

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -  
Faculté des Sciences  
Dpartement D' Agronomie  
Réf: / D S AGRO/2025



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة  
كلية العلوم  
قسم علوم الفلاحة  
رقم: / ق ع ف / 2025

Skikda le : .....

## Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Mr. Sadoune Abdelaziz**

Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Kismoun Khouloud**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Protection du périmètre d'Azzaba contre les inondations de l'Oued Fendek.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Président de Jury



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -  
Faculté des Sciences  
Dpartement D' Agronomie  
Réf: / D S AGRO/2025



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة  
كلية العلوم  
قسم علوم الفلاحة  
رقم: / ق ع ف / 2025

Skikda le : .....

## Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Mr. Sadoune Abdelaziz**

Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Lezrak Yasmine**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Protection du périmètre d'Azzaba contre les inondations de l'Oued Fendek.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.



Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -  
Faculté des Sciences  
Dpartement D' Agronomie  
Réf : / D S AGRO/2025



وزارة التثمين العالي و البحث العلمي  
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة  
كلية العلوم  
قسم علوم الفلاحة  
رقم : / ا ق ع ف 2025/

Skikda le : .....

## Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master



Je soussigné : **Mr. Sadoune Abdelaziz**

Président de Jury

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Belaidi Ines**

Spécialité : **Aménagement Hydro-Agricole**

Intitulé : **Protection du périmètre d'Azzaba contre les inondations de l'Oued Fendek.**

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Président de Jury

الجمهورية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة

UNIVERSITÉ 20 AOUT 1955- SKIKDA

Faculté des sciences



Département des sciences  
agronomiques

**Spécialité :** Aménagement Hydro-Agricole

**Mémoire de fin d'étude :**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Aménagement Hydro-Agricole

**Thème :**

**Protection du périmètre d'Azzaba contre les  
inondations de l'Oued Fendek**

**Présentée par**

- KISMOUN Khouloud
- BELAIDI Ines
- LEZRAK Yasmine

**Encadré par**

HEBAL Aziz

**Membre de jury :**

M. SADOUNE Abdelaziz	MAA	Président	Université du 20 Août 1955Skikda
M. MERABAT Khaled	MAB	Examineur	Université du 20 Août 1955Skikda
M. HEBAL Aziz	MCA	Promoteur	Université du 20 Août 1955Skikda
M. LAOUCHRIA Farès	Pr.	Invité	Université Badji-Mokhtar Annaba

**Année Universitaire : 2024/2025**

## ملخص

الكوارث الطبيعية، وخاصة الفيضانات، تُعد من التحديات البيئية المتزايدة في الجزائر، وذلك بسبب تكرارها المتزايد وآثارها المدمرة خلال السنوات الأخيرة. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتقييم خطر الفيضانات لوادي فندق، الذي يعبر سهل عزابة في ولاية سكيكدة، حيث يشكل تهديدًا مباشرًا للمناطق المحيطة والبنى التحتية للري وحياة السكان القاطنين بجواره، لاسيما خلال فترات الأمطار الغزيرة.

تَعتمد المنهجية المُتبعة على تحليل الخصائص العامة لمنطقة الدراسة، بالإضافة إلى فحص البيانات الفيزيائية والمورفولوجية والمناخية. انطلاقًا من هذه البيانات، تم إجراء دراسة هيدرولوجية لتحديد فترات التكرار وتصريفات الفيضانات، أي كميات المياه المتوقعة خلال الفيضانات المحتملة وفقًا لاحتمالات مختلفة لحدوثها. بعد ذلك، تم استخدام برنامج HEC-RAS لإجراء محاكاة هيدروليكية، باعتباره أداة فعّالة لنمذجة الجريان السطحي في مجاري الأودية، مما يُمكن من تتبع خطوط الجريان وتحديد ارتفاعات المياه خلال فترات الفيضانات.

أتاحت النتائج المُتحصّل عليها تحديد عدة نقاط حرجة على طول مجرى وادي فندق، مما أدى إلى اقتراح حلول وقائية تهدف إلى تقليل الخسائر المحتملة وتعزيز مستوى الحماية ضد هذا الخطر الطبيعي المتكرر.

**الكلمات المفتاحية:** فيضانات – فيضان – التخطيط – إدارة المخاطر – الجريان السطحي- HEC-RAS

## **Abstract**

Natural disasters, particularly floods, represent one of the growing environmental challenges in Algeria due to their increasing frequency and devastating impacts in recent years. This study aims to analyze and assess the flood risk of the Oued Fendek, which flows through the Azzaba plain in the Skikda province, posing a direct threat to the surrounding areas, irrigation infrastructure, and the lives of nearby residents, especially during episodes of heavy rainfall.

The adopted methodology is based on the analysis of the general characteristics of the study area, as well as the examination of physical, morphological, and climatic data. Based on these data, a hydrological study was conducted to determine return periods and flood discharges—that is, the volumes of water expected during potential floods, according to various probabilities of occurrence. Subsequently, the **HEC-RAS** software was used to perform hydraulic simulations, serving as an effective tool for modeling surface flow in riverbeds, allowing for the tracing of flow lines and the determination of water heights during flood events.

The results obtained made it possible to identify several critical points along the course of the Oued Fendek, which led to the proposal of preventive solutions aimed at reducing potential losses and enhancing the level of protection against this recurring natural hazard.

**Keywords :** Floods – Flood discharge – Planning – Risk management – Surface runoff – HEC-RAS

## Résumé

Les catastrophes naturelles, en particulier les inondations, représentent l'un des défis environnementaux croissants en Algérie, en raison de leur fréquence accrue et de leurs impacts dévastateurs ces dernières années. Cette étude vise à analyser et à évaluer le risque d'inondation de l'oued Fendek, qui traverse la plaine d'Azzaba, dans la wilaya de Skikda, constituant une menace directe pour les périmètres avoisinants, les infrastructures d'irrigation et la vie des riverains, notamment lors des épisodes de fortes précipitations.

La méthodologie adoptée repose sur l'analyse des caractéristiques générales de la zone d'étude, ainsi que sur l'examen des données physiques, morphologiques et climatiques. À partir de ces données, une étude hydrologique a été menée pour déterminer les périodes de retour et les débits de crue, c'est-à-dire les volumes d'eau attendus lors de potentielles inondations, selon différentes probabilités d'occurrence. Ensuite, le logiciel **HEC-RAS** a été utilisé pour effectuer des simulations hydrauliques, en tant qu'outil performant de modélisation de l'écoulement de surface dans les lits d'oueds, permettant de tracer les lignes d'écoulement et de déterminer les hauteurs d'eau en période de crue.

Les résultats obtenus ont permis d'identifier plusieurs points critiques le long du parcours de l'oued Fendek, ce qui a conduit à la proposition de solutions préventives visant à réduire les pertes potentielles et à renforcer le niveau de protection contre ce risque naturel récurrent.

**Mots Clés :** Inondations – Crue – Planification – Gestion des risques – Écoulement de surface  
HEC-RAS

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Monsieur Hebal Aziz**, notre directeur de mémoire, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son encadrement précieux tout au long de cette recherche.*

*Nos remerciements vont à **Monsieur Laouacheria Fares** pour avoir pris part à l'élaboration de ce mémoire à travers sa contribution à l'un de ses volets.*

*Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques pertinentes et enrichissantes.*

*Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du corps enseignant du département des sciences agronomiques pour la qualité de leur enseignement, leur accompagnement et leur dévouement tout au long de notre parcours universitaire.*

*Enfin, merci à tous ceux qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de cette belle aventure académique.*

## ***DÉDICACE***

*Je dédie ce travail à ma chère famille, pour leur amour, leur patience et leur soutien tout au long de ce parcours.*

*À mes amis, pour leur présence réconfortante et leurs encouragements dans les moments difficiles.*

*À mes enseignants, pour leur encadrement, leurs conseils et le savoir qu'ils ont partagé avec passion.*

*Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

***KHOULOU***

## ***DÉDICACE***

*Je dédie ce travail à ma chère mère, qui a toujours été une source de soutien et d'inspiration pour moi.*

*À mon père bien-aimé, qui m'a guidé et m'a soutenu tout au long de ma vie.*

*À ma sœur précieuse, qui a toujours été là pour moi et m'a encouragée.*

*Enfin, à mes chers amis qui m'ont apporté soutien et joie.*

*Je remercie aussi moi-même, pour ma persévérance, ma patience et les efforts que j'ai fournis tout au long de ce travail.*

***INES***

## ***DÉDICACE***

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents, ma mère et mon père, pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.*

*À mes frères, à ma sœur, à mes amies et mes camarades.*

*Sans oublier tous les professeurs, que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire et de l'enseignement supérieur.*

***YASMINE***

## *Liste des Figures*

Figure I.1. Les inondations des plaines. ....	7
Figure I.2. Les inondations par remontée de nappe. ....	8
Figure I.3. Inondations par crues torrentielles.....	8
Figure I.4. Inondations par ruissellement en secteur urbain. ....	9
Figure I.5. Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle.....	10
Figure I.6. Les submersions marines.....	10
Figure I.7. Recalibrage d'un cours d'eau. ....	14
Figure I.8. Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue. ....	15
Figure I.9. Fonctions des barrages de correction torrentielle. ....	16
Figure I.10. Technique de banquettes. ....	16
Figure I.11. Canal de dérivation. ....	17
Figure I.12. Inondation de Ghardaïa (10/2008).....	20
Figure I.13. Inondation de BAB EL OUED (2001). ....	20
Figure I.14. Inondation de l'Oued Fendek.....	21
Figure II.1. Carte de situation géographique.....	24
Figure II.2. Les montagnes entourant Azzaba.....	24
Figure II.3. Position des différentes unités géologiques des maghrébines (Domzig, 2006). ...	26
Figure II.4. Carte structurale au 1/500000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien (Villa, 1978). ....	26
Figure II.5. Histogramme de précipitation de la station.....	30
Figure II.6. Courbe de température aux station d'Azzaba. ....	31
Figure II.7. Variation mensuelle de la température et des précipitations aux station d'Azzaba. ....	31
Figure II.8. Rose des vents établie sur une période de 10 ans (1991-2001).....	32
Figure II.9. Représentation graphique du bilan hydrique (P, T, ETP, ERT) aux stations. ....	33
Figure II.10. Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....	37
Figure II.11. Inondation de l'Oued Fendek (Novembre 2023). ....	40
Figure III.1. Carte de réseau hydrographique du sous-bassin d'Oued Fendek à la confluence avec l'Oued EL Kebir. ....	43
Figure III.2. Courbe hypsométrique en fonction de la superficie %. ....	47
Figure III.3. Répartition des superficies en fonction de l'altitude. ....	49
Figure III.4. Profil en long du cours d'eau principale d'Oued Fendek.....	50
Figure III.5. Réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek. ....	51
Figure III.6. Analyse des (PJmax) dans la station synthétique de l'Oued Fendek.....	56
Figure IV.1. Carte DEM de la zone étudiée.....	63
Figure IV.2. Carte des occupations du sol de l'Oued Fendek. ....	63

Figure IV.3. Représentation du modèle géométrique de l'Oued Fendek sous HEC-RAS. ....	65
Figure IV.4. Représentation des limites de l'équation d'énergie. ....	66
Figure IV.5. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=10ans). ....	68
Figure IV.6. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=10ans). ....	69
Figure IV.7. Section transversale au niveau de la station N°50.13799m (T=10ans). ....	69
Figure IV.8. Tracé du profile en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 10ans. .	70
Figure IV.9. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 10ans. ....	70
Figure IV.10. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=50ans). ....	71
Figure IV.11. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=50ans). ....	71
Figure IV.12. Section transversale au niveau de la station N° 50.13799m (T=50ans). ....	72
Figure IV.13. Tracé du profile en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 50ans.	73
Figure IV.14. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 50ans. ....	73
Figure IV.15. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=100ans). ....	74
Figure IV.16. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=100ans). ....	74
Figure IV.17. Section transversale au niveau de la station N°50.13799m (T=100ans). ....	75
Figure IV.18. Tracé du profile en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 100ans. .....	76
Figure IV.19. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 100ans. ....	76
Figure IV.20. Protection des berges par gabions.....	79
Figure IV. 21. Illustration de quelques solutions techniques envisageables.....	80

