

## Caractérisation des bassins versants du Tensift au droit des stations de mesure des ressources en eau de l'ABHT

Réalisé par :

- BOUHIA Mohamed
- HAMD AOUI Imane
- IZIKI Fatima Zahra

Soutenu le : 19 JUIN 2023

*Devant la commission d'examen composée de*

**Mr. Jalal MOUSTADRAF:** Encadrant interne, FST Marrakech

**Mr. Brahim IGMOLLAN:** Examinateur, FST Marrakech

2022/2023



## Table des matières

<b>DEDICACES</b>	<b>5</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D’ACTION DE L’ABHT</b>	<b>3</b>
<b>I. SITUATION GEOGRAPHIQUE</b>	<b>3</b>
<b>II. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE</b>	<b>5</b>
II.1 L’agriculture	5
II.2 Le secteur industriel / minier	5
II.3 Le tourisme	5
II.4 Le secteur de la pêche	5
II.5 L’artisanat	6
<b>III. DEMOGRAPHIES, VILLES ET CENTRES</b>	<b>6</b>
III.1 Populations rurales et urbaines	6
III.2 Habitat et conditions de vie	6
<b>IV. RESSOURCES EN EAU</b>	<b>7</b>
<b>IV.1 Contexte naturel</b>	<b>7</b>
IV.1.1 Climatologie	7
IV.1.2 Géologie	10
<b>IV.2 Eaux de surface</b>	<b>13</b>
IV.2.1 Apports moyens	13
• Le bassin du Tensift	13
• Les bassins du Qsob et Igouzoulen	14
IV.2.2 Aménagements existants	14
<b>IV.1 Eaux souterraines</b>	<b>18</b>
IV.1.1 La nappe du Haouz	18
IV.1.2 La nappe du Mejjat et sa terminaison occidentale	20
IV.1.3 La nappe de la Bahira	20
IV.1.4 Les nappes du bassin d’Essaouira – Kourimate	21
IV.1.5 La nappe d’Akerroud	22
<b>CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN</b>	<b>23</b>
<b>I. DÉLIMITATION DES SOUS BASSINS VERSANTS DE TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN</b>	<b>23</b>
<b>I.1 Le logiciel ArcGis</b>	<b>23</b>

I.2	La démarche du travail	23
<b>II.</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS</b>	<b>25</b>
II.1	L'indice de compacité de Gravelius KG	25
II.2	Le rectangle équivalent	25
II.3	Altitudes du bassin versant	26
II.4	Pentes du bassin du bassin versant	27
II.5	Réseau hydrographique	28
<b>III.</b>	<b>Résultats</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE DES SOUS BASSINS VERSANTS TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN</b>		
		<b>34</b>
<b>I.</b>	<b>ETUDE DU RÉGIME DE DÉBIT ANNUEL</b>	<b>34</b>
<b>II.</b>	<b>ETUDE DU RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE ANNULES</b>	<b>35</b>
<b>III.</b>	<b>ESTIMATION DES DEBITS DE POINTES AU DROIT DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES</b>	<b>36</b>
<b>III.1</b>	<b>Démarche méthodologique</b>	<b>36</b>
III.1.1	Méthode probabiliste : Ajustement statistique	36
III.1.2	Méthode de Gradex	36
a.	Rappel du principe de la méthode de Gradex	36
b.	Conduite de la méthode	37
c.	Estimation du coefficient de pointe $C_p$	38
<b>III.2</b>	<b>Les résultats</b>	<b>38</b>
III.2.1	Estimation des débits de pointes au droit des stations hydrologiques	38
•	Ajustement statistique au droit des stations hydrologiques	38
•	Méthode de Gradex au droit des stations hydrologiques	41
III.2.2	Débits de pointes retenus pour chaque station hydrologique	44
<b>CHAPITRE 4 : GESTION DES DONNEES DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES</b>		
		<b>45</b>
<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>45</b>
<b>II.</b>	<b>GÉNÉRALITÉS SUR ACCESS</b>	<b>45</b>
<b>III.</b>	<b>CRÉATION D'UN FORMULAIRE LIÉE À UNE BASE DE DONNÉES</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>		
		<b>48</b>
<b>I.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>49</b>
<b>II.</b>	<b>Webographie</b>	<b>49</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Découpage administratif de la zone d'action de l'ABHT	3
Tableau 2. Démographie de la zone d'action de l'ABH de Tensift	6
Tableau 3. Caractéristiques des stations hydrologiques de la zone d'étude	36
Tableau 4. Débits de pointe de la station d'Aghbalou (Loi Log normal)	39
Tableau 5. Débits de pointe de la station de Sidi Rahal (Loi Exponentiel)	40
Tableau 6 : Débits de pointe de la station de Taferiat (Loi Gamma)	41
Tableau 7. Débits de pointe des stations hydrologiques de la zone d'étude calculés par l'ajustement statistique	41
Tableau 8. Débits de pointe de la station Aghbalou par la méthode de Gradex	42
Tableau 9. Débits de pointe de la station Sidi Rahal par la méthode de Gradex	43
Tableau 10. Débits de pointe de la station Taferiat par la méthode de Gradex	43
Tableau 11. Débits de pointe des stations hydrologiques calculés par la Méthode Gradex	44
Tableau 12. Débits de pointe retenus au droit des stations hydrologiques de référence	44

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Situation géographique et découpage administratif de la zone d'action de l'ABHT	4
Figure 2. Carte des isohyètes du bassin du Tensift (Source : PDAIRE de Tensift)	9
Figure 3. Contexte géologique au niveau de la zone d'action de l'ABHT	12
Figure 4. Réseau hydrographique de la zone d'action de l'ABHT	15
Figure 5. Carte des ouvrages hydrauliques existants dans la zone d'action de l'ABT	17
Figure 6. Carte des nappes de la zone d'action de l'ABHt	19
Figure 7. Schéma crée par model builder sur les étapes de la délimitation du sous bassin versant R'DAT de l'exutoire "la station de Sidi Rahal"	24
Figure 8. Carte hypsométrique du sous bassin Amezmiz	26
Figure 9. Carte des pentes du sous bassin versant R'DAT en degré	27
Figure 10. Carte de réseau hydrographique du sous bassin versant de Tensift	28
Figure 11. Délimitation des bassins versants au droit des stations hydrométrique	29
Figure 12. Histogramme des débits annuels pour la station Abadla sur la période 1968-2020	34
Figure 13. Histogramme des débits des points annuels pour la station sidi Rahal sur la période 1963-2019	34
Figure 14. Histogramme des débits annuels pour la station talmest sur la période 1970-2020	35
Figure 15. Courbes des précipitations annuelles pour différentes stations de mesure dans le BV Tensift-Ksob-Igouzoulen entre 1965-2021	35
Figure 16. Graphique d'ajustement des Qp annuels de la station d'Aghbalou selon la loi Gamma	39
Figure 17. Graphique d'ajustement des Qp annuels de la station de Sidi Rahal selon la loi Exponentiel	40
Figure 18. Graphique d'ajustement des Qp annuels de la station Taferiat selon la loi Gamma	41
Figure 19. Graphique d'ajustement des précipitations Pjmax annuelles de la station Aghbalou	42
Figure 20. Graphique d'ajustement des précipitations Pjmax annuelles de la station Sidi Rahal	42
Figure 21. Graphique d'ajustement des précipitations Pjmax annuelles de la station Taferiat	43
Figure 22. Modèle de la fiche station hydrométrique	47
Figure 23. La base de données relative aux stations hydrométriques	47

# **DEDICACES**

## **A nos chers parents**

Qu'aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour, le respect et le dévouement que nous portons envers eux.

## **A nos Chers frères et sœurs**

Source de joie et de bonheur, qui nous soutenus et encouragés durant tout notre parcours d'étude.

## **A toute la famille BOUHIA**

## **A toute la famille HAMDAOUI**

## **A toute la famille IZIKI**

Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable.

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous tenons à remercier sans fin notre dieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la volonté, le pouvoir, le courage et la force pour réussir ce travail.

Nous remercions Mlle **Intissar ABOUNKI**, Ingénieure au Sein de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT) pour son indéniable disponibilité, et pour toute l'attention qu'elle nous a porté afin de réussir notre stage au sein du service Suivi et Évaluation des Ressources en Eau.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Ce grand homme, Mr. **JALAL MOUSTADRAF** notre encadrent pédagogique, qui nous a suivi tout au long de la réalisation de ce projet, qui nous a fait part de son savoir-faire et qui est toujours présent et à l'écoute.

On remercie ensuite **Mr. Brahim IGMOUILLAN** de sa présence pour se donner la peine d'examiner ce travail.

Notre immense gratitude à toutes les personnes qui auront contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Sans oublier nos chers professeurs de la faculté des sciences et technique Marrakech qui nous ont tout donné, tout au long de notre période de formation au sein de la faculté tout en espérant que ce travail sera à la hauteur de leurs attentes.

Merci

à

tous

## INTRODUCTION GENERALE

"Si la terre avait la grosseur d'une orange, d'une grosse orange, toute l'eau du monde ne serait représentée, sur cette orange, que par une minuscule goutte d'eau" (Paul - Émile Victor). Cette goutte qui est à l'origine de toute la vie sur notre planète se fait de plus en plus rare, de plus en plus chère et représente un souci majeur pour la plupart des pays du monde principalement dans les régions où cette ressource est limitée.

L'eau est un élément clé pour la vie de toutes les espèces vivantes, y compris l'homme. Elle joue un rôle primordial dans notre vie quotidienne et est indispensable à de nombreuses activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie, la consommation. Cependant la situation de l'eau dans le monde est devenue de plus en plus critique ces dernières années. Les changements climatiques la pollution la surconsommation et la mauvaise gestion de cette ressource ont contribué à accentuer la crise de l'eau dans de nombreux pays.

Au Maroc, la situation de l'eau est également préoccupante, en particulier dans le bassin Tensift. Cette région est l'une des plus touchées par la rareté de l'eau, due à la croissance de la population, à l'agriculture intensive et à la sécheresse. Selon une étude du ministère de l'Eau, la région de Tensift compte environ 400 000 habitants et dispose d'un stock d'eau de seulement 85 millions de mètres cubes. Cela signifie que chaque habitant n'a accès qu'à 200 mètres cubes d'eau par an, ce qui est en dessous de la moyenne mondiale (500 mètres cubes par an).

L'Agence de Bassins Hydrauliques du Tensift (ABHT) est responsable de la gestion de l'eau dans le bassin versant du Tensift. Dans ce contexte, la caractérisation des bassins versants du Tensift au droit des stations de mesure des ressources en eau de l'ABHT est un sujet d'intérêt majeur.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de Licence Sciences et Techniques Eau et Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Ce travail de recherche s'est déroulé au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift du 17 avril 2023 au 17 mai 2023.

Ce projet de fin d'étude porte sur la caractérisation des bassins de Tensift au droit des stations de mesure des ressources en eau de l'ABHT. Il a pour objectifs :

- ✓ La délimitation des bassins versants au droit des stations hydrométriques relevant de la zone d'action de l'ABHT;
- ✓ La détermination des caractéristiques géomorphologiques de ces bassins versants ;
- ✓ L'estimation des débits de pointes pour différentes périodes de retour pour les

bassins versants de Ghmat, Rdat et Zat ;

- ✓ Le développement d'une application pour une gestion optimale des données des stations hydrométriques de l'ABHT.

Le présent mémoire s'articule autour de cinq points principaux :

- Présentation générale sur la zone d'étude ;
- Description géomorphologique et caractérisation des sous bassins versants de Tensift ;
- Détermination des débits de pointes pour différentes périodes de retour de crue des bassins versant de Ghmat, Rdat et Zat ;
- Développement d'une application permettant de fournir des informations relatives aux caractéristiques des stations. Elle est liée à une base de données qui permet de gérer et contrôler ces données de manière pratique et conviviale.
- Conclusion générale



## CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ACTION DE L'ABHT

### I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'aire d'étude correspond à la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT) qui s'étend sur une superficie de 24 800 Km<sup>2</sup>, soit près de 3 % de la superficie totale du pays. Elle est constituée des bassins de l'oued Tensift et des oueds Qsob et Igouzoulen.

Le bassin du Tensift, situé au centre Ouest du Maroc, s'étend sur le Haouz de Marrakech et une partie des montagnes du Haut Atlas, sur une superficie de 19 800 Km<sup>2</sup>. L'oued Tensift s'écoule d'Est en Ouest de sa source, à une altitude de 550 NGM, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique, sur une longueur de 260 km. Le bassin est caractérisé par sa dissymétrie et par sa morphologie particulière :

- 1 La partie Sud du bassin correspond au flanc Nord du Haut Atlas et est occupée par une succession de bassins d'orientation Nord-Sud, de superficie moyenne (200 à 1500 km<sup>2</sup>) bien arrosés et très pentus (15 à 22 %) qui constituent les affluents rive gauche de l'oued Tensift.
- 2 La partie médiane du bassin, alignée suivant un axe Est-Ouest (sillon du Haouz et du bassin de Mejjat), correspond au cours aval de ses affluents et au cours de l'oued Tensift proprement dit.
- 3 La partie Nord (flanc Sud des Jbilet), peu pentue et peu arrosée, correspond aux petits bassins affluents de la rive droite de l'oued Tensift.

Les bassins côtiers atlantiques du Qsob et de l'Igouzoulen s'étendent sur une superficie de l'ordre de 5 000 Km<sup>2</sup>. La zone d'action de l'ABHT est limitée par le bassin de l'Oum Er Rbia au Nord, l'Océan atlantique à l'Ouest, le bassin du Souss Massa au Sud et les bassins du Draa Oued Noun et Oum Er Rbia à l'Est. Administrativement, cette zone relève de la région Marrakech-Safi. Elle s'étend sur huit préfectures et provinces : elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Al Haouz, de Chichaoua, d'Essaouira et de Youssoufia et partiellement les provinces de Rehamna, de Kelaâ des Sraghnas et de Safi.

*Tableau 1. Découpage administratif de la zone d'action de l'ABHT*

Préfectures et Provinces	Nombre de communes		
	Communes urbaines	Communes Rurales	Total
Chichaoua	2	33	<b>35</b>
Essaouira	5	52	<b>57</b>
Al Haouz	3	37	<b>40</b>
Kelaâ des Sraghnas	3	40	<b>43</b>
Marrakech	6	13	<b>19</b>
Rehamna	2	23	<b>25</b>
Safi	3	22	<b>25</b>
Youssoufia	2	9	<b>11</b>
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>101</b>	<b>110</b>

Source : ABHT

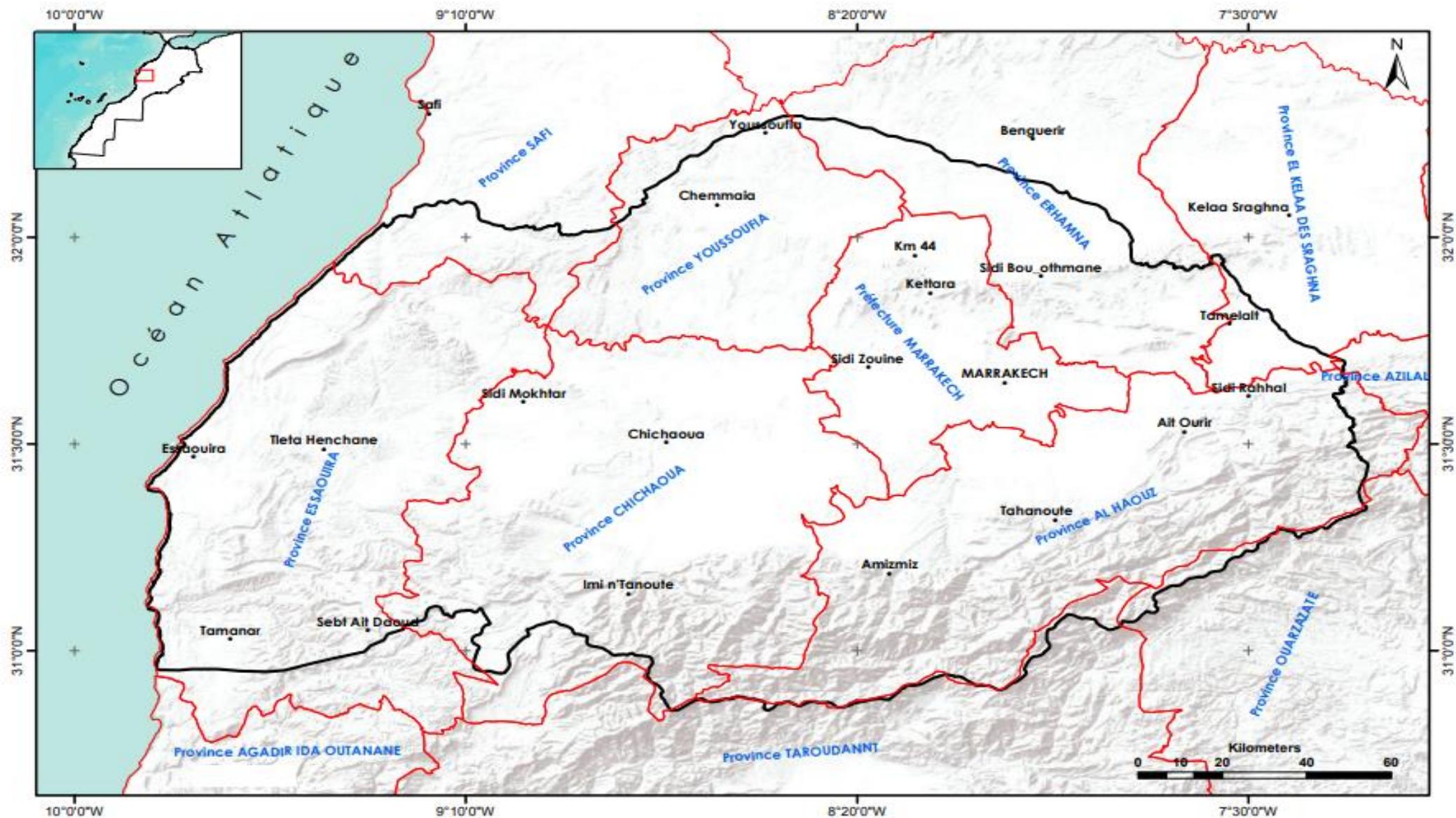


Figure 1. Situation géographique et découpage administratif de la zone d'action de l'ABHT

## **II. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE**

La zone connaît une activité économique assez diversifiée reposant principalement sur l'agriculture, l'industrie, le tourisme, la pêche et l'artisanat.

