runoff curve number* est intégrée dans le programme HEC-HMS via son extension HEC-geoHMS sur le SIG ArcMap. Elle s'appuie sur une codification des cartes de l'occupation et types de sols, selon le coefficient de ruissellement de ces derniers. Une fois que la nature des terrains superposés et reclassée selon le type de sol, le modèle *runoff curve number* détermine le coefficient de ruissellement de ces derniers.

#### 5- Classification et cartographie de la capacité de ruissellement des sols

Le bassin versant de l'oued Fès présente une gamme de sols très variés donc leur perméabilité sera différente d'une zone à l'autre. Afin de permettre d'évaluer la perméabilité des couvertures (sols) on va se baser sur une base de données nommée SSURGO (Soil Survey Geographic database) qui a été développée par le NRCS (Natural Resources Conservation Service) et NCGC (National Cartography and Geospatial Center) (SSDS, 1993). Cette dernière fournit une grande variété d'information sur la quantité et le comportement de l'eau dans les sols et permet de les classer. On distingue 4 groupes :

Tableau 29: Nature des Sols et groupe selon SSURGO

| Groupe | Nature des sols                                                  | Taux d'infiltration | Coefficient de ruissellement |
|--------|------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| A      | Sableux profond excessivement drainée                            | Élevé               | Très faible                  |
| B      | Texture fine et profonde                                         | Modéré              | Assez faible                 |
| C      | Sol à texture qui empêche le mouvement de l'eau vers l'intérieur | Faible              | Assez fort                   |
| D      | Sol d'argile                                                     | Très faible         | Très fort                    |

## 6- Cartographie et classification de l'occupation du sol

La nature de l'occupation du sol influence directement la capacité de ruissellement des terrains. Dans cette partie on va cartographier l'occupation du sol dans le bassin versant d'oued Fès grâce au logiciel ARCGIS.

Pour cela, nous avons obtenu la base de données de l'occupation des sols du Maroc de Haut-Commissariat Eaux et Forêt. Nous avons pu déterminer 4 classes d'occupation de sol dans notre zone d'étude, à savoir : la zone urbaine, les bâtiments, voie ferroviaire et le réseau d'eau (fig. 80).

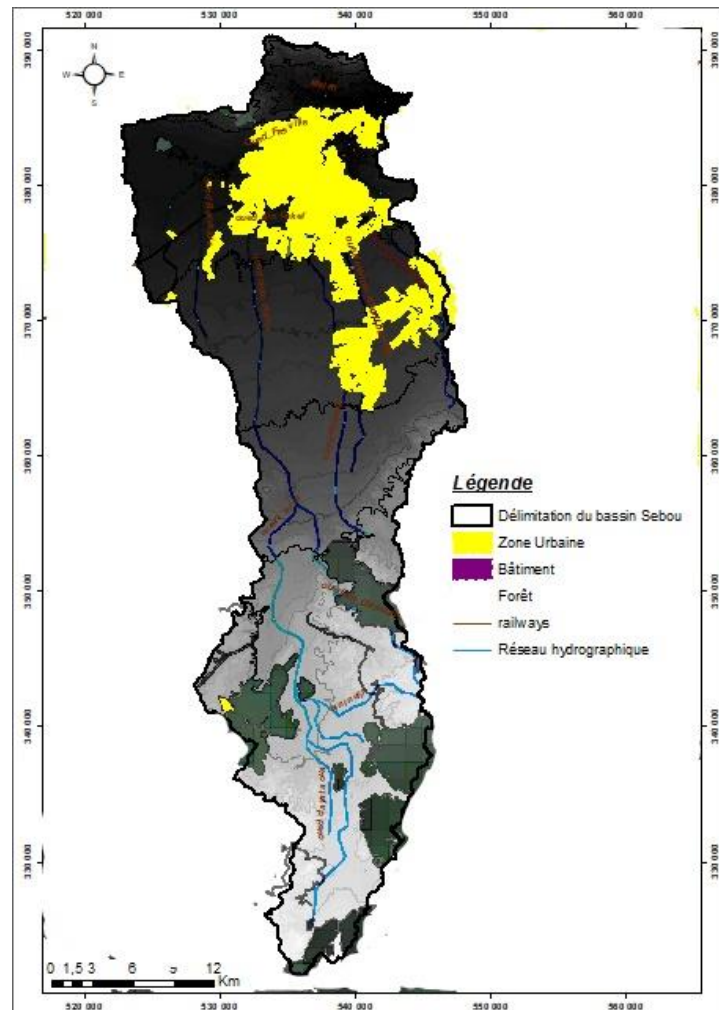


Figure 80: Occupation du sol dans le bassin versant d'oued Fès

On se basant sur l'attribution qui a été accordé par le service américain de la conservation des ressources naturelles (NRCS 1986) qui ont estimé le coefficient de ruissèlement des terrains en fonction des types de sols et leur occupation. Le coefficient le plus haut indique un grand potentiel de ruissèlement, tandis que le coefficient inférieur indique une grande infiltration de l'eau et par conséquent un faible potentiel de ruissellement.

Tableau 30 : Coefficient de ruissellement selon le type de sol, (NRCS, 1986)

| Types d'occupation du sol                 | Coefficient de ruissellement selon le groupe hydrologique des sols |     |     |     |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
|                                           | A                                                                  | B   | C   | D   |
| Plan d'eau                                | 100                                                                | 100 | 100 | 100 |
| Zone urbanisées (construction et voiries) | 98                                                                 | 98  | 98  | 98  |
| Sol à nu (agricole)                       | 77                                                                 | 86  | 91  | 94  |
| Forêt                                     | 36                                                                 | 60  | 73  | 79  |

#### 7- Cartographie du coefficient de ruissellement des terrains

Pour cartographier le coefficient de ruissellement des terrains on va appliquer la méthode Runoff curve number qui permet de croiser les données sur les sols et celles de l'occupation du sol selon la directives du NRCS (1996), afin d'estimer la capacité de ruissellement des terrains. Cette méthode intègre les données d'occupation et le type de sol ainsi les données de la pente de notre zone d'étude.

L'élaboration de la carte des coefficients de ruissellement est réalisée à l'aide de l'extension HEC-GEOHMS (module utility – Generate CN grid) sur ARCGIS.

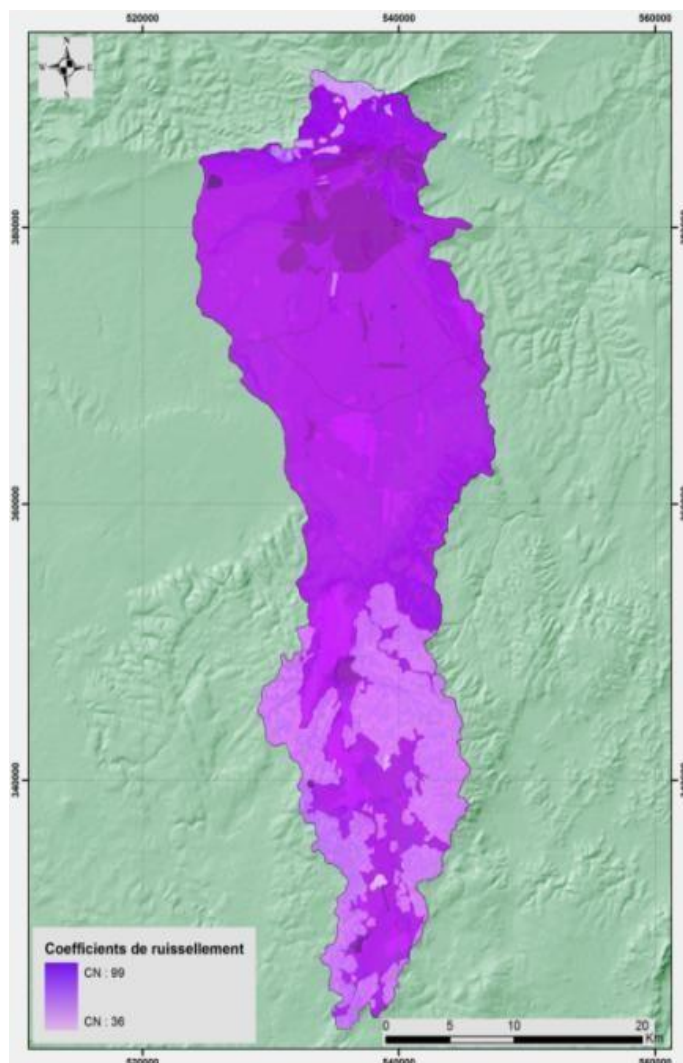


Figure 81: Carte des coefficients des ruissellements selon la méthode Runoff Curve Number

#### 8- Pluie maximale journalière de différents temps de retour

La préparation du modèle météorologique est une étape primordiale qui vise à préparer et spatialiser les événements pluvieux de différent temps de retour. Les données pluviométriques disponibles couvrent pratiquement toute la zone d'étude. Nous nous sommes basé sur maximums journaliers qui sont utilisés pour calculer la précipitation maximale journalière selon la loi de GUMBEL.



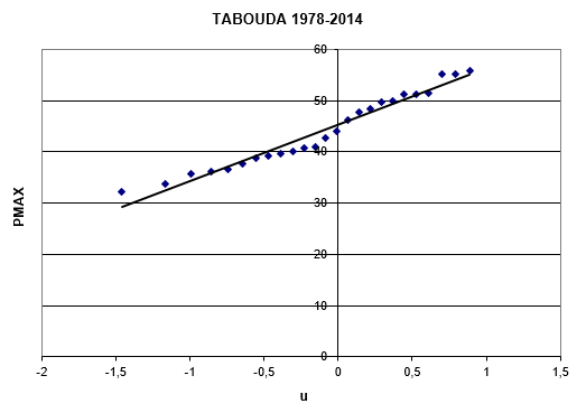
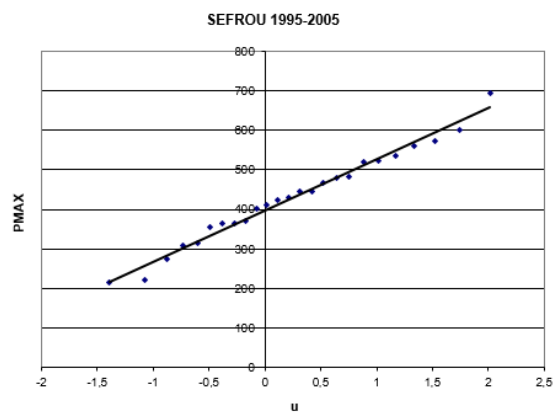
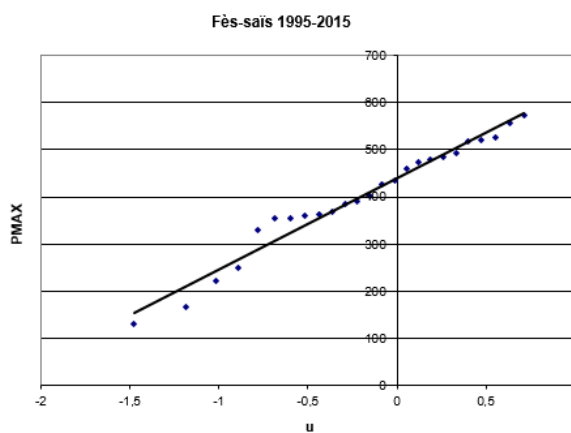
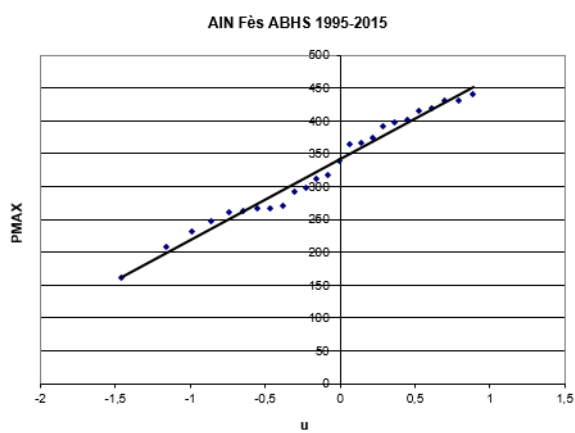
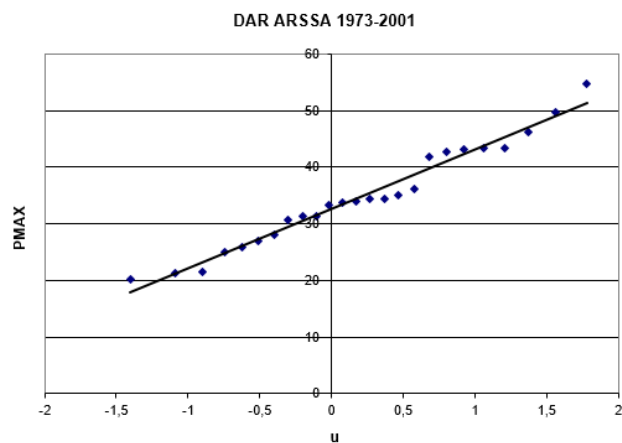
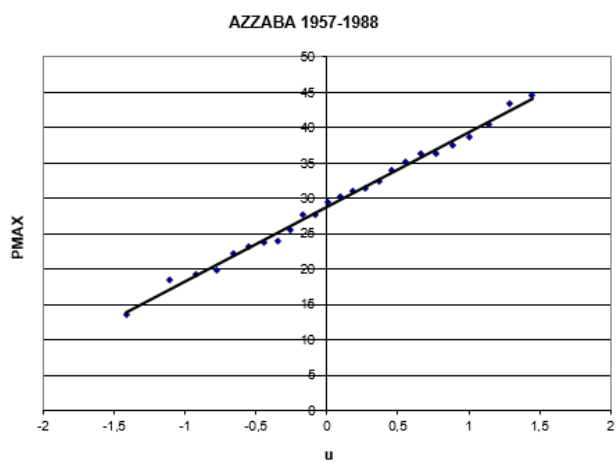
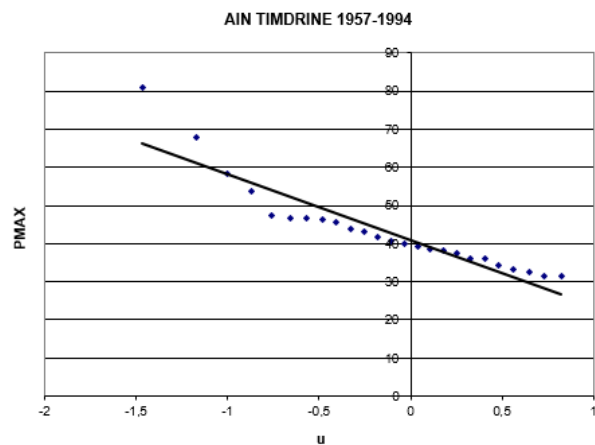
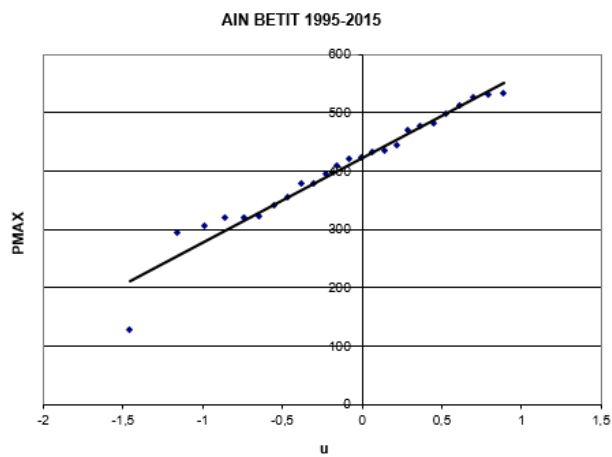


Figure 83 : Les ajustements statiques des  $P_{max}/24h$  à la loi de GUMBLE

Tableau 31: Résultats des ajustements des Pmax/24h à la loi de GUMBEL

| Stations et postes pluviométrique | Fréquence des Pmax/24h |        |        |         |
|-----------------------------------|------------------------|--------|--------|---------|
|                                   | 10 ans                 | 20 ans | 50 ans | 100 ans |
| Ain BETTIT                        | 52,5                   | 67,7   | 77,4   | 84,6    |
| AIN TIMRDINE                      | 46,8                   | 62,4   | 72,3   | 79,7    |
| AZZABA                            | 42,8                   | 56,4   | 65     | 71,4    |
| DAR ARSSA                         | 48,1                   | 63,4   | 73,1   | 80,4    |
| FES SAÏSS                         | 81,3                   | 112    | 128,5  | 148,2   |
| FES ABHS                          | 46,9                   | 60,5   | 69,2   | 75,6    |
| SEFROU                            | 55,1                   | 71,3   | 81,5   | 89,2    |
| TABOUDA                           | 72,5                   | 98,2   | 114,4  | 126,6   |

Les intensités maximales sont différentes d'une station à une autre et augmentent de l'amont vers l'aval (tab. 31).

## V. RESULTAT ET DISCUSSION

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, nous avons procédé tout d'abord à la construction d'un modèle HEC-RAS sur un tronçon de 330m de l'oued Fès, au niveau de la Médina constitué de 31 profils en travers extraits à partir du plan de restitution de Fès au 1/2000, avant de passer à l'exécution de plusieurs simulations hydrauliques en régime permanent, pour les deux états actuel et aménagé par des seuils. Le logiciel HEC-RAS permet aussi d'établir des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres (niveau d'eau, vitesse, moyenne d'écoulement et surface mouillées) relatifs à la simulation hydrauliques réalisée, ainsi que le <sup>1</sup>profil en long dans le temps des lignes d'eau.

### Modélisation de l'état actuel

La modélisation de l'état actuel a été effectuée avec un débit de 70m<sup>3</sup>/s avec un total de 31 sections en travers de l'oued. Le profil en long (fig. 84), montre le niveau d'eau atteint en fonction de la distance entre les sections en travers de l'oued. La cote de la ligne d'eau dépasse la cote minimale du canal avec des valeurs d'environ 3m, en effet la section hydraulique est insuffisante par rapport au débit dans quelques endroits. Par conséquent, l'oued déborde sur les deux rives sur certain tronçon du canal étudié (sections de 1-5, 12 et 14).

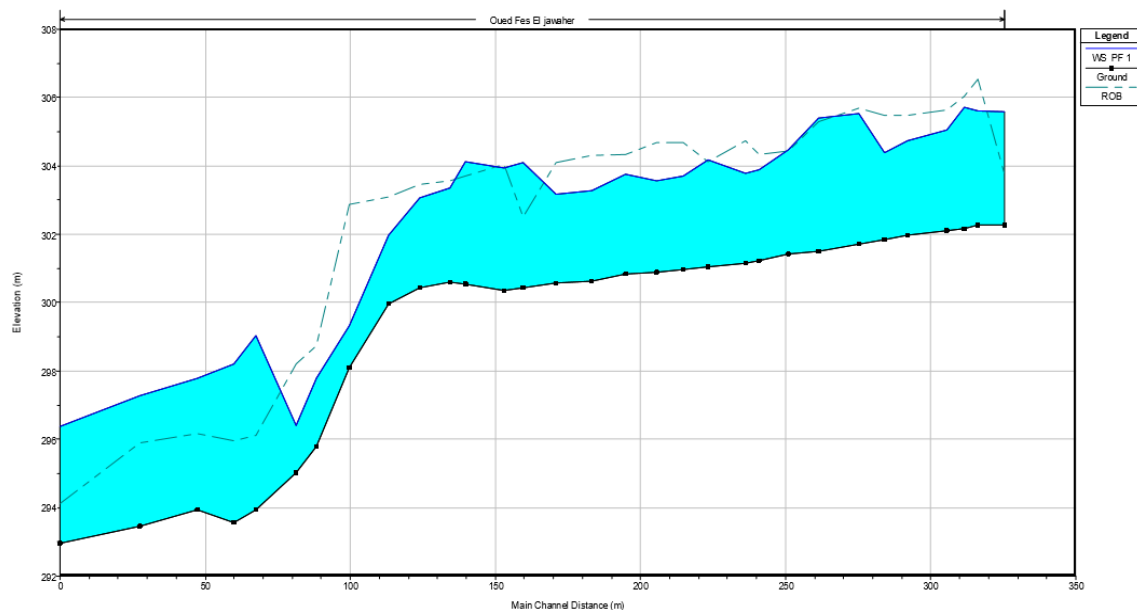


Figure 84: Profil en long de la ligne d'eau pour le débit 70m³/s

Ces débordements conjugués avec des vitesses importantes qui varient entre 1.45 m³/s et 11.17 m³/s (Annexe 2), le changement de pente présent en section 6 a augmenté la vitesse d'écoulement jusqu'à atteindre la plus haute vitesse de 11,17m³/s. Les valeurs de ces vitesses et la faible hauteur disponible (3m) montrent que l'écoulement a un régime torrentiel tout au long du profil (tab. 32). Ceci constitue une menace pour les habitations riveraines avec des zones inondées localisé essentiellement en aval avec des surfaces mouillées pouvant atteindre 48,19 m<sup>2</sup> (Annexe 2).

Tableau 32: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour les sections 6,7 et 8

| N° de    | Débit (m³/s) | Cote min du profil (m) | Niveau d'eau (m) | Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) | Surface mouillée (m2) |
|----------|--------------|------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------|
| <b>8</b> | 70           | 298.11                 | 299.31           | <b>9.2</b>                         | 7.61                  |
| <b>7</b> | 70           | 295.8                  | 297.78           | <b>10.23</b>                       | 6.84                  |
| <b>6</b> | 70           | 295.03                 | 296.41           | <b>11.17</b>                       | 6.27                  |

A cet égard, il est indispensable qu'ils soient pris en considération dans tout aménagement future par l'amélioration des conditions d'écoulements. Des solutions de recalibrage et de reprofilage ou de réalisation de mur bajoyers de protection s'imposent pour réduire le risque d'inondation sur les riverains.