## *Liste des Tableaux*

Tableau II.1. Récapitulatif des sources en eau mobilisables dans la zone d'étude. ....	29
Tableau II.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba. ....	30
Tableau II.3. Variations moyennes mensuelles des températures aux stations d'Azzaba. ....	30
Tableau II.4. Bilan Hydrique de la station d'Azzaba. ....	33
Tableau II.5. Précipitations annuelles en (mm) dans la station synthétique de l'Oued Fendek. ....	34
Tableau II.6. Comblement des lacunes de précipitations annuelles moyennes en (mm) dans la station synthétique de l'Oued Fendek. ....	35
Tableau II.7. Paramètres statistiques des précipitations dans la station synthétique. ....	35
Tableau II.8. Précipitations mensuelles en (mm) de la station synthétique d'Oued Fendek. ...	36
Tableau II.9. Analyse de la réparation mensuelle des précipitations. ....	37
Tableau II.10. Série d'observations des précipitations journalières maximales de la station d'Azzaba (pépinière). ....	38
Tableau II.11. Comblement la lacune d'observation des précipitations journalières maximales de la série de la station d'Azzaba (pépinière). ....	39
Tableau II.12. Paramètres statistiques des précipitations journalières maximales. ....	39
Tableau III.1. Caractéristiques morphométriques du sous bassin d'Oued Fendek. ....	44
Tableau III.2. Répartition altimétrique du sous bassin d'Oued Fendek. ....	46
Tableau III.3. Longueur du réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek. ....	52
Tableau III.4. Temps de concentrations estimés selon différentes formules. ....	54
Tableau III.5. Tableau récapitulatif de calcul de l'apport moyen annuel selon différentes formules utilisées. ....	55
Tableau III.6. Pluies maximales journalières (PJmax) selon différents périodes de retour. ....	56
Tableau III.7. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule de C. SAMIE. ....	58
Tableau III.8. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule GIONDOTTI. ....	58
Tableau III.9. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule TURAZZA. ....	59
Tableau III.10. Calcul du débit et choix du plus approprié. ....	59
Tableau IV.1. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l'Oued Fendek - Période de retour 10ans. ....	70
Tableau IV.2. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l'Oued Fendek - Période de retour 50ans. ....	72
Tableau IV.3. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l'Oued Fendek - Période de retour 100ans. ....	75

# Table des matières

Résumé	
Remerciement	
Dédicace	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les crues et les inondations</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1. Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2. Crue</b> .....	<b>4</b>
<i>I.2.1. Origines des crues</i> .....	<i>4</i>
<i>I.2.2. Types des crues</i> .....	<i>6</i>
<b>I.3. Inondations</b> .....	<b>6</b>
<i>I.3.1. Les types d'inondations</i> .....	<i>7</i>
<i>I.3.2. Les causes des inondations</i> .....	<i>11</i>
<i>I.3.3. Les dégâts engendrés par les inondations</i> .....	<i>11</i>
<i>I.3.4. Impacts des inondations</i> .....	<i>12</i>
<b>I.4. Procédés de protection contre les inondations</b> .....	<b>13</b>
<i>I.4.1. Recalibrage du cours d'eau</i> .....	<i>14</i>
<i>I.4.2. Barrage écrêteur</i> .....	<i>15</i>
<i>I.4.3. Correction torrentielle</i> .....	<i>15</i>
<i>I.4.4. Banquette</i> .....	<i>16</i>
<i>I.4.5. Canal de dérivation</i> .....	<i>17</i>
<b>I.5. Exemples d'inondations dans le monde</b> .....	<b>17</b>
<b>I.6. Les inondations en Algérie</b> .....	<b>18</b>
<i>I.6.1. Causes de crues catastrophiques en Algérie</i> .....	<i>19</i>
<i>I.6.2. Exemples des inondations en Algérie</i> .....	<i>19</i>
<b>I.7. Conclusion</b> .....	<b>21</b>
<b>Chapitre II : Présentation de la région et données utilisées</b> .....	<b>23</b>
<b>II.1. Introduction</b> .....	<b>23</b>
<b>II.2. Présentation de la région d'étude</b> .....	<b>23</b>
<i>II.2.1. Localisation géographique d'Azzaba</i> .....	<i>23</i>
<i>II.2.2. Données démographiques et urbanisation</i> .....	<i>25</i>
<i>II.2.3. Réseau de drainage</i> .....	<i>25</i>
<i>II.2.4. Contexte géologique</i> .....	<i>25</i>
<i>II.2.5. Relief et structure du territoire</i> .....	<i>27</i>
II.2.5.1. Les plaines .....	<i>27</i>

II.2.5.2. Les pentes .....	27
II.2.5.3. Le relief.....	27
II.2.5.4. Les terrasses .....	27
II.2.5.5. Les montagnes.....	28
II.2.5.6. Les ressources en eaux.....	28
II.2.5.7. Végétation.....	29
II.2.5.8. Type de sol.....	29
II.2.6. <i>Les caractéristiques climatiques de la région d'Azzaba</i> .....	29
II.2.6.1. Climat de la région .....	29
II.2.6.2. Précipitation.....	29
II.2.6.3. Température.....	30
II.2.6.4. La relation entre les précipitations et la température dans la région .....	31
II.2.6.5. Le vent .....	32
II.2.6.6. Bilan hydrique selon la station d'Azzaba .....	32
<b>II.3. Présentation des données utilisées .....</b>	<b>34</b>
II.3.1. <i>Données collectées et critère de choix des stations pluviométriques</i> .....	34
II.3.2. <i>Analyse des précipitations annuelles moyennes (synthétique)</i> .....	34
II.3.2.1. Comblement des données manquantes par régression linéaire.....	35
II.3.2.2. Caractéristiques statistiques des données .....	35
II.3.3. <i>Analyse des précipitations mensuelles</i> .....	36
II.3.4. <i>Les pluies journalières maximales</i> .....	38
II.3.4.1. Comblement des données manquantes par régression linéaire.....	38
II.3.4.2. Caractéristiques statistiques des données .....	39
<b>II.4. Conclusion .....</b>	<b>39</b>
<b>Chapitre III : Etude Hydrologique .....</b>	<b>41</b>
<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>42</b>
<b>III.2. Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Fendek.....</b>	<b>42</b>
III.2.1. <i>Analyse et délimitation du bassin</i> .....	42
III.2.2. <i>Caractéristiques de forme</i> .....	44
III.2.2.1. Indice de forme Kc.....	44
III.2.2.2. Rectangle équivalent .....	44
III.2.3. <i>Caractéristiques de relief</i> .....	45
III.2.3.1. Répartition altimétrique .....	45
III.2.3.2. Altitude du bassin.....	47
III.2.3.3. Courbe hypsométrique .....	47
III.2.3.4. Indice de pente globale Ig .....	49
III.2.3.5. Profil en long.....	50
III.2.4. <i>Caractéristiques du réseau hydrographique</i> .....	50
III.2.4.1. Vue en plan.....	50
III.2.4.2. Densité de drainage.....	52
III.2.4.3. Coefficient de torrentialité.....	52
III.2.4.4. Temps de concentration .....	53
III.2.5. <i>Couvert végétal</i> .....	54
<b>III.3. Calculs hydrologiques .....</b>	<b>54</b>
III.3.1. <i>Calcul de l'apport moyen annuel</i> .....	54
III.3.2. <i>Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales</i> .....	55
III.3.3. <i>Etude des crues</i> .....	57
<b>III.4. Conclusion .....</b>	<b>60</b>
<b>Chapitre IV : Etude Hydraulique.....</b>	<b>62</b>

<b>IV.1. Introduction</b> .....	62
<b>IV.2. Préparation des données avec HEC-GeoRAS</b> .....	62
<b>IV.3. Présentation du modèle HEC-RAS</b> .....	64
<b>IV.4. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS</b> .....	66
<b>IV.5. Applications et limites du logiciel HEC-RAS</b> .....	67
<b>IV.6. Résultats de simulation de l'écoulement à surface libre 1D de l'Oued Fendek ..</b>	<b>68</b>
<i>IV.6.1. Ecoulement à surface libre 1D (T=10 ans, Q=115.40 m<sup>3</sup>/s)</i> .....	68
<i>IV.6.2. Ecoulement à surface libre 1D (T=50 ans, Q=147.85 m<sup>3</sup>/s)</i> .....	71
<i>IV.6.3. Ecoulement à surface libre 1D (T=100 ans, Q=159.12 m<sup>3</sup>/s)</i> .....	73
<b>IV.7. Discussion et analyse des résultats hydrauliques issus du modèle HEC-RAS ....</b>	<b>76</b>
<i>IV.7.1. Période de retour de 10 ans</i> .....	77
<i>IV.7.2. Période de retour de 50 ans</i> .....	77
<i>IV.7.3. Période de retour de 100 ans</i> .....	77
<b>IV.8. Stratégies d'aménagement</b> .....	<b>77</b>
<i>IV.8.1. Atténuation des risques d'inondation</i> .....	78
IV.8.1.1. Aménagement du lit de l'oued .....	78
IV.8.1.2. Renforcement des berges par des moyens traditionnels.....	78
IV.8.1.3. Création de bassins de rétention temporaires .....	79
IV.8.1.4. Mise en place d'un système d'alerte précoce.....	79
<i>IV.8.2. Aménagement et intervention pour chaque Station</i> .....	80
<b>IV.9. Conclusion</b> .....	<b>81</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>83</b>

Bibliographie

**Introduction**

**Générale**

## **Introduction générale**

L'eau représente l'une des ressources naturelles les plus essentielles à la vie sur notre planète. Depuis l'Antiquité, la pérennité des sociétés humaines et l'évolution des civilisations ont toujours été intimement liées à la disponibilité de ressources hydriques telles que les oueds et les rivières. Cet élément précieux ne se limite pas à satisfaire des besoins fondamentaux tels que l'alimentation, l'agriculture ou la pêche, mais constitue également un pilier fondamental du développement économique et social des régions. Néanmoins, cette ressource vitale peut parfois se transformer en source de danger, notamment lors d'inondations soudaines et dévastatrices.

Les inondations sont des phénomènes naturels caractérisés par le débordement des eaux d'un cours d'eau au-delà de ses limites habituelles, provoquant l'immersion de zones normalement sèches. Ces événements surviennent souvent en raison de fortes précipitations, d'un sol saturé en eau ou d'un système de drainage insuffisant. Les inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices à l'échelle mondiale. L'Algérie n'échappe pas à ces risques, ayant été le théâtre de plusieurs épisodes tragiques, notamment les inondations de Bab El Oued en 2001 et Ghardaïa en 2008, qui ont révélé la vulnérabilité de certaines zones urbaines face à de tels aléas.

Dans ce contexte, la présente étude se concentre sur la zone d'Azzaba, située dans la wilaya de Skikda, à l'est de l'Algérie. Cette localité est traversée par un cours d'eau dénommé oued Fendek, qui représente une menace réelle à la ville d'Azzaba et la plaine cultivable d'Azzaba-Essebet, en particulier lors des épisodes de pluies intenses, en raison de sa topographie naturelle et de l'insuffisance des infrastructures de drainage.

L'objectif de ce travail est d'analyser la situation actuelle de l'oued Fendek dans la commune d'Azzaba en adoptant une approche intégrant les dimensions hydrologiques et hydrauliques. Il s'agit d'identifier les zones les plus vulnérables aux inondations et de proposer des solutions techniques adéquates visant à atténuer les risques et à renforcer la résilience du territoire.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux, avec une introduction et une conclusion générale.

Dans le premier chapitre (Généralités sur les crues et les inondations), nous allons présenter les concepts fondamentaux relatifs aux inondations, en abordant leurs causes, leurs manifestations, leurs conséquences, ainsi qu'un aperçu des événements marquants à l'échelle mondiale et nationale.