### **II.1 L'agriculture**

L'agriculture est une activité prédominante dans le bassin de Tensift notamment dans la région du Haouz. Elle est constituée principalement par la céréaliculture, le maraîchage, l'arboriculture et l'élevage. L'irrigation occupe une place importante dans l'activité agricole du bassin. Le développement agricole de la région, principalement basé sur l'irrigation présente un éventail de culture très large (tels les céréales, les agrumes et l'arboriculture).

### **II.2 Le secteur industriel / minier**

Le tissu industriel est principalement composé d'industries (chimique, agroalimentaire, etc....). La zone comprend de nombreuses exploitations minières dont les plus importantes se trouvent au niveau du plateau de phosphate (Ben Guerir et Youssoufia), et des mines polymétalliques de Guemassa et Draâ Lsfar (cuivre, plomb, zinc,...). Notons par ailleurs que le bassin recèle d'importantes réserves de phosphates. D'autres minéraux ont un poids important pour l'activité du bassin, il s'agit notamment de la barytine.

### **II.3 Le tourisme**

Le secteur touristique joue un rôle capital dans l'économie de la région, et son développement se répercute sur d'autres secteurs tels que l'artisanat, le transport, etc. La région recèle beaucoup de richesse et de potentialités et possède des atouts majeurs pour le développement de ce secteur tels que l'infrastructure d'hébergement, les sites d'intérêt touristique ainsi que d'un patrimoine culturel riche et diversifié. Cette activité, forte consommatrice en eau représente également une source de pollution non négligeable.

Avec les nouvelles orientations gouvernementales, le tourisme culturel, écologique et rural prend de plus en plus d'importance. Ses impacts sur les écosystèmes naturels, et en particulier hydriques, sont à craindre et devraient faire l'objet d'une vigilance croissante.

### **II.4 Le secteur de la pêche**

Le secteur de la pêche maritime joue un rôle important dans le développement économique et social de la région en général et de la province d'Essaouira en particulier. Une partie de la flotte côtière est orientée vers la capture du poisson industriel destiné surtout à la conserverie, représentant 40 à 50 % de l'activité de pêche. L'autre partie est spécialisée dans les captures de poissons benthiques pour le marché local, national et pour l'exportation.

Le traitement et la transformation industrielle du poisson peut être source de nuisance et de contamination des eaux naturelles. Un tel risque est à évaluer dans le cadre de la protection des eaux de surface.

## II.5 L'artisanat

L'activité artisanale est surtout concentrée dans les médinas de Marrakech et d'Essaouira. Il s'agit d'unités dispersées dans le tissu traditionnel de ces villes, composées essentiellement des tanneries, dinanderies, poteries, teintureries, cordonneries et unités de travail du bois et de céramique, etc. Ces activités produisent des rejets polluants portant directement atteinte aux ressources par infiltration des matières polluantes et/ou rejets directs dans les oueds.

## III. DEMOGRAPHIES, VILLES ET CENTRES

### III.1 Populations rurales et urbaines

L'analyse de la démographie est basée sur les données officielles issues des recensements de la population du Maroc. Le dernier en date est celui de 2014.

Selon les résultats du recensement général de la population du Maroc de 2014, la zone d'action de l'ABH de Tensift regroupe une population de 3 031 401 habitants (9,02 % de la population du royaume). La population urbaine de la zone s'élève à 1.29 millions d'habitants. La population rurale compte 1,74 millions d'habitants, représentant ainsi 57.46 % de la population totale de la zone. Le tableau suivant donne la population totale, urbaine et rurale par préfecture/province dans la zone d'action de l'ABHT.

*Tableau 2 .Démographie de la zone d'action de l'ABH de Tensift*

Préfectures et Provinces	Population urbaine	Population rurale	Total
Al Haouz	84 205	471 057	555 262
Chichaoua	62 218	291 322	353 540
Essaouira	105 596	317 656	423 252
Kelaa Des Sraghnas*	26 396	43 425	69 821
Marrakech	974 021	348 984	1 323 005
Rhamna	11 075	80 689	91 764
Safi*	0	63 972	63 972
Youssoufia	26 129	124 656	150 785
<b>TOTAL</b>	<b>1 289 640</b>	<b>1 741 761</b>	<b>3 031 401</b>
<b>%</b>	<b>42.54%</b>	<b>57.46%</b>	<b>100%</b>

Source : RGPH 2014

\* : Provinces couvertes partiellement par la zone d'action de l'ABH de Tensift.

### III.2 Habitat et conditions de vie

La typologie du milieu urbain est dominée par le genre économique au niveau du territoire du bassin comme au niveau national (même si les proportions ne sont pas les mêmes). Cependant, la

zone étudiée connaît encore une présence prépondérante du logement traditionnel. Le milieu rural, quant à lui, est dominé par le logement de type rural.

Quant aux taux de raccordement aux réseaux publics d'eau et d'électricité, ils dépassent 90%. Malgré cela, le rural connaît un manque considérable pour les deux niveaux. Plus des  $\frac{3}{4}$  des ménages de la zone du bassin recourent à d'autres ressources pour s'approvisionner en eau.

Concernant le raccordement au réseau d'assainissement liquide, les ménages du milieu urbain de la zone d'étude sont raccordés au réseau public à raison de 8 ménages sur 10. Cependant, ces rejets ne font généralement pas, l'objet de traitement convenable pour limiter les nuisances environnementales, en particulier la pollution des eaux de surface et souterraines.

Quant au milieu rural, en l'absence d'infrastructures de base, les ménages ont recours à des modes d'évacuation susceptibles de porter atteinte à la nappe phréatique (environ 60% utilisent les fosses septiques et les puits perdus) et aux eaux de surface (environ 42% des ménages utilisent d'autres modes, essentiellement, les rejets à ciel ouvert et dans les cours d'eau), surtout dans les localités où la densité est assez importante.

#### **IV. RESSOURCES EN EAU**

##### **IV.1 Contexte naturel**

###### **IV.1.1 Climatologie**

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type aride à semi-aride à influence océanique près des côtes. Ainsi, le climat est semi-aride influencé par le courant froid des Canaries dans la zone côtière, semi-aride chaud dans les Jbilet et continental de type aride dans le Haouz et le Mejjat.

###### **◆ Températures**

Les températures moyennes mensuelles varient entre 17°C et 20°C. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août (25°C à 29°C sur l'Atlas et la plaine du Haouz et 19°C à 24°C dans les zones côtières). Le mois le plus froid est Janvier (12°C sur l'Atlas et la plaine du Haouz et 13°C dans les zones côtières). Les températures varient beaucoup dans le temps et dans l'espace avec une légère tendance à l'augmentation et ce, dès la fin des années 1990.

###### **◆ Précipitations**

Les précipitations sont faibles et caractérisées par une grande variabilité spatio-temporelle. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 250 mm à Marrakech et peut atteindre 480 mm sur les sommets de l'Atlas.

Les précipitations enregistrent des variations inter et intra-annuelles. En effet, il existe deux saisons nettement différenciées :

- d’octobre à avril, une saison humide où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 80 à 93 % de la pluviométrie annuelle ;
- de mai à septembre, une saison sèche avec seulement 7 à 17 % de la pluviométrie annuelle.

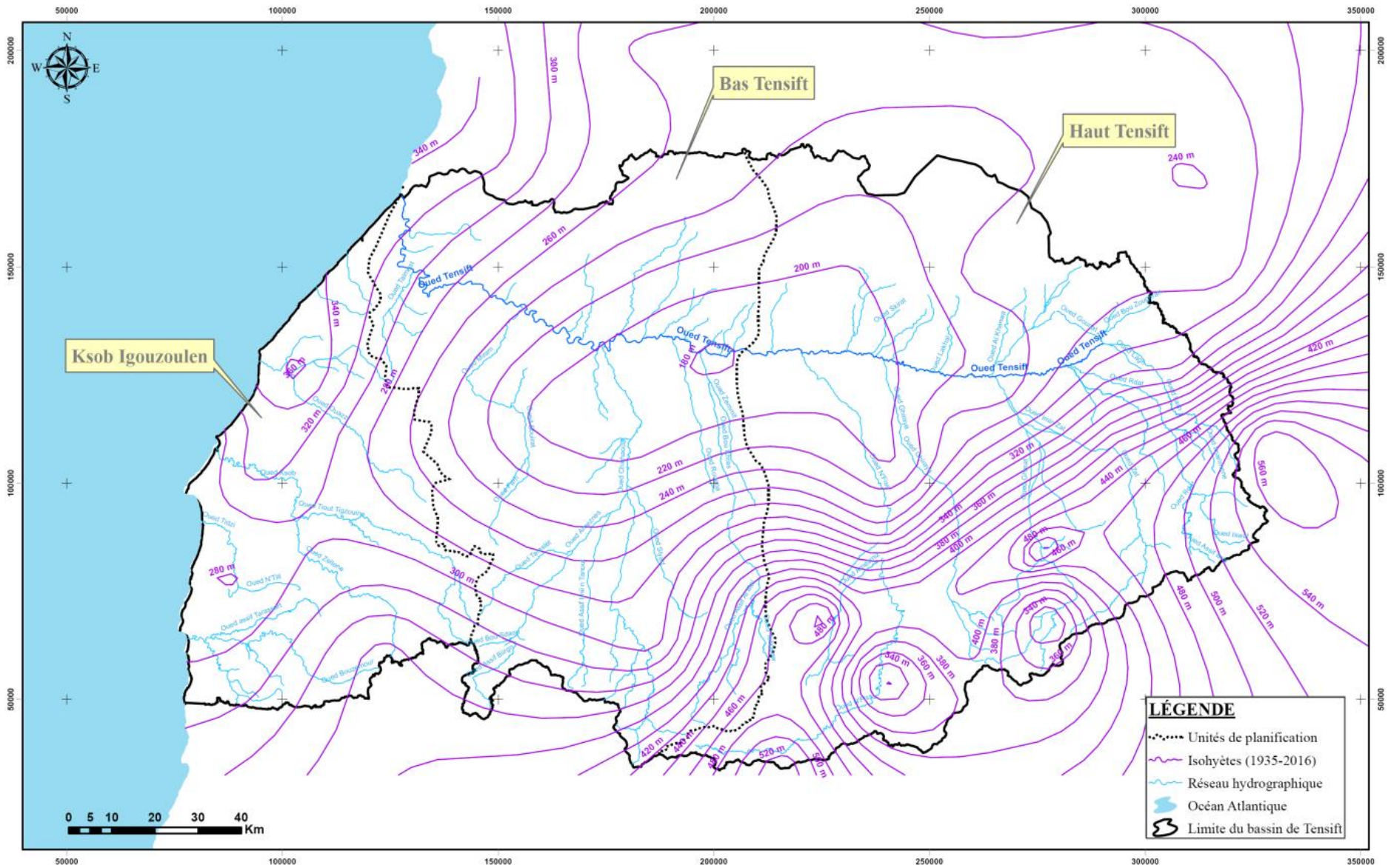


Figure 2 .Carte des isohyètes du bassin du Tensift (Source : PDAIRE de Tensift)

#### ◆ *Evaporation*

L'évaporation moyenne annuelle varie de 1 800 mm sur le versant atlasique à 2 600 mm dans la plaine du Haouz. Elle est minimale pendant le mois de Janvier et maximale pendant la saison d'été.

#### ◆ *Vents*

La région est dominée par trois types de vent : le Chergui, chaud et sec, soufflant de l'Est, le Gharbi, humide et porteur de pluie, soufflant de l'Ouest et enfin, le vent du Sud qui est chaud et sec.

#### **IV.1.2 Géologie**

Le cadre géologique du bassin du Tensift s'articule sur l'organisation du socle primaire, affleurant dans le Haut Atlas, les Jbilet et les Rehamna, qui se sont structurés au cours des temps géologiques sous l'effet de l'évolution des champs de contraintes, des phases de surrections et d'effondrements, et des époques d'érosion et de sédimentation. La zone d'action de l'ABHT s'étend sur les unités géographiques suivantes :

- Plateau des Gantour et plaine de la Bahira occidentale : la zone des Gantour se présente sous forme d'un plateau monoclinale à pendage sud plongeant des Rehamna vers les Jbilet. La Bahira occidentale se présente sous forme d'une dépression synclinale enserrée entre les Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud. Le socle primaire est recouvert par des formations de couvertures triasiques, crétacées et éocènes, antérieures aux premiers mouvements atlasiques ; ces formations affleurent au Nord, s'enfoncent sous la plaine vers le Sud et se terminent en biseau au Sud contre le socle paléozoïque ;
- Jbilet et Mouissate : les Jbilet sont des formations paléozoïques comportant de puissantes séries de calcaires, schistes et grès. Les Jbilet s'étirent à l'affleurement selon une direction Est-Ouest, perpendiculaire aux orientations hercyniennes dont les effets se matérialisent par une segmentation de cette structure. Les Mouissate sont complètement formés par les formations du jurassique supérieur, transgressif sur le paléozoïque ou le stéphano-trias de l'extrémité occidentale des Jbilet
- Bassin du Haouz et plaine de Mejjat : le Haouz correspond à un bassin de subsidence d'origine tectonique dans lequel se sont accumulées au Néogène et au Quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement. La plaine de Mejjat, comparable dans sa genèse à celle du Haouz, se distingue par la présence de terrains anté-néogènes plissés ;



- Bassin Essaouira – Chichaoua et zone Côtière d'Essaouira : fait partie du grand bassin côtier du Sud-Ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au Sud. La partie Sud de ce bassin, comprise entre l'oued Tensift et la plaine du Souss, correspond au Haut Atlas occidental. Les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogénèse atlasique ; la zone côtière et la partie orientale du bassin sont couvertes par des dépôts du Néogène et du Pléistocène. Le socle paléozoïque, profondément enfoui sous une épaisse série mésozoïque, affleure largement à l'est du bassin, au niveau du Jbilet et du massif ancien du Haut Atlas.