## 2- Etat aménagée par des seuils

La modélisation de l'état futur a été réalisée en se basant sur différentes valeurs de débit, les sections ont été modifiées pour tenir compte de la mise en place des seuils (tab. 33).

Tableau 33: Les débits utilisés dans la simulation HEC-RAS

| Tronçon  | Q1                   | Q2                   | Q3                  | Q4                  |
|----------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Oued Fès | 0.1m <sup>3</sup> /s | 0.5m <sup>3</sup> /s | 20m <sup>3</sup> /s | 70m <sup>3</sup> /s |

L'objectif de ces seuils est de créer un plan d'eau permanent au niveau du canal qui s'intègre dans l'aménagement urbanistique de la zone de l'Oued Fès. La présence d'un seuil crée une surélévation de la ligne d'eau en amont du seuil, une section de contrôle hydraulique au niveau du seuil, pouvant conduire à la création des plans d'eau à l'amont de l'ouvrage. L'élaboration d'un seuil avec HEC-RAS a été réalisée par l'entrée des données géométriques des points superficiels de section considérée, Il s'agit de trois seuils avec une hauteur de 3 m (fig. 85), et des longueurs variables en fonction de la largeur du lit de l'oued. La hauteur des seuils dépend de la différence d'altitude entre les cotes maximale et minimale des rives gauches et droites des sections initiales obtenue lors de la simulation de l'état actuel.

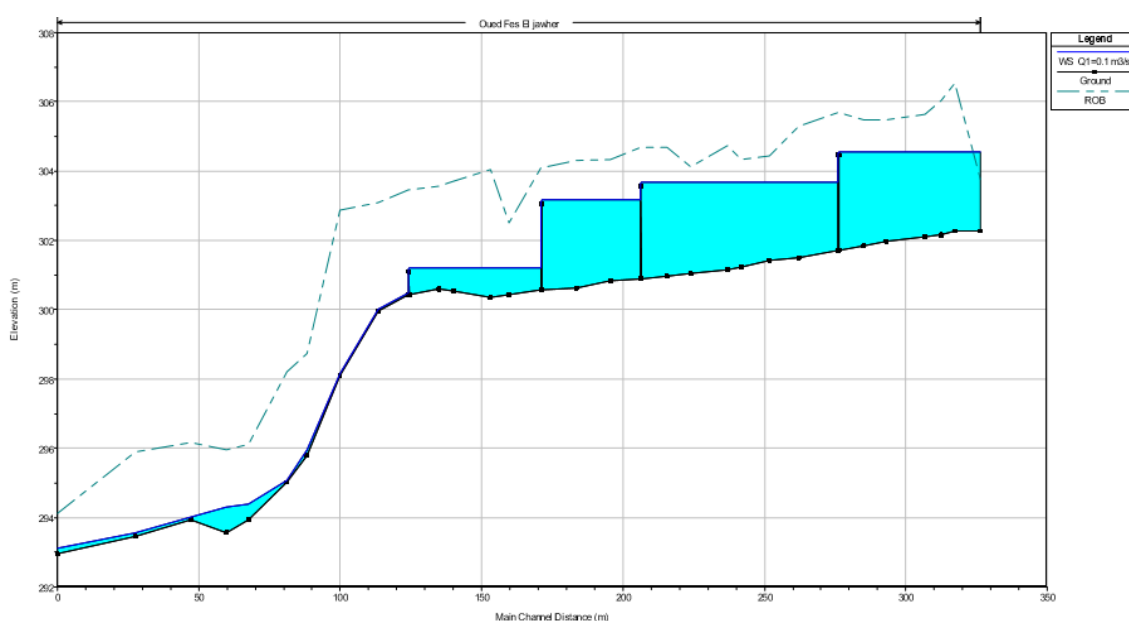


Figure 85 : profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit (0.1m<sup>3</sup>/s)

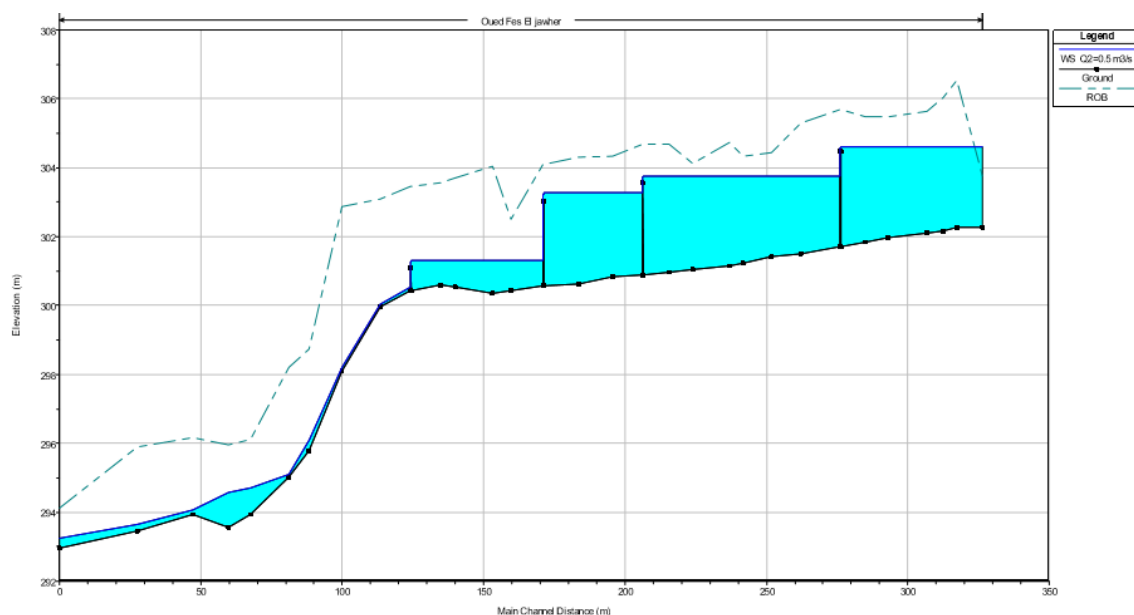


Figure 86: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit (0.5 m<sup>3</sup>/s).

Ces deux simulations ont été effectuées en employant des débits faibles de l'ordre de 0.1 et 0.5 m<sup>3</sup>/s. on conclue que, Les vitesses de l'écoulement deviennent faibles souvent inférieures à 1.0 m/s en allant de l'amont jusqu'au seuil présenté en section 10 ou la vitesse devienne supérieure à 3.0 m/s (tab. 34), ce qui peut être expliqué par la présence des seuils provoquant le ralentissement de l'écoulement. On peut conclure que dans ces deux cas présentant la période d'étéage, ne pose aucun problème de débordement avec des seuils de 3m. Les lames d'eau au niveau des seuils varient entre 0.1 m et 0.2 m (Annexe 3), ce qui donne un aspect visuel de déversement acceptable pour l'aménagement (fig. 85 et 86).

Tableau 34: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour la section 10

| N° de     | Débit<br>(m <sup>3</sup> /s) | Cote min<br>du profil<br>(m) | Niveau<br>d'eau (m) | Vitesse<br>moyenne<br>d'écoulement<br>(m/s) | Surface<br>mouillée<br>(m <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>10</b> | 0,1                          | 300,43                       | 300,48              | <b>3,58</b>                                 | 0,03                                     |
| <b>10</b> | 0,5                          | 300,43                       | 300,55              | <b>3,68</b>                                 | 0,14                                     |

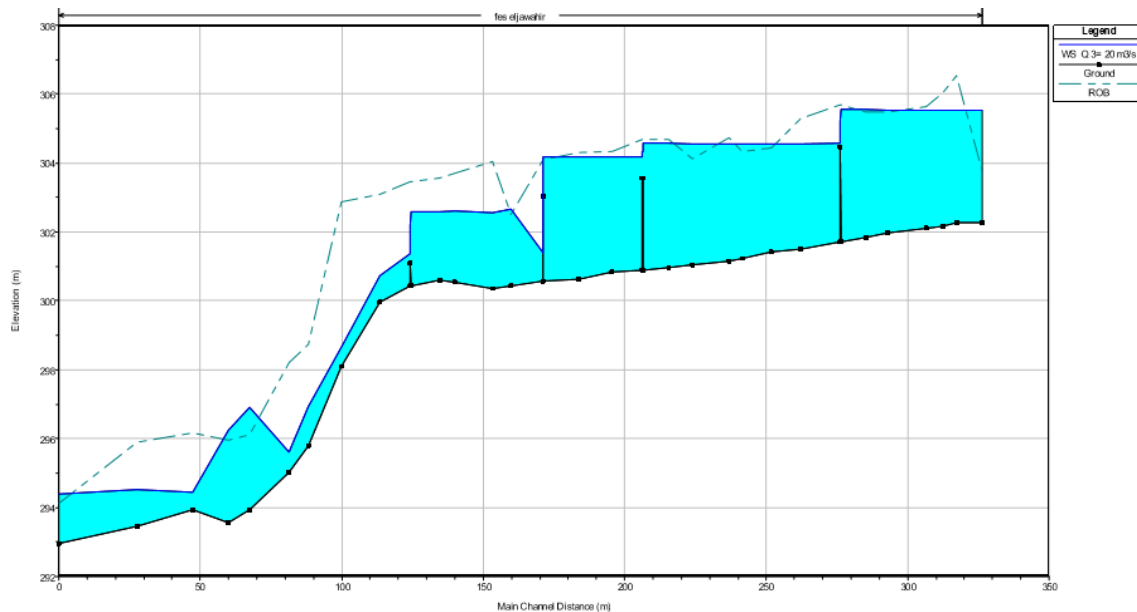


Figure 87: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour un débit de ( $20 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Pour un **débit de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$** , on assiste à une élévation du niveau de la ligne d'eau à une altitude dépassant celle des seuils d'environ 1 m d'altitude, et par conséquent un débordement le long du canal. Les valeurs de la vitesse d'écoulement varient moyennement (ne dépasse pas  $3.0 \text{ m/s}$ ) en allant de l'amont vers l'aval jusqu'au point 15 où elle augmente pour atteindre une valeur de  $7.1 \text{ m/s}$  (tab. 35), (fig. 87).

Tableau 35: Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès pour la section 15

| N° de     | Débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | Cote min du profil (m) | Niveau d'eau (m) | Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) | Surface mouillée ( $\text{m}^2$ ) |
|-----------|---------------------------------|------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>15</b> | 20                              | 300,57                 | 301,39           | <b>7,1</b>                         | 2,82                              |

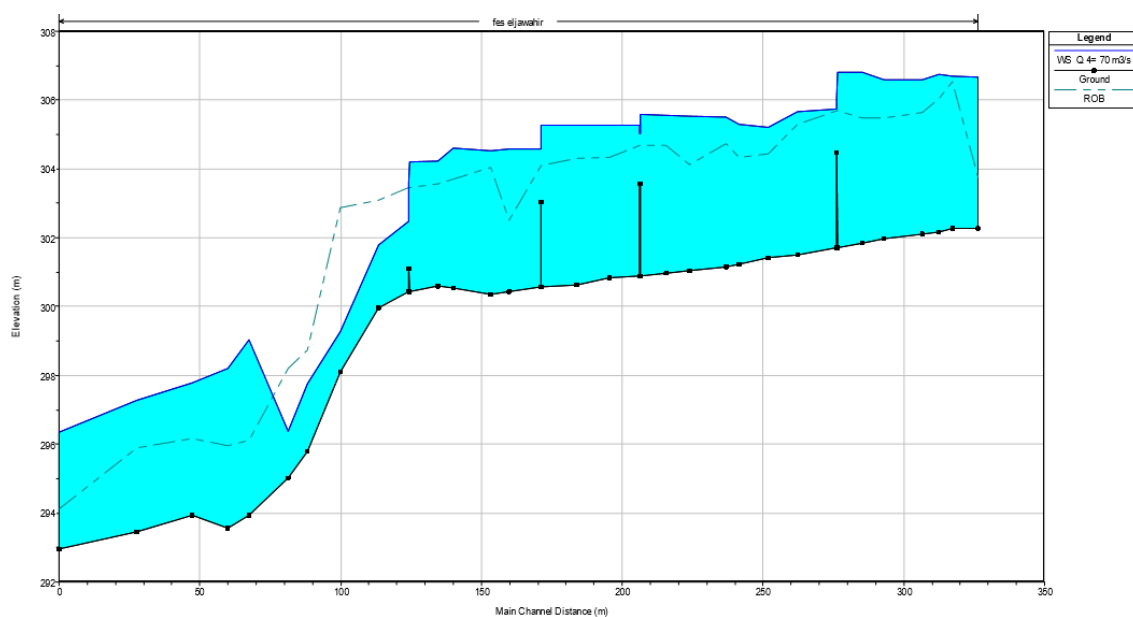


Figure 88: profil en long de la ligne d'eau des seuils pour le débit de ( $70 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Une simulation hydraulique avec un **débit de 70 m<sup>3</sup>/s** montre bien le débordement en amont du seuil. En comparant les résultats de cette simulation avec celle de l'état actuel on observe un faible ralentissement de la vitesse dans la dernière simulation, ce qui est provoqué par la présence des seuils, et l'élargissement puisque on assiste à un débordement sur les deux rives, et par conséquent la création d'inondations. Cette simulation confirme que la capacité des ouvrages hydrauliques proposés est insuffisante pour transiter la crue et des aménagements complémentaires doivent être envisagés. D'où la nécessité de la mise en place des seuils à vanne mobiles pour permettre le passage des crues.

## Conclusion

L'origine principale du risque d'inondation pour la ville de Fès est le débordement des eaux de l'oued Fès pendant les périodes pluvieuses. L'étude hydrologique du bassin nous a permis d'estimer le temps de concentration à 3h17mn ce qui nous ramène à constater que cette situation aggrave le risque d'inondation dans la ville. Des aménagements ont été réalisés en 1992 mais malheureusement les crues de 2008 ont montré l'insuffisance de ces aménagements. Pour répondre à ce problème nous avons adopté une étude hydrologique dans la médina de R'cif jusqu'à Bin Lamdoune le long d'un tronçon de l'oued Fès de 330m avec des seuils. L'objectif de ces seuils était de créer un plan d'eau permanent au niveau du canal d'oued Fès.

La modélisation de l'état actuel avec un débit de 70m<sup>3</sup>/s nous a montré que les dimensions du canal ne permettent pas un écoulement fluide et sans danger. D'une part la cote de la ligne d'eau dépasse la cote minimale du canal avec des valeurs d'environ 3m, l'oued déborde sur plusieurs tronçons du canal étudié et les zones inondées sont importantes. D'autre part ces débordements conjugués avec des vitesses importantes (1.45 m/s - 11.17 m/s) constituent donc une menace pour les habitations riveraines.

L'élaboration d'un seuil avec HEC-RAS a été réalisée par l'entrée des données géométriques des points superficiels de section considérée (annexe 4), Il s'agit de trois seuils avec une hauteur de 3 m et un recalibrage du tronçon juste en amont de la rupture de pente. En comparant les résultats de cette simulation avec celle de l'état actuel on observe un faible ralentissement de la vitesse dans la dernière simulation, ce qui est provoqué par la présence des seuils. L'aménagement de seuils ont pour conséquence la création de plan d'eau ce qui amplifie le risque de débordement pour les débits importants (deux cas ont fait l'objet de simulation 20 m<sup>3</sup>/s et 70 m<sup>3</sup>/s). Donc les ouvrages hydrauliques proposés sont insuffisants pour transiter la crue et de ce fait des aménagements complémentaires doivent être envisagés.

Pour pallier au problème de ces débordements deux solutions peuvent être envisagées. La première c'est procéder à la surélévation des rives du canal et la deuxième c'est d'installer des seuils mobiles, il s'agit de vannes "tout ou rien". Le principe de fonctionnement de ces vannes se base sur un niveau amont de l'eau calculé par des capteurs électroniques et ensuite la disparition rapide de seuils. Ce système demande un entretien permanent par les services concernés pour assurer continuellement son fonctionnement. La variante seuil à vanne mobile reste à notre avis la solution la mieux adaptée.

## Conclusion générale

L'étude de la gestion intégrée dans la région de Fès nous a permis de définir deux grands systèmes un naturel et un autre sociale. Ces deux derniers sont composés de plusieurs sous-systèmes inter-indépendants et qui sont le climat, l'irrigation, l'agriculture, le relief et l'industrie. Cette approche systémique pour la gestion intégrée des ressources en eau a permis de comprendre les différents obstacles et les dysfonctionnements agissant sur le système ressource. Effectivement la nappe de Fès connaît un déficit de 136,9 Mm<sup>3</sup>/an, ceci s'explique par une alimentation déficitaire. Le climat de la région a connu plusieurs périodes de sécheresse et les prélèvements n'ont pas cessé d'augmenter au niveau de cette nappe. En effet la grande majorité de l'irrigation agricole se fait par des prélèvements directs depuis les nappes (73 % des mobilisations en eau au niveau régional).

L'eau potable dans notre région est puisée essentiellement (81%) des eaux profondes et sa consommation ne cesse d'augmenter pour satisfaire la population de la ville de Fès. La région est l'une des plus denses à l'échelle nationale, avec une densité de population qui est majoritairement concentrée dans la zone urbaine avec un taux de croissance moyen d'environ 2.9%. D'autre problème sont aussi présents et qui concernent la pollution à cause de l'utilisation des produits phytosanitaires dans cette agriculture déraisonnée. A cela s'ajoute également les rejets industriels.

La gestion de l'eau est fondée sur une approche participative impliquant les usagers, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux. Malheureusement nous avons constaté un manque d'implication des intuitions concernées et de coordination entre les différents organismes (ABHS, ABHM, ONEP, RADEEF) et d'autre part un déficit en matière de gouvernance pour l'eau dû aux carences législatives en matière d'application des lois, de réglementation et en matière de norme qui favorise l'exploitation anarchique des ressources naturelles.

La grande variabilité du système d'exploitation suppose une gestion intégrée des divers constituants de ces systèmes. Pourtant, il existe un impact dans le renouvellement des ressources non renouvelables, ils sont définies en termes de stock et non de flux à très faible taux de renouvellement (<1% par ans). Le système ressource est influencé par les sous système qui l'entoure d'une façon anthropique ou naturelle, et cela peut impacter directement tout le système. Il est donc primordial que la gestion doit être intégrée mais aussi conservatrice dès le moment où on doute sur la fragilité de celle-ci ce qui est le cas ici. La communication reste l'outil premier pour une prise de conscience efficace entre les différents intervenants (usager et pouvoir public) avec une utilisation modulée des outils pour veiller à éviter les conflits. Une planification spatiale et temporelle des activités et une hiérarchisation des besoins sont nécessaires et devraient être accompagnées de propositions de mesures visant à économiser l'eau et à l'utiliser de manière rationnelle.

En ce qui concerne l'étude climatique du bassin versant d'Oued Fès, elle a été réalisée à partir des données de trois stations Fès Saïs, Sefrou et Ifrane entre les années 1979-2018, les stations Ifrane et Sefrou se localisent au niveau du cause moyen atlasique alors que la station de Fès Saïss se localise au niveau de la plaine de Saïss. Le bassin versant de l'Oued Fès se développe

sur trois étages bioclimatiques humide (station d'Ifrane), subhumide (station de Sefrou) et limite semi-aride (station de Fès Saïss). La spatialisation des précipitations d'après la méthode de polygone de Thiessen montre que la partie nord du bassin d'Oued Fès correspond à une tranche de pluie moyenne annuelle entre 450mm et 550 mm, la plus grande partie de notre bassin correspond à une tranche de pluie entre 550mm et 650mm.

Les précipitations moyennes mensuelles des trois stations sont décroissantes de l'amont vers l'aval de notre bassin, par contre elles ont la même distribution temporelle. D'après les fluctuations des pluies interannuelles pendant la période étudiée, nous pouvons distinguer des oscillations qui varient entre séries sèches (1979-1981 et 1981-1995) et séries humides (2008 - 2011).

L'agglomération de Fès a toujours été menacées par les inondations. Cette situation de risque est due principalement à la position de la ville par rapport au bassin versant de l'oued Fès car, elle s'est développée d'une façon peu contrôlée, dans la zone de confluence de tout le réseau hydrographique drainant le bassin versant. Faute de données hydrométriques, ce bassin versant n'a jamais été bien étudié et par conséquent son comportement hydrologique est mal connu d'où l'intérêt de notre étude.

L'origine principale du risque d'inondation pour la ville de Fès est le débordement des eaux de l'oued Fès pendant les périodes pluvieuses. L'étude hydrologique du bassin nous a permis d'estimer le temps de concentration à 3h17mn ce qui nous ramène à constater que cette situation aggrave le risque d'inondation dans la ville. Des aménagements ont été réalisés en 1992 mais malheureusement les crues de 2008 ont montré l'insuffisance de ces aménagements. Pour répondre à ce problème nous avons adopté une étude hydrologique dans la médina de R'cif jusqu'à Bin Lamdoune le long d'un tronçon de l'oued Fès de 330m avec des seuils. L'objectif de ces seuils était de créer un plan d'eau permanent au niveau du canal d'oued Fès.