Le deuxième chapitre intitulé par : Présentation de la région et données utilisées. Sera réservé à la présentation de la région d'Azzaba, en détaillant ses caractéristiques géographiques, climatiques et hydrologiques. Il présente également les données qui seront exploitées ultérieurement dans les analyses hydrologiques et hydrauliques.

En ce qui concerne le troisième chapitre (Etude Hydrologique), il se concentrera sur l'étude des caractéristiques topographiques et hydrologiques du bassin versant de l'Oued Fendek, l'analyse des précipitations dans ce bassin et le calcul des débits maximaux associés aux différentes périodes de retour.

Finalement, le quatrième chapitre qui portera sur l'étude Hydraulique, il sera consacré à la modélisation de l'écoulement de surface dans l'Oued Fendek à l'aide du logiciel **HEC-RAS**, afin de calculer les niveaux d'eau et hauteurs de crue, et d'identifier les zones exposées aux inondations. Des zones menacées sont établies, accompagnées de propositions de solutions techniques pour atténuer les risques d'inondation.

Et on terminera ce modeste travail par une conclusion générale.

## **Chapitre I :**

### **Généralités sur les crues et les inondations**

# Chapitre I : Généralités sur les crues et les inondations

## I.1. Introduction

Les inondations et les crues sont des événements naturels qui peuvent entraîner des pertes humaines, des déplacements de populations, des effets sur la santé, ainsi que des dommages aux biens et aux infrastructures. Elles peuvent également avoir des conséquences néfastes sur l'environnement et compromettre sérieusement le développement économique. En raison de leur fréquence, les inondations constituent la moitié des catastrophes naturelles à l'échelle mondiale (*BEN LAMRI, 2020*).

## I.2. Crue

Une crue, terme principalement utilisé en hydrologie, peut être définie comme une augmentation plus ou moins soudaine du débit ou le dépassement d'un certain niveau d'un cours d'eau, qu'il soit permanent ou temporaire, causé par des précipitations ou d'autres facteurs (comme la fonte des neiges, par exemple). Ce niveau d'eau peut être qualifié en fonction de sa période de retour ; par exemple, une crue décennale est un niveau d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année. Elle se caractérise par quatre paramètres :

- Le débit.
- Le niveau d'eau.
- La vitesse d'écoulement.
- La durée.

Une crue est illustrée par son hydrogramme, qui montre les variations de débit dans le temps. Plus précisément, la partie ascendante de ce hydrogramme est appelée « crue », tandis que la partie descendante est désignée par « décrue » (*HAFIANE et BENZAID, 2019*).

### I.2.1. Origines des crues

La crue est la conjugaison brutale de plusieurs facteurs :

#### a. Evènement hydro météorologique

1. **Pluviométrie** : l'intensité et la durée des précipitations sur un même bassin versant entraînent un ruissellement, ce qui augmente le débit d'un cours d'eau.

L'ampleur de ce phénomène dépend également de la perméabilité et du taux de saturation en eau des sols du bassin versant.

**2. Fontes de neige :** au printemps, la conversion de la neige en eau liquide se fait de manière relativement lente. Les volumes d'eau accumulés sous forme de neige ou de glace peuvent être importants, et en cas de réchauffement rapide et intense, associé à des pluies, la fonte des neiges peut entraîner des inondations parfois dévastatrices.

**3. Embâcle ou débâcle de glace :** ces phénomènes sont causés par le dégel printanier dans les zones où les rivières gèlent pendant l'hiver. Cette situation est typique des régions froides telles que la Sibérie ou le Canada. Le dégel provoque le déplacement de blocs de glace qui peuvent s'accumuler au niveau d'un obstacle. La retenue ainsi créée peut entraîner, d'une part, une hausse du niveau de l'eau en amont et des inondations par débordement, souvent accompagnées d'une crue soudaine.

#### **b. Autres causes**

La rupture de barrages naturels ou artificiels, ainsi que le débordement au niveau du couronnement d'un barrage en raison d'une capacité insuffisante du déversoir de crue ou d'un remplissage rapide de la retenue par des matériaux, du bois flottant ou des roches, entraînant souvent, en aval, des crues considérées comme des ondes déferlantes.

Souvent, le phénomène de crue est lié à d'autres phénomènes tout aussi significatifs, qui font l'objet d'études et d'analyses spécifiques. Il s'agit principalement de :

- Laves torrentielles (transport de matériaux solides par l'eau).
- Glissements de terrain (près du cours d'eau ou le long de son parcours lors de débordements).
- Érosion torrentielle (dans le lit de la rivière et à proximité).

À l'origine de ces événements extrêmes, une dépression associée à un front froid s'est d'abord déplacée depuis l'Angleterre, provoquant des pluies extrêmement intenses (MERAH, 2021).

### I.2.2. Types des crues

En général, on distingue deux types de crues : les crues fluviales et les crues torrentielles, même si le passage de l'une à l'autre se fait de façon continue.

- a. **Les crues fluviales :** Elles se distinguent par une élévation relativement lente des eaux et peuvent être anticipées plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance. Elles sont souvent saisonnières et touchent les grands cours d'eau. C'est le cas des inondations dans de vastes bassins versants ; elles sont généralement causées par des précipitations importantes et généralisées sur de larges zones, caractérisées par leur volume et leur durée, pouvant aller de 10 à 15 jours. En Algérie, ce type d'inondation se produit habituellement durant la saison hivernale, entre Décembre et Mai.
- b. **Les crues torrentielles ou rapides :** Lorsque des pluies intenses, comme des averses violentes, s'abattent sur un bassin versant ou une partie de celui-ci, les eaux s'écoulent et se regroupent rapidement dans le cours d'eau, provoquant des crues torrentielles brusques, violentes et inattendues. Le cours d'eau transporte d'importantes quantités de sédiments, entraînant une érosion significative du lit et un dépôt des matériaux transportés. Ces dépôts peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils venaient à céder, libéreraient une énergie susceptible d'aggraver les dommages (MERAH, 2021).
- c. **Les crues brutales :** également appelées crues éclair, résultent de fortes pluies orageuses intenses et localisées. Elles se distinguent par une élévation rapide du niveau des eaux (BEN LAMRI, 2020).

### I.3. Inondations

Une inondation correspond à la submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, causée par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières) ou salées (submersion marine, tsunami). Ce phénomène peut être récurrent ou exceptionnel et se manifester de manière progressive ou soudaine, selon les caractéristiques topographiques et météorologiques de la région touchée. Principalement provoquée par les crues, l'inondation est à la fois un phénomène spatial, pouvant s'étendre sur de vastes territoires, et cyclique, en lien avec l'alternance des niveaux d'eau d'une rivière. Par conséquent, la gestion de ce risque suit également une approche cyclique, structurée en trois phases : avant, pendant et après l'événement (HAFIANE et BENZAID, 2019).

### I.3.1. Les types d'inondations

Il existe différents types d'inondations :

- a. Les inondations de plaine :** Une plaine inondable est une zone généralement plate ou faiblement inclinée située à proximité du lit d'une rivière. Lors des crues, cette zone est régulièrement submergée. L'historique des rivières sujettes aux inondations révèle un schéma répétitif de débordements affectant ces espaces (*CHOUIKHI et CHAHI, 2017*).



**Figure I.1. Les inondations des plaines.**

- b. Les inondations par remontée de nappe :** Les inondations causées par la remontée des nappes phréatiques sont des phénomènes complexes qui surviennent lorsque le niveau d'une nappe libre dépasse celui du terrain qui la contient. Dans certains aquifères, une accumulation prolongée des précipitations, supérieure aux prélèvements et aux écoulements naturels, entraîne une élévation progressive du niveau de la nappe. Lorsque ce niveau atteint ou dépasse la surface du sol, une inondation peut alors se produire (*CHOUIKHI et CHAHI, 2017*). L'exemple vivant de ce type d'inondation, est celui des villes d'El Oued et de Ouargla en Algérie.



**Figure I.2. Les inondations par remontée de nappe.**

- c. Les inondations par crues torrentielles :** Les inondations causées par des crues torrentielles surviennent dans des bassins versants où le temps de concentration, c'est-à-dire la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau atteigne l'exutoire depuis le point le plus éloigné, est généralement inférieur à douze heures. Ce phénomène se manifeste principalement lors de précipitations orageuses intenses, notamment en zones montagneuses et en région méditerranéenne. Il peut également toucher de petits bassins versants présentant une forte capacité de ruissellement (*CHOUIKHI et CHAHI, 2017*).



**Figure I.3. Inondations par crues torrentielles.**

- d. Les inondations par ruissellement en secteur urbain :** Les inondations par ruissellement en milieu urbain se produisent lorsque l'eau de pluie s'écoule dans les rues sans être absorbée par les systèmes d'assainissement, qu'ils soient en surface ou souterrains. L'imperméabilisation des sols, due à la présence de bâtiments, de routes et de parkings, réduit l'infiltration de l'eau et amplifie ainsi le phénomène de ruissellement (CHOUIKHI et CHAHI, 2017).



**Figure I.4. Inondations par ruissellement en secteur urbain.**

- e. Les inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle :** Lorsqu'une rivière est endiguée, une inondation peut survenir soudainement, soit par débordement au-dessus de la digue, soit par sa rupture. Ce phénomène est d'autant plus violent et destructeur que la zone concernée se situe à proximité de l'ouvrage. Le fait de se trouver derrière une digue conçue pour contenir un certain niveau de crue peut ainsi accroître le risque en cas de dépassement ou de rupture de celle-ci. Des zones habituellement épargnées par l'eau peuvent alors être submergées de manière soudaine. Par ailleurs, un embâcle correspond à l'obstruction d'un cours d'eau par la formation d'une digue naturelle, provoquant une importante accumulation d'eau. Cette digue peut résulter d'éléments solides transportés par le courant ou d'un glissement de terrain. La rupture d'un embâcle peut se produire plusieurs jours après de fortes précipitations ou l'apparition d'un mouvement de terrain, entraînant alors une inondation brutale (CHOUIKHI et CHAHI, 2017).



**Figure I.5. Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle.**

- f. Les submersions marines :** La submersion marine est une inondation temporaire, parfois récurrente, qui touche les zones côtières sous l'effet de la mer. Elle se produit lors de phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, cyclones, fortes dépressions, vents marins) ou océanographiques inhabituels (houle, marée, tsunami). Elle débute lorsque les vagues les plus hautes dépassent la crête des formations littorales, entraînant un déplacement d'eau, et parfois de sédiments, vers l'intérieur des terres (*CHOUIKHI et CHAHI, 2017*).



**Figure I.6. Les submersions marines.**

### I.3.2. Les causes des inondations

Elles peuvent avoir de nombreuses causes cumulables :

- **Causes naturelles :** elles sont liées aux aléas climatiques et aux phénomènes météorologiques, comme les pluies torrentielles accompagnant les orages, ou à des événements naturels tels que les glissements de terrain, qui modifient le cours normal de l'eau.
- **Causes humaines directes :** des activités humaines telles que le drainage, l'irrigation, l'imperméabilisation des sols et leur dégradation, ainsi que certaines pratiques agricoles intensives, peuvent favoriser le ruissellement de l'eau et réduire son infiltration naturelle.
- **Causes humaines structurelles :** la construction d'écluses et de barrages, bien qu'utiles pour la navigation et le transport fluvial, modifie la pente naturelle des cours d'eau (*HAFIANE et BENZAID, 2019*). De plus, l'absence de coordination dans la gestion des barrages lors des crues, ainsi que l'accumulation excessive d'eau dans le dernier bief avant son évacuation vers la mer, peuvent aggraver les risques d'inondation.
- **Causes humaines indirectes :** elles sont associées aux changements climatiques à l'échelle mondiale, notamment les émissions de gaz à effet de serre, qui contribuent à la fonte des glaciers, à l'élévation du niveau des océans et des cours d'eau, ainsi qu'à l'intensification des cyclones (*HAFIANE et BENZAID, 2019*).