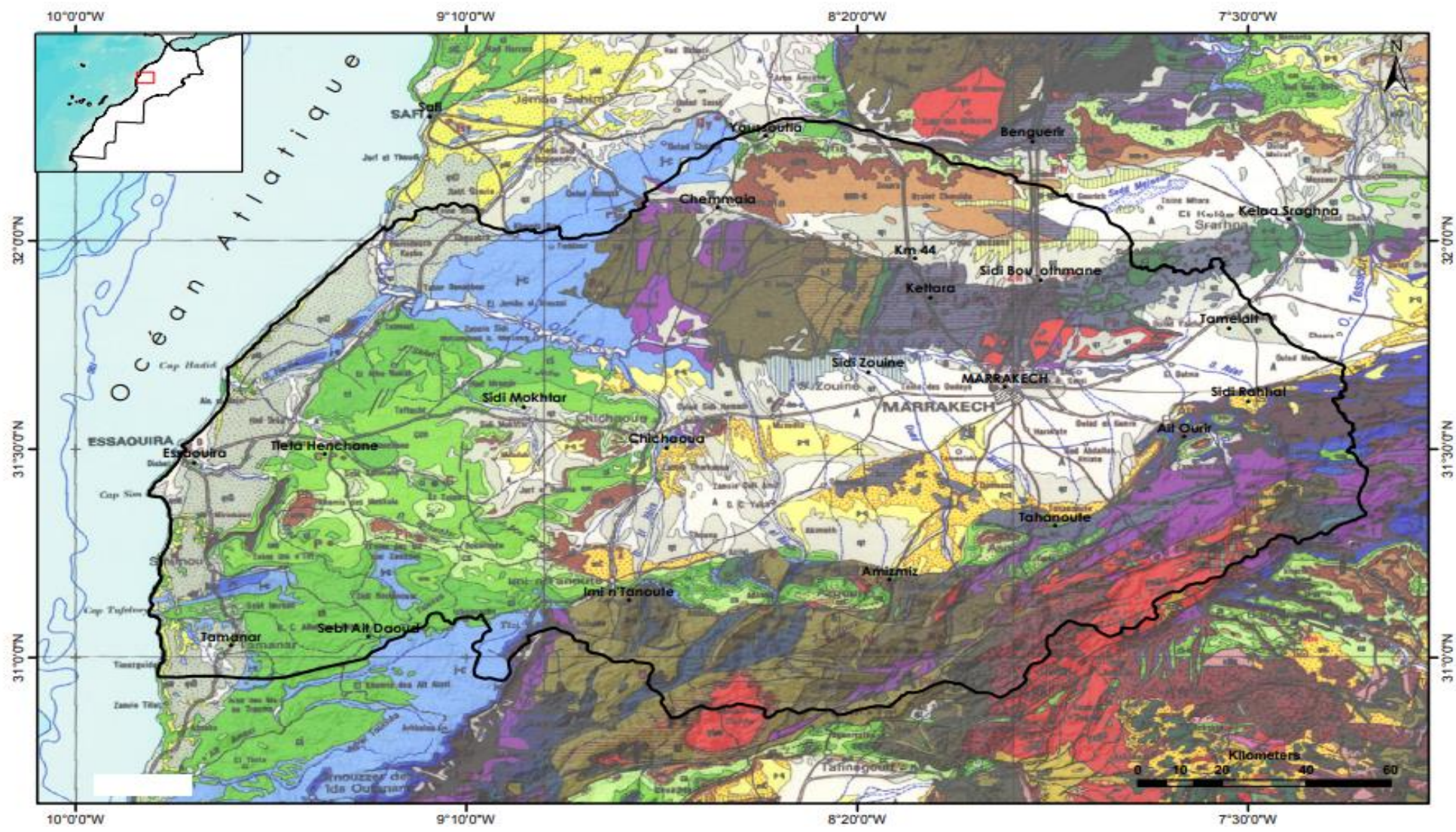


Figure 3 . Contexte géologique au niveau de la zone d'action de l'ABHT

## IV.2 Eaux de surface

La zone d'action est drainée en grande partie par le bassin hydrologique de Tensift (Figure 7). Ce dernier draine la grande partie du versant Nord du Haut Atlas et les Jbilet. A l'Ouest, les deux bassins du Qsob et Igouzoulen drainent le Haut Atlas occidental. La Bahira occidentale constitue, quant à elle, une unité à part dont le drainage de surface se termine dans des joues topographiques basses dont le principal est le lac Zima.

### IV.2.1 Apports moyens

#### ✚ Le bassin du Tensift

Le bassin du Tensift, s'étendant sur une superficie de 19 800 Km<sup>2</sup>, s'alimente essentiellement dans le domaine atlasique. Le réseau hydrographique du bassin comporte principalement l'Oued Tensift, qui s'écoule d'Est en Ouest de sa source, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique. Cet oued draine, par ses affluents rive gauche, les trois quarts du massif ancien du Haut Atlas. Ces affluents, installés sur un relief montagneux à structure et nature géologique hétérogène, ont des caractères torrentiels. L'aire du bassin peut être subdivisée en deux zones :

- la zone du cours amont du Tensift et ses affluents de la rive gauche, s'étendant sur une superficie de 11 900 Km<sup>2</sup>, constituent la partie hydrologique active du bassin ;
- la zone du bas Tensift qui englobe le cours aval de l'oued Tensift et le bassin de l'Oued Chichaoua. Elle s'étend sur une superficie de 7 900 Km<sup>2</sup>.

Les principaux affluents de l'oued Tensift sont localisés dans le Haouz, essentiellement situés à la rive gauche, et prennent naissance à partir du Haut Atlas. Ceux contribuant aux écoulements de surface de Tensift sont principalement : Oued Ghdat, Oued Zat, Oued Ghmat, Oued N'fis, Oued Reraya, Assif El Mal, Oued Chichaoua, Oued Tiroula et Oued Talmost.

Le régime d'écoulement de Tensift est irrégulier. Il est fonction de la pluviométrie dans le bassin, et de la fonte des neiges sur le Haut Atlas. Les apports moyens annuels sont évalués à près de 824 Mm<sup>3</sup>. Ces apports varient entre un minimum de 116 Mm<sup>3</sup> et un maximum de l'ordre de 2 677 Mm<sup>3</sup>.

Les eaux de surface mobilisées dans le bassin sont estimées en année moyenne à près de 520 Mm<sup>3</sup> dont 82 Mm<sup>3</sup> par le barrage Lalla Takerkoust, 2,4 Mm<sup>3</sup> par les petits barrages et 433 Mm<sup>3</sup> par le réseau de séguias traditionnelles (prélèvements au fil de l'eau).

En outre, le bassin bénéficie d'un transfert de l'ordre de 300 Mm<sup>3</sup> à partir du bassin de l'Oum Er Rbia, via le canal de Rocade, destiné à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central.

Ainsi le potentiel en eau de surface disponible pour le bassin s'élève, en année moyenne, à près de 1 124 Mm<sup>3</sup>.

#### **✚ Les bassins du Qsob et Igouzoulen**

Les bassins côtiers du Qsob et Igouzoulen s'étendent sur une superficie de 5 000 Km<sup>2</sup>. Le réseau hydrographique de ces bassins est composé essentiellement des oueds Qsob et Igouzoulen. Ces derniers prennent naissance dans le Haut Atlas et se jettent dans l'Océan Atlantique.

Les apports en eau sont irréguliers et sont évalués à une moyenne annuelle de près de 53 Mm<sup>3</sup>. Ces apports varient entre un minimum de 4,5 Mm<sup>3</sup> et un maximum de l'ordre de 158 Mm<sup>3</sup>.

#### **IV.2.2 Aménagements existants**

Le bassin du Tensift comporte actuellement six grands barrages : Lalla Takerkoust, Yaacoub El Mansour (Wirgane), Abou El Abbas Essabti (Taskourt), Sidi M'Hamed Ben Slimane Jazouli, Moulay Abderrahmane et Imin El Had. Le barrage LalLa Takerkoust est le barrage le plus ancien dans le bassin. Avec une retenue de 56 Mm<sup>3</sup>, ce barrage permet de régulariser 82 Mm<sup>3</sup>, permettant d'irriguer une superficie de l'ordre de 9 800 ha et de produire l'énergie électrique à hauteur de 15 GWh/an.

Le bassin comporte, également, des petits barrages destinés essentiellement à l'irrigation et l'abreuvement du cheptel. Il s'agit des barrages de : Ben El Khadir, Ouled Brahim, Ouled Bella, N'Zalat El Azri, Draa Boumaiz, Ouled Abbes, Draa Gagra, Bouhouta, Al Masmarr, Imin Larbaa, Agafai, Azib Douirani, Sidi Abdellah Ouali et Bouarouch.

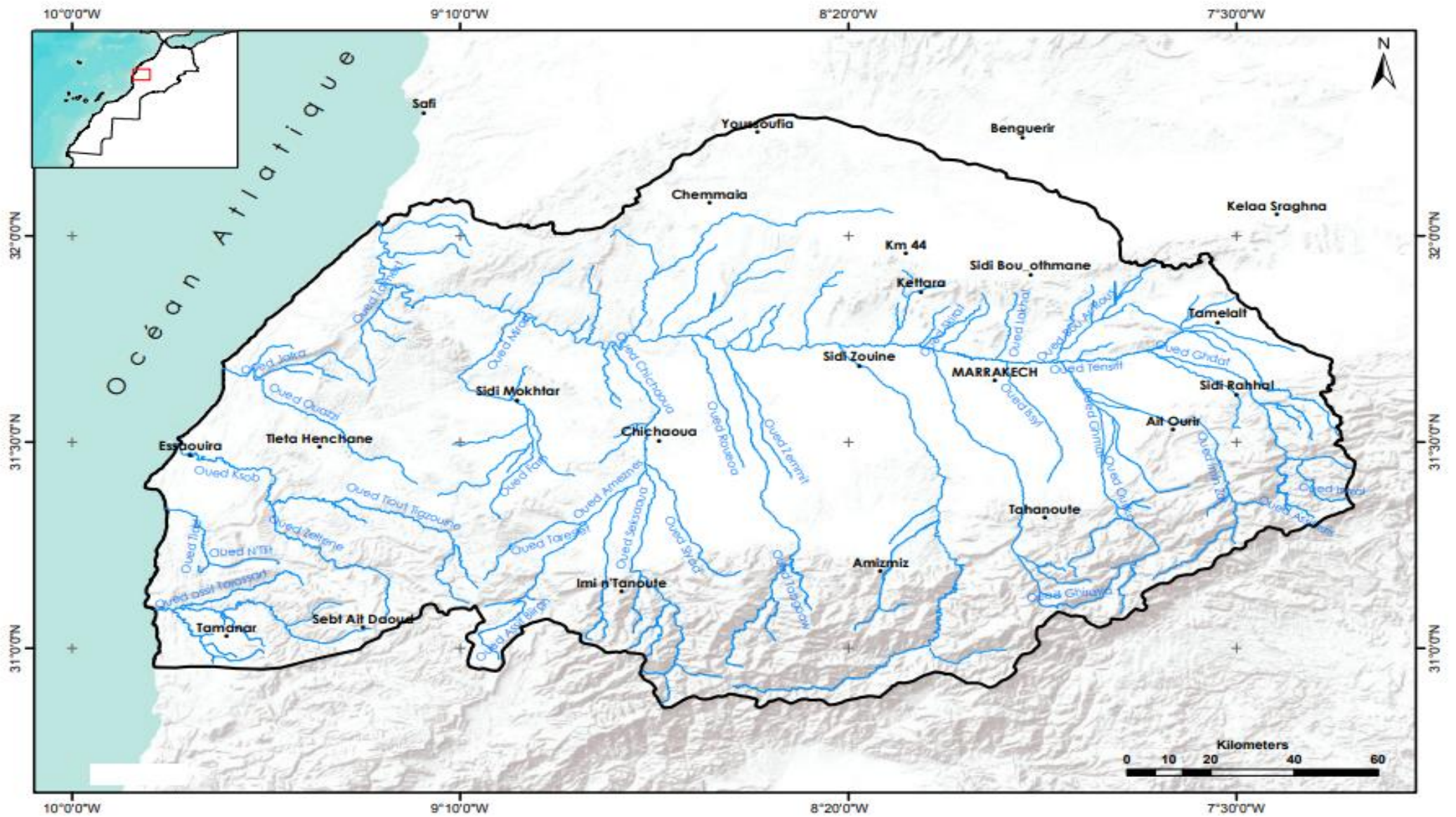


Figure 4. Réseau hydrographique de la zone d'action de l'ABHT

La figure suivante présente la situation géographique des aménagements existants dans la zone d'action de l'ABHT.

Parallèlement aux retenues de barrages, la région est dotée de grands ouvrages de transport d'eau, en particulier :

- Le canal de Rocate, long de 130 km. Ce canal de capacité nominale de 300 Mm<sup>3</sup>/an en année moyenne, transfère les eaux du bassin de l'Oum Er Rbia destinées à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech (40 Mm<sup>3</sup>) et à l'irrigation dans le Haouz Central (260 Mm<sup>3</sup>).
- Un réseau de séguias pour l'irrigation de plusieurs périmètres agrico

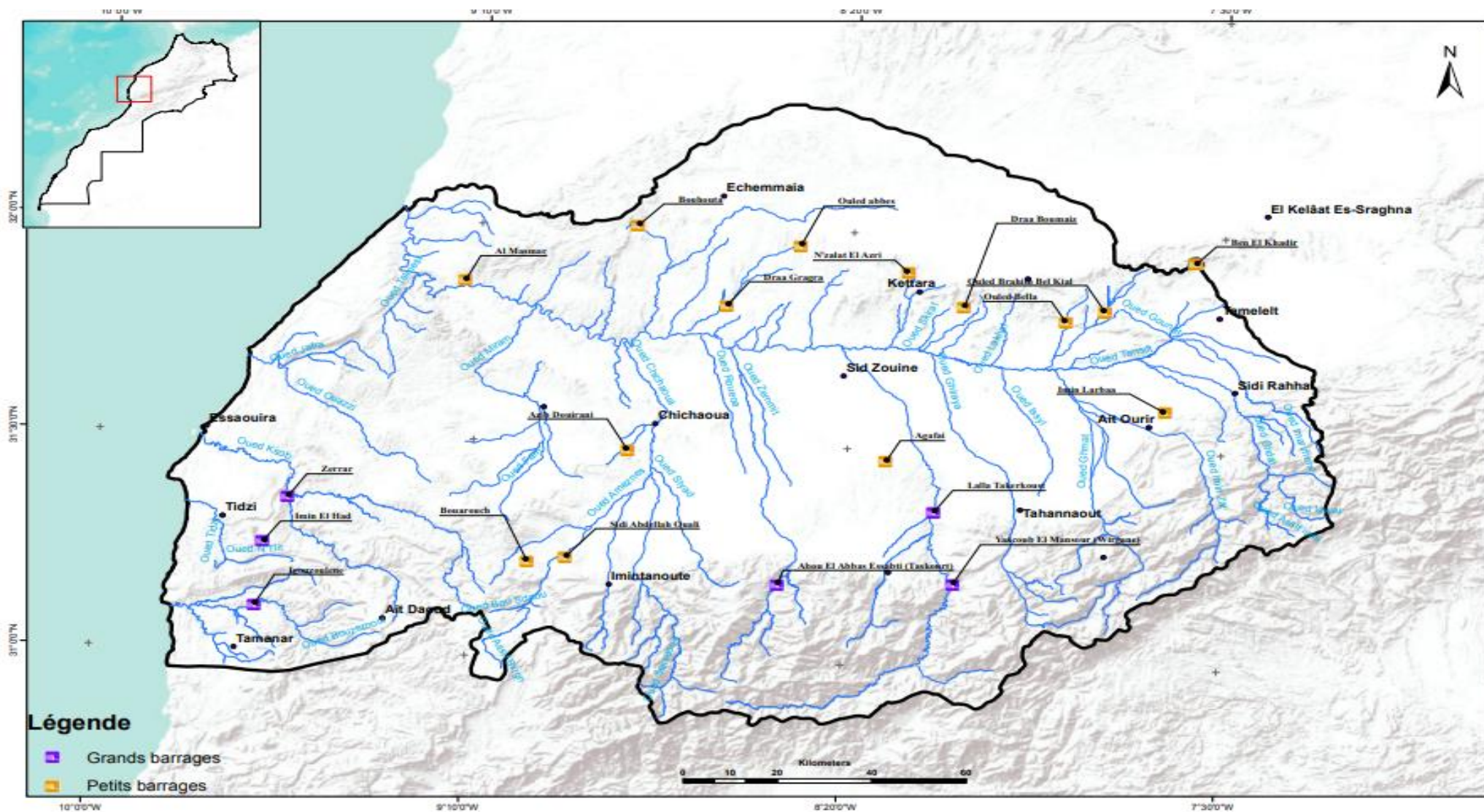


Figure 5. Carte des ouvrages hydrauliques existants dans la zone d'action de l'ABT

## **IV.1 Eaux souterraines**

L'inégale répartition géographique de la pluviométrie et des eaux de surface d'une part, et la géologie caractérisée par la présence de structures très diversifiées dans la zone d'action de l'ABHT d'autre part, sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines. Les unités hydrogéologiques, d'extension notable, sont comprises dans la couverture sédimentaire qui s'étend sous les zones de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont celles du Haouz, du Mejjat, de la Bahira et du bassin d'Essaouira-Kourimate (Figure 9).

Signalons que la zone d'action de l'ABH de Tensift ne comprend que la Bahira occidentale.

### **IV.1.1 La nappe du Haouz**

La nappe du Haouz s'étendant sur une superficie d'environ 6 000 km<sup>2</sup>, est limitée par la chaîne du Haut Atlas au Sud, les chaînons des Jbilet au Nord, les premiers versants du moyen Atlas à l'Est et le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'Ouest. L'alimentation de la nappe du Haouz est assurée par l'infiltration des eaux de crues des oueds atlasiques traversant la plaine et par le retour des eaux d'irrigation.