La modélisation de l'état actuel avec un débit de  $70\text{m}^3/\text{s}$  nous a montré que les dimensions du canal ne permettent pas un écoulement fluide et sans danger. D'une part la cote de la ligne d'eau dépasse la cote minimale du canal avec des valeurs d'environ 3m, l'oued déborde sur plusieurs tronçons du canal étudié et les zones inondées sont importantes. D'autre part ces débordements conjugués avec des vitesses importantes (1.45 - 11.17 m/s) constituent donc une menace pour les habitations riveraines.

L'élaboration d'un seuil avec HEC-RAS a été réalisée par l'entrée des données géométriques des points superficiels de section considérée (annexe 4), Il s'agit de trois seuils avec une hauteur de 3 m et un recalibrage du tronçon juste en amont de la rupture de pente. En comparant les résultats de cette simulation avec celle de l'état actuel on observe un faible ralentissement de la vitesse dans la dernière simulation, ce qui est provoqué par la présence des seuils. L'aménagement de seuils ont pour conséquence la création de plan d'eau ce qui amplifie le risque de débordement pour les débits importants (deux cas ont fait l'objet de simulation  $20\text{ m}^3/\text{s}$  et  $70\text{ m}^3/\text{s}$ ). Donc les ouvrages hydrauliques proposés sont insuffisants pour transiter la crue et de ce fait des aménagements complémentaires doivent être envisagés.

Pour pallier au problème de ces débordements deux solutions peuvent être envisagées. La première c'est procéder à la surélévation des rives du canal et la deuxième c'est d'installer des seuils mobiles, il s'agit de vannes "tout ou rien". Le principe de fonctionnement de ces vannes se base sur un niveau amont de l'eau calculé par des capteurs électroniques et ensuite la disparition rapide de seuils. Ce système demande un entretien permanent par les services concernés pour assurer continuellement son fonctionnement. La variante seuil à vanne mobile reste à notre avis la solution la mieux adaptée.

## Références bibliographiques

**ABHS** (2010). Etude de mise en place d'un dispositif de prévision et d'alerte aux crues pour la ville de Fès. Etude hydrologique. Rapport de l'Agence du bassin hydraulique de Sebou, Fès, 80 p.

**ABHS**, (2011). Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégrée des ressources en eau du bassin de Sebou, Note de synthèse. 103p.

**ABHS**, (2019). Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégrée des ressources en eau du bassin de Sebou. 103p.

**AGUILERA-KLINK F. et PETIT O.**, 2005, « Introduction », in AGUILERA-KLINK F. et PETIT O. (dir.), « Water resources management: institutional perspectives », International Journal of Water, vol. 3, n°2, Special issue, p. 101-106.

**AMIGUES J.-P., BONNIEUX F., LE GOFFE P. et POINT P.**, 1995, Valorisation des usages de l'eau, Economica, 112 p.  
**ANDERSON T.L.**, (2000), « La marée montante des marchés de l'eau », in FALQUE M. et MASSENET M. (dir.), Droits de propriété, économie et environnement. Les ressources en eau, Paris, Dalloz, p. 135-147.

**BENISTON M., FOX D.G.** (1996) : Impacts of Climate Change on mountain regions, in : IPCC (ed.) : Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of Climate Change : scientific-technical analyses, Cambridge, Cambridge University Press, pp 191-213.

**BOURGÉAP**, (1995), Étude globale sur les ressources en eau souterraine dans le bassin versant de l'Aa (62), tome I, 89 p.

**BRAVARD J.-P., PETIT F.** (1997). Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. Edition Armand Colin, Paris, 221 p.

**BRESSERS H. et KUKS S.** (éds.), 2004, Integrated Governance and Water Basin Management, Conditions for Regime Change and Sustainability, Springer, 269 p

**CALVO-MENDIETA I.**, (2004), « Conflits d'usage dans la gestion des ressources en eau : analyse territoriale des modes de régulation », Actes du colloque « Les territoires de l'eau », C3ED, Réseau DDTF, Université d'Artois, Arras, 26 mars, p. 55-70.

**CARMANTRAND** (1991) : Gérer et économiser l'eau en agriculture : l'enseignement de la sécheresse 1989-90, in : ASPE C. (ed.) : Chercheurs d'eau en Méditerranée, Paris, Ed. du Félin, 151-163.

**Cherai B.** (2009). Géologie et géomorphologie du Saïs et de ses bordures du Néogène au Quaternaire, Thèse de doctorat national en géologie.

**CHEVALLIER J.J.** (1983) : Une approche systémique des systèmes d'information du territoire et de leur intégrité, Lausanne, EPFL, Thèse N° 502.

**CHOW V. T.** (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill Book Company, New York, 680p.

**CHOW V. T.** (1964). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Company, New York, 1495p

**CIRAC P.** (1985). Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux I, France, 283p.

**COMBIL** (2014) ; Conseil des bassins versants des Mille-Îles, 2014. Mise en contexte du PDE de la zone de gestion intégrée de l'eau par bassins versants du COBAMIL. Dans : Plan directeur de l'eau. 1ère édition, volume 1, vol. 1-5. Sainte-Thérèse, Québec.

**COSANDEY C., ROBINSON M.** (2000). Hydrologie continentale, Edition Armand Colin, Paris, 360 p.

**D'Ercole, R.,** (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbains, concepts, typologie, mode d'analyse, *Revue de géographie alpine*, n° spécial 4, pp. 87-96.

**Dagorne, A., Dars, A.,** (2005), Les risques naturels, Paris Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je ?

**Dauphiné, A.,** 2001, Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer, Paris, Armand Colin.

**DGH,** Direction générale de l'hydraulique (2018). Statistique environnemental, 108 p.

**DIAEA,** Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole (2018),

**Dubreuil Pierre.** (1974). Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices suivis des corrigés). Paris : ORSTOM, 216 p. ISBN 2-225-40140-3

**FASSI-FIHRI O. & FESKAOUI M.** (1998). Etude hydrogéologique de l'aquifère liasique du couloir Fès-Taza (Maroc). *Karst Hydrology*, IAHS Publ. n°247 : 99-116.

**FRECAUT R., PAGNEY P.** (1983). Dynamique des climats et l'écoulement fluvial, Edition Masson, Paris, 239 p.

**GILLES G. (2004).** Introduction à la géostatistique, Ed. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris, 34 p.

**GIRET A. (dir.).** (2007). Le risque hydrologique : du concept à sa gestion, Edition Le Manuscrit, Paris, 248 p.

**GIRET A.** (2007). Hydrologie fluviale, Edition Ellipses, Paris, 262 p.

**GIVONE P.,** 2000, « L'évaluation du cycle de l'eau et des usages », in VIDAL-MADJAR D. et al ; Les conflits d'usage en environnement. Le cas de l'eau, École de Physique des Houches, CNRS, Publications de la MSH Alpes, DRH-Formation, p. 19-36.

**GLOBAL WATER PARTNERSHIP,** 2000, La gestion intégrée des ressources en eau, TACbackground papers, n° 4, 80 p., <http://www.gwpforum.org/gwp/library/TAC4fr.pdf>

**GODARD O.,** 1980, Aspects institutionnels de la gestion intégrée des ressources naturelles et de l'environnement, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, (coll. « un autre développement »), 110 p.

**Gravelius, H.** (1914) Grundriss der gesamten Gewässerkunde, Band I: Flubkunde (Compendium of Hydrology, vol 1: Rivers in German). Göschen, Berlin, Germany.

**HCP. Haut-Commissariat au Plan** (2016) Etude Démographique au Maroc, 108p.

**KISANGALA M.** (2008) ANALYSE DES PARAMETRES MORPHOMETRIQUES, CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES DU BASSIN DU KASAÏ

**LLAMAS J.** (1993) : Hydrologie générale. Principes et applications, Boucherville, Gaëtan Morin, 2ème édition.

**MARGAT J.** (1995) : L'économie de l'eau dans le monde : ressources, besoins, problèmes, in: Le grand livre de l'eau, Lyon, La Manufacture et La Cité des Sciences et de l'Industrie, 277-283.

**Meur-Férec, C., Morel, V.,** (2004), L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques, Natures Sciences Sociétés, vol. 12, pp. 263-273.

**NRCS** (National Research Conservation Service). 1986. Urban hydrology for small watersheds, Washington, DC: US Department of Agriculture, Technical Release no. 55.

**Ntombi, M.K.M.** (1999) Flood control in Kinshasa by using non toxic biodegradable wastes. (Université de Kinshasa (Dem. Rep. of the Congo). Dept. des sciences de la terre); Kipoy, N.;

**OBDA K.** (2004). Les indigences hydrologiques des oueds méditerranéens : Cas du Haut Sebou (Moyen Atlas) et du Nekor (Rif), Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat en géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs, Fès, 422 p.

**OBDA K.** (1991). Etude hydrologique de l'oued Nekor (Rif) : Précipitations, écoulement et gestion des ressources en eau. Thèse de doctorat, Université de Nancy 2.

**OCDE** (1989) : Gestion des ressources en eau. Politiques intégrées, Paris, OCDE

**Olivier Dequinney,** (2017), Aléa et risques, Planète Terre.

**OMM** (1992) : Conférence internationale sur l'eau et l'environnement : le développement dans la perspective du 21ème siècle, Dublin, 26-31 janvier 1992, Déclaration de Dublin et rapport de la conférence, Genève, Organisation météorologique mondiale

**OMM** (Organisation Météorologique Mondiale) (1996) Guide des pratiques hydrologiques: acquisition et traitement des données, analyses, prévention et autre application. Publication OMM no. 168. OMM (World Meteorological Organization), Genève, Suisse.

**OMM** (2011). Organisation météorologique mondiale. ISBN 978-92-63-21072-2. Manuel sur la prévision et l'annonce des crues, n°1072,154p.

**PIQUE, A et MICHARD, A** (1989). Moroccan hercynides: a synopsis. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. American Journal Science 289, 286-330.

**PRELAZ-DROUZ R.** (1995) : Système d'information et gestion du territoire. Approche systémique et procédures de réalisation, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.

**Riaux J.**, 2011. Faut-il formaliser les règles de gestion de l'eau ? Une expérience dans le haut Atlas. Cahiers Agricultures 20 (1) : 67-72.

**RALLISON R. E., MILLER N.** (1981). Past, present and future SCS Runoff Procedure. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling, Mississippi State University, 353-363.

**REMENIERAS G.** (1986). L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, EDF, 462 p.

**Reynard E** (2000) Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne. Les cas de Crans-Montana-Aminona et Nendaz (Valais). Thèse présentée à la Faculté des Lettres de l'Université de Lausanne

**Riviere-Honegger A.**, (1990). L'eau en Camarague, contribution de la géographie culturelle à la définition de paramètres pour une gestion optimale de l'espace de l'eau. Thèse de doctorat "Espace et Société" Université P.Valéry, Montpellier III, 577 p.

**ROCHE M.** (1963). Hydrologie de surface. Gauthier-Villars ORSTOM, Paris, 429 p.

**ROCHE P.-A., MIQUEL J., & GAUME E.** (2012). Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer Paris. Paris. 590p.

**SCHWARZ E.** (1996) : UNE BREVE INTRODUCTION A L'APPROCHE SYSTEMIQUE, IN : SCHWARZ E. (ED.) : LA THEORIE DES SYSTEMES: UNE APPROCHE INTER- ET TRANSDISCIPLINAIRE, COLLOQUE TENU A SION, 4-6 AVRIL 1995, SION, INSTITUT KURT BÖSCH, 9-28.

**SIMONA N.** et L.CEDRIC (2007). Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). Dans : 1res Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains, 6-9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p.

**Taltasse P.** (1953). Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de FèsMèknes. Rabat, Edition Félix Mancho.

**TAOUS A.** (2005). Géomorphodynamique fluviale : processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnements et mutations récentes des espaces fluviaux, Publication de la FLSH Saïs-Fès, 425 p.

**USDA 1997.** United States Standards for Grades of Carcass Beef. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Livestock and Seed Division, Washington, DC.

**VALIRON F.** (1990) : GESTION DES EAUX. PRINCIPES, MOYENS, STRUCTURES, PARIS, PRESSES DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, 2EME ED

**VALIRON F.** (1995) : L'EAU : UN BIEN ECONOMIQUE, IN: LE GRAND LIVRE DE L'EAU, LYON, LA MANUFACTURE ET LA CITE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE, 289-292.

**WADE R.**, 1987, « THE MANAGEMENT OF COMMON PROPERTY RESOURCES: COLLECTIVE ACTIONAS AN ALTERNATIVE TO PRIVATISATION OR STATE REGULATION », CAMBRIDGE JOURNAL OF ECONOMICS , VOL. 11, P. 95-106.

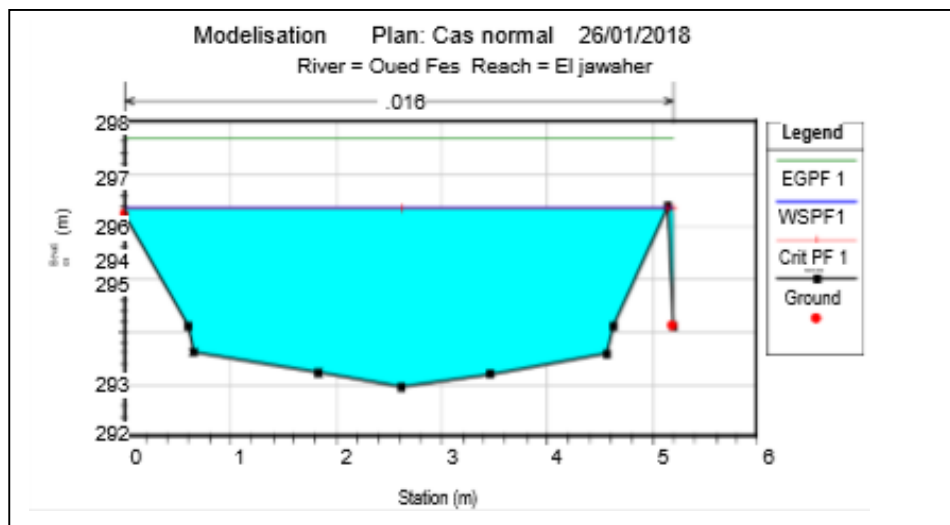
**Ward. R. C** (1975) Principles of Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.

**WISLER, C. O. AND E. F. BRATER.** 1959. Hydrology. John Wiley and Sons, Inc. New York, N. Y.: 408 pp.

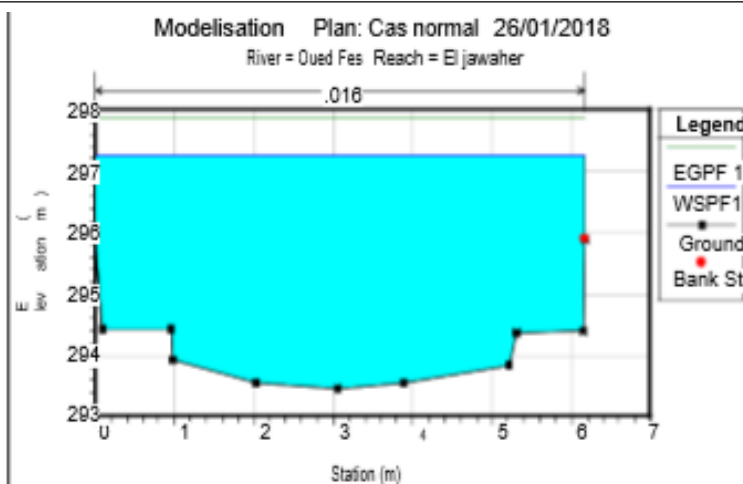
## ANNEXE 1

Résultat de modélisation de l'état actuelle :