### I.3.3. Les dégâts engendrés par les inondations

Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices, causant de nombreux dégâts. Elles entraînent des pertes humaines, des blessures, ainsi que la propagation de maladies dues à l'eau stagnante ou contaminée. Elles endommagent gravement les bâtiments, y compris les infrastructures essentielles comme les hôpitaux et les écoles, et perturbent les réseaux d'eau potable, d'électricité et de transport (*KOVACS et al, 2017*).

De plus, elles détruisent les cultures agricoles, provoquent la mort d'animaux et contaminent les ressources en eau, ce qui affecte l'environnement et la sécurité alimentaire. Dans plusieurs cas, les habitants sont contraints de quitter leurs foyers, ce qui aggrave leurs conditions de vie (*HAFIANE et BENZAID, 2019*).

### I.3.4. Impacts des inondations

Les bassins versants subissent des répercussions significatives lors des inondations, touchant plusieurs aspects essentiels tels que l'économie, la santé publique, les infrastructures et l'environnement. Cependant, l'évaluation de ces impacts reste souvent limitée en raison du manque de données fiables et de méthodologies de collecte standardisées au niveau local (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

#### a. Impact économique

Les pertes économiques liées aux inondations peuvent être considérables, atteignant parfois plusieurs dizaines de millions de dollars. Les secteurs les plus affectés sont les habitations, les commerces, l'agriculture et les services publics, les structures résidentielles étant particulièrement vulnérables. De plus, les inondations provoquent la destruction de bâtiments et d'infrastructures stratégiques tels que les hôpitaux et les écoles, ce qui augmente les coûts de reconstruction et perturbe les services essentiels (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

Les réseaux d'eau potable, d'assainissement, d'énergie, de transport et de gestion des déchets sont souvent rompus ou gravement perturbés, ce qui complique encore la situation et retarde la reprise des activités économiques (*KOVACS et al, 2017*).

#### b. Impact sur la santé et la sécurité

Les inondations posent de nombreux risques sanitaires, notamment la contamination de l'eau potable, les déversements de substances toxiques, l'accès restreint aux soins de santé et la défaillance des services d'électricité et de transport. Les crues prolongées peuvent causer des dommages graves aux habitations, exposer les populations à des risques d'électrocution ou de moisissure, forcer l'évacuation des habitants et engendrer des troubles psychologiques durables (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

**c. Impact sur les infrastructures**

Les ponts, routes et autres infrastructures de transport subissent souvent des dommages majeurs. L'inondation des voies basses perturbe la circulation, complique les secours et peut isoler des communautés entières (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

**d. Impact sur l'érosion**

La montée rapide des eaux des rivières ou des lacs peut provoquer une érosion importante des berges, en particulier dans les zones côtières constituées de sols sédimentaires non consolidés. L'absence de végétation et le déboisement accentuent cette vulnérabilité (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

**e. Impact sur l'environnement naturel**

Les inondations affectent également les écosystèmes naturels en détruisant les habitats, en contaminant les eaux et en modifiant les équilibres écologiques. Même si les données sont parfois limitées, l'analyse de ces effets repose sur une bonne compréhension des processus hydrologiques et des spécificités des milieux concernés (*GROUPE D'ÉTUDE INTERNATIONALE DU LAC CHAMPLAIN ET DE LA RIVIÈRE RICHELIEU, 2019*).

**I.4. Procédés de protection contre les inondations**

La prévention des risques et la protection des populations exigent la mise en place de mesures à la fois collectives et individuelles :

**A. La protection individuelle**

- Interdire la construction dans les zones les plus exposées ou qui présentent un intérêt pour le laminage des crues.
- Réglementer la construction dans les zones modérément inondables, en fixant par exemple une cote de plancher à respecter au-dessus du niveau de la crue de projet (*BEN LAMRI, 2020*).

**B. La protection collective**

- Aménagement du cours d'eau.
- Aménagement du bassin versant (*BEN LAMRI, 2020*).

### I.4.1. Recalibrage du cours d'eau

La vitesse d'écoulement d'une rivière dépend directement de sa morphologie et de la position de l'eau dans le chenal. Une rivière rectiligne permet un écoulement plus rapide qu'une rivière sinueuse, car l'eau suit un trajet direct et ininterrompu, favorisant ainsi l'accumulation de vitesse et une évacuation plus efficace de la région. D'autres aménagements similaires incluent l'élargissement des cours d'eau et le retrait des débris afin de minimiser toute résistance à l'écoulement.

Le recalibrage d'une rivière consiste à modifier entièrement son lit et ses berges dans le but principal d'accroître sa capacité hydraulique. Toutefois, cette intervention a des effets écologiques négatifs au niveau local, tels que la suppression de la végétation des berges, des perturbations géomorphologiques et la destruction de l'habitat des poissons. De plus, elle accélère le flux de l'eau et peut intensifier les risques de crues en aval. Le recalibrage repose sur l'augmentation du débit du lit mineur en élargissant et/ou en approfondissant la section d'écoulement (BEN LAMRI, 2020).

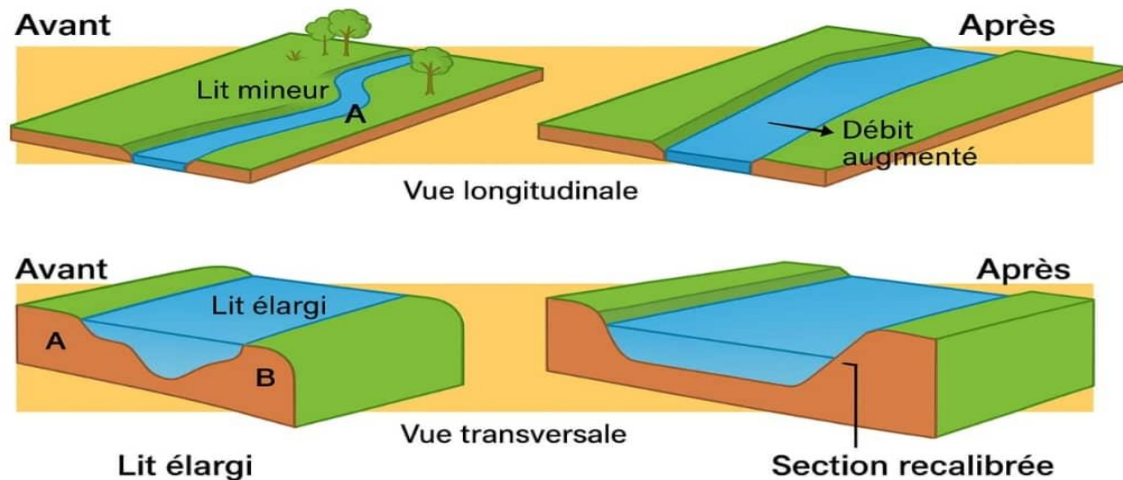


Figure I.7. Recalibrage d'un cours d'eau.

### I.4.2. Barrage écrêteur

Le barrage écrêteur a pour principale fonction de réguler les crues, bien qu'il puisse parfois remplir plusieurs rôles. Son fonctionnement repose sur le stockage temporaire d'une partie du volume d'eau dans le lit du cours d'eau en amont, afin de limiter le débit en aval et ainsi réduire les risques d'inondation. Ce dispositif repose sur une gestion solidaire à l'échelle du bassin versant, impliquant une coordination entre les zones amont et aval ainsi qu'entre les secteurs urbains et ruraux (BEN LAMRI, 2020).

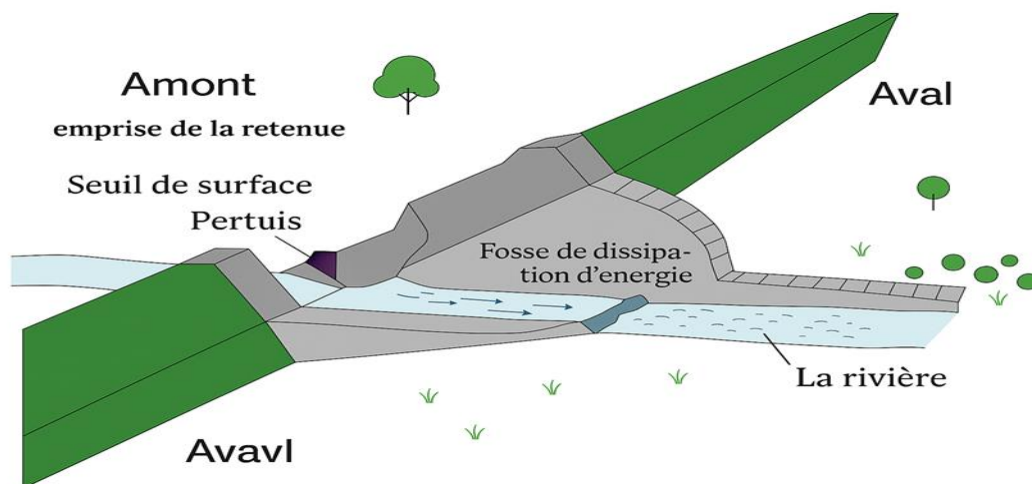


Figure I.8. Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue.

### I.4.3. Correction torrentielle

Cette technique vise à réduire la vitesse des écoulements dans les cours d'eau au régime torrentiel. La correction d'un torrent repose sur la construction de plusieurs digues transversales successives le long des lits des canaux naturels, permettant ainsi de freiner le flux et de stabiliser le cours d'eau (BEN LAMRI, 2020).



Figure I.9. Fonctions des barrages de correction torrentielle.

#### I.4.4. Banquette

La technique des banquettes poursuit un double objectif : lutter contre l'érosion et limiter le ruissellement en facilitant l'infiltration de l'eau grâce à la réduction de la pente. Elle joue un rôle essentiel dans la préservation et la restauration des sols (*BEN LAMRI, 2020*).

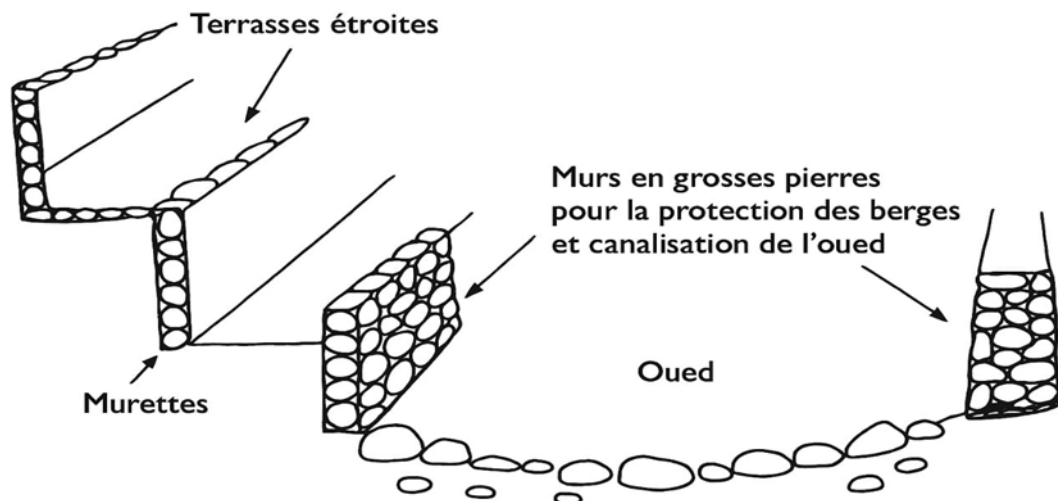


Figure I.10. Technique de banquette.

### I.4.5. Canal de dérivation

Un canal de dérivation constitue une solution pour détourner l'eau du réseau fluvial. Il s'agit d'une rivière artificielle creusée en périphérie de la ville, équipée de barrages à son entrée et à sa sortie afin de réguler le débit lors de son remplissage. Ce canal peut rester vide pendant plusieurs années en période de sécheresse et ne se remplir qu'en cas de crue. Cette approche permet de réduire le débit de la rivière traversant la ville sans nécessiter de stockage supplémentaire dans une autre partie du bassin versant (Anctil, 2015). Toutefois, son efficacité dépend entièrement de la topographie et ne peut donc pas constituer une solution unique (BEN LAMRI, 2020).