L'exploitation de la nappe se fait par puits et par forages, avec des profondeurs variables. Les profondeurs les plus faibles sont rencontrées dans la zone aval, proche de l'oued Tensift, exutoire général de la nappe. Signalons qu'en raison de la surexploitation de la nappe, les profondeurs du niveau d'eau connaissent une baisse croissante pouvant atteindre, en moyenne, près de 2 m/an. Les zones déprimées sont celles situées dans le secteur du N'fis, Loudaya et Sid Zouine





La productivité des ouvrages présente une grande variabilité spatiale mais, d'une manière générale, est affectée par la baisse des niveaux de la nappe. Des chutes de productivité sont particulièrement observées dans les secteurs de Loudaya, Saada et Souihla. Cette chute affecte grandement la production d'eau potable au niveau du champ captant ONEP du N'fis.

Dans le secteur du N'Fis, initialement en irrigation à partir des eaux de surface, le pompage prolifère continuellement en raison de la réduction continue des dotations à partir des eaux de surface.

Les études des bilans de la nappe, effectuées par l'ABHT montrent que la nappe du Haouz connaît un déficit important de l'ordre de 170 Mm<sup>3</sup>.

#### **IV.1.2 La nappe du Mejjat et sa terminaison occidentale**

D'une superficie de 1 000 km<sup>2</sup> environ, la plaine du Mejjat est limitée au Nord par l'oued Tensift et au Sud par le Haut Atlas. Elle renferme deux aquifères : la nappe phréatique plio-quadernaire et la nappe éo-crétacé. Les principales alimentations de ce système proviennent des infiltrations directes des eaux de pluie sur les aires d'affleurement et des eaux de crue des oueds Imintanout et Ameznas. L'écoulement de l'eau, de direction Nord-Est à Sud-Ouest, donnent naissance aux principales sources de l'oued Chichaoua, contribue à l'alimentation par infiltration de la nappe phréatique de Mejjat.

Des études récentes du bilan hydrique effectuées par l'ABHT ont montré que la nappe du Mejjat est aujourd'hui en quasi-équilibre. Mais cette situation est appelée à basculer rapidement vers le déséquilibre en raison du développement rapide de l'agriculture irriguée.

#### **IV.1.3 La nappe de la Bahira**

La Bahira est un aquifère multicouche renfermant plusieurs nappes souterraines dont les principales sont :

- la nappe phréatique de remplissage plio-quadernaire,
- la nappe des calcaires lutétiens ;
- la nappe de la formation marno-schisteuse de l'Yprésien supérieur et du Lutétien inférieur ;
- la nappe des niveaux phosphatés crétacés et paléocènes.

Allongée d'Est en Ouest, la plaine de la Bahira est localisée entre le massif des Jbilet au Sud et les plateaux des Rehamnas et des Gantour au Nord et s'étend sur une superficie d'environ 5000 km<sup>2</sup>. Précisons par ailleurs que la zone d'action de l'ABHT ne compte que 3000km<sup>2</sup>, regroupant les parties occidentale et centrale de la Bahira, la Bahira orientale étant en dehors du périmètre d'action de l'ABHT. Les infiltrations directes des eaux pluviales et l'infiltration des

ruissellements provenant des Jbilet sont de l'ordre de 33 Mm<sup>3</sup> et constituent la principale composante de la recharge naturelle du système aquifère de la Bahira. Les sorties sont constituées des pompages répartis à raison de 9 Mm<sup>3</sup> pour l'alimentation en eau potable et 28 Mm<sup>3</sup> pour l'irrigation.

La nappe est exploitée surtout au niveau du champ captant des Khoualka et N'Zalet Lâadem où l'on observe une tendance à la baisse depuis 1974, date de l'accroissement des prélèvements. Cette baisse s'est amplifiée à partir de 1985 atteignant, en moyenne, une valeur de 0.35 m/an au niveau de la Bahira occidentale et environ 1 m/an au niveau de la Bahira centrale».

Cet aquifère est socialement très important, étant donné que, si l'aquifère est épuisé, les agriculteurs démunis qui en dépendent viendront accroître la population des quartiers périphériques et des bidonvilles de villes avoisinantes, particulièrement Marrakech, Benguerir, et Kelaa des Sraghnas. En outre, cet aquifère constitue l'unique ressource économiquement viable pour l'AEP des populations rurales dans la région de la Bahira.

En comparaison avec les nappes du Haouz, l'intensification de l'exploitation de la nappe de la Bahira est plus récente (les dernières 20 années), d'où une situation de déficit relativement nouvelle, qu'il va falloir maîtriser rapidement, d'autant plus que cette nappe est peu connue et certainement très sensible car peu renouvelée.

Les dernières données disponibles, relatives aux prélèvements d'eau dans la nappe de la Bahira, citent 2092 exploitations inventoriées dont 3% déclarent disposer d'une autorisation de pompage. Le nombre total de points de captage inventoriés est 2223 points (1205 puits, 665 forages et 353 puits approfondis par forages).

#### **IV.1.4 Les nappes du bassin d'Essaouira – Kourimate**

Le bassin d'Essaouira-Kourimate est un vaste plateau de 6 000 km<sup>2</sup> de superficie, limité à l'ouest par l'Océan Atlantique, au Sud par le Haut Atlas occidental, au Nord par l'oued Tensift et à l'Est par le méridien passant à l'Ouest de Sidi El Mokhtar.

La profondeur moyenne des nappes d'Essaouira-Kourimate varie entre 40 et 60 mètres.

Les principaux aquifères de la région sont :

- les nappes des grès dunaires et des calcaires coquilliers du Plio-Quaternaire s'étendant le long de la côte sur une bande large de 20 km et longue de 40 km. L'aquifère Plio-Quaternaire développé le long de l'oued Qsob, présente par contre un potentiel limité ;
- la nappe de Céno-mano-Turonien du Synclinal d'Essaouira s'étendant sur une superficie de 900 km<sup>2</sup>, est limitée au Sud par l'oued Tidzi, au Nord par l'oued Qsob, à l'Ouest par l'Océan Atlantique et à l'Est par le diapir de Tidzi. L'alimentation de la nappe

Cénomano-Turonienne s'opère par infiltration directe des eaux de pluie au niveau des zones d'affleurements, des eaux de drainage de l'Oued Qsob et par l'apport latéral provenant de la nappe Meskala-Kourimate ;

- la nappe de Meskala-Kourimate, s'étendant sur une superficie de l'ordre de 1600 km<sup>2</sup>, est constituée de deux aquifères superposés, l'un circulant dans les calcaires de l'Eocène, et l'autre dans des terrains dolomitiques du Crétacé d'une superficie respectivement de 100 et 1600 km<sup>2</sup>. La recharge de ce système se fait par infiltration directe des eaux de pluie et de ruissellement sur les aires d'affleurement. L'écoulement se fait en direction Nord-Ouest pour alimenter l'oued Qsob ou constituer l'apport latéral en direction Nord-Est pour contribuer à l'alimentation par abouchement souterrain des aquifères de la terminaison occidentale de la nappe du Mejjat.

#### **IV.1.5 La nappe d'Akermoud**

Elle s'étend le long de la côte, sur une bande large de 20 km et longue de 40 km, avec une profondeur variable entre 40 et 60 mètres. L'alimentation de la nappe s'effectue à partir des infiltrations directes et par drainance à partir des aquifères sous-jacents.

## CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN

---

### I. DÉLIMITATION DES SOUS BASSINS VERSANTS DE TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN

Pour la délimitation des bassins versants, on utilise des modèles de terrain numériques et des outils d'analyse hydrologique pour définir les zones géographiques d'où l'eau s'écoule vers un point d'exutoire commun. Cela permet de cartographier les zones de drainage des eaux de pluie et de déterminer les zones qui contribuent à l'approvisionnement en eau. Ce processus est essentiel pour la planification et la gestion des ressources hydriques, en prenant en compte la topographie, les pentes et les réseaux hydrographiques, entre autres paramètres, afin de créer des limites précises des bassins versants. Arcgis, en tant que système d'information géographique, facilite cet analyse et la représentation des données géospatiales.

#### I.1 Le logiciel ArcGis

ArcGis est un logiciel SIG développé par Esri, une société spécialisée dans les technologies géospatiales. Ce logiciel est largement utilisé pour la gestion, l'analyse et la visualisation de données géographiques. Il offre un ensemble complet d'outils et de fonctionnalités permettant de collecter, organiser, analyser et présenter des données spatiales.

Dans le domaine de l'hydrologie, ArcGis en tant que logiciel de système d'information géographique (SIG) est très utile et pratique. Il permet d'intégrer, d'analyser et de visualiser les données géographiques liées à l'eau de manière efficace. ArcGis offre des outils avancés pour la délimitation précise des bassins versants, la modélisation de l'écoulement de l'eau, l'analyse des cours d'eau, la gestion des données hydrologiques et la prévision des crues. Grâce à ces fonctionnalités, ArcGis facilite la compréhension des systèmes hydrologiques, la planification stratégique de l'utilisation des ressources en eau, la gestion des risques liés aux inondations et la prise de décisions éclairées dans le domaine de l'hydrologie.

#### I.2 La démarche du travail

La délimitation des bassins versants a été réalisée à partir des MNT 12,5m, qui sont des représentations numériques du relief d'une région donnée. A partir de ces modèles numériques de terrains, plusieurs caractéristiques du bassin versant ont pu être obtenues.

Pour réaliser la délimitation, on utilise ArcMap, un logiciel de bureau intégré à la suite ArcGis. ArcMap propose une variété de fonctionnalités permettant de créer des cartes, d'effectuer des analyses spatiales, d'éditer et de gérer les données. Les cartes sont sauvegardées au format mxd.

Avant de commencer le processus de délimitation, il est crucial de fusionner les MNT des zones étudiées en un seul et de l'importer dans ArcMap.

Pour la délimitation de plusieurs sous-bassins versants, il est courant de recourir à un outil permettant d'automatiser ce processus afin d'optimiser le temps et les efforts déployés. ArcMap propose un outil particulièrement précieux, "model builder" permet de créer un flux de travail automatisé pour effectuer les tâches de la délimitation d'une manière efficace.

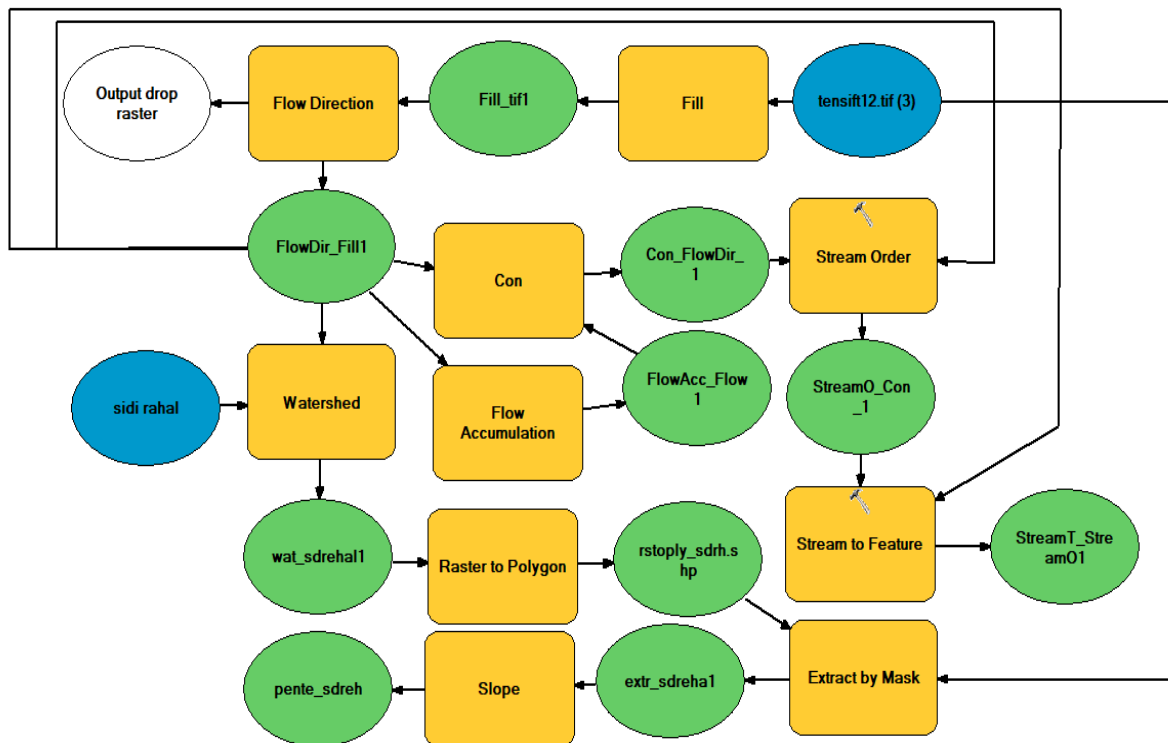


Figure 7. Schéma créé par model builder sur les étapes de la délimitation du sous bassin versant R'DAT de l'exutoire "la station de Sidi Rahal"

- **Fill** : consiste à remplir les dépressions du modèle numérique de terrain (MNT) pour créer un relief continu. Cela améliore la précision des résultats en évitant les distorsions causées par les dépressions.
- **Flow Direction** : permis d'identifier pixel par pixel la direction de l'écoulement des eaux
- **Flow accumulation** : calculer la quantité d'eau qui s'écoule vers un point donné. Il est généralement basé sur la topographie du terrain et la direction de l'écoulement de l'eau.
- **Con** : Utilisé pour créer un masque en spécifiant que la condition est que les cellules ayant la même valeur que le point de sortie d'eau soient conservées.
- **Stream Order** : permet de déterminer l'ordre des cours d'eau dans un réseau hydrographique
- **Stream to Feature** : est utilisé pour convertir un réseau de cours d'eau représenté sous forme de lignes en une couche de polygones qui représente les bassins versants correspondants.
- **Watershed** : est utilisé pour délimiter précisément les bassins versants à partir d'un point de sortie d'eau généré à partir des coordonnées géographiques données d'un exutoire. Cet outil crée une couche de polygones représentant les zones de drainage correspondantes aux points

de sortie d'eau spécifiés.

- **Raster to polygon** : Il permet de convertir la couche raster résultante du bassin versant en une couche de polygones, offrant une représentation vectorielle des limites du bassin versant, Cela permet d'exporter les informations de surface et de périmètre du bassin.
- **Extract by mask** : L'outil "Extract by Mask" est utilisé pour extraire les données d'une zone spécifique en utilisant un masque défini. Il permet de sélectionner uniquement les données se trouvant à l'intérieur du masque, en excluant les données situées à l'extérieur de la zone spécifiée. Cela permet d'exporter des informations sur les altitudes du bassin
- **Slope** : permet de calculer la pente d'un bassin versant.

## II. CARACTÉRISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS

### II.1 L'indice de compacité de Gravelius KG

Cet indice de compacité renseigne sur la forme du bassin versant et évalue le réseau de drainage, l'indice mesure le rapport entre le périmètre du bassin versant et la racine carrée de son surface.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

D'où :

KG : indice de compacité de Gravelius

A : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

P : périmètre du bassin versant (km)

Plus le bassin est compact, plus sa forme est ramassée, plus l'indice de Gravelius est faible, et plus le temps de rassemblement des eaux vers l'exutoire sera court.

### II.2 Le rectangle équivalent

C'est une représentation des bassins en forme rectangulaire qui permet de faciliter la comparaison des bassins entre eux.

- **Largeur équivalent** :

$$leq = K_c \cdot \frac{\sqrt{A}}{1,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{k_c}\right)^2}\right)$$

- **Longueur équivalent** :

$$Leq = K_c \cdot \frac{\sqrt{A}}{1,12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{k_c}\right)^2}\right)$$

D'où :

KG : indice de compacité de Gravelius

A : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

P : périmètre du bassin versant (km)

### II.3 Altitudes du bassin versant

Les altitudes du bassin versant sont déterminées à partir d'une carte hypsométrique générée automatiquement sur un MNT. Cette carte donne une idée sur la répartition des altitudes dans le bassin, ce qui permet d'identifier les zones où latitude est anormale.