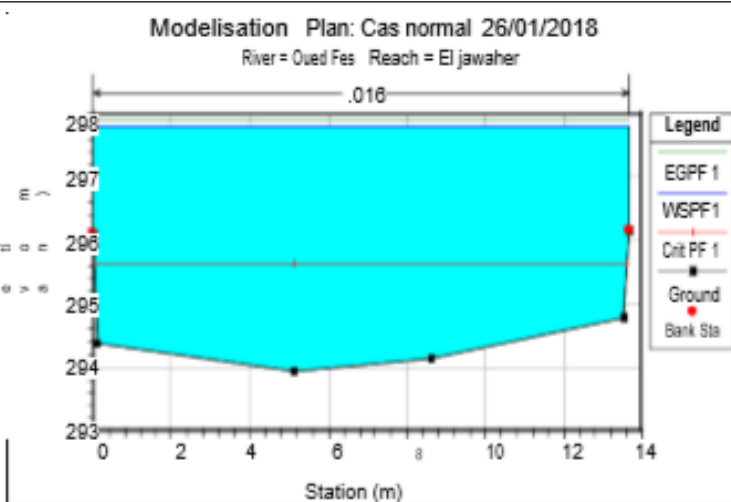
SECTION 01



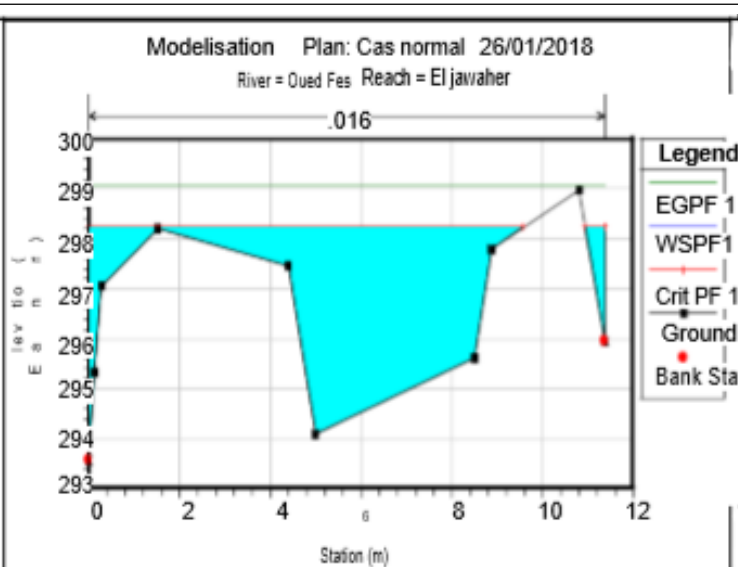
SECTION 02



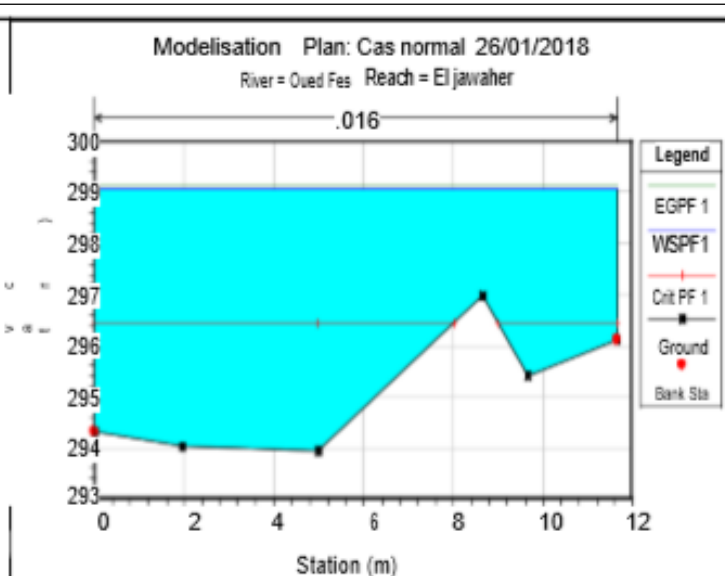
SECTION 03

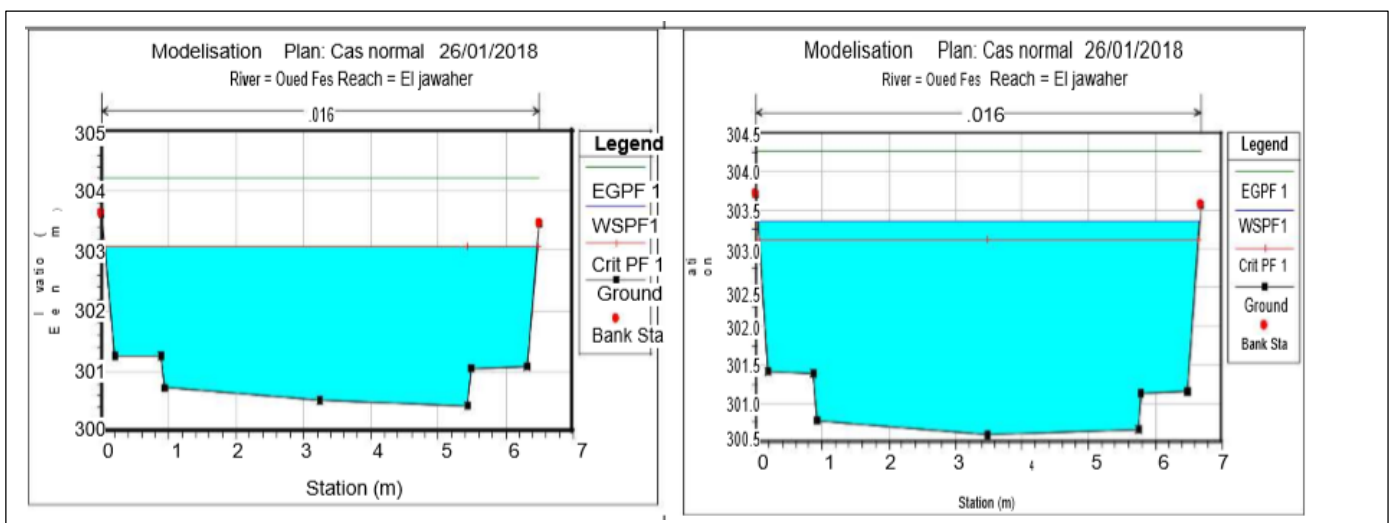
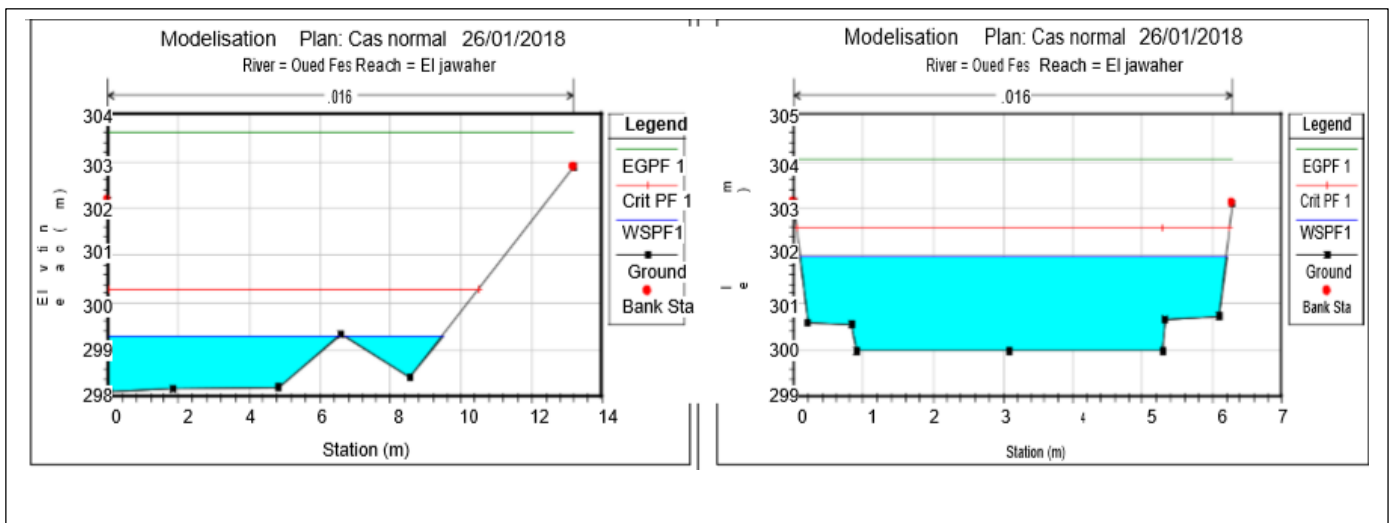
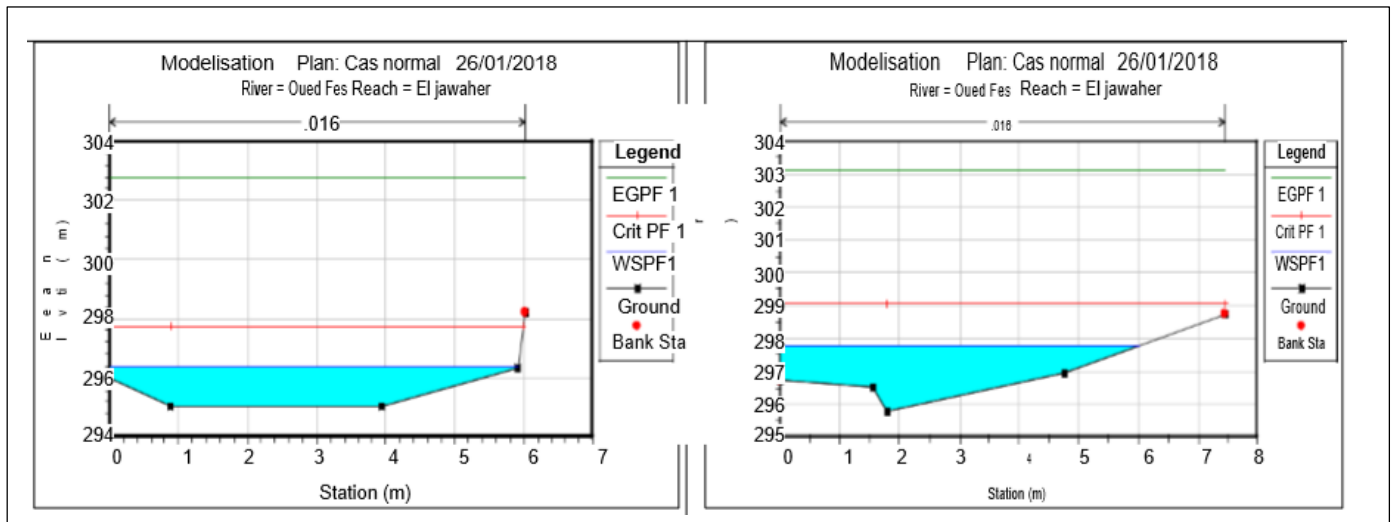


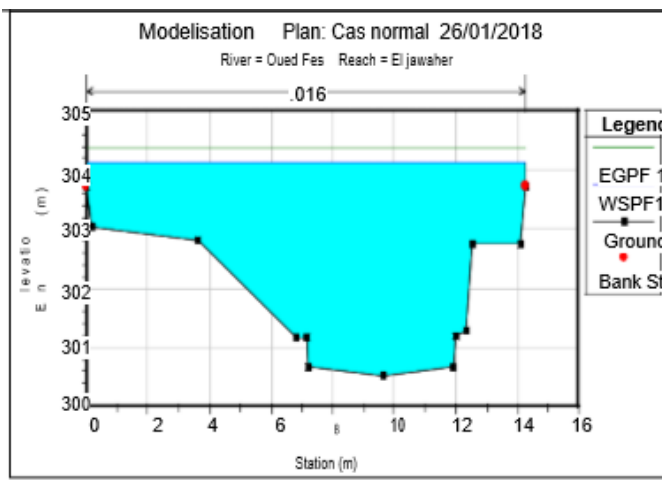
SECTION 04



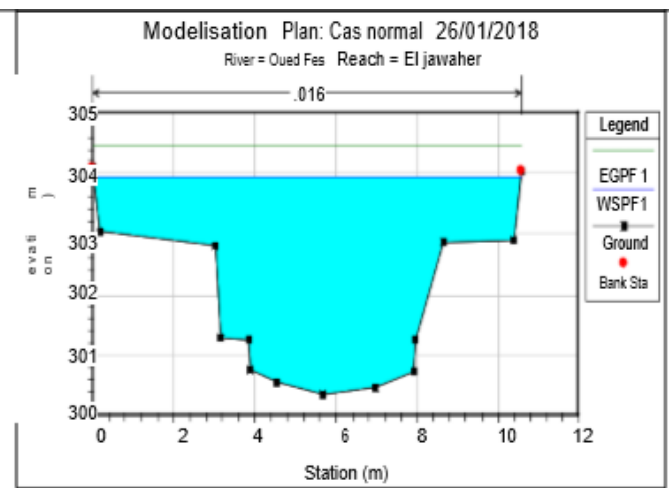
SECTION 05



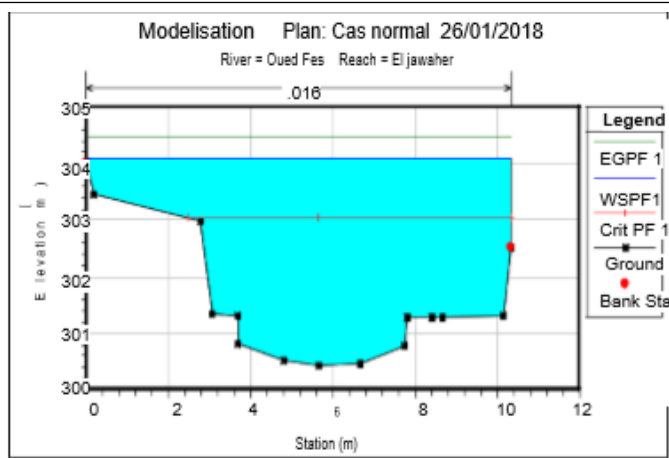




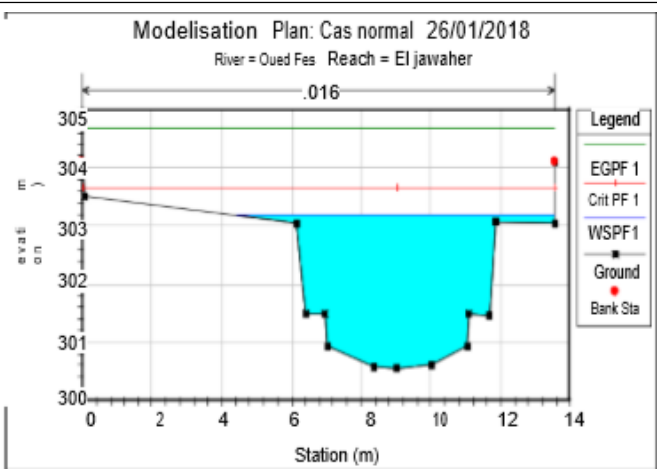
SECTION 12



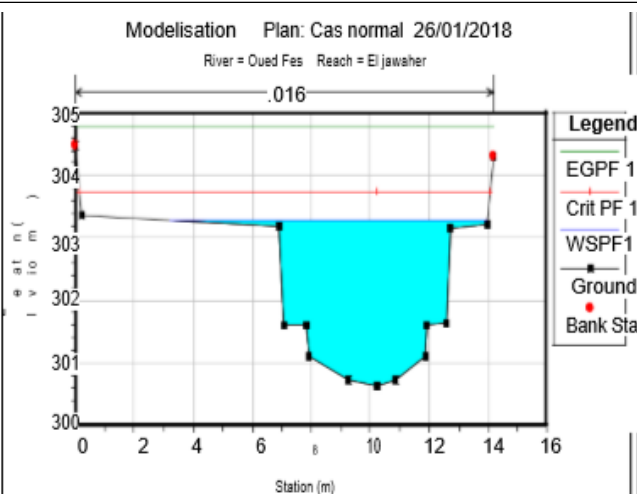
SECTION 13



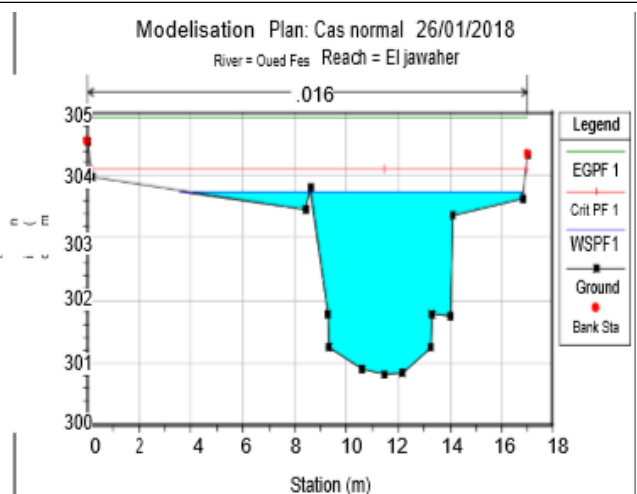
SECTION 14



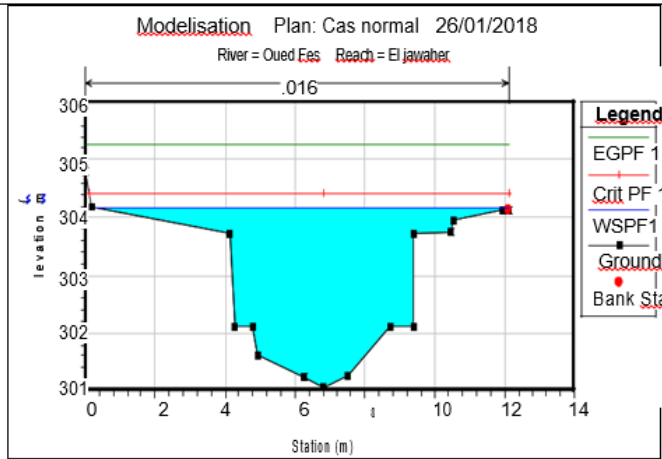
SECTION 15



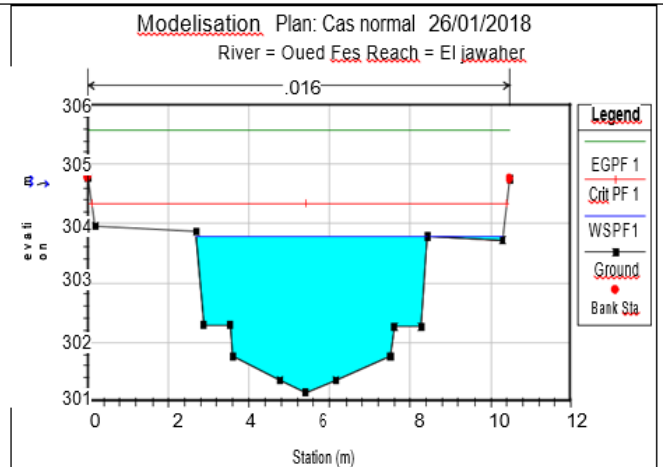
SECTION 16



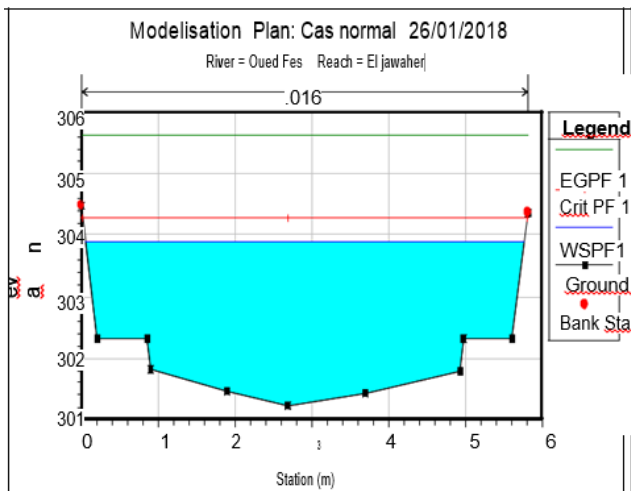
SECTION 17



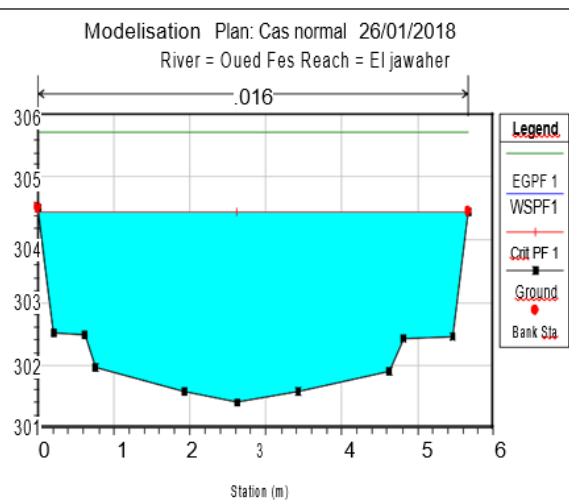
SECTION 18



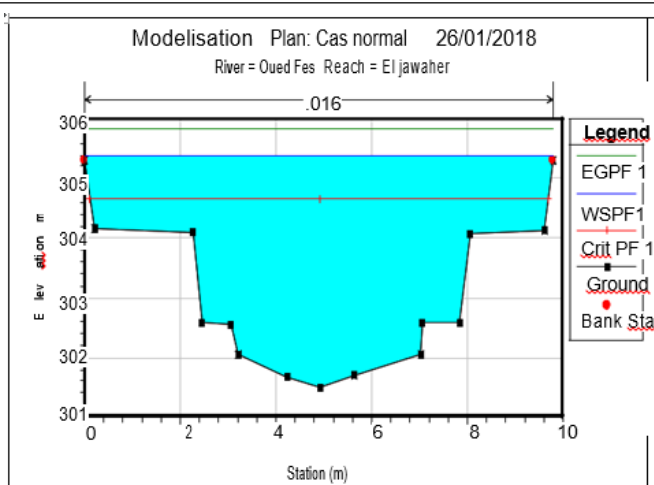
SECTION 19



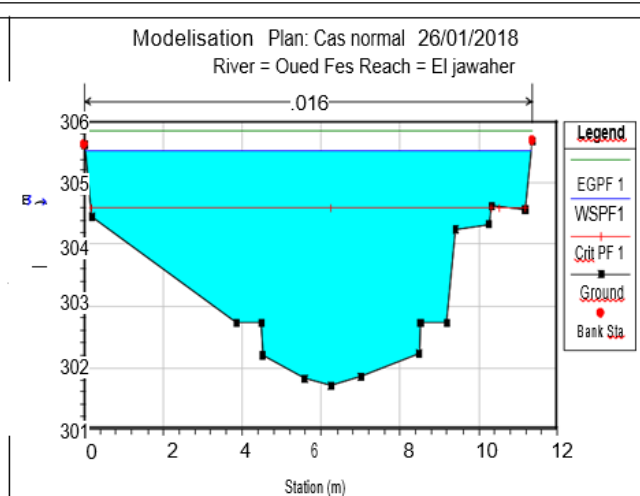
SECTION 20



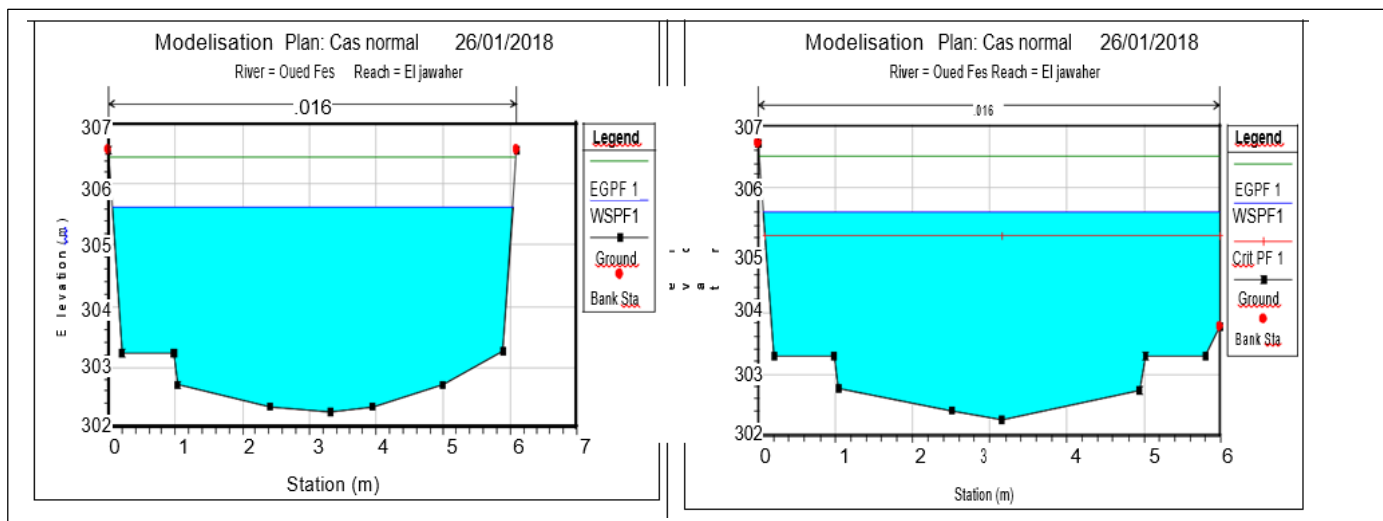
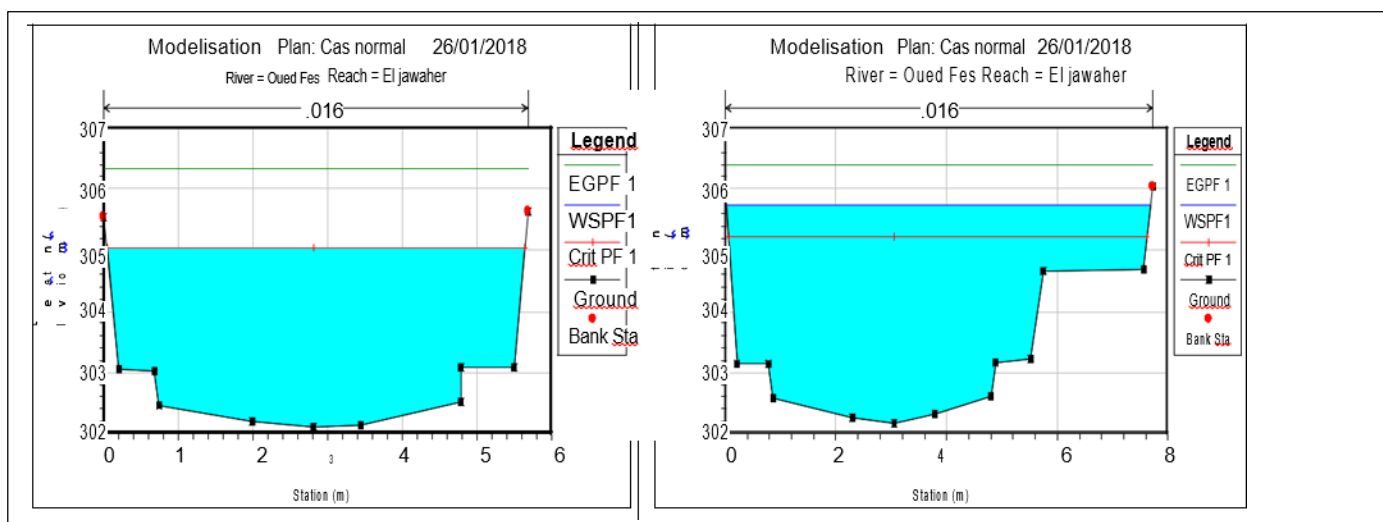
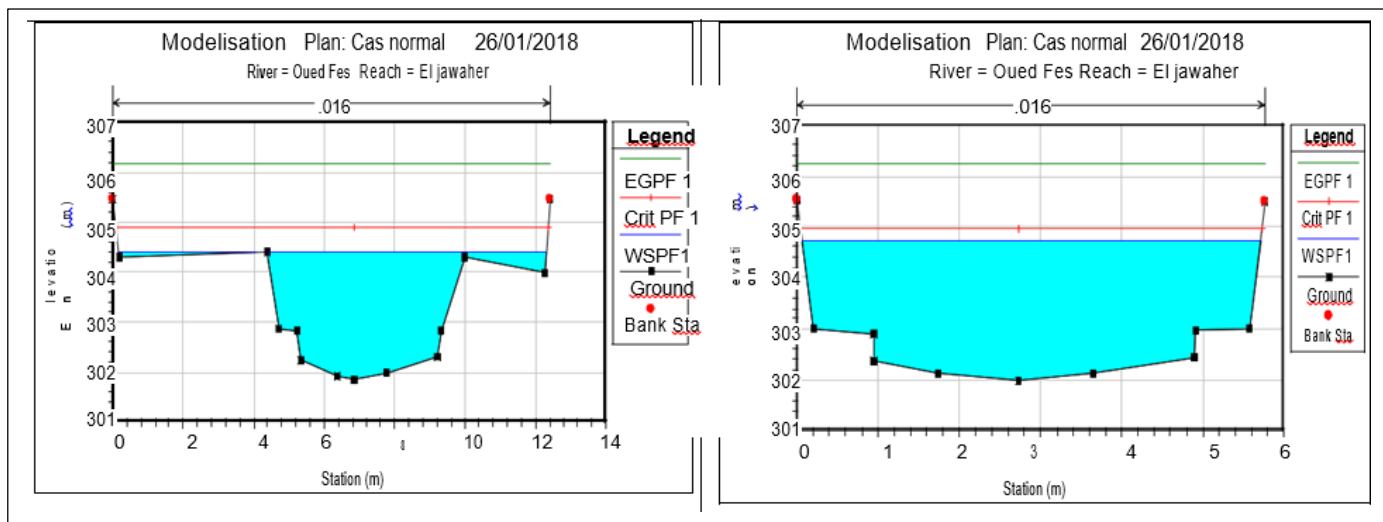
SECTION 21