**Figure I.11. Canal de dérivation.**

## I.5. Exemples d'inondations dans le monde

### Inondation des 8 et 9 septembre 1955 en France

Les inondations des 8 et 9 septembre 1955 ont causé la mort de 24 personnes et ont sinistré 419 communes. Plusieurs villes ont été gravement touchées, notamment Aramon, Alès et Nîmes. Le débit du Rhône près de son embouchure a atteint un impressionnant 10 500 m<sup>3</sup>/s à Tarascon (Météo France, 2011).

### Inondations de novembre 1991 en France

Le 19 novembre 1991, des précipitations abondantes ont été enregistrées dans plusieurs localités : 50 mm à Watten, 44,6 mm à Steenvoorde, 45 mm à Merville et 49,2 mm à Dunkerque. Ces fortes pluies ont entraîné une crue de la Lys, dont le niveau a dépassé les 2 mètres. Les inondations ont principalement touché deux zones : Halluin-Roncq-Comines et Steenvoorde-Bailleul-Merville-Hazebrouck.

Face à l'ampleur des dégâts, 80 communes du département du Nord ont été reconnues en état de catastrophe naturelle (Eco-Décision, 2006).

#### **Inondation du 11 juin 2007**

Les inondations du 11 juin 2007 en Inde et au Bangladesh ont été particulièrement dévastatrices, causant la mort de 3536 personnes (*UBYRISK CONSULTANTS, 2021*).

#### **Inondations du 8 septembre 2011**

Les inondations du 8 septembre 2011 en Thaïlande, au Cambodge et au Vietnam ont causé la mort de 1193 personnes et ont entraîné des dégâts matériels estimés à 41 millions de dollars (*UBYRISK CONSULTANTS, 2021*).

#### **Inondations du 26 juin 2016 en Chine**

Les inondations du 26 juin 2016 en Chine ont causé la mort de 330 personnes et ont entraîné des dégâts matériels estimés à 22 millions de dollars (*UBYRISK CONSULTANTS, 2021*).

### **I.6. Les inondations en Algérie**

L'Algérie, comme de nombreux pays, est périodiquement confrontée à des crues et des inondations aux conséquences souvent désastreuses. Ces phénomènes constituent une contrainte majeure pour les activités humaines et un frein au développement économique et social. Plusieurs régions du pays sont régulièrement exposées à ces catastrophes naturelles, dont les impacts sont amplifiés par divers facteurs aggravants. Ces événements entraînent fréquemment des pertes humaines et d'importants dégâts matériels.

Toutefois, ces inondations ne résultent pas systématiquement de conditions météorologiques exceptionnelles. Elles surviennent également dans de nombreuses régions à la suite d'épisodes pluvieux saisonniers ordinaires. Leurs causes sont en grande partie attribuables aux actions humaines, parmi lesquelles on peut citer :

- L'occupation des rives des cours d'eau et l'urbanisation anarchique.
- La défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales.
- Le gonflement des oueds par les décombres et les détritiques, etc. (*HAFIANE et BENZAID, 2019*).

### I.6.1. Causes de crues catastrophiques en Algérie

La formation des fortes crues et leurs effets sur l'environnement et les activités varient d'une région à l'autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et de l'occupation des sols. Si les fortes pluies constituent la principale cause des inondations, elles ne sont pas toujours liées à des phénomènes météorologiques exceptionnels. D'autres facteurs, indépendants du climat, peuvent aggraver l'impact des crues ou engendrer eux-mêmes des perturbations hydrauliques. Par exemple, l'accumulation de débris et de troncs d'arbres dans le lit des oueds réduit leur capacité d'écoulement, augmentant ainsi les risques d'inondation.

De manière générale, les causes des inondations en Algérie se répartissent en trois catégories :

- **Inondations d'origine météorologique**, causées par des précipitations intenses et des orages violents.
- **Inondations liées aux activités humaines**, résultant notamment de la défaillance des réseaux d'assainissement et de drainage des eaux pluviales, ainsi que de l'encombrement des oueds par des déchets, des décombres et des troncs d'arbres.
- **Inondations dues à une topographie défavorable**, touchant particulièrement les villes traversées par des oueds (El Bayadh, Bordj Bou Arreridj, Sidi Bel Abbès, etc.) ou situées au pied d'une montagne (Aïn Defla, Batna, Médéa). Ces zones, fortement peuplées et soumises à une urbanisation désordonnée, restent vulnérables aux inondations, même de faible ampleur (*HAFIANE et BENZAID, 2019*).

### I.6.2. Exemples des inondations en Algérie

Voici un aperçu bref de certaines inondations qui ont touché l'Algérie :

- **01 Septembre 1989** : Fortes chutes de pluies à la wilaya de Biskra accompagnées de grêles et d'un vent d'une rare violence provoquant le débordement des oueds El Arab, El Mellah et El Kheddra.

**Dégâts** : 02 morts et 35 blessés. 400 palmiers, des serres et des cultures de maraîchages détruites.

- **29 Septembre au 02 Octobre 1994** : Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés).

**Dégâts :**

- Ghardaïa : Dégâts matériels évalués à 270 millions DA.
- Laghouat : Dégâts matériels évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.
- Biskra : 08 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- Tissemsilt : 09 morts.
- Sidi Bel Abbés : 02 morts



**Figure I.12. Inondation de Ghardaïa (10/2008).**

- **Inondation de Bab El Oued (Alger) le 10 et 11 Novembre 2001 :**

**Dégâts :**

- Personnes décédées : 733 ou plus de 800.
- Personnes blessées : 311.
- 30 000 personnes sans-abris.
- D'importants dégâts matériels (*BEN LAMRI, 2020*).



**Figure I.13. Inondation de BAB EL OUED (2001).**

- **Crues de l'Oued Fendek :** Situé dans la commune d'Azzaba, l'oued Fendek est fortement exposé aux crues soudaines. Cette vulnérabilité s'explique par des précipitations méditerranéennes intenses et concentrées dans le temps. Les débordements provoquent fréquemment l'inondation des terres agricoles, la coupure des routes et une érosion marquée des sols.



**Figure I.14. Inondation de l'Oued Fendek.**

### **I.7. Conclusion**

Les inondations sont des phénomènes naturels qui causent souvent de grands dégâts humains et matériels. Dans ce chapitre nous avons étudié leurs types, leurs causes et leurs effets. Les facteurs hydrologiques comme la nature du sol, le réseau de drainage et les fortes pluies, ainsi que les activités humaines, augmentent les risques. Pour réduire ces impacts, il est important de bien comprendre les caractéristiques des bassins versants et d'appliquer des solutions comme l'amélioration des systèmes de drainage, les aménagements hydrologiques, et les systèmes d'alerte. Protéger les zones menacées demande une bonne planification basée sur des études scientifiques pour assurer la sécurité des populations et préserver l'environnement.

**Chapitre II :**  
**Présentation de la région et données utilisées**

## Chapitre II : Présentation de la région et données utilisées

### II.1. Introduction

Ce chapitre vise à fournir une analyse complète du phénomène des inondations dans la région d'Azzaba (wilaya de Skikda, à l'est de l'Algérie), en examinant le contexte géographique, climatique et hydrologique de la région. Il est structuré en deux parties principales :

- Première partie : Elle présente les caractéristiques générales de la région, notamment la localisation géographique, le relief, la topographie et le climat local, afin de mieux comprendre les facteurs favorisant les inondations.
- Deuxième partie : Elle est dédiée à la présentation des données climatiques et hydrologiques, telles que les précipitations (annuelles, mensuelles, journalières) qui seront utilisées ultérieurement.

### II.2. Présentation de la région d'étude

#### II.2.1. Localisation géographique d'Azzaba

La ville d'Azzaba, située dans la wilaya de Skikda, au nord-est de l'Algérie, se trouve à 67 km au sud-ouest d'Annaba. Elle s'étend entre la latitude  $36^{\circ} 76' 08''$  et  $36^{\circ} 85' 35''$  Nord et la longitude  $7^{\circ} 20'$  et  $7^{\circ} 40'$  Est (CHOUAF *et al*, 2018).

La région occupe une dépression reliant la plaine d'El Harrouche à celle de Fetzara, avec une largeur maximale de 8 km. Entourée de montagnes dont les altitudes varient entre 300 et 500 mètres, elle fait partie de la zone numidique septentrionale. Parmi les montagnes environnantes, on trouve :

- Au nord-est : Djebel Grebissa, Djebel El Oust.
- Au nord-ouest : Djebel Kef Serrak, Djebel Boufernana.
- Au sud : Djebel Ferfour, Djebel Siafa, Djebel Ousfane, Djebel Maksem.
- Au sud-est : Kodiet Mra Sma (à la limite de la commune d'Aïn Charchar).
- Au sud-ouest : Djebel Demnchaba, Djebel Mekdoua (BOULEGHLEM *et al*, 2016).

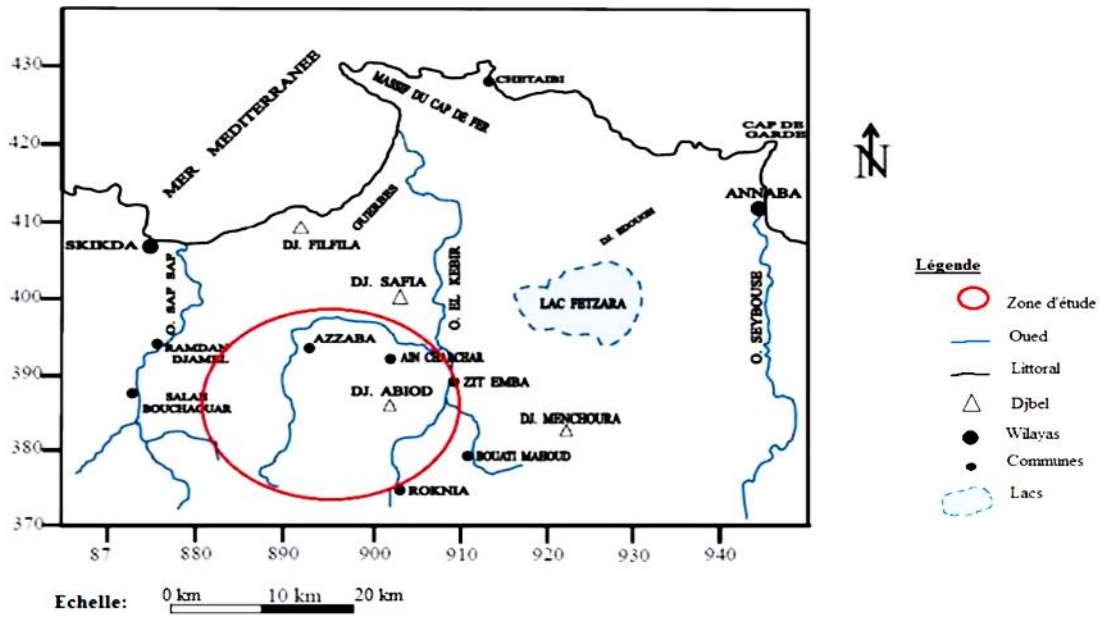


Figure II.1. Carte de situation géographique.