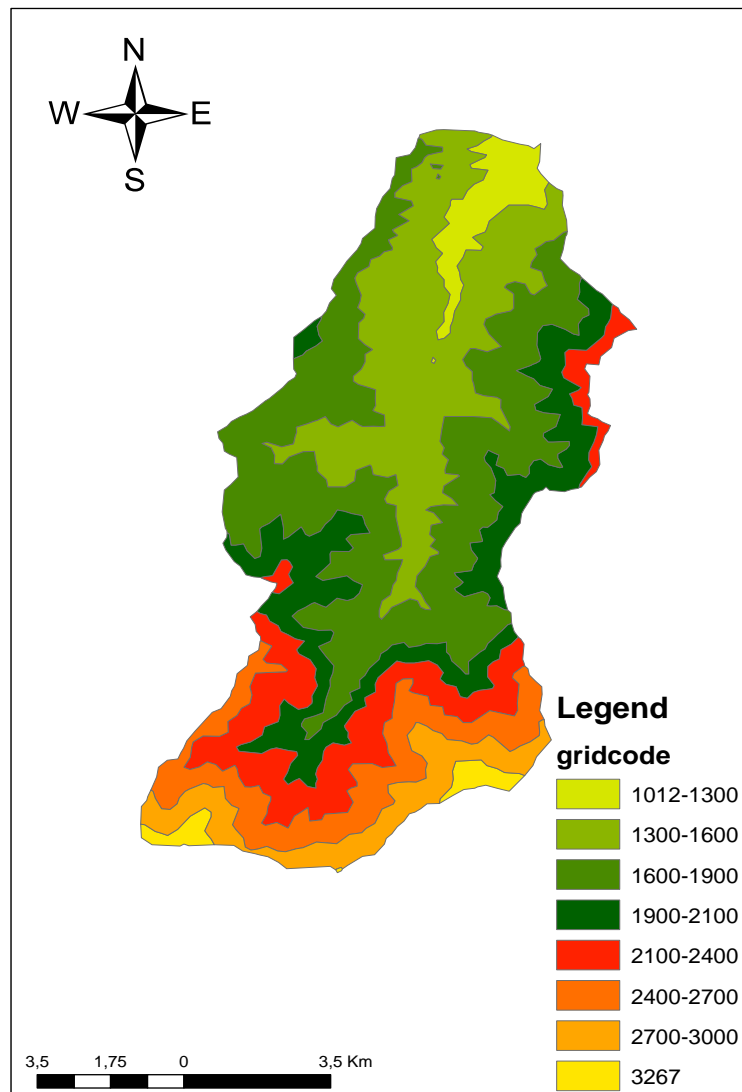


Figure 8. Carte hypsométrique du sous bassin Amezmiz



#### II.4 Pentes du bassin du bassin versant

Les pentes sont obtenues d'une manière automatique d'après les cartes des pentes générées par l'outil Slope sur le logiciel ArcMap.

- **Carte des pentes :**

La carte des pentes permet de quantifier les pentes des versants au sein d'un bassin versants. Elle donne une vue d'ensemble sur les versants pentus et ceux tabulaires, elle est obtenue automatiquement à partir du traitement d'un MNT.

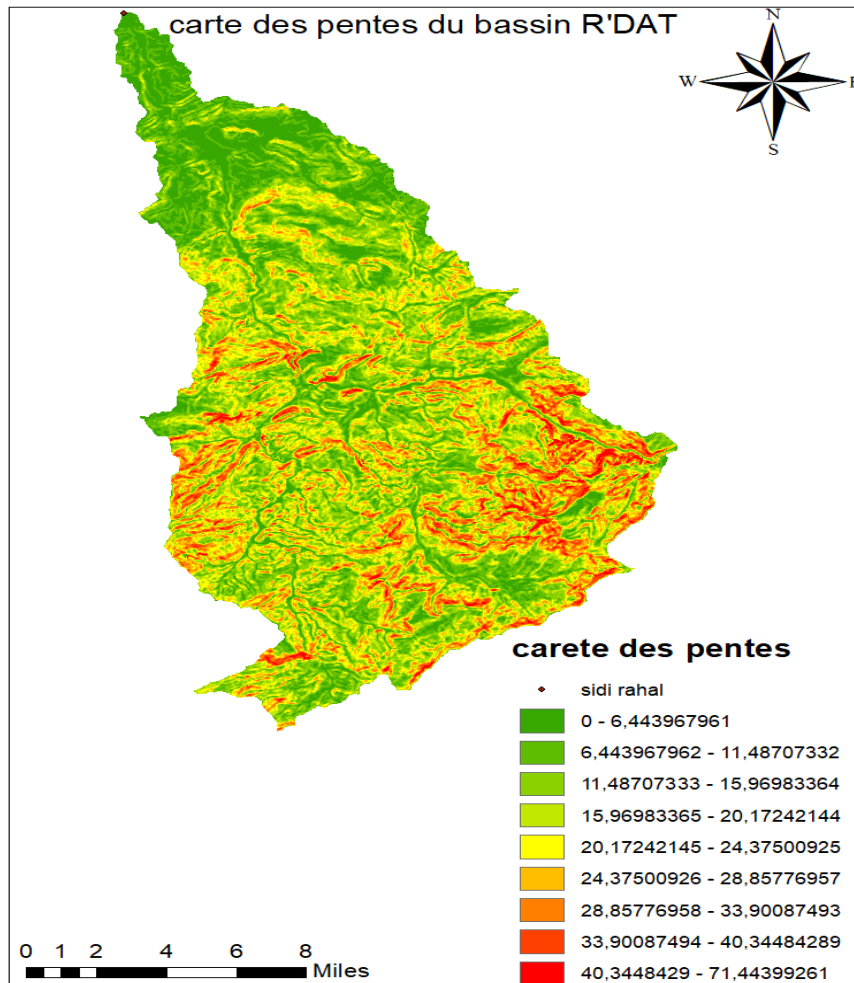


Figure 9. Carte des pentes du sous bassin versant R'DAT en degré

- **Pente moyenne de l'écoulement :**

La pente de l'écoulement se calcule par la relation suivante :

$$P = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} * 100$$

D'où :

Hmax et Hmin : sont respectivement les altitudes max et min le long du cours d'eau.

L : est la longueur du cours d'eau principal en m

- **Indice de pente classique :**

Les indices de pente classique l'un paramètres qui nous renseignent sur la topographie du bassin versant.

$$P = \frac{H_{max} - H_{min}}{Leq} * 100$$

H max : l'altitude maximale.

H min : l'altitude minimale.

Leq : la longueur du rectangle équivalent.

## II.5 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique désigne l'ensemble des cours d'eau interconnectés d'une région. Il représente le système de drainage naturel qui collecte, transporte et distribue l'eau à travers le paysage. Il est composé du cours principal et des affluents appelés tributaires. La configuration en plan du réseau est très variée d'un bassin à l'autre, elle dépend de la combinaison de nombreux facteurs tels que le climat, la géologie, la topographie et l'érosion et résulte d'une longue évolution.

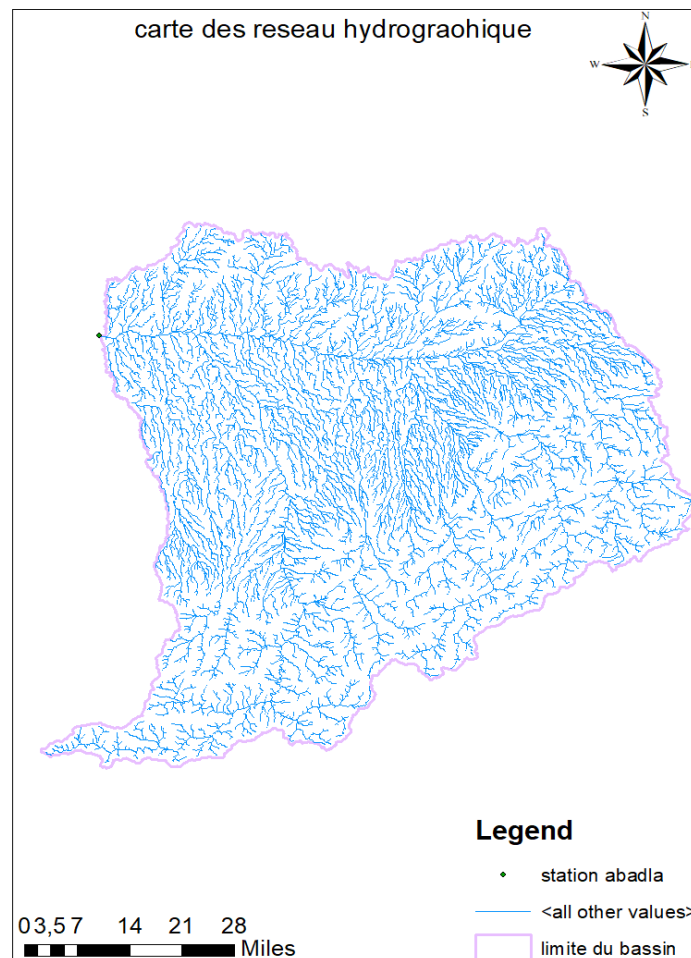


Figure 10. Carte de réseau hydrographique du sous bassin versant de Tensift

### III. Résultats

Le bassin versant Tensift-Ksob-Igouzoulen comprend 47 stations de mesure en eaux, représentant chacune un exutoire et donc formant 47 sous bassins (Figure.11).

Le tableau ci-après illustre les caractéristiques géomorphologiques de chaque sous bassin.

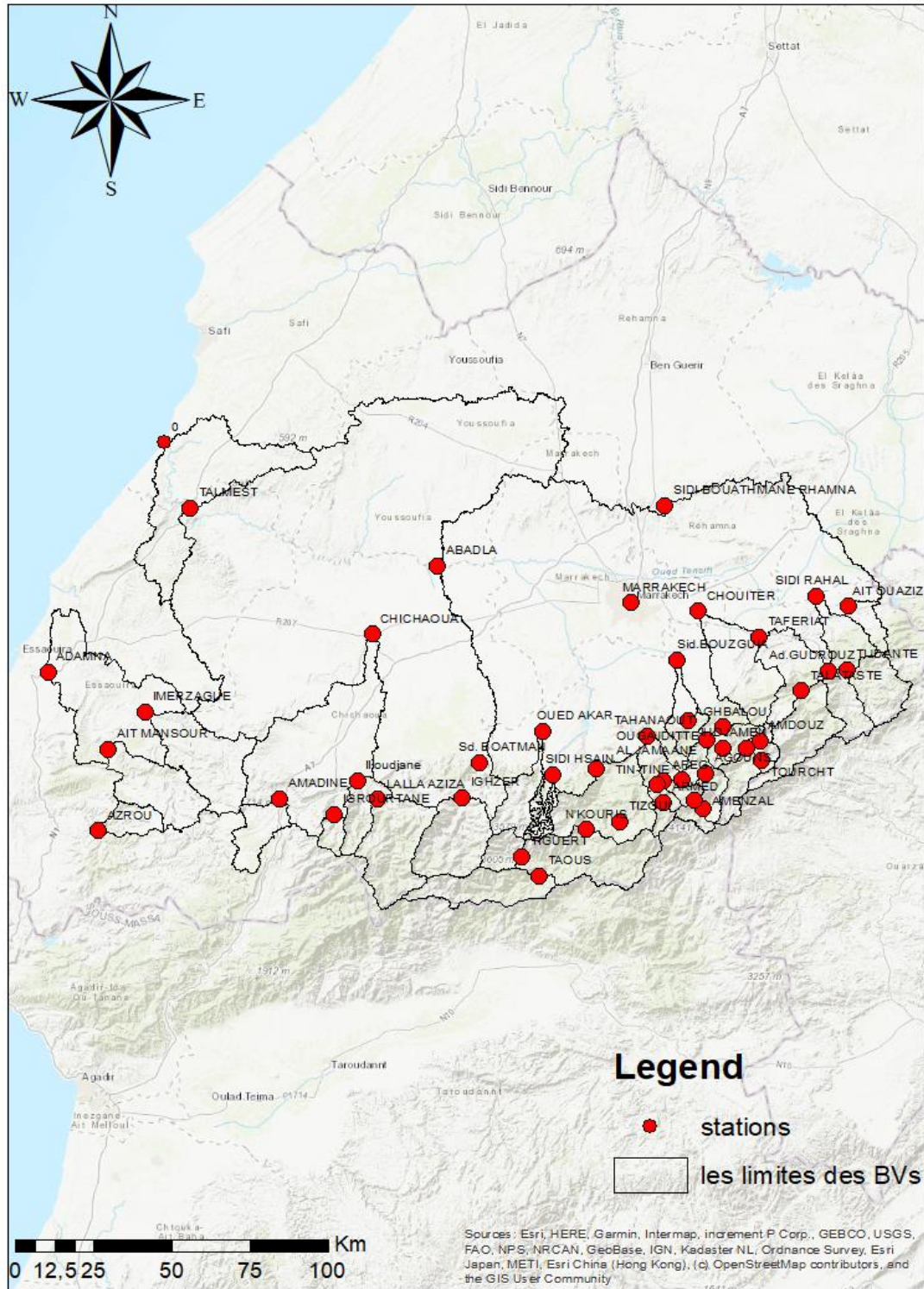


Figure 11. Délimitation des bassins versants au droit des stations hydrométrique

STATION	OUED/bassin	Type station	Coordonnées en m		surface en km <sup>2</sup>	périmètre en km	indice de compacité Kg	longueur du rectangle équivalente km	largeur du rectangle équivalent en km	altitude max en m	altitude min en m	pente max en degré	pente min en degré	pente moyenne en %
			X	Y										
<b>PROVINCE CHICHAOUA</b>														
<b>CHICHAOUA</b>	CHICHAOUA	Hydro pluviométrique (Principale)	181693	111161	1870	313,478	2,03	143,72	13,01	3310	332	67,01	0	2,07
<b>ABADLA</b>	TENSIFT		199866	129545	10348	624,387	1,72	274,49	37,69	4119	224	72,44	0	1,41
<b>AMADINE</b>	AMEZNASSE		154918	65948	183	78,9186	1,63	34,08	5,37	1699	1067	47,94	0	1,85
<b>IGROURTANE</b>	IMINTANOUT		169741	61160	61	36,2717	1,30	13,71	4,420	2684	1179	52,16	0	10,97
<b>Sd. BOATMAN</b>	EL MEL		209788	74376	515	106,687	1,32	40,68	12,65	3581	808	64,23	0	6,81
<b>IGHZER</b>	EL MEL		204729	64838	363	82,3748	1,21	28,38	12,79	3581	1017	64,23	0	9,03
<b>LALLA AZIZA</b>	Seksaoua		181719	64931	416	106,487	1,46	43,72	9,52	3310	896	64,06	0	5,52
<b>Illoudjane</b>	Seksaoua		Pluviométrique	176273	70316	570	126,084	1,47	52,10	10,93	3310	749	67,01	0
<b>PROVINCE MARRAKECH</b>														
<b>CHOUITER</b>	Ghmat	Hydro pluviométrique (Principale)	270624	115111	952	188,952	1,71	83	11,47	3897	493	66,13	0	4,10
<b>MARRAKECH</b>	N'FIS	Pluviométrique	252139	117908	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PROVINCE ESSAOUIRA</b>														
<b>TALMEST</b>	TENSIFT	Hydro pluviométrique (Principale)	133531	147876	19575	883,96	1,76	392,04	49,93	4119	28	72,44	0	1,04
<b>ADAMNA</b>	KSOB	Hydro pluviométrique (Principale)	93073	103899	1611	272,858	1,90	123,36	13,06	1703	61	63,96	0	1,33
<b>AZROU</b>	Igouzoulen	Pluviométrique (Principale)	104964	58926	115	52,69	1,37	20,79	5,55	1205	380	45,91	0	3,96

<b>IMERZAGUE</b>	TIOUT		119068	91640	450	126,4	1,66	55,06	8,17	1703	404	63,96	0	2,35
<b>AIT MANSOUR</b>	AGENDA		108615	81504	350	110,3	1,65	47,86	7,31	1594	343	51,76	0	2,61
<b>PROVINCE EL KELAA</b>														
<b>SIDI RAHAL</b>	R'DAT	Hydro pluviométrique (Principale)	302729	118609	539	135,45	1,63	58,50	9,22	3542	673	71,44	0	4,90
<b>PROVINCE RHAMNA</b>														
<b>SIDI BOUATHMANE RHAMNA</b>	LEKHAL	Pluviométrique	262170	144648	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PROVINCE AL HOUZ</b>														
<b>TAFERIAT</b>	ZAT	Hydro pluviométrique (Simplifiée)	286887	107508	564	154,26	1,817	68,93	8,19	3897	1796	64,88	0	3,04
<b>AGHBALOU</b>	OURIKA		276435	82599	503	120,9	1,50	50,50	9,96	3994	992	72,44	0	5,94
<b>TAHANAOUT</b>	RERAYA		255668	80643	225	84,99	1,58	36,28	6,21	4119	1039	67,01	0	8,48
<b>N'KOURIS</b>	N'FIS		238424	54822	844	199,10	1,91	90,18	9,36	4078	1054	70,86	0	3,35
<b>IMIN LHAMMAM</b>	N'FIS		241652	71823	1285	233,6	1,82	104,49	12,30	4078	743	70,86	0	3,19
<b>SIDI HSAIN</b>	AMEZMIZ		229613	70356	104	53,06	1,45	21,72	4,80	3267	1012	51,33	0	10,37
<b>TIOURDIOU</b>	TIFNI		276,689	276689	132	60,94	1,48	25,20	5,27	3994	1742	65,17	0	8,93
<b>AGOONS</b>	TIMICHI	Pluviométrique	271450	69650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AMENZAL</b>	N'OUFRA	Hydro pluviométrique	270644	59927	48	35,38	1,42	14,33	3,35	3924	2535	54,16	0,32	9,68
<b>TOURCHT</b>	AMLOUGUI	Hydro pluviométrique (Principale)	286835	73094	11	14,05	1,19	4,77	2,25	3305	1573	52,97	1,64	36,30
<b>TAZITOUNT</b>	OURIKA		282941	76629	329	112,19	1,73	49,43	6,66	3994	1267	69,33	0	5,51