SECTION 22



SECTION 23



## ANNEXE 2

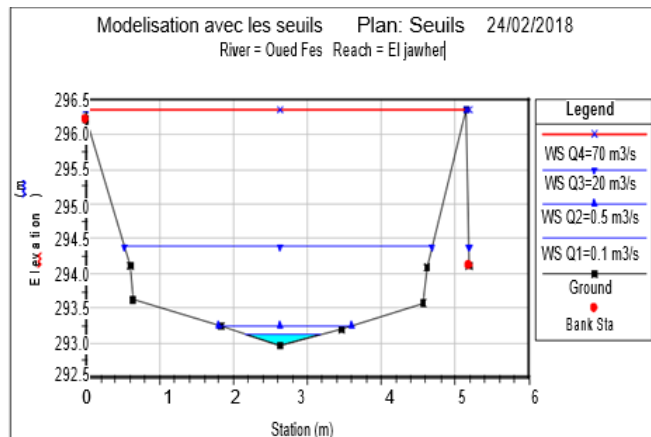
Résultats des simulations hydrauliques de l'oued Fès (El jawaher) ; SITUATION ACTUELLE Q=70 m3/s

| <i>N° de profil</i> | <i>Débit (m3/s)</i> | <i>Cote min du profil (m)</i> | <i>Niveau d'eau (m)</i> | <i>Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)</i> | <i>Surface mouillée (m2)</i> |
|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| 31                  | 70                  | 302.26                        | 305.58                  | 4.25                                      | 16.47                        |
| 30                  | 70                  | 302.26                        | 305.62                  | 4.04                                      | 17.33                        |
| 29                  | 70                  | 302.17                        | 305.73                  | 3.6                                       | 19.42                        |
| 28                  | 70                  | 302.12                        | 305.05                  | 4.99                                      | 14.04                        |
| 27                  | 70                  | 301.98                        | 304.73                  | 5.42                                      | 12.92                        |
| 26                  | 70                  | 301.85                        | 304.39                  | 5.86                                      | 11.95                        |
| 25                  | 70                  | 301.71                        | 305.52                  | 2.53                                      | 27.67                        |
| 24                  | 70                  | 301.49                        | 305.39                  | 2.92                                      | 23.98                        |
| 23                  | 70                  | 301.41                        | 304.46                  | 4.97                                      | 14.08                        |
| 22                  | 70                  | 301.23                        | 303.88                  | 5.84                                      | 11.99                        |
| 21                  | 70                  | 301.15                        | 303.79                  | 5.92                                      | 11.82                        |
| 20                  | 70                  | 301.06                        | 304.17                  | 4.68                                      | 14.96                        |
| 19                  | 70                  | 300.97                        | 303.7                   | 5.41                                      | 12.93                        |
| 18                  | 70                  | 300.88                        | 303.56                  | 5.53                                      | 12.66                        |
| 17                  | 70                  | 300.83                        | 303.75                  | 4.76                                      | 14.72                        |
| 16                  | 70                  | 300.63                        | 303.28                  | 5.43                                      | 12.9                         |
| 15                  | 70                  | 300.57                        | 303.18                  | 5.42                                      | 12.92                        |
| 14                  | 70                  | 300.44                        | 304.09                  | 2.69                                      | 26.03                        |

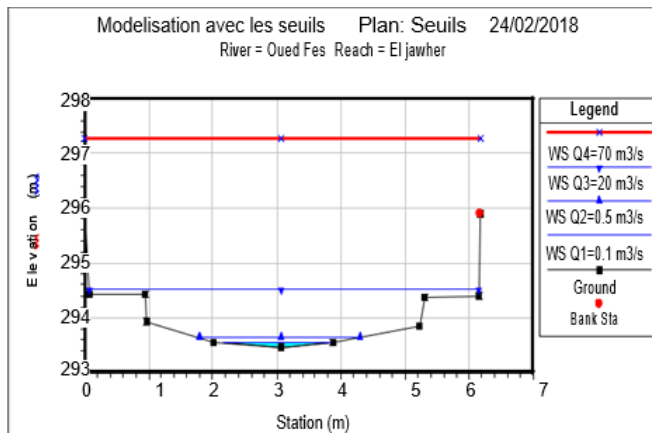
|    |    |        |        |       |       |
|----|----|--------|--------|-------|-------|
| 13 | 70 | 300.36 | 303.95 | 3.11  | 22.51 |
| 12 | 70 | 300.54 | 304.12 | 2.15  | 32.61 |
| 11 | 70 | 300.6  | 303.35 | 4.26  | 16.42 |
| 10 | 70 | 300.43 | 303.07 | 4.75  | 14.73 |
| 9  | 70 | 299.97 | 301.97 | 6.41  | 10.92 |
| 8  | 70 | 298.11 | 299.31 | 9.2   | 7.61  |
| 7  | 70 | 295.8  | 297.78 | 10.23 | 6.84  |
| 6  | 70 | 295.03 | 296.41 | 11.17 | 6.27  |
| 5  | 70 | 293.95 | 299.04 | 1.48  | 47.29 |
| 4  | 70 | 293.56 | 298.22 | 4.09  | 17.11 |
| 3  | 70 | 293.93 | 297.79 | 1.45  | 48.19 |
| 2  | 70 | 293.46 | 297.27 | 3.34  | 20.94 |
| 1  | 70 | 292.96 | 296.37 | 5.1   | 13.72 |

## ANNEXE 3

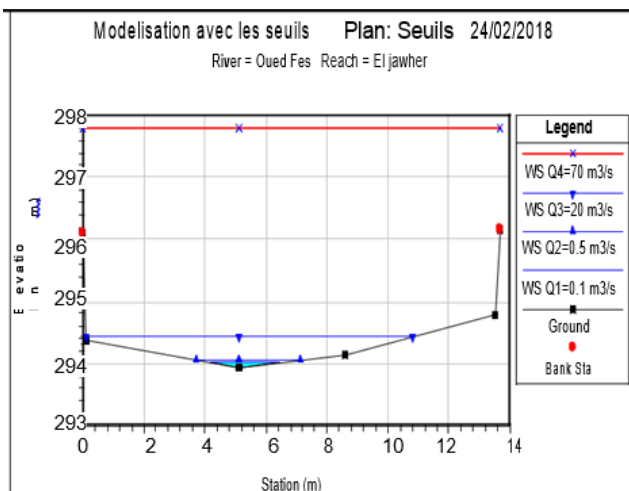
### Résultats de modélisation de l'état aménagé:



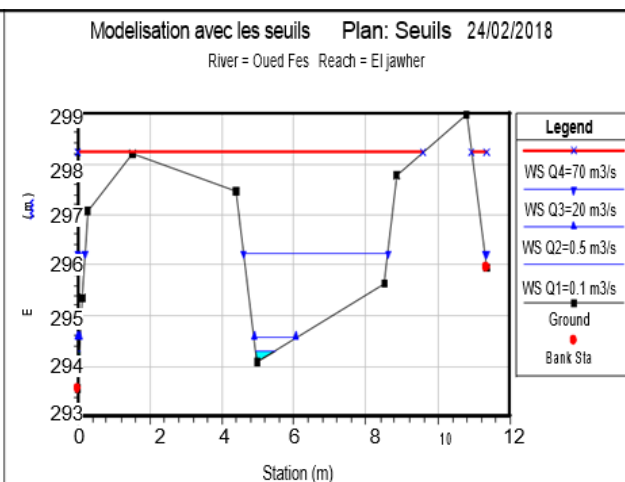
SECTION 01



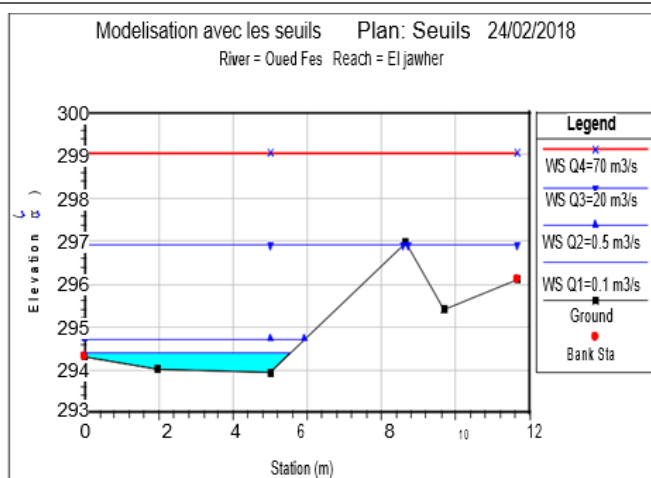
SECTION 02



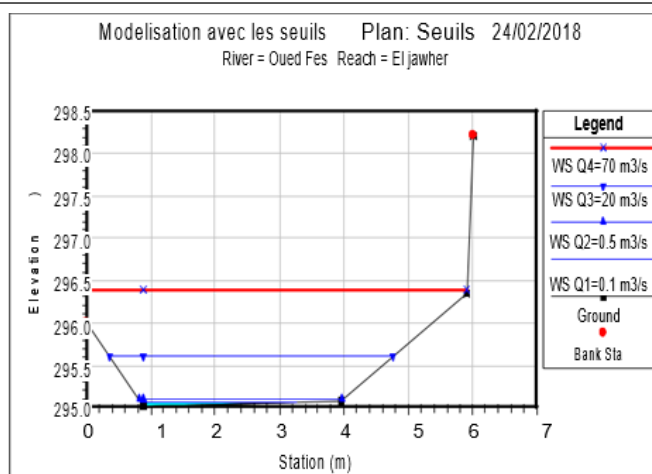
SECTION 03



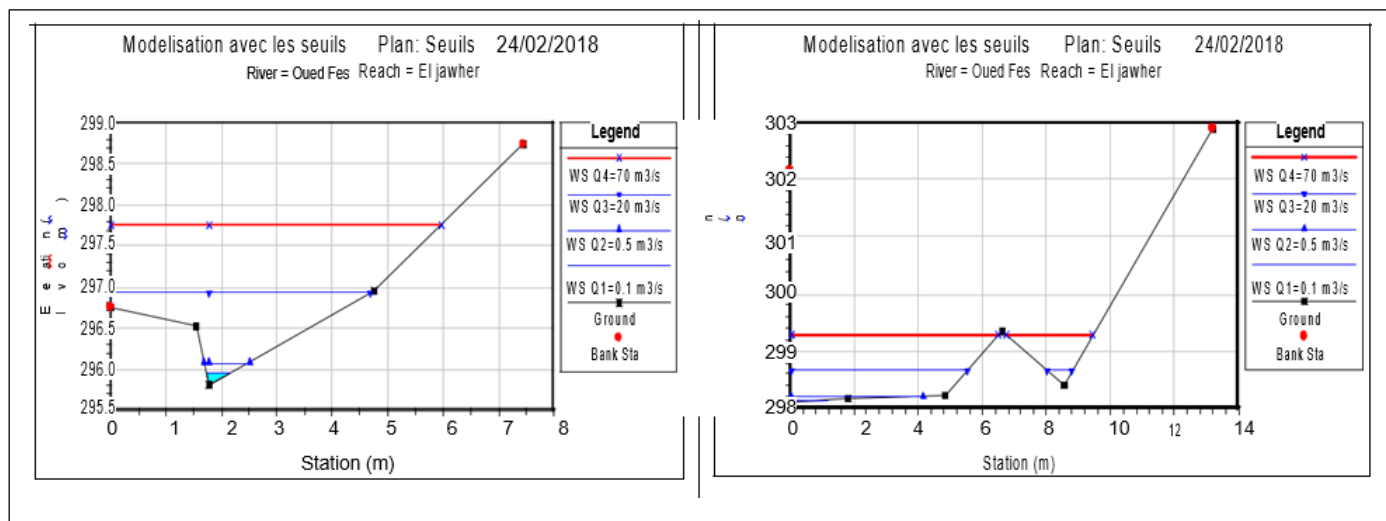
SECTION 04



SECTION 05

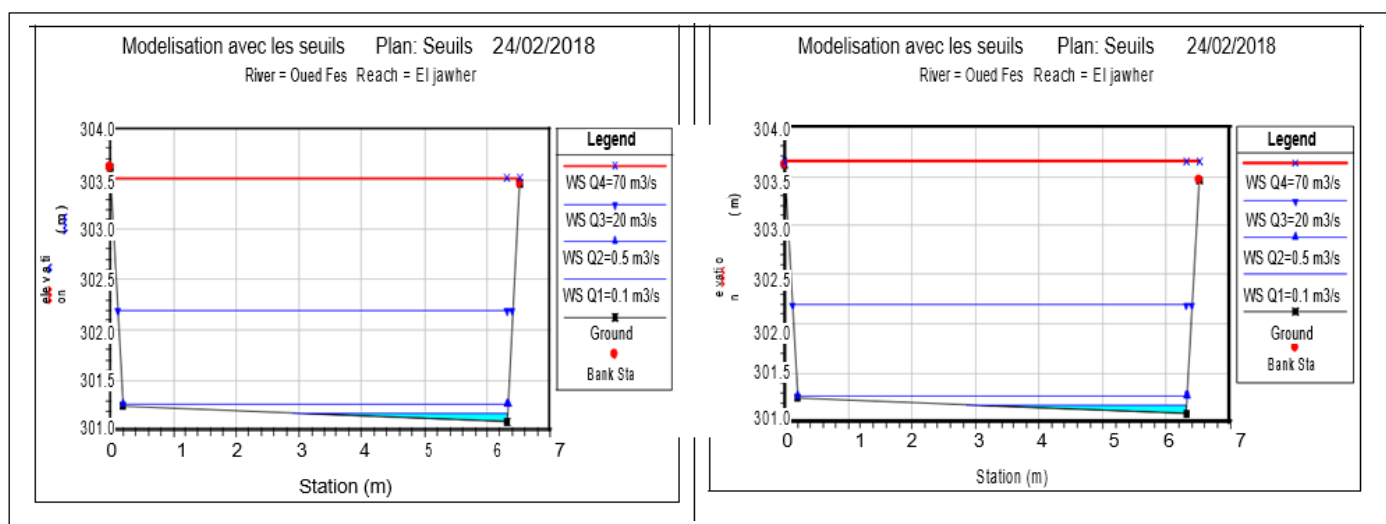


SECTION 06



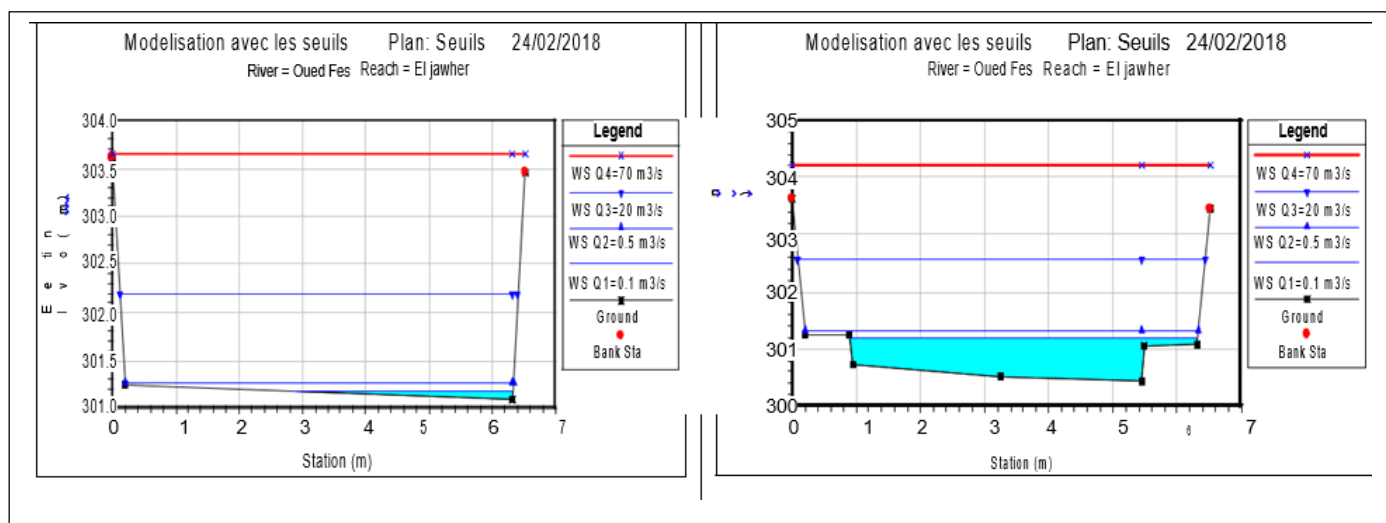
SECTION 07

SECTION 08



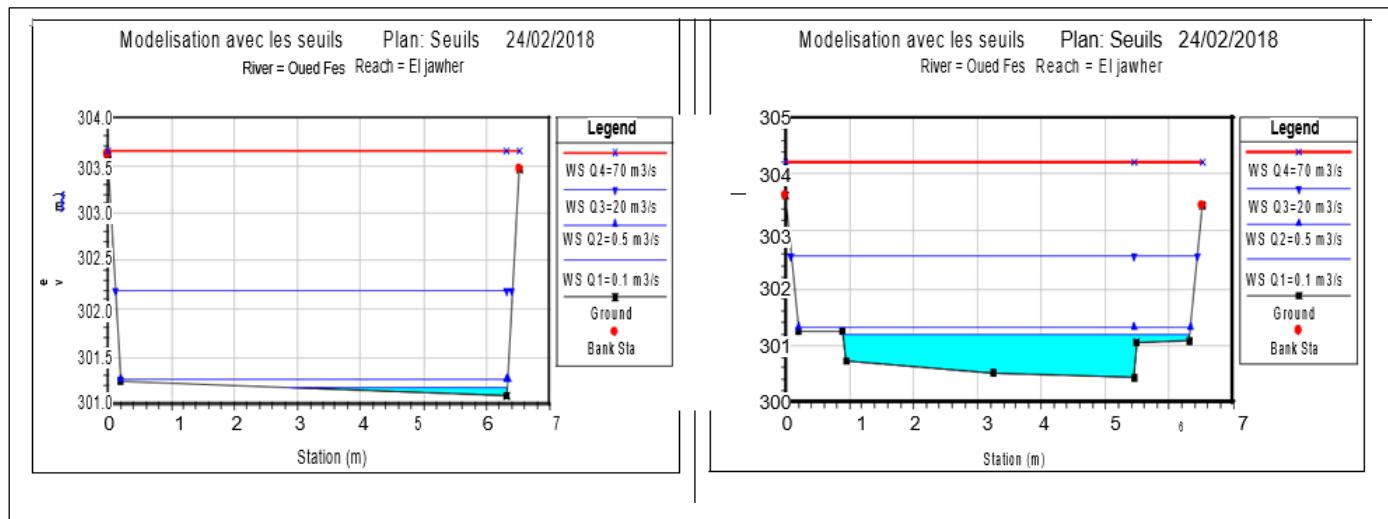
SECTION 09

SECTION 10



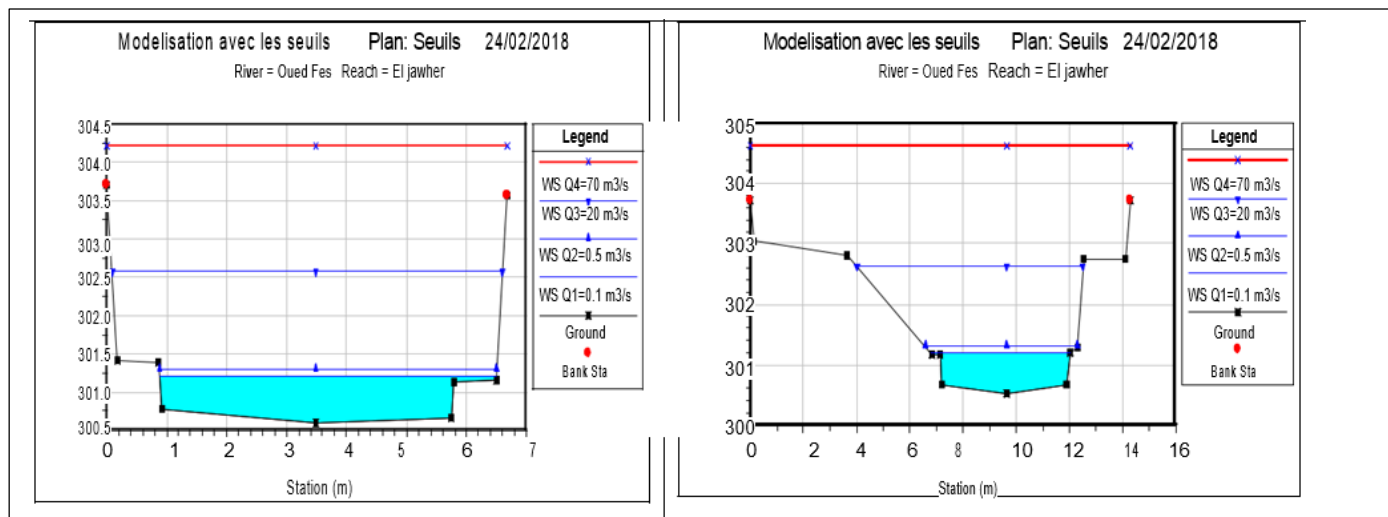
SECTION 11

SECTION 12



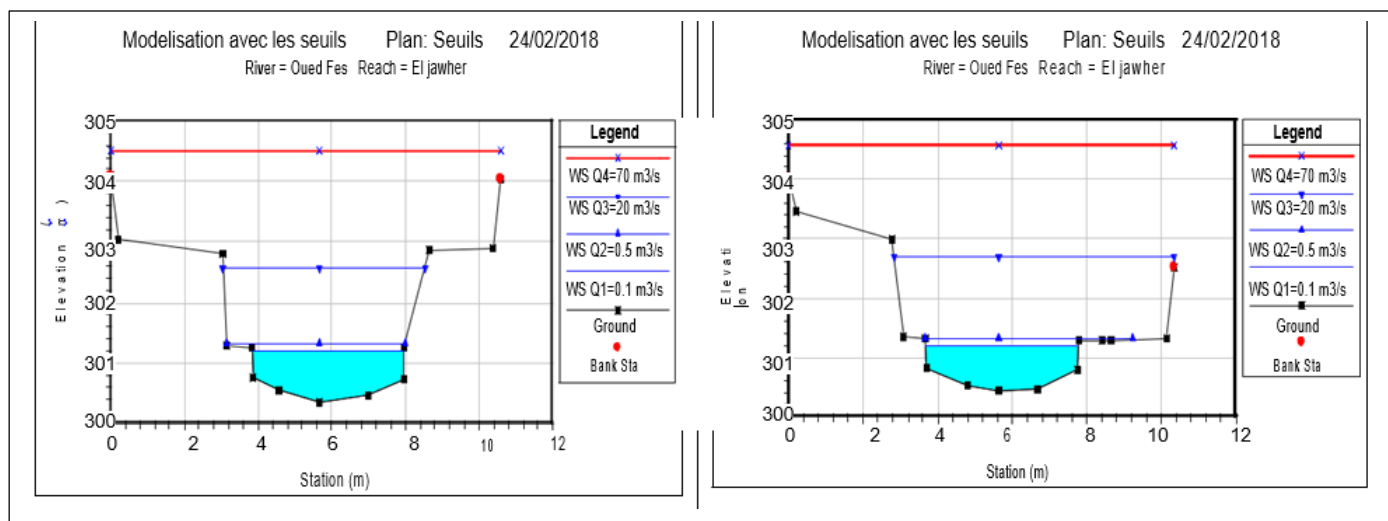
SECTION 13

SECTION 14



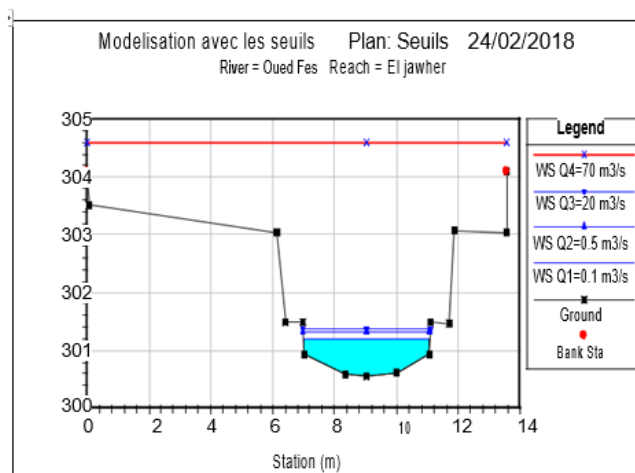
SECTION 15

SECTION 16

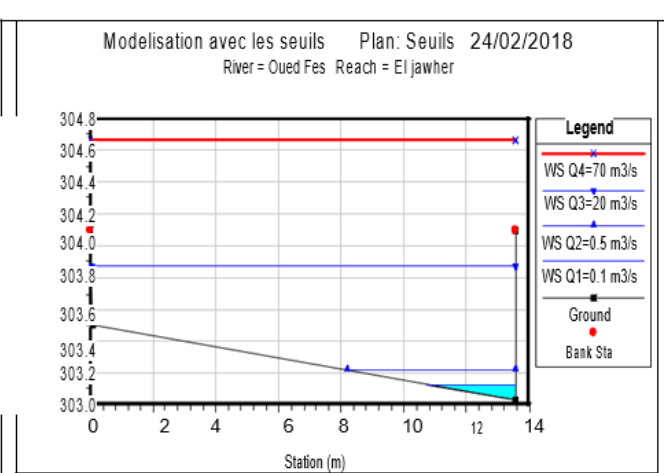


SECTION 17

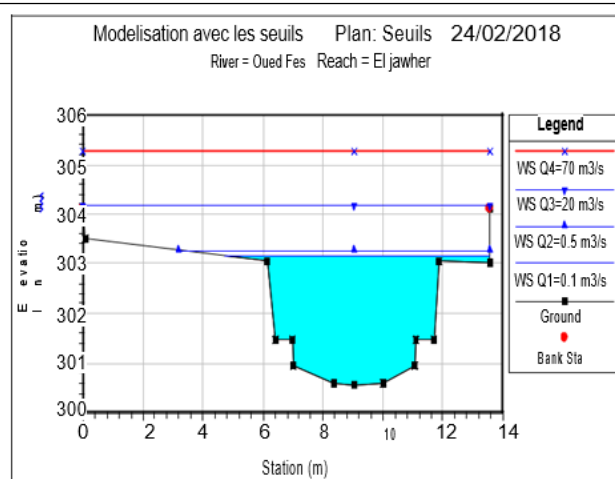
SECTION 18



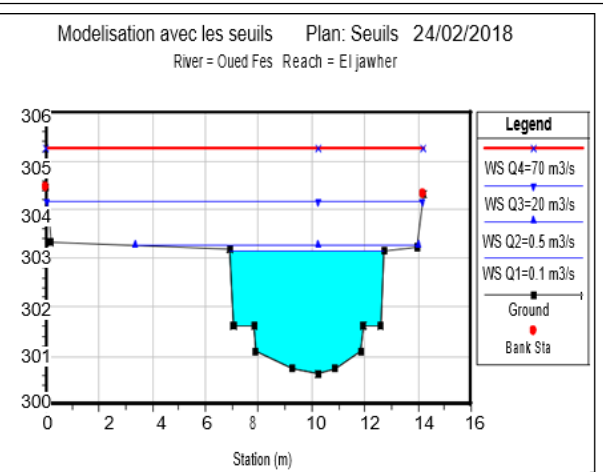
SECTION 19



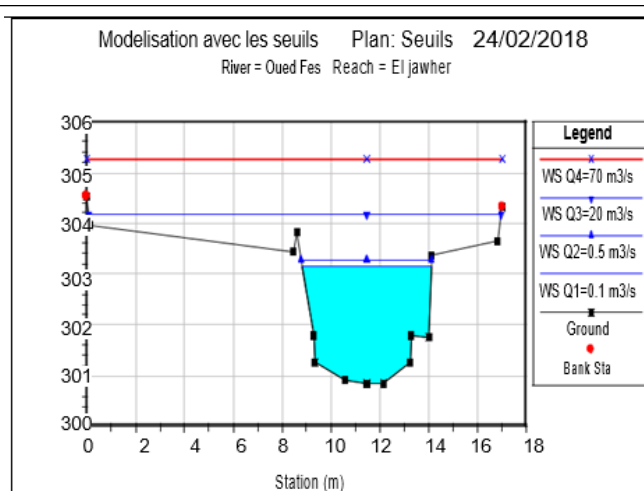
SECTION 20



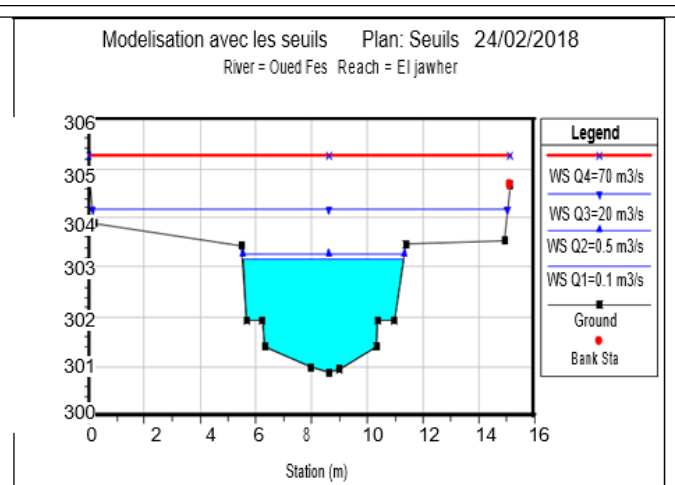
SECTION 21



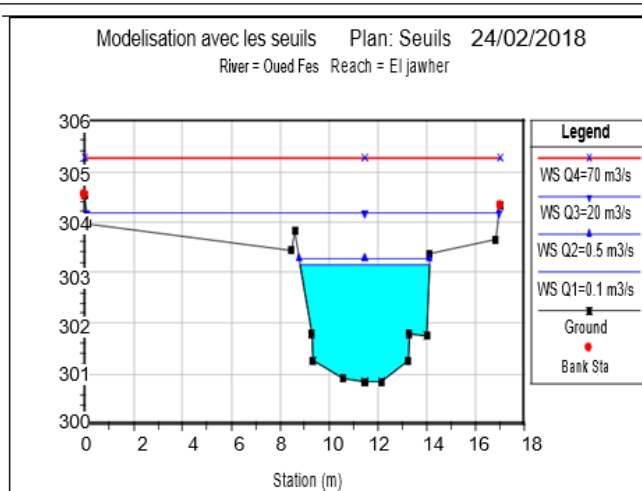
SECTION 22



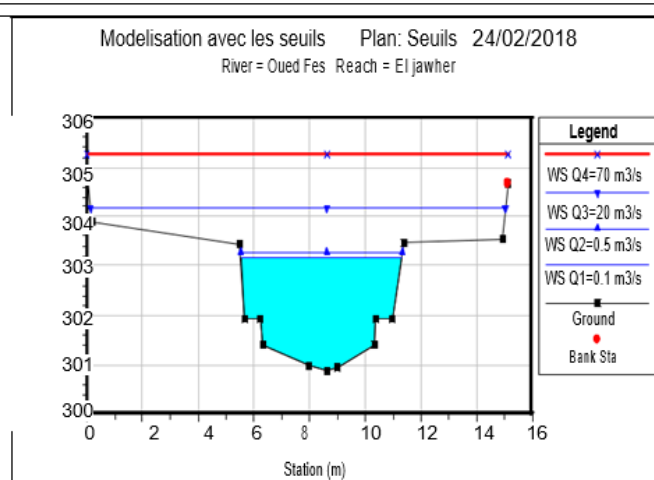
SECTION 23



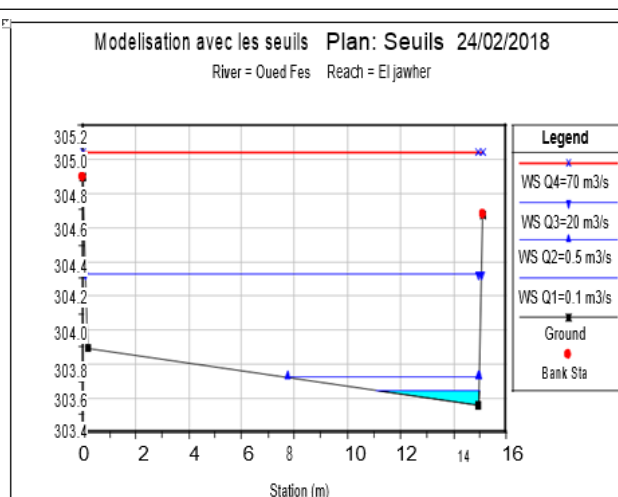
SECTION 24



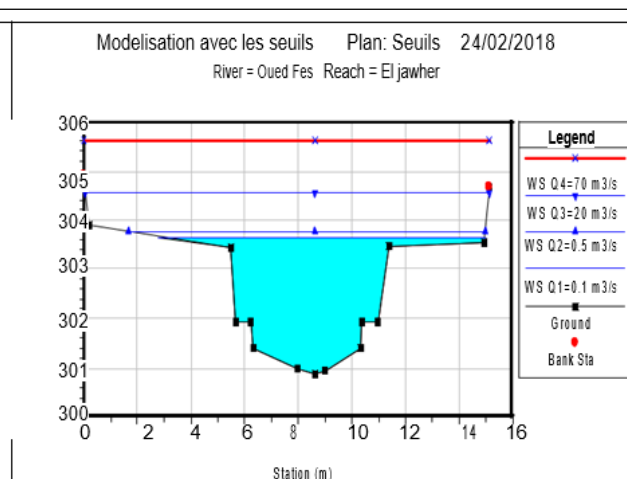
SECTION 25



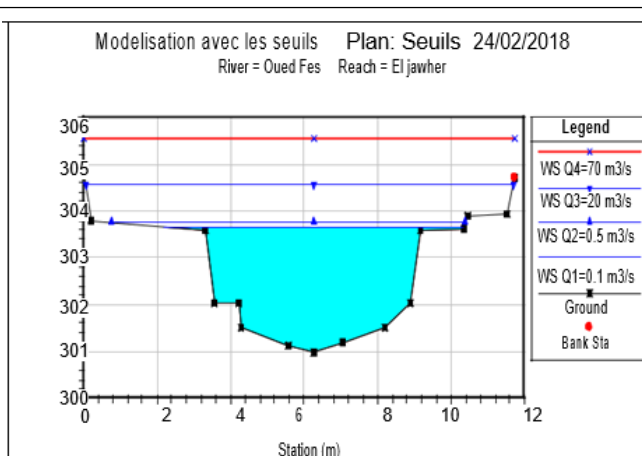
SECTION 26



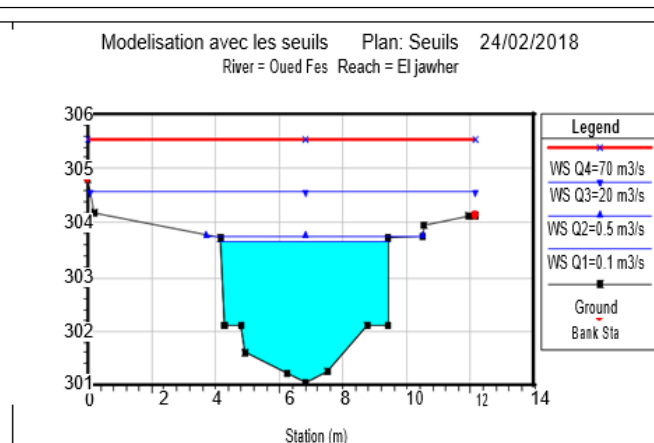
SECTION 27



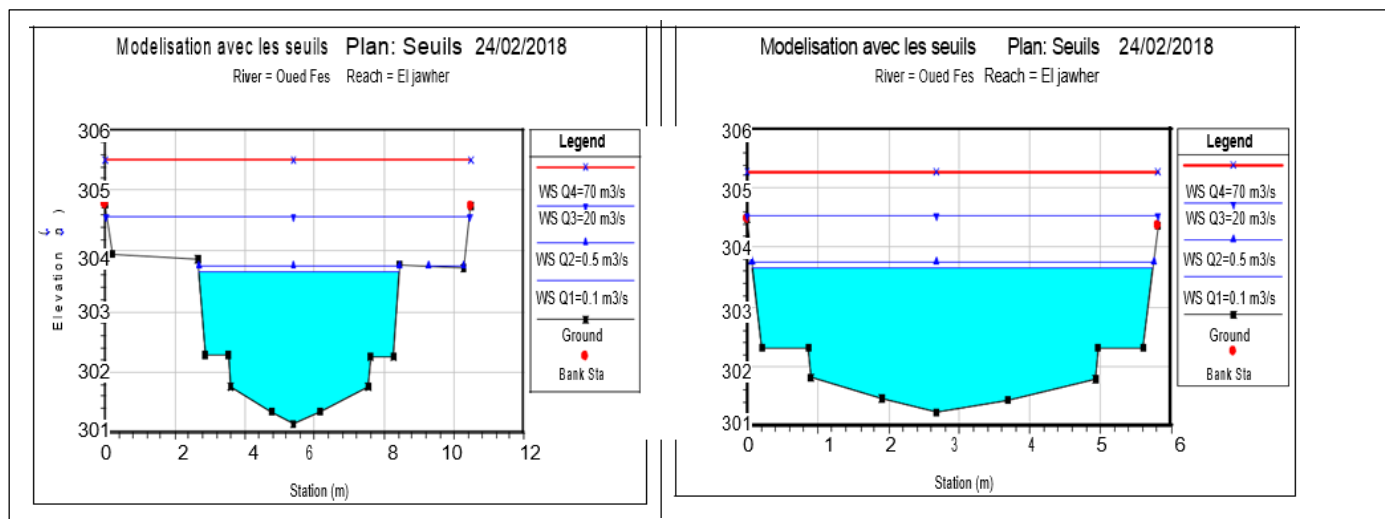
SECTION 28



SECTION 29

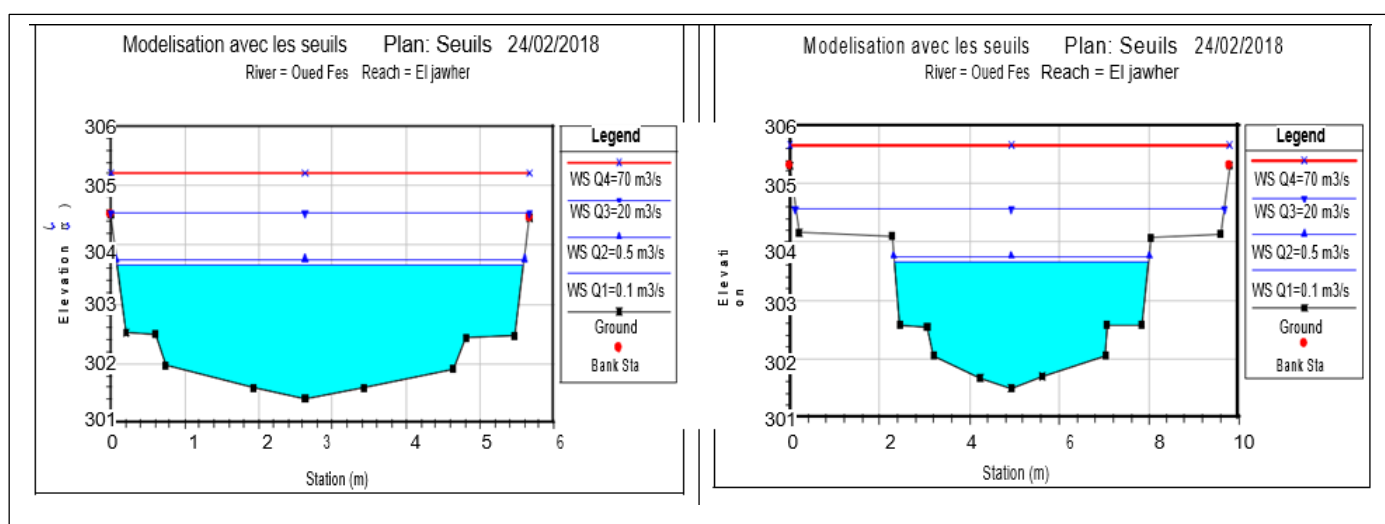


SECTION 30



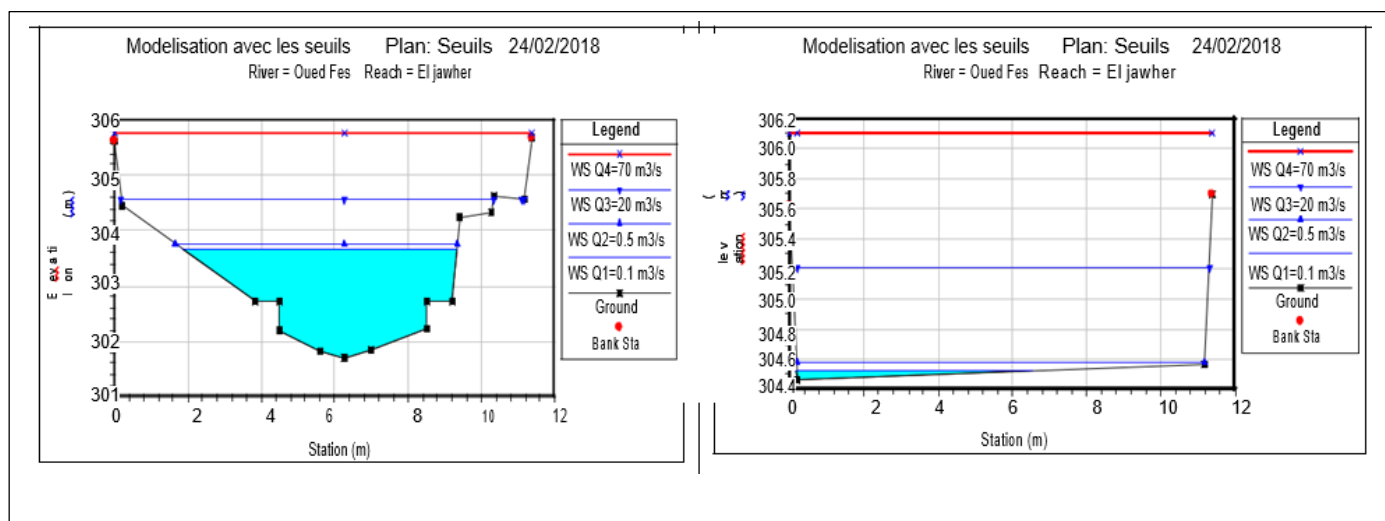
SECTION 31

SECTION 32



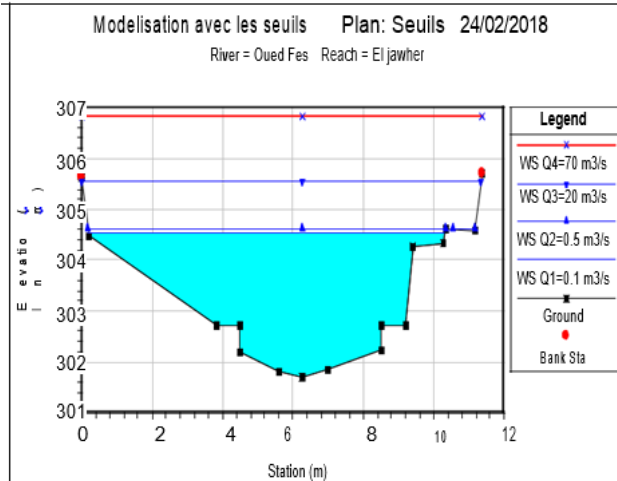
SECTION 33

SECTION 34

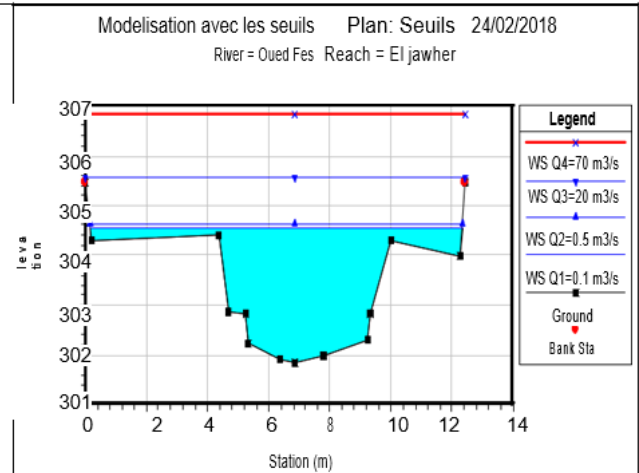


SECTION 35

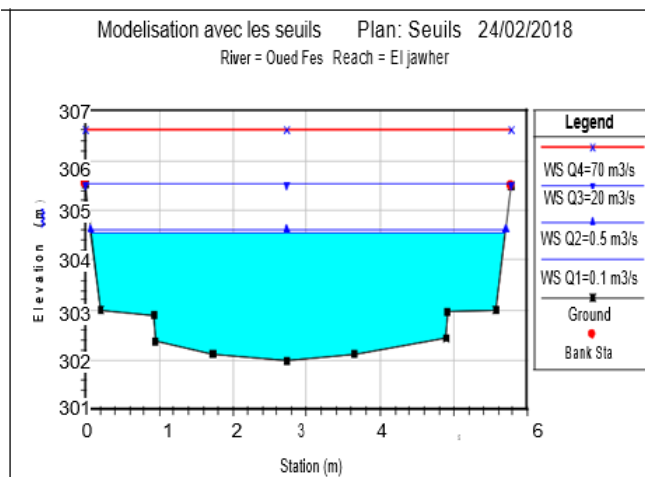
SECTION 36



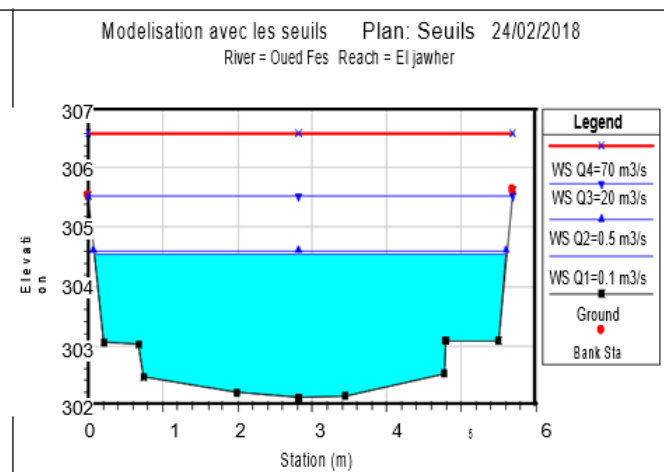
SECTION 37



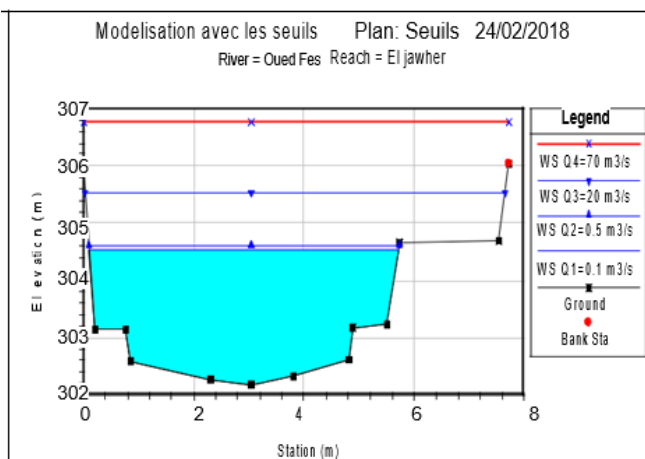
SECTION 38



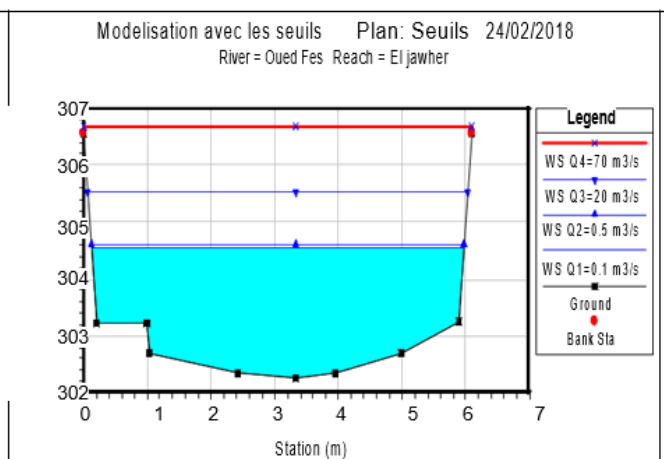
SECTION 39



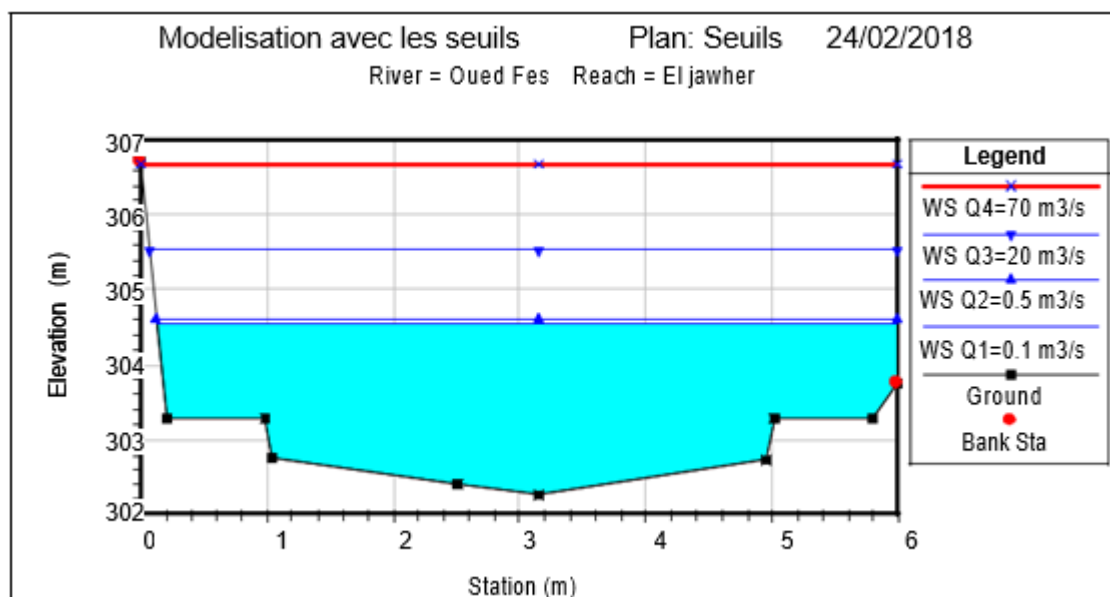
SECTION 40



SECTION 41



SECTION 42



SECTION 43

## ANNEXE 4

### Résultats des simulations hydrauliques de l'oued El jawaher ; SITUATION AMENAGER :

| <i>N° de profil</i> | <i>Débit (m3/s)</i> | <i>Cote min du canal (m)</i> | <i>Niveau d'eau (m)</i> | <i>Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)</i> | <i>Surface mouillée (m2)</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| 31                  | Q 1=0.1 m3/s        | 302.26                       | 304.54                  | 0.01                                      | 10.31                        |
| 31                  | Q 2= 0.5 m3/s       | 302.26                       | 304.61                  | 0.05                                      | 10.72                        |
| 31                  | Q 3= 20 m3/s        | 302.26                       | 305.53                  | 1.24                                      | 16.18                        |
| 31                  | Q 4= 70 m3/s        | 302.26                       | 306.68                  | 3.04                                      | 23.01                        |
|                     |                     |                              |                         |                                           |                              |
| 30                  | Q 1=0.1 m3/s        | 302.26                       | 304.54                  | 0.01                                      | 10.92                        |
| 30                  | Q 2= 0.5 m3/s       | 302.26                       | 304.61                  | 0.04                                      | 11.33                        |
| 30                  | Q 3= 20 m3/s        | 302.26                       | 305.54                  | 1.19                                      | 16.81                        |
| 30                  | Q 4= 70 m3/s        | 302.26                       | 306.69                  | 2.94                                      | 23.79                        |
|                     |                     |                              |                         |                                           |                              |
| 29                  | Q 1=0.1 m3/s        | 302.17                       | 304.54                  | 0.01                                      | 10.69                        |
| 29                  | Q 2= 0.5 m3/s       | 302.17                       | 304.61                  | 0.05                                      | 11.08                        |
| 29                  | Q 3= 20 m3/s        | 302.17                       | 305.54                  | 1.11                                      | 17.98                        |
| 29                  | Q 4= 70 m3/s        | 302.17                       | 306.76                  | 2.55                                      | 27.4                         |
|                     |                     |                              |                         |                                           |                              |
| 28                  | Q 1=0.1 m3/s        | 302.12                       | 304.54                  | 0.01                                      | 11.2                         |
| 28                  | Q 2= 0.5 m3/s       | 302.12                       | 304.61                  | 0.04                                      | 11.58                        |
| 28                  | Q 3= 20 m3/s        | 302.12                       | 305.53                  | 1.19                                      | 16.75                        |
| 28                  | Q 4= 70 m3/s        | 302.12                       | 306.6                   | 3.07                                      | 22.82                        |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
|      |               |        |        |      |       |
| 27   | Q 1=0.1 m3/s  | 301.98 | 304.54 | 0.01 | 11.82 |
| 27   | Q 2= 0.5 m3/s | 301.98 | 304.61 | 0.04 | 12.21 |
| 27   | Q 3= 20 m3/s  | 301.98 | 305.53 | 1.14 | 17.47 |
| 27   | Q 4= 70 m3/s  | 301.98 | 306.6  | 2.96 | 23.67 |
|      |               |        |        |      |       |
| 26   | Q 1=0.1 m3/s  | 301.85 | 304.54 | 0.01 | 13.69 |
| 26   | Q 2= 0.5 m3/s | 301.85 | 304.61 | 0.03 | 14.54 |
| 26   | Q 3= 20 m3/s  | 301.85 | 305.56 | 0.76 | 26.22 |
| 26   | Q 4= 70 m3/s  | 301.85 | 306.81 | 1.67 | 41.82 |
|      |               |        |        |      |       |
| 25.4 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.71 | 304.54 | 0.01 | 16.76 |
| 25.4 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.71 | 304.61 | 0.03 | 17.48 |
| 25.4 | Q 3= 20 m3/s  | 301.71 | 305.56 | 0.71 | 28.1  |
| 25.4 | Q 4= 70 m3/s  | 301.71 | 306.81 | 1.65 | 42.38 |
|      |               |        |        |      |       |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
| 25.3 | Q 1=0.1 m3/s  | 304.46 | 304.52 | 0.48 | 0.21  |
| 25.3 | Q 2= 0.5 m3/s | 304.46 | 304.58 | 0.74 | 0.67  |
| 25.3 | Q 3= 20 m3/s  | 304.46 | 305.24 | 2.48 | 8.07  |
| 25.3 | Q 4= 70 m3/s  | 304.46 | 306.11 | 3.92 | 17.88 |
|      |               |        |        |      |       |
| 25.2 | Q 1=0.1 m3/s  | 304.46 | 304.52 | 0.49 | 0.2   |
| 25.2 | Q 2= 0.5 m3/s | 304.46 | 304.58 | 0.75 | 0.66  |
| 25.2 | Q 3= 20 m3/s  | 304.46 | 305.24 | 2.48 | 8.06  |
| 25.2 | Q 4= 70 m3/s  | 304.46 | 306.11 | 3.92 | 17.87 |
|      |               |        |        |      |       |
| 25.1 | Q 1=0.1 m3/s  | 304.46 | 304.52 | 0.49 | 0.2   |
| 25.1 | Q 2= 0.5 m3/s | 304.46 | 304.57 | 0.76 | 0.66  |
| 25.1 | Q 3= 20 m3/s  | 304.46 | 305.21 | 2.61 | 7.67  |
| 25.1 | Q 4= 70 m3/s  | 304.46 | 306.11 | 3.92 | 17.87 |
|      |               |        |        |      |       |
| 25   | Q 1=0.1 m3/s  | 301.71 | 303.67 | 0.01 | 9.21  |
| 25   | Q 2= 0.5 m3/s | 301.71 | 303.76 | 0.05 | 9.94  |
| 25   | Q 3= 20 m3/s  | 301.71 | 304.57 | 1.17 | 17.14 |
| 25   | Q 4= 70 m3/s  | 301.71 | 305.75 | 2.31 | 30.35 |
|      |               |        |        |      |       |
| 24   | Q 1=0.1 m3/s  | 301.49 | 303.67 | 0.01 | 9.18  |