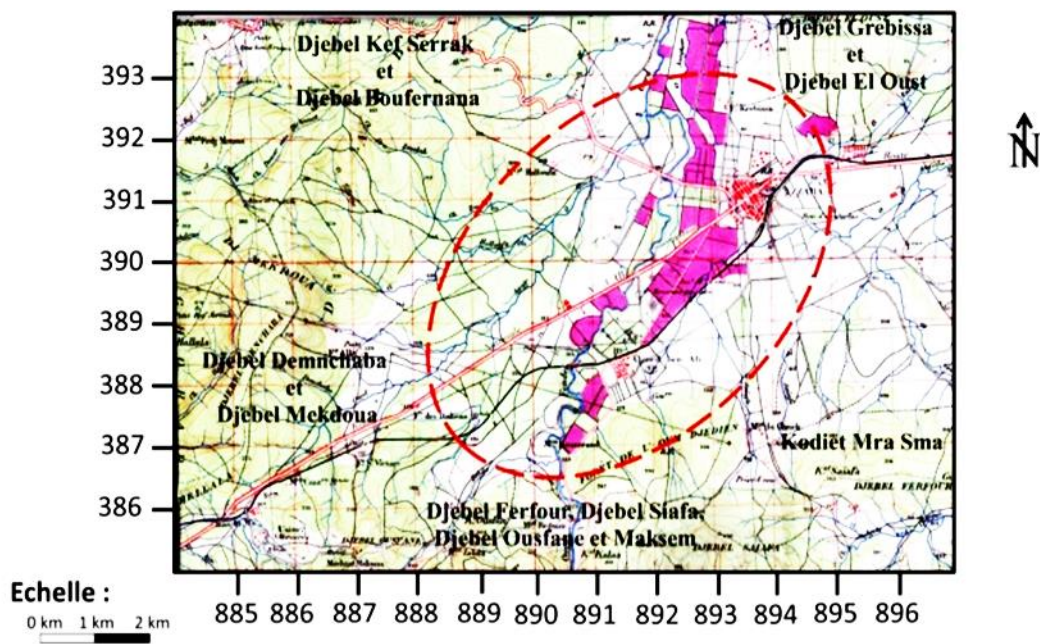


Figure II.2. Les montagnes entourant Azzaba.

### II.2.2. Données démographiques et urbanisation

La ville d'Azzaba se trouve à l'intersection des routes nationales n° 03 et 44, sur des terres agricoles fertiles, et couvre une superficie de 452.50 hectares. Selon le recensement de 2008, sa population est de 37 726 habitants, représentant 50.77 % de la population totale de la commune (56 627 habitants).

### II.2.3. Réseau de drainage

Le bassin versant d'Azzaba est semi-fermé et possède un exutoire principal situé au sud-ouest, menant à la wilaya de Constantine (تومييات, 2022).

### II.2.4. Contexte géologique

La région analysée présente une géologie particulièrement complexe. Les recherches menées par des scientifiques tels que Raoult (1974), Durand Delga (1969), Bouilin (1977) et Vila (1981) ont révélé que le Tell oriental algérien est constitué d'un empilement de nappes. En examinant la structure géologique du nord au sud, on peut identifier plusieurs unités principales :

- Le Socle Kabyle et la Dorsale Kabyle.
- La série des Flyschs, qui inclut les unités mauritanienne, massylienne, numidienne et ultra-tellienne.
- La série des grès numidiens.
- La nappe néritique du Constantinois (BOULEGHLEM *et al*, 2016).

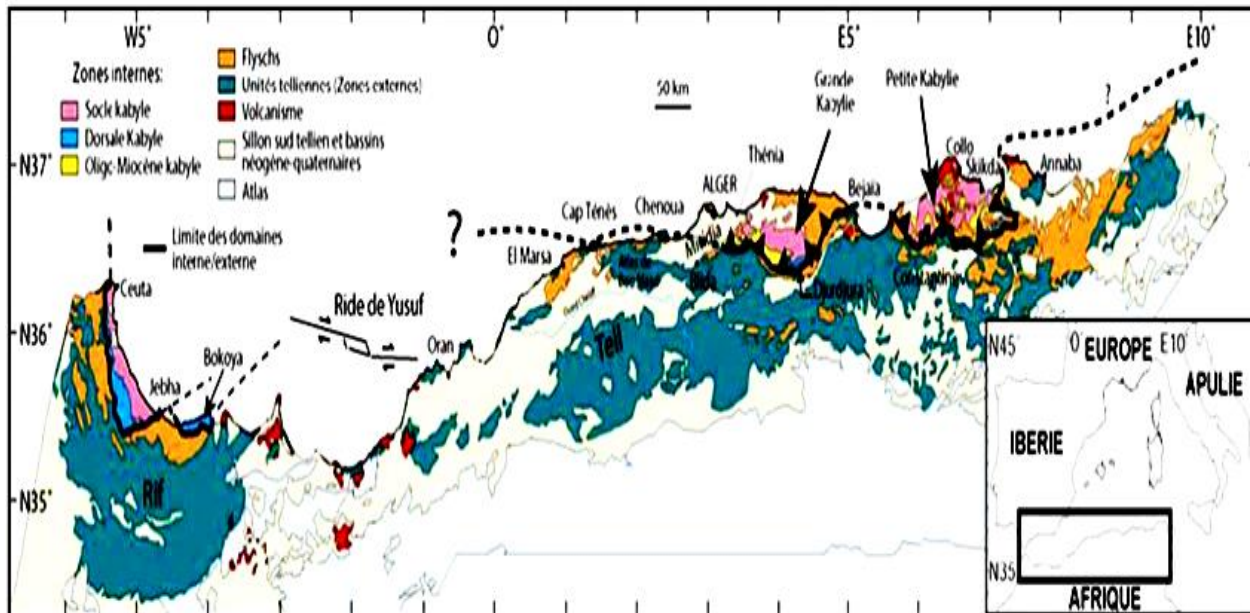


Figure II.3. Position des différentes unités géologiques des maghrébines (Domzig, 2006).

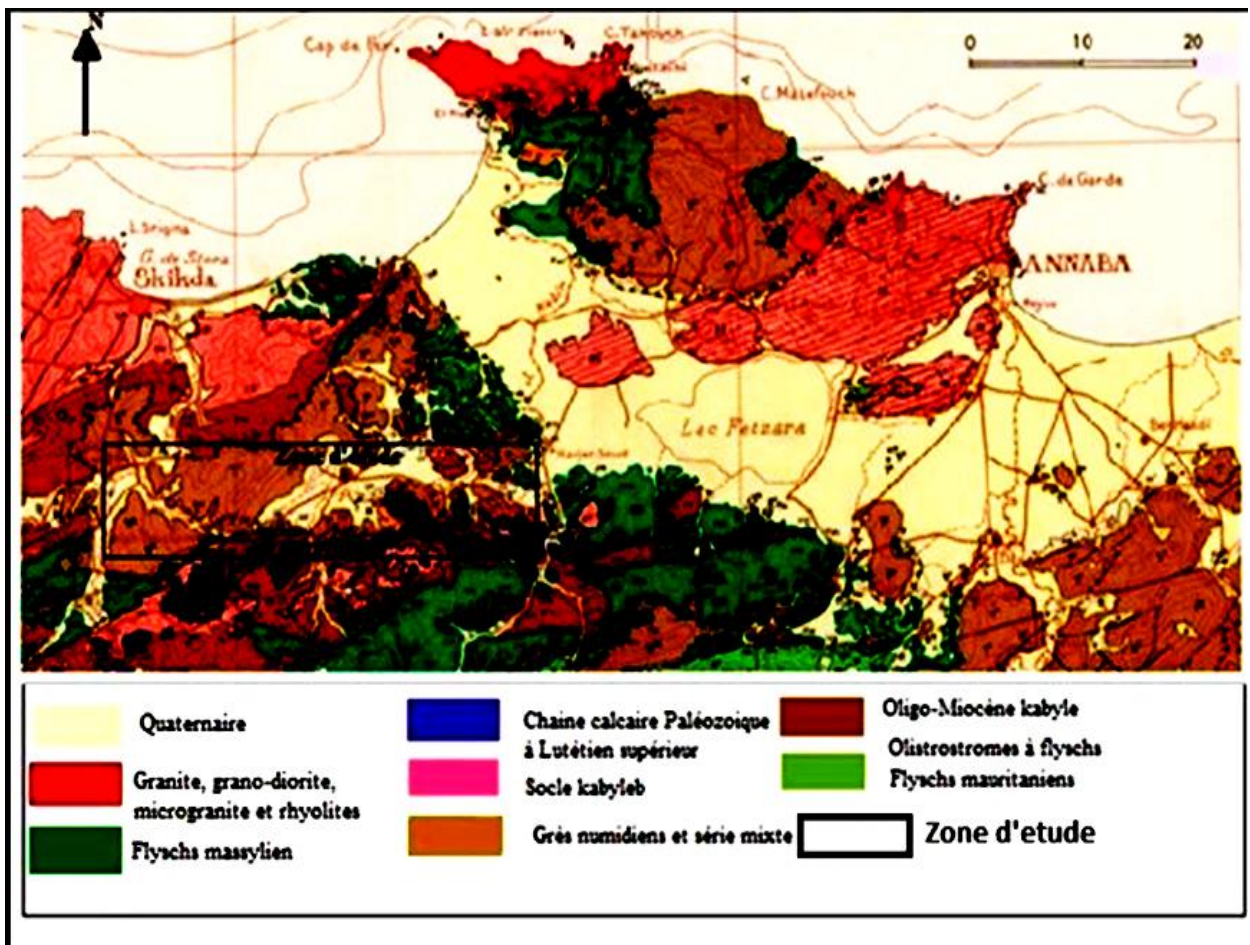


Figure II.4. Carte structurale au 1/500000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien (Vila, 1978).

## II.2.5. Relief et structure du territoire

### II.2.5.1. Les plaines

La plaine d'Azzaba s'étend de la commune de Sbeïtla au sud jusqu'à la commune de Jendouba au nord, en passant par Azzaba. Cette plaine prend une orientation sud-est, mais se rétrécit dans les zones d'Ain Cherchar et de Boukous Khair (2006, هبهبوب).

### II.2.5.2. Les pentes

Les pentes de la région se divisent en deux catégories :

- Première catégorie (0-5%) Elles couvrent de vastes surfaces de la ville, où les terrains sont plats, fertiles et propices à l'expansion urbaine. Exception : Le nord-ouest de la ville constitue un obstacle à l'expansion en raison du risque d'inondations causé par la platitude du terrain près de l'oued Fendek.
- Deuxième catégorie (6-10%), ces pentes se répartissent de manière dispersée à l'intérieur de la ville, notamment dans les zones de Diyar Zitoun et du Djebel Awsat (2022, نوميات).

### II.2.5.3. Le relief

La morphologie du relief dans la région, principalement dans les zones autour de Serrat, se caractérise par des pentes abruptes, allant de 15 % à 20 %. Ces zones présentent généralement un terrain accidenté, avec une dominance de formations montagneuses et de pentes marquées. Cette configuration joue un rôle important dans l'écoulement des eaux et les processus hydrologiques (2006, هبهبوب).

### II.2.5.4. Les terrasses

Se divisent en deux catégories :

- **Terrasses supérieures et intermédiaires** : Elles sont composées de dépôts de l'ère quaternaire (gravier, argile, sable) et comprennent des terres humides contenant des eaux souterraines, ce qui les rend sujettes aux glissements de terrain et à l'érosion.

- **Terrasses inférieures** : Elles souffrent de problèmes d'inondation et d'érosion des bords, et sont constituées de sols argileux limoneux avec des graviers fins et grossiers, souvent utilisés pour l'irrigation avec des eaux usées (*LABIOD et BOUAITA, 2018*).

#### II.2.5.5. Les montagnes

- **Djebel El Wast** : Situé dans la commune d'Azzaba, il atteint une altitude de 216 mètres.
- **Djebel Boufernanah** : Atteint une hauteur de 223 mètres (*2006, هبهبوب*).

#### II.2.5.6. Les ressources en eaux

1. **Les eaux superficielles** : Les ressources en eau de surface incluent les eaux de l'Oued Fendek, ainsi que les retenues collinaires destinées à l'irrigation et le barrage de Zit Emba, dont les eaux sont traitées pour fournir de l'eau potable aux habitants de la commune d'Azzaba (*BOULEGHLEM et al, 2016*).