<b>ARMED</b>	IMLIL		259663	61984	34	27,42	1,31	10,43	3,27	4119	3029	66,02	0	10,43
<b>AMDOUZ</b>	OURIKA		286467	78424	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AIT OUAZIZ</b>	LAGH		311552	115541	82	51,80	1,59	22,17	3,72	2168	1183	53,7	0	4,43
<b>IHDJAMEN</b>	TIGHZRETE	Pluviométrique	276445	76821	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AL JAMAANE</b>	TARZAZA	Hydro pluviométrique (Simplifiée)	271936	79248,4	59	39,54	1,43	16,09	3,68	3602	2299	66,25	0	8,09
<b>OUGAJDITTE</b>	ISSIL	Pluviométrique	267100	84550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sid.BOUZGUI A</b>	ISSIL	Hydro pluviométrique (Principale)	264292	101673	139	732,03	548,73	366019,11	0,38	2296	1099	48,22	0	0,00032
<b>Ad.GUDROUZ</b>	R'DAT	Pluviométrique	305752	97665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TIJDANTE</b>	R'DAT	Hydro pluviométrique (Principale)	310821	97934	368	99,51	1,45	40,72	9,03	3542	1973	71,44	0	3,85
<b>TIZGUI</b>	Imgdale	Pluviométrique	247750	56740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TAOUS</b>	N'FIS	Hydro pluviométrique (Simplifiée)	225249	42121	292	105,20	1,72	46,29	6,30	3585	2297	60,23	0	2,78
<b>TIGUERT</b>	N'FIS		220475	47648	101	43,86	1,22	15,32	6,60	3585	1601	56,50	0	12,94
<b>TIZI-LKEMT</b>	Tachdirte	Pluviométrique	268260	62450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AREG</b>	Tachdirte	Hydro pluviométrique (Principale)	259891	67991,6	49	33,31	1,33	12,87	3,77	3870	2622	65,14	0,32	9,68
<b>TIN-TINE</b>	IMLIL	Hydro pluviométrique (Simplifiée)	258187	66867	71	41,29	1,36	16,24	4,405387185	4119	2651	67,01	0	9,03
<b>OUED AKAR</b>	oued akar		227433	82647	161	90,75	2,00	41,49	3,880095758	3562	1926	54,30	0	3,94

<b>OUKAIMDEN</b>	OURIKA	Pluviométrique	265089	68219	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TALATASTE</b>	Zat	Hydro pluviométrique (Principale)	298187	92312	299	101,67	1,64	44,03	6,802143268	3897	2243	64,88	0	3,75

### CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE DES SOUS BASSINS VERSANTS TENSIFT-KSOB-IGOUZOULEN

#### I. ETUDE DU RÉGIME DE DÉBIT ANNUEL

L'évolution des débits annuels reflète les irrégularités spatiotemporelles, en tenant compte des variations interannuelles dans les stations. Les irrégularités spatiales sont en relation directe avec la situation amont-aval. Par ailleurs, les irrégularités temporelles mettent en relief une succession de période humide et de période sèche.

Les figures ci-dessous sont des exemples des débits de pointes dans différentes stations de mesure du bassin versant Tensift-Ksob-Igouzoulen.

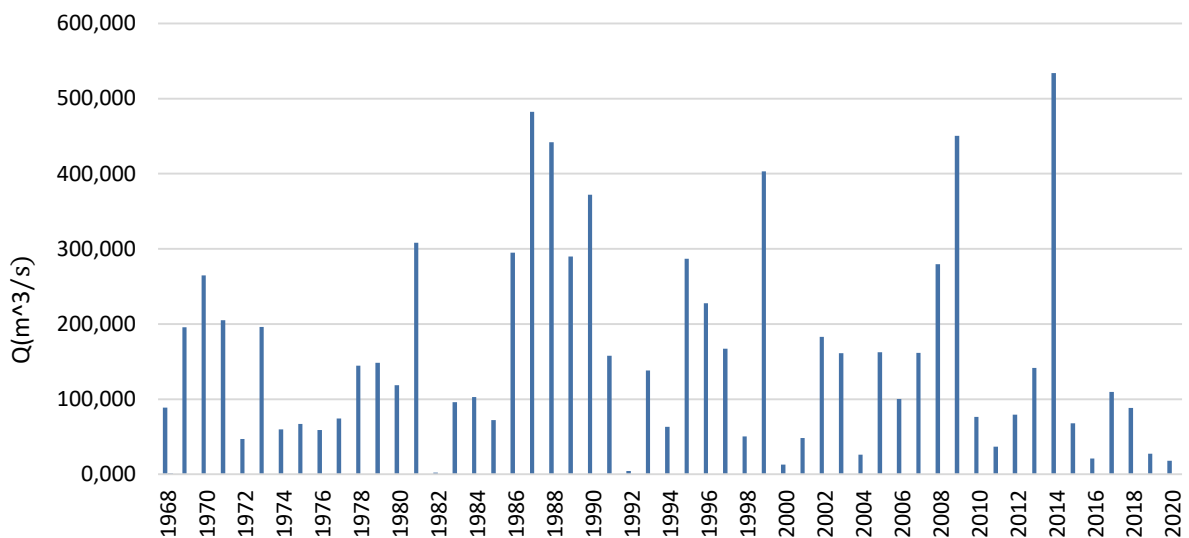


Figure 12. Histogramme des débits annuels pour la station Abadla sur la période 1968-2020

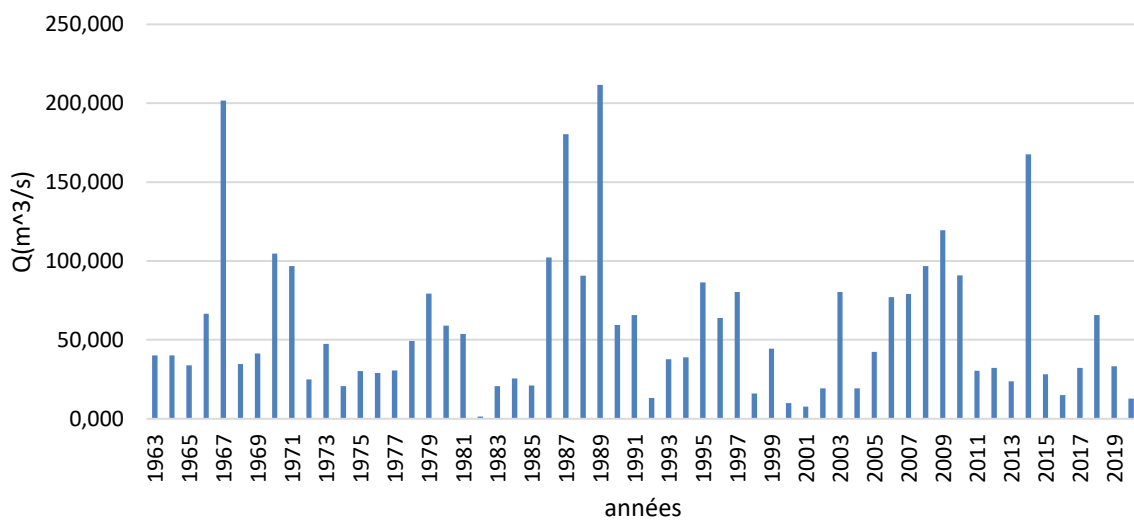


Figure 13. Histogramme des débits des points annuels pour la station sidi Rahal sur la période 1963-2019



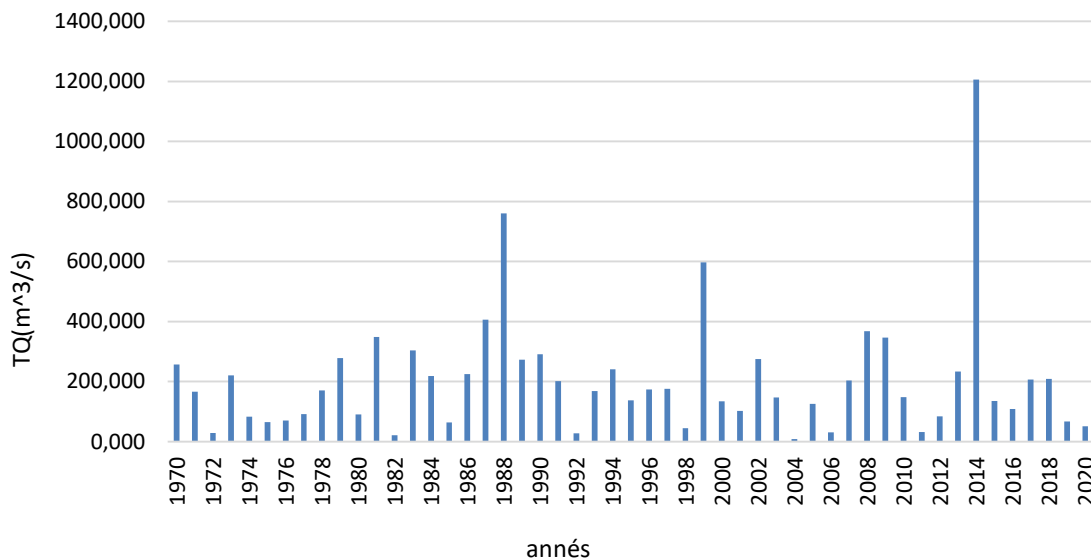


Figure 14. Histogramme des débits annuels pour la station talmest sur la période 1970-2020

## II. ETUDE DU RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE ANNUELS

L'étude des précipitations maximales annuelles consiste à analyser les données afin d'identifier les valeurs les plus élevées de précipitations enregistrées au cours d'une année dans une région spécifique. Cette analyse permet de distinguer les épisodes de précipitations intenses et d'évaluer les risques associés, tels que les crues et les inondations. Les régimes pluviométriques annuels varient d'une région à l'autre en raison de facteurs géographiques, climatiques et topographiques. L'étude des précipitations maximales annuelles est essentielle pour la planification des infrastructures, la gestion des ressources en eau et la prévention des catastrophes naturelles. Les résultats de cette étude permettent de mieux comprendre les extrêmes climatiques et de renforcer la résilience face à de tels événements.

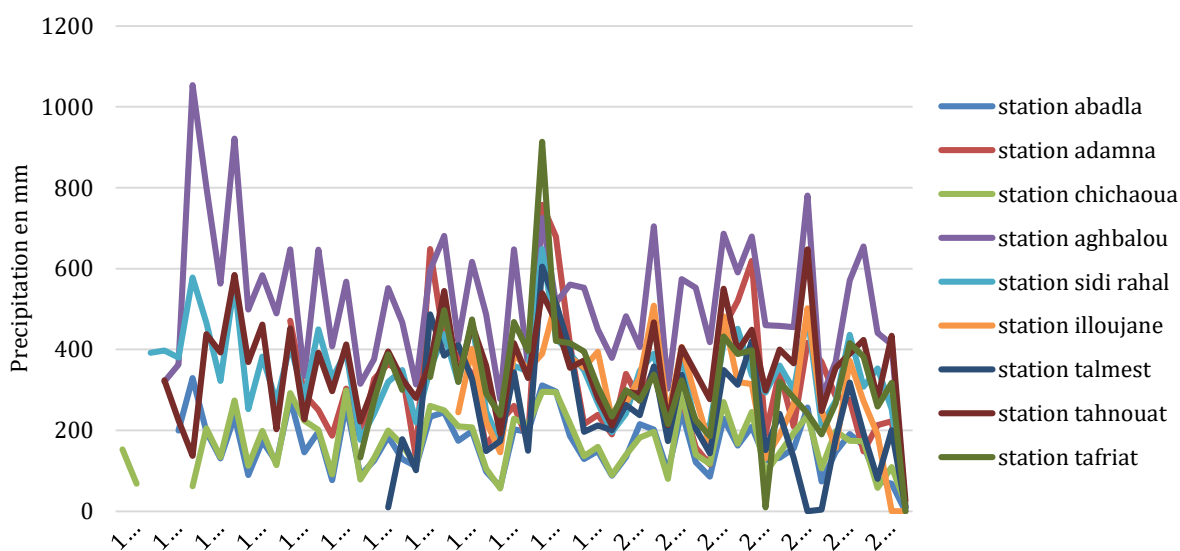


Figure 15. Courbes des précipitations annuelles pour différentes stations de mesure dans le BV Tensift-Ksob-Igouzoulen entre 1965-2021

### III. ESTIMATION DES DEBITS DE POINTES AU DROIT DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES

Dans le cadre de cette étude, il a été décidé de calculer les débits de pointes des bassins versant des oueds Ghmat, Rdat et Zat. L'objectif étant d'aboutir à une estimation du débit de pointe pour différentes périodes de retour.

#### III.1 Démarche méthodologique

Afin de déterminer les débits de pointes pour les bassins en question, et pour différentes fréquences de retour, une approche basée sur deux méthodes est utilisée, à savoir :

- ✓ Application des ajustements statistiques aux débits instantanés maximums annuels des séries observées au niveau des stations hydrométriques ;
- ✓ Application de la méthode du Gradex pour la détermination des débits de pointe des différents bassins.

##### III.1.1 Méthode probabiliste : Ajustement statistique

Cette approche consiste à ajuster les débits maximums instantanés enregistrés au niveau des stations à des lois statistiques adaptées aux événements extrêmes, afin d'estimer les débits de pointe des bassins jaugés. L'analyse fréquentielle de débits maximums instantanés aux différentes lois est faite sur la base de données des stations concernées.

Les résultats obtenus au droit des stations hydrométriques sont transposés vers les bassins des oueds étudiés. Cette transposition des débits des bassins versants est réalisée à l'aide de la méthode de Francou-Rodier, et la méthode des débits spécifiques.

Nous avons utilisé les données des stations hydrologiques d'Aghbalou, Sidi Rahal et Taferiat.

Les caractéristiques de ces stations hydrologiques figurent dans le tableau suivant.

*Tableau 3. Caractéristiques des stations hydrologiques de la zone d'étude*

Station	IRE	Oued	X [km]	Y [km]	Z [m]	Superficie [km <sup>2</sup> ]
Aghbalou	6193/600	Ghmat	276150	83050	1070	503
Sidi Rahal	6976/600	Rdat	303100	117800	690	569
Taferiat	7352/600	Zat	291250	107500	760	531

##### III.1.2 Méthode de Gradex

###### a. Rappel du principe de la méthode de Gradex

La méthode du Gradex a été conçue, mise au point, testée, et validée par le groupe de recherche d'EDF (Guillot & Duband, 1967), c'est une approche hydro-pluviométrique simplifiée qui permet d'estimer les débits de crues extrêmes pour des fréquences d'apparition rares à très rares (temps de retour au-delà de 100 ans). Elle s'applique à des bassins versants de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés recevant des pluies uniformes au niveau spatial.

Cette méthode est basée sur une idée principale, selon laquelle l'extrapolation des valeurs de débits ne peut se faire raisonnablement que de façon parallèle à la courbe des précipitations,

puisque nous ne pouvons pas avoir une quantité d'eau ruisselée supérieure à celle tombée.

Cette méthode s'appuie sur différentes hypothèses :

- Les débits maximums recherchés sont provoqués uniquement par des pluies maximales, uniformément réparties sur le bassin.
- Les pluies maximales et les débits correspondants (débits maximaux) suivent une même loi de distribution statistique, dite des "extrêmes" en raison de la nature du phénomène recherché.
- Ceci exprime surtout le fait qu'à partir d'une certaine valeur de pluie, le comportement asymptotique du débit sera identique à celui des pluies. Selon les auteurs de cette méthode, ce seuil représente le taux de saturation du bassin qui est atteint après un événement pluviométrique qui provoque un débit décennal (T=10 ans).

La méthode Gradex se base sur une procédure de calcul qui suit l'approche suivante :

- Étudier la variable aléatoire "pluie" reçue par le bassin versant en 24 heures ; l'ajuster selon la loi de Gumbel et calculer son Gradex moyen ;
- Considérer le débit charnière pour le bassin ;
- Extrapoler la fonction de répartition des débits au-delà du débit charnière de 10 ans par une droite de pente égale au Gradex de pluie convertie en valeur de débit en utilisant la surface des bassins versants ;
- Considérer un coefficient de pointe pour transformer les débits moyens extrapolés en débits de pointe.

#### **b. Conduite de la méthode**

Le Gradex appliqué aux bassins versants des oueds étudiés a été déduit à partir des postes hydrologiques et pluviométriques de la zone d'étude.

Les pluies maximales journalières ont été ajustées selon la loi de Gumbel. Le passage du débit journalier se fait via un coefficient de pointe. Le choix de ce coefficient dépend de l'analyse des débits maximums instantanés et des débits journaliers maximums.