| 24   | Q 2= 0.5 m3/s | 301.49 | 303.76 | 0.05 | 9.72  |
| 24   | Q 3= 20 m3/s  | 301.49 | 304.56 | 1.25 | 15.97 |

|    |               |        |        |      |       |
|----|---------------|--------|--------|------|-------|
| 24 | Q 4= 70 m3/s  | 301.49 | 305.65 | 2.63 | 26.61 |
|    |               |        |        |      |       |
| 23 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.41 | 303.67 | 0.01 | 9.66  |
| 23 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.41 | 303.76 | 0.05 | 10.19 |
| 23 | Q 3= 20 m3/s  | 301.41 | 304.54 | 1.38 | 14.53 |
| 23 | Q 4= 70 m3/s  | 301.41 | 305.22 | 3.81 | 18.39 |
|    |               |        |        |      |       |
| 22 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.23 | 303.67 | 0.01 | 10.77 |
| 22 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.23 | 303.76 | 0.04 | 11.32 |
| 22 | Q 3= 20 m3/s  | 301.23 | 304.55 | 1.26 | 15.83 |
| 22 | Q 4= 70 m3/s  | 301.23 | 305.28 | 3.48 | 20.12 |
|    |               |        |        |      |       |
| 21 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.15 | 303.67 | 0.01 | 11.07 |
| 21 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.15 | 303.76 | 0.04 | 11.64 |
| 21 | Q 3= 20 m3/s  | 301.15 | 304.56 | 1.03 | 19.45 |
| 21 | Q 4= 70 m3/s  | 301.15 | 305.51 | 2.39 | 29.33 |
|    |               |        |        |      |       |
| 20 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.06 | 303.67 | 0.01 | 10.79 |
| 20 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.06 | 303.76 | 0.04 | 11.33 |
| 20 | Q 3= 20 m3/s  | 301.06 | 304.56 | 1.02 | 19.7  |
| 20 | Q 4= 70 m3/s  | 301.06 | 305.52 | 2.23 | 31.35 |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
|      |               |        |        |      |       |
| 19   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.97 | 303.67 | 0.01 | 12.66 |
| 19   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.97 | 303.76 | 0.04 | 13.52 |
| 19   | Q 3= 20 m3/s  | 300.97 | 304.57 | 0.89 | 22.57 |
| 19   | Q 4= 70 m3/s  | 300.97 | 305.55 | 2.06 | 34.01 |
|      |               |        |        |      |       |
| 18.4 | Q 1=0.1 m3/s  | 300.88 | 303.67 | 0.01 | 13.93 |
| 18.4 | Q 2= 0.5 m3/s | 300.88 | 303.76 | 0.03 | 15.15 |
| 18.4 | Q 3= 20 m3/s  | 300.88 | 304.58 | 0.74 | 27.2  |
| 18.4 | Q 4= 70 m3/s  | 300.88 | 305.6  | 1.64 | 42.63 |
|      |               |        |        |      |       |
| 18.3 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.56 | 303.65 | 0.59 | 0.17  |
| 18.3 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.56 | 303.72 | 0.86 | 0.58  |
| 18.3 | Q 3= 20 m3/s  | 303.56 | 304.33 | 2.23 | 8.95  |
| 18.3 | Q 4= 70 m3/s  | 303.56 | 305.04 | 3.56 | 19.66 |
|      |               |        |        |      |       |
| 18.2 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.56 | 303.65 | 0.6  | 0.17  |
| 18.2 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.56 | 303.72 | 0.87 | 0.58  |
| 18.2 | Q 3= 20 m3/s  | 303.56 | 304.33 | 2.24 | 8.94  |
| 18.2 | Q 4= 70 m3/s  | 303.56 | 305.04 | 3.56 | 19.65 |
|      |               |        |        |      |       |
| 18.1 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.56 | 303.64 | 0.67 | 0.15  |
| 18.1 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.56 | 303.72 | 0.89 | 0.56  |
| 18.1 | Q 3= 20 m3/s  | 303.56 | 304.29 | 2.37 | 8.42  |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
| 18.1 | Q 4= 70 m3/s  | 303.56 | 305.04 | 3.56 | 19.65 |
|      |               |        |        |      |       |
| 18   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.88 | 303.16 | 0.01 | 10.07 |
| 18   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.88 | 303.27 | 0.05 | 10.74 |
| 18   | Q 3= 20 m3/s  | 300.88 | 304.17 | 0.95 | 21.13 |
| 18   | Q 4= 70 m3/s  | 300.88 | 305.26 | 1.86 | 37.54 |
|      |               |        |        |      |       |
| 17   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.83 | 303.16 | 0.01 | 10.04 |
| 17   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.83 | 303.27 | 0.05 | 10.66 |
| 17   | Q 3= 20 m3/s  | 300.83 | 304.17 | 0.94 | 21.31 |
| 17   | Q 4= 70 m3/s  | 300.83 | 305.27 | 1.75 | 40.02 |
|      |               |        |        |      |       |
| 16   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.63 | 303.16 | 0.01 | 11.94 |
| 16   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.63 | 303.27 | 0.04 | 12.86 |
| 16   | Q 3= 20 m3/s  | 300.63 | 304.18 | 0.79 | 25.33 |
| 16   | Q 4= 70 m3/s  | 300.63 | 305.27 | 1.71 | 40.87 |
|      |               |        |        |      |       |
| 15.4 | Q 1=0.1 m3/s  | 300.57 | 303.16 | 0.01 | 12.72 |
| 15.4 | Q 2= 0.5 m3/s | 300.57 | 303.27 | 0.04 | 13.84 |
| 15.4 | Q 3= 20 m3/s  | 300.57 | 304.18 | 0.78 | 25.67 |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
| 15.4 | Q 4= 70 m3/s  | 300.57 | 305.26 | 1.73 | 40.44 |
|      |               |        |        |      |       |
| 15.3 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.03 | 303.13 | 0.68 | 0.15  |
| 15.3 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.03 | 303.22 | 0.95 | 0.53  |
| 15.3 | Q 3= 20 m3/s  | 303.03 | 303.91 | 2.31 | 8.64  |
| 15.3 | Q 4= 70 m3/s  | 303.03 | 304.7  | 3.62 | 19.35 |
|      |               |        |        |      |       |
| 15.2 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.03 | 303.13 | 0.69 | 0.15  |
| 15.2 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.03 | 303.22 | 0.95 | 0.53  |
| 15.2 | Q 3= 20 m3/s  | 303.03 | 303.91 | 2.32 | 8.64  |
| 15.2 | Q 4= 70 m3/s  | 303.03 | 304.7  | 3.62 | 19.34 |
|      |               |        |        |      |       |
| 15.1 | Q 1=0.1 m3/s  | 303.03 | 303.13 | 0.7  | 0.14  |
| 15.1 | Q 2= 0.5 m3/s | 303.03 | 303.22 | 0.98 | 0.51  |
| 15.1 | Q 3= 20 m3/s  | 303.03 | 303.87 | 2.46 | 8.14  |
| 15.1 | Q 4= 70 m3/s  | 303.03 | 304.66 | 3.71 | 18.86 |
|      |               |        |        |      |       |
| 15   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.57 | 301.2  | 0.05 | 2.06  |
| 15   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.57 | 301.31 | 0.2  | 2.48  |
| 15   | Q 3= 20 m3/s  | 300.57 | 301.39 | 7.1  | 2.82  |
| 15   | Q 4= 70 m3/s  | 300.57 | 304.58 | 2.25 | 31.14 |
|      |               |        |        |      |       |
| 14   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.44 | 301.2  | 0.04 | 2.58  |
| 14   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.44 | 301.31 | 0.17 | 3.01  |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
| 14   | Q 3= 20 m3/s  | 300.44 | 302.68 | 1.54 | 13    |
| 14   | Q 4= 70 m3/s  | 300.44 | 304.57 | 2.26 | 30.94 |
|      |               |        |        |      |       |
| 13   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.36 | 301.2  | 0.04 | 2.85  |
| 13   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.36 | 301.31 | 0.15 | 3.3   |
| 13   | Q 3= 20 m3/s  | 300.36 | 302.57 | 2.03 | 9.83  |
| 13   | Q 4= 70 m3/s  | 300.36 | 304.51 | 2.46 | 28.45 |
|      |               |        |        |      |       |
| 12   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.54 | 301.2  | 0.04 | 2.85  |
| 12   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.54 | 301.31 | 0.15 | 3.41  |
| 12   | Q 3= 20 m3/s  | 300.54 | 302.63 | 1.56 | 12.82 |
| 12   | Q 4= 70 m3/s  | 300.54 | 304.61 | 1.77 | 39.65 |
|      |               |        |        |      |       |
| 11   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.6  | 301.2  | 0.04 | 2.68  |
| 11   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.6  | 301.31 | 0.15 | 3.25  |
| 11   | Q 3= 20 m3/s  | 300.6  | 302.59 | 1.76 | 11.39 |
| 11   | Q 4= 70 m3/s  | 300.6  | 304.23 | 3.14 | 22.27 |
|      |               |        |        |      |       |
| 10.4 | Q 1=0.1 m3/s  | 300.43 | 301.2  | 0.03 | 3.05  |
| 10.4 | Q 2= 0.5 m3/s | 300.43 | 301.31 | 0.14 | 3.64  |