La région est traversée par oued principal :

- **Oued Fendek** : Traverse la commune d'Azzaba du sud-ouest au nord-ouest, longeant le côté ouest de la ville (*2006, هبهبوب*).

2. **Les eaux souterraines** : Les ressources en eau souterraines de la région d'Azzaba proviennent principalement des différents ouvrages de captage localisés dans la plaine, formée par les nappes du Crétacé et du Jurassique (calcaires) et la nappe alluviale. Ces ressources se manifestent par les sources, les forages et les puits, qu'ils soient individuels ou collectifs, et sont les plus consommées par rapport aux eaux superficielles (*BOULEGHLEM et al, 2016*).

3. **Les sources thermales** : À l'est de la ville d'Azzaba, on trouve deux sources thermales souterraines : la source de l'Oued Hmimine et celle d'El Hamma. Ces sources proviennent des eaux souterraines thermales et ajoutent une dimension importante aux ressources naturelles de la région, offrant des avantages écologiques et économiques (*BEKKOUCHE, 2013*).

Tableau II.1.Récapitulatif des sources en eau mobilisables dans la zone d'étude.

Azzaba	Les ressources en eau (Hm)		
	Eaux souterrain	Eau superficielle	total
	9.788	46.235	56.023

### II.2.5.7. Végétation

Les conditions climatiques de la wilaya de Skikda, et particulièrement d'Azzaba, favorisent une végétation caractéristique de la région, comprenant principalement des cultures maraîchères, des céréales, des orangeries et des vignes. En outre, les montagnes sont couvertes de maquis et de chênes-lièges. Les espèces végétales les plus représentatives de la région sont les suivantes :

#### 1) Végétaux supérieurs

- *Olea europaea* : L'olivier européen.
- *Cupressus sempervirens* : Le cyprès toujours vert.
- *Casuarina equisetifolia* : Le casuarina équisetifolia (*ALIOUA et al, 2008*).

#### 2) Végétaux inférieurs

Par exemple, on trouve le *Xanthoria parietina*, un lichen formé de champignons et de algues vivant en symbiose (*ALIOUA et al, 2008*).

### II.2.5.8. Type de sol

Le type de sol prédominant dans la région est l'argile gris clair (*CHOUAF et al, 2018*).

## II.2.6. Les caractéristiques climatiques de la région d'Azzaba

### II.2.6.1. Climat de la région

Le climat de cette région se caractérise par des températures modérées en hiver et des chaleurs élevées en été. Il s'agit d'un climat méditerranéen, avec des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations (*BOULEGHLEM et al, 2016*).

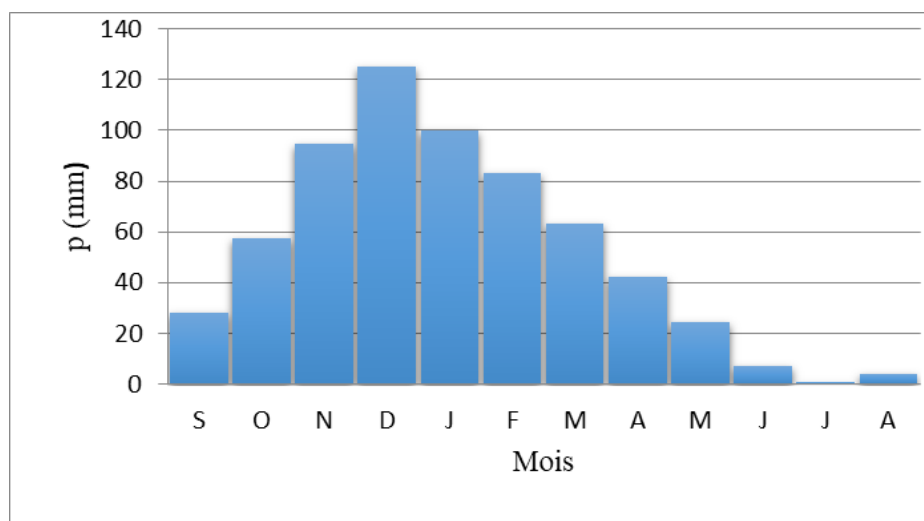
### II.2.6.2. Précipitation

Les quantités de précipitations annuelles dans la région varient entre 700 et 800 mm, la majorité des pluies tombant durant les mois de décembre, janvier et février. Bien que les

pluies soient abondantes, la faible perméabilité des sols géologiques limite une bonne absorption de l'eau. Cela entraîne une capacité réduite du sol à stocker l'eau. Ces conditions favorisent des inondations récurrentes et un manque d'approvisionnement en ressources souterraines (توميات, 2022).

**Tableau II.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations en (mm) aux stations d'Azzaba.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitation	28.07	57.4	94.7	125.3	100.2	83.1	63.1	42.02	24.2	7.1	0.4	3.7



**Figure II.5. Histogramme de précipitation de la station.**

### II.2.6.3. Température

La température moyenne annuelle dans la région d'Azzaba est d'environ 21.04°C (LABIOD et BOUAITA, 2018).

**Tableau II.3. Variations moyennes mensuelles des températures aux stations d'Azzaba.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température	22.6	23.1	18.32	14.9	14.7	14.6	16.87	19.12	22.41	25.13	27.8	28.8

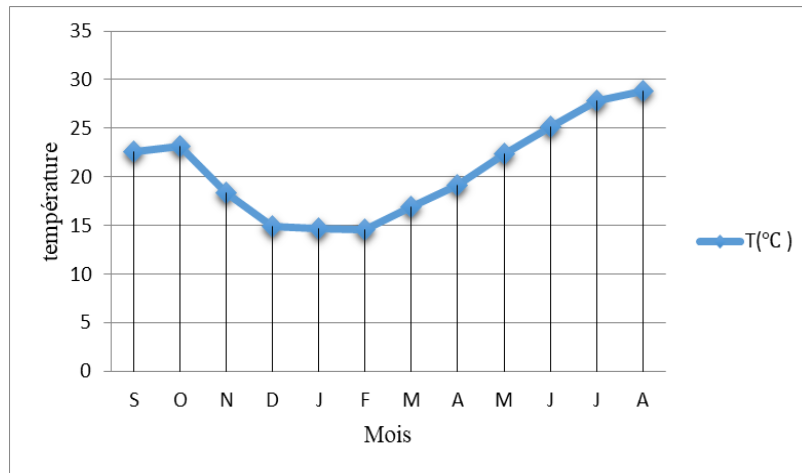


Figure II.6. Courbe de température aux station d'Azzaba.

II.2.6.4. La relation entre les précipitations et la température dans la région

La région d'Azzaba présente deux périodes climatiques bien définies :

- **La période sèche :** (de mai à mi-septembre), au cours de cette période, les précipitations sont remarquablement faibles, atteignant leur minimum. Les températures élevées exacerbent la sécheresse, conférant au climat une aridité marquée.
- **La période humide :** (de mi-septembre à fin avril), cette phase est caractérisée par une diminution des températures et une augmentation notable des précipitations, contribuant ainsi à un climat plus humide et tempéré (LABIOD et BOUAITA, 2018).

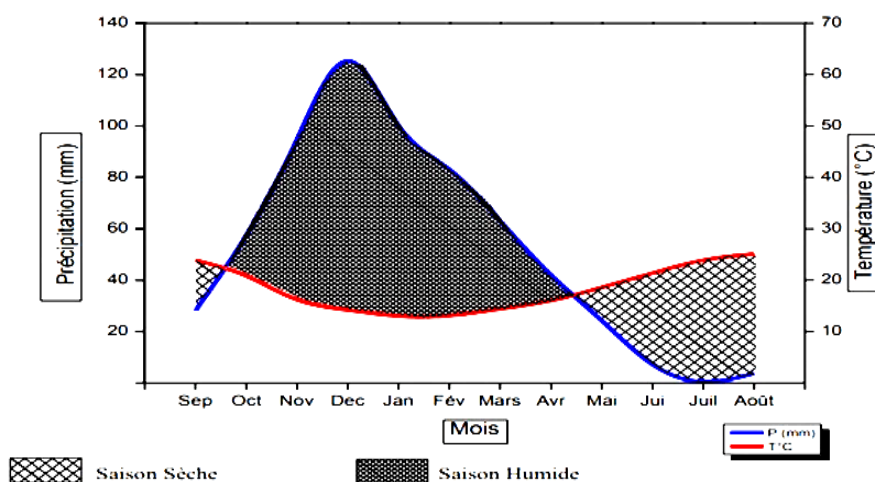


Figure II.7. Variation mensuelle de la température et des précipitations aux station d'Azzaba.

### II.2.6.5. Le vent

Dans la région d'Azzaba provient principalement du sud-ouest et du nord-ouest tout au long de l'année (Fig.II.8).

- La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3.05 m. s-1
- La vitesse maximale du vent est atteinte en décembre avec 3.63 m. s-1
- La vitesse minimale est observée en juillet avec 2.56 m.s-1 (*ALIOUA et al, 2008*).

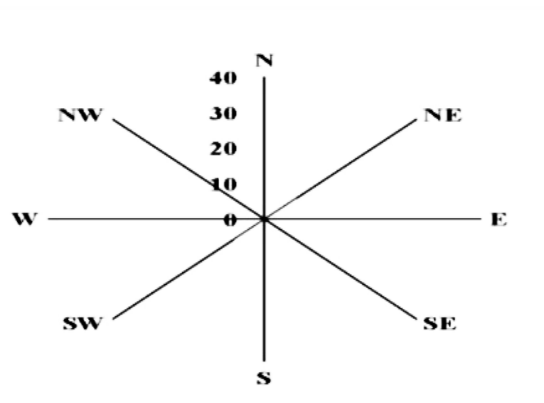


Figure II.8. Rose des vents établie sur une période de 10 ans (1991-2001).

### II.2.6.6. Bilan hydrique selon la station d'Azzaba

De novembre à mars, les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle (ETP), ce qui favorise la reconstitution de la réserve en eau facilement utilisable (RFU). Celle-ci atteint son maximum (100 mm) entre décembre et mars. Cette période est marquée par un excédent de précipitations, réparti comme suit : Décembre : +49 mm ; Janvier : +72.6 mm ; Février : +56.5 mm ; Mars : +18.7 mm.

En revanche, un déficit hydrique agricole s'installe de juin à octobre, atteignant son pic en juillet avec une perte de 163.4 mm. Ainsi, la période de déficit en eau s'étend de juin à octobre, tandis que la période d'excédent hydrique se situe entre décembre et mars (*LABIOD et BOUAITA, 2018*).

Tableau II.4. Bilan Hydrique de la station d'Azzaba.

Période	Tp (°C)	i	k	ETPc (mm)	Pr (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	26.7	12.6	1.03	123.3	28.1	0.0	28.1	95.2	0.0
O	23.2	10.2	0.97	84.9	57.4	0.0	57.4	27.5	0.0
N	18.3	7.1	0.86	44.6	94.7	50.1	44.6	0.0	0.0
D	14.9	5.2	0.81	26.5	125.4	100.0	26.5	0.0	49.0
J	14.7	5.1	0.87	27.6	100.2	100.0	27.6	0.0	72.6
F	16.9	5.1	0.85	26.6	83.1	100.0	26.6	0.0	56.5
M	16.9	6.3	1.03	44.4	63.1	100.0	44.4	0.0	18.7
A	19.7	7.6	1.1	62.7	42.1	79.3	62.7	0.0	0.0
M	22.4	9.7	1.21	98.3	24.2	5.2	98.3	0.0	0.0
J	27.9	11.5	1.22	128	7.1	0.0	12.3	115.7	0.0
J	28.8	13.5	1.24	163.9	0.4	0.0	0.4	163.4	0.0
A	28.8	14.2	1.16	164.9	3.7	0.0	3.7	161.2	0.0
<b>Année</b>	21.0	108.1	-	995.8	629.6	-	432.8	563.0	196.8

Pr : Précipitation moyenne annuelle

a :1.88

ETPc : Évapotranspiration potentielle

ETR : Évapotranspiration réelle (mm).