Le Gradex des débits instantanés est déduit par l'application d'un coefficient de pointe. Ce coefficient est défini comme étant le rapport du débit de pointe ( $Q_p$ ) au débit maximum journalier ( $Q_{jmax}$ ).

Le coefficient de pointe permet le passage du débit moyen journalier maximum  $Q_{24}$  au débit de pointe  $Q_p$ . Il est donné par le rapport suivant :

$$C_p = Q_p / Q_{24}$$

L'application de la méthode du GRADEX implique plusieurs contraintes :

1. La durée des pluies considérées doit strictement correspondre à celle des débits (même  $\Delta t$ )

et en général 24 h). Elle est conditionnée par le temps de concentration des eaux du bassin au point d'intérêt.

2. Les unités des pluies et des débits doivent être identiques si l'on procède à l'application de cette méthode en utilisant la loi de Gumbel (en mm/24h).
3. Les limites d'application de cette méthode sont conditionnées par des temps de concentration  $t_c$ , variant de 1 heure à 4 jours. La méthode ne peut donc s'appliquer qu'à des bassins versants de 5 000 km<sup>2</sup> au maximum.

Les résultats obtenus par extrapolation sont des débits maximaux moyens qui résultent des pluies maximales moyennes. Il s'agit donc de multiplier ces valeurs de débits par le coefficient de pointe moyen.

### c. Estimation du coefficient de pointe $C_p$

Le coefficient de pointe  $C_p$  est défini comme étant le rapport du débit instantané maximum annuel  $Q_p$  et du débit journalier maximum annuel  $Q_{jmax}$ . Il traduit une relation  $Q_p$ - $Q_{jmax}$  qui permet le calcul des  $Q_p(T)$  à partir des  $Q_{jmax}(T)$ . Ce coefficient est égal à 3 pour la station d'Aghbalou, 3.24 pour la station de Sidi Rahal et 2.17 pour la station hydrologique de Taferiat.

## III.2 Les résultats

### III.2.1 Estimation des débits de pointes au droit des stations hydrologiques

#### ✚ Ajustement statistique au droit des stations hydrologiques

##### ✓ Station d'Aghbalou

Les données de débits maximums instantanés enregistrés au niveau de la station d'Aghbalou s'étalent sur une période de 46 ans. Les débits maximums instantanés qui y sont mesurés et exploités sont donnés en annexe.

Les séries des débits enregistrés ont été ajustées avec les lois suivantes : Log normal, Normale, Gumbel, Exponentiel et Weibull.

Selon le tableau ci-dessous, la loi Log normal est celle qui s'ajuste le mieux à la série des débits de pointes enregistré au niveau de la station de d'Aghbalou.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	1590.676	16.67	72.92	579.044	575.387
Exponential (Maximum Likelihood)	2	874.448	16.67	16.14	582.060	578.402
Weibull (Method of moments)	2	1069.256	16.67	8.07	583.446	579.788
Gamma (Method of moments)	2	1055.015	16.67	2.87	585.516	581.859
Gumbel (Method of moments)	2	906.480	16.67	0.00	615.330	611.673
Normal (Maximum Likelihood)	2	721.969	16.67	0.00	636.628	632.971

Le graphique suivant montre les résultats obtenus :

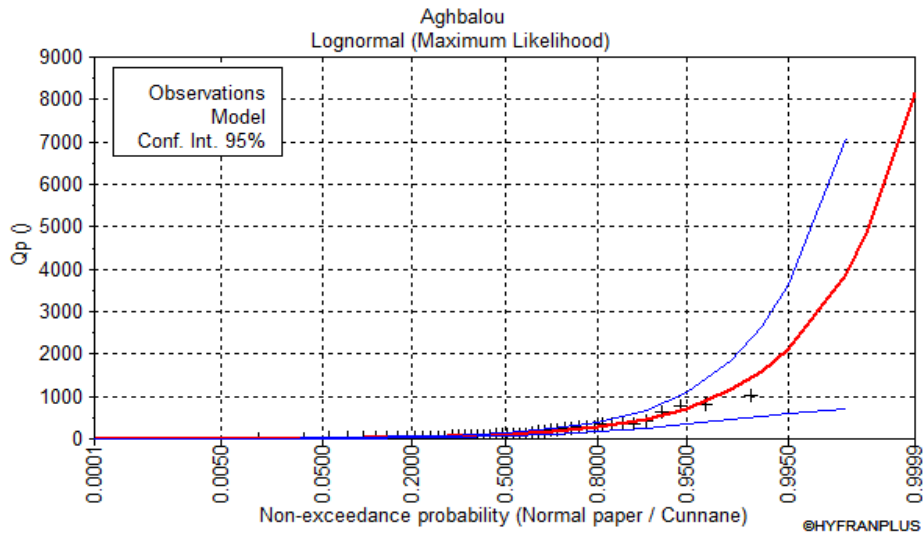


Figure 16. Graphique d'ajustement des  $Q_p$  annuels de la station d'Aghbalou selon la loi Gamma

Les quantiles des débits instantanés maximums annuels déduits de cette loi sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 4 .Débits de pointe de la station d'Aghbalou (Loi Log normal)

T	q	Q(m3/s)	Standard	Intervalle de confiance
10	0.9	467	110	252 – 682
20	0.95	715	191	341 – 1090
50	0.98	1160	355	460 – 1850
100	0.99	1590	534	544 – 2640

✓ **Station de Sidi Rahal**

Les données de débits maximums instantanés enregistrés au niveau de la station de Sidi Rahal s'étalent sur une période de 49 ans. Les débits maximums instantanés qui y sont mesurés et exploités sont donnés en annexe.

Les séries des débits enregistrés ont été ajustées avec les lois suivantes : Log normal, Normale, Gumbel, Exponentiel et Weibull.

Selon le tableau ci-dessous, la loi Exponentiel est celle qui s'ajuste le mieux à la série des débits de pointes enregistré au niveau de la station de Sidi Rahal.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Exponential (Maximum Likelihood)	2	755.145	16.67	76.68	602.418	598.635
Gamma (Method of moments)	2	625.868	16.67	10.37	606.420	602.637
Weibull (Method of moments)	2	604.278	16.67	6.68	607.300	603.516
Lognormal (Maximum Likelihood)	2	905.932	16.67	5.99	607.518	603.734
Gumbel (Method of moments)	2	602.594	16.67	0.28	613.632	609.849
Normal (Maximum Likelihood)	2	494.155	16.67	0.00	625.751	621.967

Le graphique suivant montre les résultats obtenus :

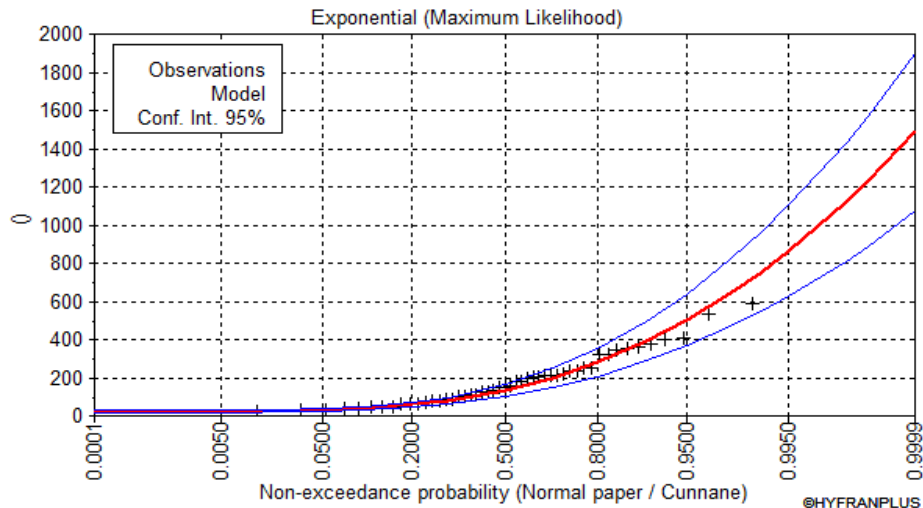


Figure 17. Graphique d'ajustement des  $Q_p$  annuels de la station de Sidi Rahal selon la loi Exponentiel

Les quantiles des débits instantanés maximums annuels déduits de cette loi sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 5. Débits de pointe de la station de Sidi Rahal (Loi Exponentiel)

T	q	Q(m <sup>3</sup> /s)	Standard	Intervalle de confiance
10	0.9	389	52.4	276-447
20	0.95	500	68.3	328-558
50	0.98	645	89.3	392-704
100	0.99	755	105	438-814

✓ **Station de Taferiat**

L'estimation des débits de pointe par la méthode de l'ajustement statistique s'est basée sur les données de débits maximums instantanés enregistrés au niveau de la station de Taferiat sur une période de 54 ans.

Les débits maximums instantanés qui y sont mesurés et exploités sont donnés en annexe.

Les séries des débits enregistrés ont été ajustées avec les lois suivantes : Log normal, Normale, Gumbel, Exponentiel et Weibull.

Selon le tableau ci-dessus, la loi Gamma est celle qui s'ajuste le mieux à la série des débits de pointes enregistré au niveau de la station de Taferiat. Le graphique ci-dessous montre les résultats obtenus :

Modèle	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi   x)	BIC	AIC
Gamma (Maximum de vraisemblance)	2	593.451	16.67	39.83	647.623	643.645
Weibull (Maximum de vraisemblance)	2	601.205	16.67	32.72	648.016	644.038
Exponentielle (Maximum de vraisemblance)	2	640.505	16.67	18.52	649.155	645.177
Lognormale (Maximum de vraisemblance)	2	1118.354	16.67	8.92	650.616	646.638
Gumbel (Maximum de vraisemblance)	2	462.779	16.67	0.01	664.757	660.779
Normale (Maximum de vraisemblance)	2	470.353	16.67	0.00	696.021	692.043

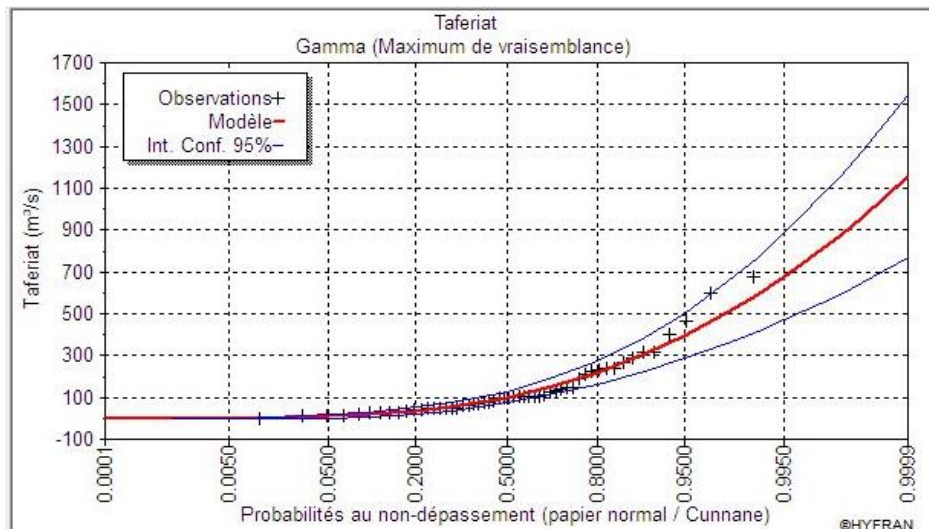


Figure 18. Graphique d'ajustement des  $Q_p$  annuels de la station Taferiat selon la loi Gamma

Les quantiles des débits instantanés maximums annuels déduits de cette loi sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Débits de pointe de la station de Taferiat (Loi Gamma)

T	q	Q(m3/s)	Standard	Intervalle de confiance
10	0.9	307	41.1	227 – 388
20	0.95	394	55.2	286 – 502
50	0.98	508	75	361 – 655
100	0.99	593	90.4	416 – 771

Le tableau suivant donne les débits de pointes calculés par la méthode de l'ajustement statistique pour les stations d'Aghbalou, Sidi Rahalet et Taferiat.

Tableau 7. Débits de pointe des stations hydrologiques de la zone d'étude calculés par l'ajustement statistique

Stations	Aghbalou	Sidi Rahal	Taferiat
T			
10	467	389	101
20	715	500	307
50	1160	645	394
100	1590	755	508

#### ✚ Méthode de Gradex au droit des stations hydrologiques

##### ✓ Station d'Aghbalou

Pour les données de précipitations journalières maximales, l'IC a employé les données de la station d'Aghbalou sur une période de 48 ans.

Le Gradex de la pluie extrapolée à partir des stations pluviométriques d'Aghbalou, Amenzal, Tazitount, Tiourdiou et Toucht.

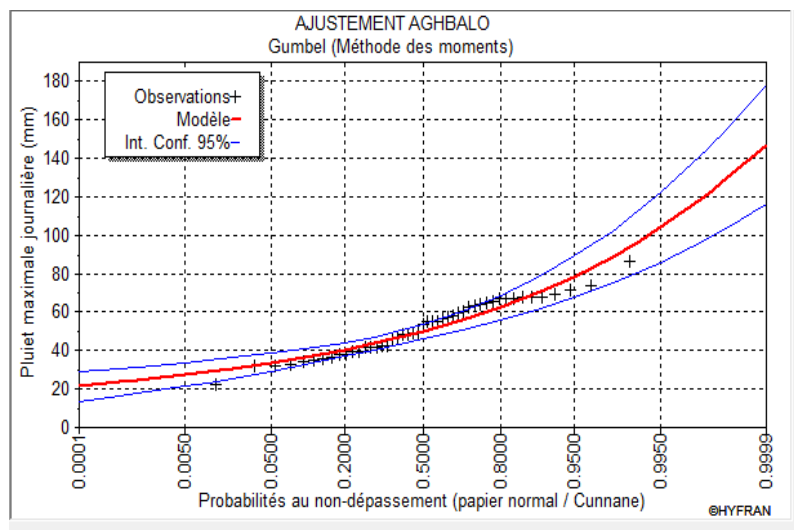


Figure 19. Graphique d'ajustement des précipitations  $P_{jmax}$  annuelles de la station Aghbalou

Les débits de pointe pour les différentes périodes de retour au droit de la station hydrologique Aghbalou sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8. Débits de pointe de la station Aghbalou par la méthode de Gradex

Temps de retour [ans]	Fréquence empirique selon Hazen [-]	Variable réduite de Gumbel [-]	Précipitations estimées [mm/24h]	Débits moyen estimés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [m <sup>3</sup> /s]	Débits de pointe extrapolés [m <sup>3</sup> /s]
10	0.9	2.25	85.65	87.96	27.69	161.22	485
20	0.95	2.97	102.16	104.42	34.72	257.06	773
50	0.98	3.90	123.53	125.73	43.81	381.11	1146
100	0.99	4.60	139.55	141.70	50.62	474.07	1426

✓ **Station de Sidi Rahal**

Pour les données de précipitations journalières maximales, l'IC a employé les données de la station de Sidi Rahal sur une période de 49 ans.

Le Gradex de la pluie extrapolée à partir de la station pluviométrique de Sidi Rahal.