|      |               |        |        |      |       |
|------|---------------|--------|--------|------|-------|
| 10.4 | Q 3= 20 m3/s  | 300.43 | 302.58 | 1.72 | 11.62 |
| 10.4 | Q 4= 70 m3/s  | 300.43 | 304.21 | 3.17 | 22.1  |
|      |               |        |        |      |       |
| 10.3 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.09 | 301.18 | 0.63 | 0.16  |
| 10.3 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.09 | 301.26 | 0.91 | 0.55  |
| 10.3 | Q 3= 20 m3/s  | 301.09 | 302.2  | 3.14 | 6.37  |
| 10.3 | Q 4= 70 m3/s  | 301.09 | 303.65 | 4.47 | 15.65 |
|      |               |        |        |      |       |
| 10.2 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.09 | 301.18 | 0.64 | 0.16  |
| 10.2 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.09 | 301.26 | 0.92 | 0.54  |
| 10.2 | Q 3= 20 m3/s  | 301.09 | 302.2  | 3.14 | 6.36  |
| 10.2 | Q 4= 70 m3/s  | 301.09 | 303.65 | 4.47 | 15.65 |
|      |               |        |        |      |       |
| 10.1 | Q 1=0.1 m3/s  | 301.09 | 301.18 | 0.66 | 0.15  |
| 10.1 | Q 2= 0.5 m3/s | 301.09 | 301.26 | 0.92 | 0.54  |
| 10.1 | Q 3= 20 m3/s  | 301.09 | 302.19 | 3.15 | 6.35  |
| 10.1 | Q 4= 70 m3/s  | 301.09 | 303.51 | 4.74 | 14.76 |
|      |               |        |        |      |       |
| 10   | Q 1=0.1 m3/s  | 300.43 | 300.48 | 3.58 | 0.03  |
| 10   | Q 2= 0.5 m3/s | 300.43 | 300.55 | 3.68 | 0.14  |
| 10   | Q 3= 20 m3/s  | 300.43 | 301.37 | 4.96 | 4.03  |
| 10   | Q 4= 70 m3/s  | 300.43 | 302.48 | 6.4  | 10.94 |
|      |               |        |        |      |       |
| 9    | Q 1=0.1 m3/s  | 299.97 | 300.01 | 0.96 | 0.1   |

|   |               |        |        |      |      |
|---|---------------|--------|--------|------|------|
| 9 | Q 2= 0.5 m3/s | 299.97 | 300.04 | 1.99 | 0.25 |
| 9 | Q 3= 20 m3/s  | 299.97 | 300.74 | 5.7  | 3.51 |
| 9 | Q 4= 70 m3/s  | 299.97 | 301.78 | 7.16 | 9.78 |
|   |               |        |        |      |      |
| 8 | Q 1=0.1 m3/s  | 298.11 | 298.16 | 3.62 | 0.03 |
| 8 | Q 2= 0.5 m3/s | 298.11 | 298.21 | 3.59 | 0.14 |
| 8 | Q 3= 20 m3/s  | 298.11 | 298.66 | 7.83 | 2.56 |
| 8 | Q 4= 70 m3/s  | 298.11 | 299.28 | 9.54 | 7.34 |
|   |               |        |        |      |      |
| 7 | Q 1=0.1 m3/s  | 295.8  | 295.95 | 3.07 | 0.03 |
| 7 | Q 2= 0.5 m3/s | 295.8  | 296.08 | 4.32 | 0.12 |
| 7 | Q 3= 20 m3/s  | 295.8  | 296.93 | 8.88 | 2.25 |
| 7 | Q 4= 70 m3/s  | 295.8  | 297.75 | 10.5 | 6.67 |
|   |               |        |        |      |      |
| 6 | Q 1=0.1 m3/s  | 295.03 | 295.07 | 2.13 | 0.05 |
| 6 | Q 2= 0.5 m3/s | 295.03 | 295.09 | 4.02 | 0.12 |
| 6 | Q 3= 20 m3/s  | 295.03 | 295.61 | 9.67 | 2.07 |
| 6 | Q 4= 70 m3/s  | 295.03 | 296.38 | 11.4 | 6.14 |
|   |               |        |        |      |      |
| 5 | Q 1=0.1 m3/s  | 293.95 | 294.4  | 0.06 | 1.82 |

|   |               |        |        |      |       |
|---|---------------|--------|--------|------|-------|
| 5 | Q 2= 0.5 m3/s | 293.95 | 294.7  | 0.14 | 3.59  |
| 5 | Q 3= 20 m3/s  | 293.95 | 296.92 | 0.88 | 22.61 |
| 5 | Q 4= 70 m3/s  | 293.95 | 299.04 | 1.48 | 47.29 |
|   |               |        |        |      |       |
| 4 | Q 1=0.1 m3/s  | 293.56 | 294.32 | 1.19 | 0.08  |
| 4 | Q 2= 0.5 m3/s | 293.56 | 294.56 | 1.6  | 0.31  |
| 4 | Q 3= 20 m3/s  | 293.56 | 296.24 | 3.59 | 5.58  |
| 4 | Q 4= 70 m3/s  | 293.56 | 298.22 | 4.09 | 17.11 |
|   |               |        |        |      |       |
| 3 | Q 1=0.1 m3/s  | 293.93 | 294.01 | 1.07 | 0.09  |
| 3 | Q 2= 0.5 m3/s | 293.93 | 294.06 | 2.28 | 0.22  |
| 3 | Q 3= 20 m3/s  | 293.93 | 294.44 | 6.37 | 3.14  |
| 3 | Q 4= 70 m3/s  | 293.93 | 297.79 | 1.45 | 48.19 |
|   |               |        |        |      |       |
| 2 | Q 1=0.1 m3/s  | 293.46 | 293.55 | 1.26 | 0.08  |
| 2 | Q 2= 0.5 m3/s | 293.46 | 293.65 | 1.74 | 0.29  |
| 2 | Q 3= 20 m3/s  | 293.46 | 294.52 | 4.96 | 4.03  |
| 2 | Q 4= 70 m3/s  | 293.46 | 297.27 | 3.34 | 20.94 |
|   |               |        |        |      |       |
| 1 | Q 1=0.1 m3/s  | 292.96 | 293.12 | 1.2  | 0.08  |
| 1 | Q 2= 0.5 m3/s | 292.96 | 293.25 | 1.9  | 0.26  |
| 1 | Q 3= 20 m3/s  | 292.96 | 294.39 | 4.5  | 4.44  |
| 1 | Q 4= 70 m3/s  | 292.96 | 296.36 | 5.1  | 13.71 |

## ANNEXE 5

### PROPOSITIONS DU PNEEI (ORMVAG)

**Remarque :** La note suivante a été communiquée à l'Ingénieur Conseil par l'ORMAG en présence de l'AGR lors d'une réunion technique le 28/06/2007)

#### *Zone Irrigation Privée*

#### *Zone côtière*

*Pour la zone côtière (38 000 ha) qui présente des atouts en faveur de la reconversion tels que :*

- Une initiative privée très intéressante à canaliser et une dynamique locale très importante en matière d'aménagements d'irrigation localisée (bien que ne se faisant pas toujours dans les normes) et d'intensification culturale.*
- La totalité de la zone est alimentée par les eaux de la nappe, et les relevés piézométriques de l'ABH montrent un fort risque d'intrusion marine. D'où la nécessité d'étendre l'IL et de l'encadrer.*
- La nature sablonneuse des sols méliote aussi en faveur de l'irrigation localisée.*

*Cette zone comporte plus de 10 600 ha d'IL, mais les projets composant cette superficie ont, dans leur quasi-totalité, été réalisés sans l'aide financière de l'Etat et sans respecter les exigences techniques requises pour ce mode d'irrigation. Aussi, est-il proposé prévoir la reprise de ces projets et la conversion du reste de la zone. En conséquence, la totalité de la superficie de la zone est programmée au titre du PNEEI, soit **38 000 ha**.*

#### *Reste IP*

*Le reste de la zone irrigation privée (39330 ha) présente aussi des atouts en faveur de la reconversion. Au vu des structures foncières et des cultures pratiquées (45% de la superficie étant constituée par des exploitations de plus de 5 ha et près de 40% d'arboriculture et de maraîchages), il est proposé de retenir quelques 16 000 ha (45%) de reconversion individuelle dans cette zone.*

*Au vu de l'origine de l'eau utilisée pour l'irrigation de cette zone (45% nappe, 55 % oueds), il est proposé de diviser les 16 000 ha en :*

- **7 200 ha** sans bassins (45%) ;
- **8 800 ha** avec bassins de décantation étant donnée la charge en sédiments des oueds de la région du Gharb.

#### *Beht*

*Pour ce périmètre, dont la superficie totale est de 28 800 ha, les solutions suivantes sont proposées :*

- *Pour le Beht central, qui a été réhabilité entre 1986 et 1998, il est proposé des reconversions individuelles avec bassins à hauteur de 30% de la superficie du secteur, compte tenu des plantations existantes, soit **4 500 ha**. La solution de reconversion collective a été écartée pour ce secteur en raison de sa récente réhabilitation.*
- *Pour le Beht non réhabilité (Est et Ouest : **13 700 ha**), il est proposé de moderniser le réseau collectif des deux secteurs de façon à passer à un réseau sous pression convenant à l'irrigation localisée.*

#### *PTI*

*Il est rappelé qu'elle occupe un total de 38 100 ha.*

#### *Aspersión*

*Elle concerne le secteur P7 (2 600 ha, 1977). Ce secteur nécessite une modernisation de son réseau (station de pompage, matériel hydromécanique, bornes d'irrigation et équipement interne en IL). Ceci permettra de le convertir collectivement à l'IL, soit **2 600 ha**.*

#### *Gravitaire*

*Le gravitaire concerne une superficie totale de 35 500 ha (1973 - 77).*

- Les secteurs P8, S1, S3, S7A et S7D (**9 300 ha**), réalisés entre 1975 et 1979, et dont les stations de pompage ne sont pas encore réhabilités, il est proposé une modernisation des réseaux et stations de pompage et une conversion collective à IL (à l'instar du secteur P7) .
- Pour le reste du gravitaire de la PTI, il est proposé de retenir la reconversion individuelle à base de bassins de stockage d'eau (tour d'eau et décantation) sur 29% de la superficie (soit **7 500 ha**) en conformité avec la superficie qui y est réservée aux plantations et à la CAS.

#### *STI*

*Elle couvre un total de 36 700 ha.*

#### *Gravitaire*

*Ce mode d'irrigation concerne quelques 12 800 ha (1980, 88). Il y est proposé de retenir la reconversion individuelle à l'IL à base de bassins de stockage d'eau (tour d'eau et décantation) sur 10 % de la superficie et ce, en conformité avec la superficie qui y sont pratiquées et qui sont compatibles avec l'IL, soit **6 400 ha**.*

#### *Aspersion*

*Il s'agit des secteurs nord aspersionnels aménagés au cours des années 1990. Dans ces secteurs, il est proposé de procéder à une conversion collective à l'Il moyennant une adaptation des réseaux et stations de pompage alimentant ces secteurs et l'équipement interne des parcelles, soit une superficie de **16 700 ha**.*

#### *TTI*

*Elle occupe un total de 9 800 ha.*

#### *Basse pression*

Elle concerne le secteur Est 1 (2 700 ha, 2004). Ce secteur connaît actuellement certains problèmes, néanmoins quelques 1000 ha d'agrumes y sont plantés. En conséquence, il y est proposé de procéder à une reconversion individuelle à l'IL sur les **1 000 ha** en question.

Gravitaire

Elle concerne un total de 7 100 ha (1973 - 77).

- Est 4 : agrumes, à reconvertir en totalité à travers des conversions individuelles avec bassins (**3 600 ha**)
- Est 2 : à reconvertir sur la partie agrumes (13%) à travers des conversions individuelles avec bassins (**400 ha**).

Les projets retenus au titre du PNEEI sont résumés dans le tableau suivant :

Notes concernant les coûts unitaires :

- Les coûts des équipements internes (40 000 DH/ha avec bassin et 25 000 DH/ha sans bassin) proviennent des coûts des projets déjà réalisés.
- Pour le Beht Est et Ouest, les coûts unitaires des équipements externes sont de 85 000 DH/ha. Ces coûts sont à appliquer à la totalité de la superficie pour permettre une reconversion collective.
- Pour les secteurs aspersifs de la PTI (P7) et de la STI, le coût unitaire des équipements externes 15 000 DH/ha correspond à la réhabilitation des bornes, du matériel électromécanique des stations de pompage et du matériel hydromécanique du réseau. Pour le coût des équipements internes, la reconversion sans bassin requiert 25 000 DH/ha.
- Pour les secteurs gravitaires de la PTI (P8, S1, S3, S7A et S7D), le coût unitaire (85 000 DH/ha) est le même que celui prévu pour l'Est et l'Ouest du Beht.

| Actions                                                    | Superficie<br>(ha) | Coûts équipements<br>externes (MDH) | Coûts équipements<br>internes (MDH) |
|------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Irrigation Privée : Conversion de 54. 000 ha sur 81 600 ha |                    |                                     |                                     |

|                                                                             |               |                           |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------|
| 1. Zone Côtière : conversions individuelles en IL sans bassin               | 38 000        | -                         | 950.0<br>(25 000 DH/ha) |
| 2. Reste de la zone IP : conversions individuelles en IL                    |               |                           |                         |
| Nappe - sans bassin                                                         | 7.200         | -                         | 180.0<br>(25 000 DH/ha) |
| Oueds - avec bassin                                                         | 8.800         | -                         | 352.0<br>(40 000 DH/ha) |
| <b>Grande Hydraulique conversion de 65 700 ha sur 113 400 ha</b>            |               |                           |                         |
| <b>Beht : Conversion de 18 200 ha sur 28 800 ha</b>                         |               |                           |                         |
| 3. Central réhabilité : conversions individuelles avec bassins.             | 4 500         | -                         | 180.0<br>(40 000 DH/ha) |
| 4. Est et Ouest : modernisation collective.                                 | 13 700        | 1 164.5<br>(85 000 DH/ha) | 342.5<br>(25 000 DH/ha) |
| <b>PTI : Conversion de 19 400 ha sur 38 100 ha</b>                          |               |                           |                         |
| 5. Aspersions (secteur P7) modernisation collective.                        | 2.600         | 52.0<br>(20 000 DH/ha)    | 65.0<br>(25 000 DH/ha)  |
| 6. Gravitaire (secteurs P8, S1, S3, S7A et S7D) : modernisation collective. | 9 300         | 790.5<br>(85 000 DH/ha)   | 232.5<br>(25 000 DH/ha) |
| 7. Gravitaire : conversions individuelles avec bassin.                      | 7 500         | -                         | 300.0<br>(40 000 DH/ha) |
| <b>STI : Conversion de 23 100 ha sur 36 700 ha</b>                          |               |                           |                         |
| 8. Secteurs Nord Aspersifs - modernisation collective.                      | 16 700        | 334.0<br>(20 000 DH/ha)   | 417.5<br>(25 000 DH/ha) |
| 8. Gravitaire : conversions individuelles avec bassin.                      | 6 400         | -                         | 256.0<br>(40 000 DH/ha) |
| <b>TTI : Conversion de 5 000 ha sur 9 800 ha</b>                            |               |                           |                         |
| 10. Basse pression (Est 1) : conversions individuelles sans bassin.         | 1 000         | -                         | 25.0<br>(25 000 DH/ha)  |
| 11. Gravitaire Est 4 et Est 2: conversions individuelles avec bassins.      | 4 000         | -                         | 160.0<br>(40 000 DH/ha) |
| <b>Sous Total conversion collective GH</b>                                  | <b>42 300</b> | <b>2 341.0</b>            | <b>1 057.5</b>          |
| <b>Sous Total conversions Individuelles GH</b>                              |               |                           | <b>921.0</b>            |
|                                                                             | <b>23 400</b> | -                         |                         |
| <b>Frais d'études</b>                                                       |               | <b>80 .0</b>              |                         |
| <b>Total GH</b>                                                             | <b>65 700</b> | <b>4 399.5</b>            |                         |

|                    |                |                |
|--------------------|----------------|----------------|
| <b>Total IP</b>    | <b>54 000</b>  | <b>1 482.0</b> |
| <b>Total Gharb</b> | <b>119 700</b> | <b>5 881.5</b> |

## Liste des abréviations

**ABHS** : Agence de Bassin Hydraulique de Sebou

**AEP** : Alimentation en eau potable

**AEPI** : Approvisionnement en Eau Potable d'Irrigation

**DIAEA** : Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole

**ESRI** : Environmental Système Research Institue

**GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

**HECRAS** : Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

**IP** : Irrigation Privé

**NW** : Nord et West

**ONEEP** : Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable

**ORMVAG** : Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb

**PDAIRE** : PLAN DIRECTEUR D'AMENAGEMENT INTEGRE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN  
HYDRAULIQUE DE SEBOU

**RADEEF** : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fes

**RGPH** : recensement général population et de l'Habitat

**SAU** : Superficie Agricole Utile

**SIG** : Système d'Information Géographique

**TVA** : Taxe sur Valeur Ajoutée

**UPA** : Unité de prélèvement Agricole