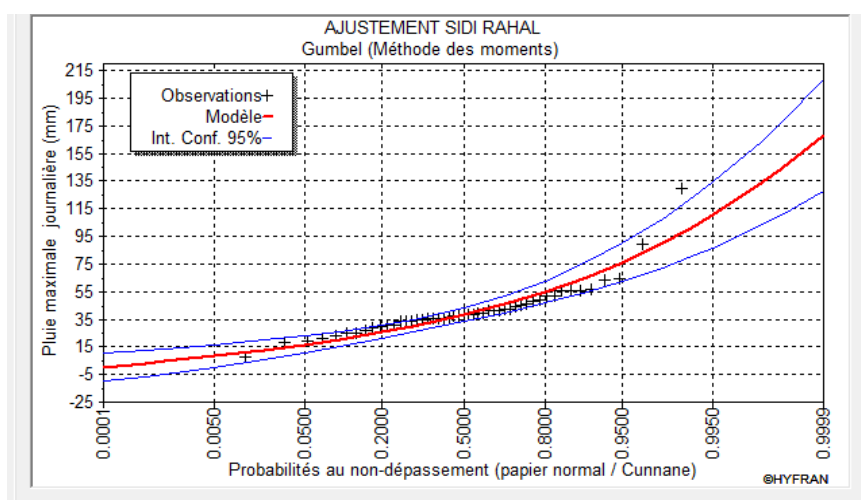


Figure 20. Graphique d'ajustement des précipitations  $P_{jmax}$  annuelles de la station Sidi Rahal



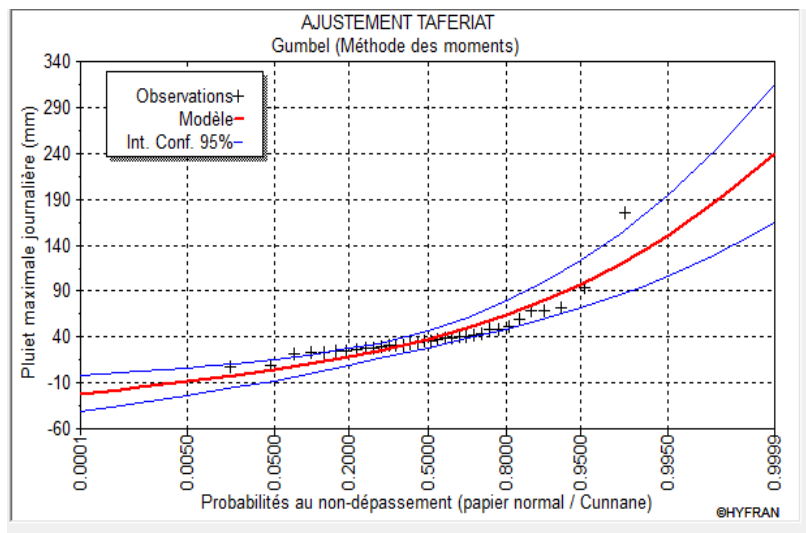
Les débits de pointe pour les différentes périodes de retour au droit de la station hydrologique Sidi Rahal sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 9 . Débits de pointe de la station Sidi Rahal par la méthode de Gradex**

Temps de retour [ans]	Fréquence empirique selon Hazen [-]	Variable réduite de Gumbel [-]	Précipitations estimées [mm/24h]	Débits moyen estimés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [m <sup>3</sup> /s]	Débits de pointe extrapolés [m <sup>3</sup> /s]
10	0.9	2.25	65.77	18.33	18.33	120.71	392
20	0.95	2.97	76.34	22.40	28.90	190.32	617
50	0.98	3.90	90.03	27.67	42.58	280.42	910
100	0.99	4.60	100.28	31.63	52.83	347.94	1129

✓ **Station de Taferiat**

Pour les données de précipitations journalières maximales, l'IC a employé les données de la station de Taferiat sur une période de 33 ans.



**Figure 21 . Graphique d'ajustement des précipitations Pjmax annuelles de la station Taferiat**

Les débits de pointe pour les différentes périodes de retour au droit de la station hydrologique Taferiat sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10. Débits de pointe de la station Taferiat par la méthode de Gradex**

Temps de retour [ans]	Fréquence empirique selon Hazen [-]	Variable réduite de Gumbel [-]	Précipitations estimées [mm/24h]	Débits moyen estimés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [mm/24h]	Débits moyen extrapolés [m <sup>3</sup> /s]	Débits de pointe extrapolés [m <sup>3</sup> /s]
10	0.9	2.25	81.43	20.45	20.45	125.82	274
20	0.95	2.97	98.15	25.08	37.18	228.72	497
50	0.98	3.90	119.81	31.08	58.83	361.92	787
100	0.99	4.60	136.03	35.57	75.06	461.74	1004

Le tableau suivant donne les débits de pointes calculés par la méthode Gradex pour les stations d'Aghbalou, Sidi Rahal et Taferiat.

**Tableau 11. Débits de pointe des stations hydrologiques calculés par la Méthode Gradex**

Stations	Aghbalou	Sidi Rahal	Taferiat
T			
10	485	392	274
20	773	617	497
50	1146	910	787
100	1426	1129	1004

### III.2.2 Débits de pointes retenus pour chaque station hydrologique

Les résultats des débits de pointe des stations hydrologiques d'Aghbalou, Sidi Rahal et Taferiat estimés par les deux méthodes (Ajustement statistique et Gradex) ainsi que les débits retenus pour chaque période de retour sont consignés dans le tableau ci-après.

**Tableau 12 . Débits de pointe retenus au droit des stations hydrologiques de référence**

Périodes de retour	Aghbalou			Sidi Rahal			Taferiat		
	MG	AS	Q retenu	MG	AS	Q retenu	MG	AS	Q retenu
10	485	467	<b>467</b>	392	389	<b>392</b>	274	307	<b>274</b>
20	773	715	<b>715</b>	617	500	<b>617</b>	497	394	<b>497</b>
50	1146	1160	<b>1160</b>	910	645	<b>910</b>	787	508	<b>787</b>
100	1426	1590	<b>1590</b>	1129	755	<b>1129</b>	1004	593	<b>1004</b>

MG : Méthode Gradex - AJ : Ajustement statistique

### I. INTRODUCTION

Avec la multiplication des données, la gestion efficace de ces dernières devient de plus en plus complexe. Pour relever ce défi, la programmation se révèle indispensable, notamment lorsqu'il s'agit d'utiliser Access pour faciliter la gestion pratique des données.

Dans ce chapitre, nous explorerons comment la programmation peut être un atout essentiel dans la gestion des données, en se concentrant sur l'utilisation d'Access. Nous verrons comment développer des outils ou des applications personnalisées qui permettent une gestion optimale des données et comment d'automatiser des tâches répétitives et fastidieuses liées à la gestion des données.

### II. GÉNÉRALITÉS SUR ACCESS

Microsoft Access est une application de gestion de bases de données relationnelles développée par Microsoft. Il permet aux utilisateurs de créer, gérer et interroger des bases de données de manière conviviale. Access offre une interface graphique intuitive pour la conception de tables, de requêtes, de formulaires et de rapports. Les fonctionnalités de requête d'Access permettent d'extraire des données spécifiques en utilisant des critères de filtrage et des opérations de tri. Les formulaires personnalisés facilitent la saisie, la modification et la visualisation des données. Les rapports générés offrent une présentation professionnelle des données. Access prend en charge la collaboration et le partage des bases de données, permettant à plusieurs utilisateurs d'accéder simultanément à une base de données. Dans l'ensemble, Microsoft Access est une solution pratique pour la gestion des bases de données dans divers domaines professionnels.

Avec Microsoft Access, les utilisateurs peuvent créer des tables pour stocker les données, définir des relations entre les tables et établir des règles d'intégrité pour garantir la cohérence des données. L'application propose également des fonctionnalités avancées de requêtes, qui permettent d'interroger les données de manière efficace et de générer des rapports personnalisés pour présenter les résultats. Le logiciel offre aussi la possibilité de créer des formulaires personnalisés pour faciliter la saisie et la modification des données. Ces formulaires peuvent être adaptés aux besoins spécifiques de l'utilisateur, offrant une interface conviviale pour interagir avec les données.

L'application dispose également de fonctionnalités de sécurité qui permettent de restreindre l'accès aux bases de données et de protéger les données sensibles. Les utilisateurs peuvent définir des niveaux d'autorisation, attribuer des mots de passe et chiffrer les bases de données pour garantir la confidentialité des informations.

### III. CRÉATION D'UN FORMULAIRE LIÉE À UNE BASE DE DONNÉES

La première étape consiste toujours à créer une base de données qui stockera toutes les données et caractéristiques des stations des bassins sous forme de tableaux. La création de la base de données peut être réalisée manuellement. Alternativement l'importation des données peut être effectuée en utilisant des fonctionnalités spécifiques de l'outil de gestion de bases de données, telles que l'importation à partir d'un fichier Excel ou la connexion à une source de données en ligne. Une fois les données importées, il est important de définir correctement la structure de la base de données en créant des tables appropriées pour chaque catégorie de données.

Une fois la base de données créée et les données importées, la prochaine étape consiste à concevoir et créer les formulaires nécessaires pour interagir avec ces données. Les formulaires servent d'interfaces de communication entre les utilisateurs et la base de données, permettant ainsi d'afficher, de saisir et de modifier les informations stockées de manière conviviale. En reliant les contrôles du formulaire aux champs correspondants de la base de données, on garantit une synchronisation automatique des données entre le formulaire et la base de données.

Lors de la conception des formulaires, il est important de prendre en compte les besoins spécifiques des utilisateurs et de créer une interface intuitive. On peut ajouter différents types de contrôles tels que des zones de texte, des cases à cocher, des boutons radio et des listes déroulantes pour faciliter la saisie des données. En attribuant à chaque contrôle une source de données correspondante dans la base de données, on assure que les informations saisies ou modifiées dans le formulaire sont enregistrées dans les bons champs de la base de données.

Cette liaison entre les formulaires et la base de données permet également de récupérer les données existantes lors de l'affichage des enregistrements. Ainsi, les utilisateurs peuvent visualiser facilement les informations stockées dans la base de données en naviguant à travers les enregistrements à l'aide des boutons de navigation fournis par Access.

La dernière étape consiste à créer une clé. La création de clés dans la base de données Access est cruciale pour faciliter la recherche des données, permettant ainsi une identification unique et rapide des enregistrements tout en améliorant les performances de recherche pour commencer, on identifie un champ ou une combinaison de champs pouvant servir de clé. Il est préférable que ces champs soient uniques pour chaque enregistrement dans la base de données. Par exemple, on peut utiliser le nom des stations ou un numéro d'identification unique attribué à chaque station de bassin comme N°IRE en tant que clé primaire. Ensuite, on sélectionne le champ ou les champs que l'on souhaite utiliser comme clé et on les définit comme clé primaire. Cette étape garantit que chaque enregistrement aura une valeur unique dans le champ ou la combinaison de champs spécifiée, une fois la clé primaire définie, Access s'assure que chaque enregistrement possède

une valeur unique dans le champ ou la combinaison de champs sélectionnée. On peut également créer des index sur d'autres champs importants pour améliorer les performances de recherche. Ces index créent des structures de données spéciales pour les champs indexés, accélérant ainsi les opérations de recherche, grâce à l'utilisation de clés et d'index dans la base de données, on peut effectuer des recherches plus rapides et plus efficaces. On peut utiliser des requêtes pour trouver rapidement des enregistrements spécifiques en fonction de la clé ou des critères de recherche définis. De plus, les clés facilitent les opérations de jointure entre différentes tables, ce qui est extrêmement utile pour obtenir des résultats plus complets lors de la recherche de données.

**FICHE STATION**

**Information générale**

STATION: [dropdown]  
 N° IRE: 1675/44  
 N° de poste: 8  
 Type station: Hydropluviométrique (Principale)  
 Date de mise en service: 05/03/1969

**Observateur**

Observateur: ERRACHKI Khalid  
 Date de naissance: 06/01/1992  
 date de prise en service: 01/06/2019  
 telephone: 0639299933

**Localisation géographique**

PROVINCE: CHICHAOUA  
 OUED/basin: TENSIFT  
 Coordonnées Lambert  
 X: 199866  
 Y: 129545

**Les caractéristiques**

surface en km<sup>2</sup>: 10348,2  
 altitude max: 4119

Figure 22. Modèle de la fiche station hydrométrique

STATION	OUED/bassi	PROVINCE	Type station	X	Y	surface en k	perimetre e	indice de comacité K	longueur du	largeur du
ABADLA	TENSIFT	CHICHAOUA	Hydropluviom	199866	129545	10348,2	624,387	1,71861847756669	#####	#####
ADAMINA	KSOB	ESSAOUIRA	Hydropluviom	93073,9	103899	1611,96	272,858	1,90290712593905	#####	#####
Ad.GUDROUZ	R'DAT	AL HOUZ	Pluviométriqu	305752	97665					
AIT MANSOUR	AGENDA	ESSAOUIRA	Hydropluviom	108615	81504,1	350,0132	110,357	1,65164119198859	#####	#####
AIT OUAZIZ	LAGH	AL HOUZ	Hydropluviom	311552	115541	82,5866	51,8006	1,596018892742	#####	#####
AGOUNS	TIMICHI	AL HOUZ	Pluviométriqu	271450	69650					
AL JAMAANE	TARZAZA	AL HOUZ	Hydropluviom	271936	79248,4	59,24041	39,545	1,43860174720937	#####	#####
AMADINE	AMEZNASSE	CHICHAOUA	Hydropluviom	154918	65948	183,309	78,9186	1,63209528289235	#####	#####
AMDOUZ	OURIKA	AL HOUZ	Pluviométriqu	286467	78424					
AMENZAL	N'OUFRA	AL HOUZ	Hydropluviom	270644	59927,2	48,1076	35,3831	1,42839086979973	#####	#####
AREG	Tachdirte	AL HOUZ	Hydropluviom	259891	67991,6	48,6185	33,3067	1,3374848112933	#####	#####
ARMED	IMLIL	AL HOUZ	Hydropluviom	259663	61984,4	34,21653	27,424	1,31271621385941	#####	#####
CHICHAOUA	CHICHAOUA	CHICHAOUA	Hydropluviom	181693	111161	1870,49	313,478	2,02949227828953	116,7021139	16,02790162
CHOUITER	Ghmat	MARRAKECH	Hydropluviom	270624	115111	952,303	188,952	1,71443864786123	#####	#####
Illoudjane	Seksaoua	CHICHAOUA	Pluviométriqu	176273	70316	569,84	126,084	1,47890931363296	#####	#####
N'KOURIS	N'FIS	AL HOUZ	Hydropluviom	238424	54822,5	844,7307	199,107	1,91816260960317	#####	#####
TIGUERT	N'FIS	AL HOUZ	Hydropluviom	220475	47648,6	101,2872	43,8698	1,22052422304207	#####	#####
IHDJAMEN	TIGHZRETE	AL HOUZ	Pluviométriqu	276445	76821					
IMIN LHAMMA	N'FIS	AL HOUZ	Hydropluviom	241652	71823,6	1285,89	233,603	1,82404075513884	#####	#####
LALLA AZIZA	Seksaoua	CHICHAOUA	Hydropluviom	181719	64931,4	416,34	106,487	1,46127029001265	#####	#####
MARRAKECH	N'FIS	MARRAKECH	Pluviométriqu	252139	117908					
OUED AKAR	oued akar	AL HOUZ	Hydropluviom	227433	82647,2	161,0075	90,7517	2,00257941292167	#####	#####
OUKAJDITTE	ISSIL	AL HOUZ	Pluviométriqu	267100	84550					
OUKAIMDEN	OURIKA	AL HOUZ	Pluviométriqu	265089	68219					
AGHBALOU	OURIKA	AL HOUZ	Hydropluviom	276435	82599,1	503,1054	120,936	1,50967735949452	#####	#####

Figure 23. La base de données relative aux stations hydrométriques

## CONCLUSION GENERALE

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet de fin d'études a porté sur l'étude de caractérisation des bassins de Tensift au droit des stations de mesure des ressources en eau de l'ABHT. Il a permis de :

- ✓ Délimiter les bassins versants au droit des stations hydrométriques ;
- ✓ Déterminer les caractéristiques géomorphologiques de ces bassins versants ;
- ✓ Estimer les débits de pointes pour différentes périodes de retour pour les bassins versants de Ghmat, Rdat et Zat par la méthode de l'ajustement statistique et par la méthode du Gradex,
- ✓ Développer une application pour une gestion optimale des données des stations hydrométriques de l'ABHT.

Pour une meilleure gestion des ressources en eau de surface à l'échelle du bassin du Tensift-Ksob-Igouzoulen, il est recommandé de :

- ✓ Renforcer le réseau de mesure des eaux de surface existants ;
- ✓ Équiper la rive droite de l'oued Tensift par des stations hydrométriques et pluviométriques pour évaluer de manière exacte les apports et les volumes des crues ;
- ✓ Développer des modèles hydrologiques et hydraulique au niveau de chaque bassin pour une meilleure gestion.

## I. BIBLIOGRAPHIE

- ABHT. (2007). *etude de revision du plan de directeur d'aménagement integre des ressources en eau(PDAIRE) des bassin hydrauliques du tensift-ksob-igouwoulen.*
- Cheikh, F. (2018). Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas du bassin versant de la Gambie. *Revue Marocaine de Géomorphologie. N°2.*, 127-110.
- M.BOUALIOUI, M. (2017). *Vulnérabilité territoriale aux inondations du Haut Atlas de Marrakech L'exemple de l'aval du bassin versant du ZAT.*
- M.Essemami, A. A. (2011). Gestion des risques naturels du versant nord du haut atlas marocain (Bassin du Tensift).
- M.SAIDI. (2012). Récupéré sur site web saidi.ma : <http://www.saidi.ma/>
- ministre de l'eau. (s.d.). *plan national de l'eau.* 2016.
- Sabine Hennig, R. V. (2023). Survey123 for ArcGIS Online.
- Said, E. G. (s.d.). Modélisation hydrologique et hydraulique et impact des changements climatiques sur une zone de montagne en climat semi-aride : cas des sous bassins versants d'Amizmiz et N'fis (Maroc) . 2017.
- Serena Coetzee, I. I. (2020). Open Geospatial Software and Data: A Review of the Current State and A Perspective into the Future. *international journal of geo-information.*

## II. WEBOGRAPHIE

Situation administrative, géographique et sociodémographique : <http://81.192.10.228/ressources-en-eau/agence-de-bassins-hydrauliques-abh/abh-tensift-et-cotiers-dessaouira/>