EXC : Excédent

i : Indice thermique mensuel.

RFU : Réserve facilement utilisable.

DEF : Déficit agricole

K : Coefficient de latitude.

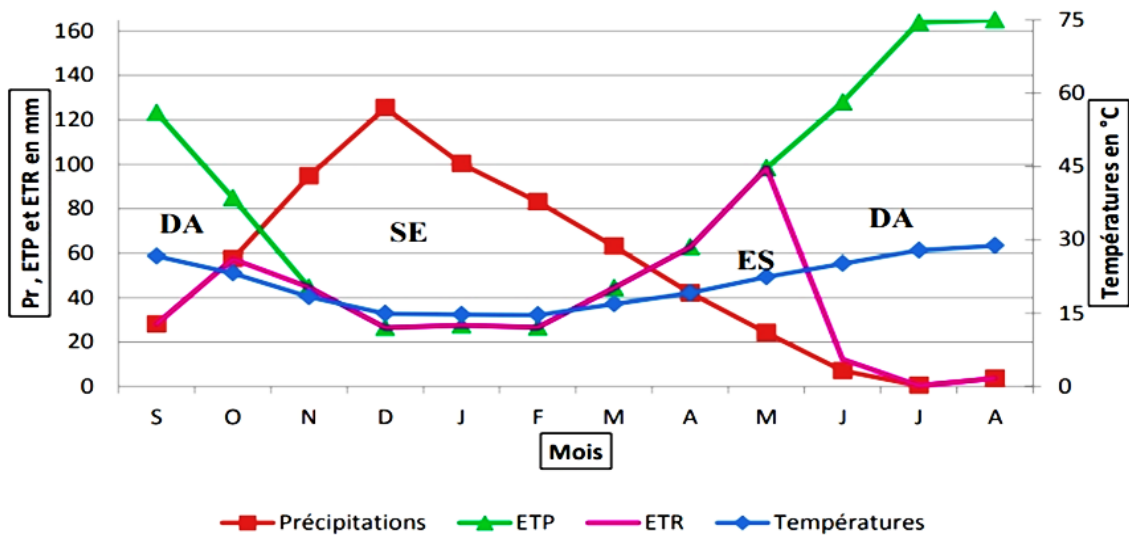


Figure II.9. Représentation graphique du bilan hydrique (P, T, ETP, ERT) aux stations.

### II.3. Présentation des données utilisées

#### II.3.1. Données collectées et critère de choix des stations pluviométriques

La collecte des données hydrométéorologiques constitue une étape essentielle dans toute recherche en hydrologie de surface. Dans le cadre de cette étude, nous avons recueilli les données de pluies maximales journalières, mensuelles et annuelles provenant de la station d'Aïn Charchar, ainsi que de plusieurs stations avoisinantes situées dans la zone d'étude.

L'objectif principal de cette partie de l'étude était d'identifier les stations pluvieuses pertinentes à retenir pour les analyses et traitements statistiques ultérieurs.

Le critère principal de sélection des stations retenues repose sur la disponibilité d'une série chronologique suffisamment longue de données. Une série temporelle étendue permet non seulement de garantir la fiabilité des analyses statistiques, mais aussi de mieux cerner le comportement hydrologique à long terme du site d'étude. Ce critère est par ailleurs fondamental pour réduire l'incertitude lors de l'application des modèles statistiques et des normes hydrologiques utilisés dans l'étude.

#### II.3.2. Analyse des précipitations annuelles moyennes (synthétique)

Une station moyenne synthétique a été créée en combinant les données des stations D'Aïn Charchar et de Ramdane Djamel, afin d'obtenir une représentation plus précise des précipitations dans la région étudiée. Elle est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau II.5. Précipitations annuelles (en mm) dans la station synthétique de l'Oued Fendek.**

Année d'observation	Pluie annuelle moyenne (en mm)	Année d'observation	Pluie annuelle moyenne (en mm)
1976	568.2	1995	622.1
1977	449	1996	381.7
1978	648.7	1997	741.4
1979	544.4	1998	795.4
1980	632.6	1999	486.3
1981	651.9	2000	582.7
1982	564.2	2001	530.3
1983	779.7	2002	991.1
1984	1002.1	2003	933.3
1985	472.8	2004	976.8
1986	903.5	2005	572.6
1987	459.4	2006	722.8
1988	515.5	2007	897.6
1989	523.4	2008	1112.2
1990	692	2009	639.8

1991	693.4	2010	1092.9
1992	599.5	2011	
1993	476.1	2012	
1994	615.8		

- Nombre de lacunes : 2
- Nombre total de cellules : 37
- Pourcentage de lacunes : 5.40 %

### II.3.2.1. Comblement des données manquantes par régression linéaire

Les lacunes dans la série des données ont été comblées à l'aide de la méthode de régression linéaire, une technique statistique permettant d'estimer les valeurs manquantes en établissant une relation linéaire entre des séries de données disponibles.

Cette relation a été déterminée à partir des données de la station de Skikda, avec un coefficient de corrélation  $r = 0.75$ , indiquant une corrélation modérée à forte entre les deux séries.

Les coefficients de l'équation de régression :  $a = 0.56$   $b = 201.3$

**Tableau II.6. Comblement des lacunes de précipitations annuelles moyennes en (mm) dans la station synthétique de l'Oued Fendek.**

N° d'ordre	Année d'observation	Pluie moyenne annuelle (en mm)
1	2011	590.5
2	2012	493

### II.3.2.2. Caractéristiques statistiques des données

**Tableau II.7. Paramètres statistiques des précipitations dans la station synthétique.**

Critère	Valeur
Nombre de données [n]	44
Valeur minimale	382
Valeur maximale	1110
Moyenne	648
Écart-type	190
Médiane	595
Coefficient de variation [Cv]	0.292
Coefficient d'asymétrie [Cs]	0.984
Coefficient d'aplatissement [Ck]	2.84

## II.3.3. Analyse des précipitations mensuelles

Tableau II.8. Précipitations mensuelles en (mm) de la station synthétique d'Oued Fendek.

Année d'obs	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total annuel
1969- 1970	0	33.4	1.8	21.2	46.4	32.2	34.9	21.9	9.5	2.4	0.3	0	204.0
1970-1971	15.2	43.6	20.1	8.8	33.9	19.6	35.9	26.7	11.7	6.9	0.1	6.3	228.8
1971- 1972	9.3	38.3	2.4	33.7	47.9	25.6	38.5	11.7	0	16.5	0	1.5	225.4
1972- 1973	28.9	24.1	8.5	19.1	14.3	28.9	8.4	17.5	16.7	0	0.3	0	166.7
1973-1974	38.3	13.8	33.8	16.3	15.4	29.8	18.1	2.6	21.8	1.6	0	7.6	199.1
1974-1975	13.1	21.3	24.5	25.4	31.9	39.4	31.1	16.7	19.4	1.1	1.2	3.1	228.2
1975- 1976	29.1	54.5	41.2	4.1	24.3	4.6	2.1	26.4	29.5	9.6	0.4	1.6	227.4
1976-1977	1.6	13.1	36.1	4.1	21.3	19.5	24.3	24.1	28.4	0	0		172.5
1977-1978	1.4	39.4	29.4	36.1	8.3	39.7	21.1	41.2	6.1	9.8	1.1	1.2	234.8
1978-1979	11.2	11.6	19.1	9.3	11.1	2.6	29.4	16.1	9.2	2.2	0	0.2	122.0
1979-1980	28.4	9.1			11.3	18.1	7.5	4.9	11.2	9.7	0.3	1.1	101.6
1980-1981	2.1	18.4	24	68.5	23.3	19.8	25.1	19.6	18.1	0	0.6	5.9	225.4
1981-1982													
1982-1983	23.3	8.5	64	14.2	38.5	57.4	9.1	7.7	7.4	4.3	0	0.4	234.8
1983-1984	24	50.5	3.6	49.3	34.1	41.4	41.2	18.7	17.1	0	0	1.2	281.1
1984-1985	21.8	9.4	15.7	15.5	30.1	19.7	25.3	11.3	1.3	4.1	1.3	0	155.5
1985-1986	12.5	26.1	32.5	38.1	23.3	43.1	31.4	19.3	28.1	0	0	0	254.4
1986-1987	0	10.3	41.1	16	23.3	28.7	12.2	6.3	14.1	11.1	0	0	163.1
1987-1988	20.1	0	9.4	31.3	21.3	25.3	17.1	19.2	1.1				144.8
1988-1989	5.3	41.1	23.3	27.1	58.3	0	15.4	18.1	12.1	11.4	0	15.9	228.0
1989-1990	0	25.4	39.9	53.3	25.3	29.1	17.3	11.3	0				201.6
1990-1991	11.4	33.2	17.2	1.3	25.1	31.6	21.9	36.7	7.3	6.1	1.3	0.3	193.4
1991-1992	0	9.4	21.1	39.4	19.4	7.7	25.3	3.1	9.3	0	0	0	134.7
1992-1993	7.6	23.3	14.6	47.5	27.5	36.1	0	15.8	26.6	0	0	0	199.0
1993-1994	3.2	38.4	17.3	36.8	35.5	7.4	31.5	3.4	0	1.3	0	0.4	175.2
1994-1995	22.1	1.3	33.7	19.1	25.6	33.4	28.1	19.3	6.3	0	0	1.3	190.2
1995-1996	17.4	4.1	7.6	27.4	17.3	9.4	9.3	6.1	0.3	0	4.6	5.1	108.6
1996-1997	6.1	46.7	38.5	28.6	17.4	35.1	25.1	25.3	33.4	2.1	0	1.6	259.9
1997-1998	26.6	11.4	39.4	17.3	31.3	17.1	22.4	17.5	0	4.1	0	0.4	187.5
1998-1999	1.4	7.6	17.7	30.4	23.6	6.3	4.1	3.1	71.4	1.6	0	1.3	168.5
1999-2000	0	17.1	11.1	25.1	25.1	23.3	9.4	7.8	6.3	0	0	0	125.2
2000-2001	9.3	6.1	14.1	12.6	9.3	22.5	4.3	9.3	1.3	0	1.5	7.3	97.6
2001-2002	3.1	15.3	39.3	31.4	31.5	29.2	17.2	27.4	5.4	0	0		199.8
2002-2003	14.1	9.3	6.3	30.6	25.3	6.3	7.6	17.1	11.6	25.4	0	0	153.6
2003-2004	14.1	11.1	44.3	29.6	21.4	30.3	22.3	25.4	0	1.3	0	3.1	202.9
2004-2005	1.3	4.3	7.5	62.5	28.1	20.3	9.3	3.1	4.3	0	0	3.4	144.1
<b>Somme</b>	423.3	730.5	800.1	931.0	907.0	840.5	683.2	561.7	446.3	132.6	13.0	70.2	6539.4
<b>Moyenne</b>	12.09	20.87	22.86	26.60	25.91	24.01	19.52	16.05	12.75	3.79	0.37	2.01	186.84

- Nombre de lacunes : 22
- Nombre total de cellules : 432
- Pourcentage de lacunes : 5.09%

Tableau II.9. Analyse de la répartition mensuelle des précipitations.

Mois	Pann	MoyPmen	Pmen %	Ecart type	Coeff.var
Sep	423.30	12.09	6.66	10.67	0.88
Oct	730.50	20.87	11.49	15.27	0.73
Nov	800.10	22.86	12.58	14.822	0.65
Déc	931.00	26.60	14.64	16.06	0.60
Jan	907.00	25.91	14.26	10.85	0.42
Fév	840.50	24.01	13.22	13.16	0.55
Mar	683.20	19.52	10.75	11.08	0.57
Avr	561.70	16.05	8.84	9.627	0.60
Mai	446.30	12.75	7.02	14.07	1.10
Juin	132.60	3.79	2.09	5.814	1.53
Juil	13.00	0.37	0.20	0.886	2.39
Aout	70.20	2.01	1.11	3.424	1.70
$\Sigma$	6539.40	186.84	100.00		

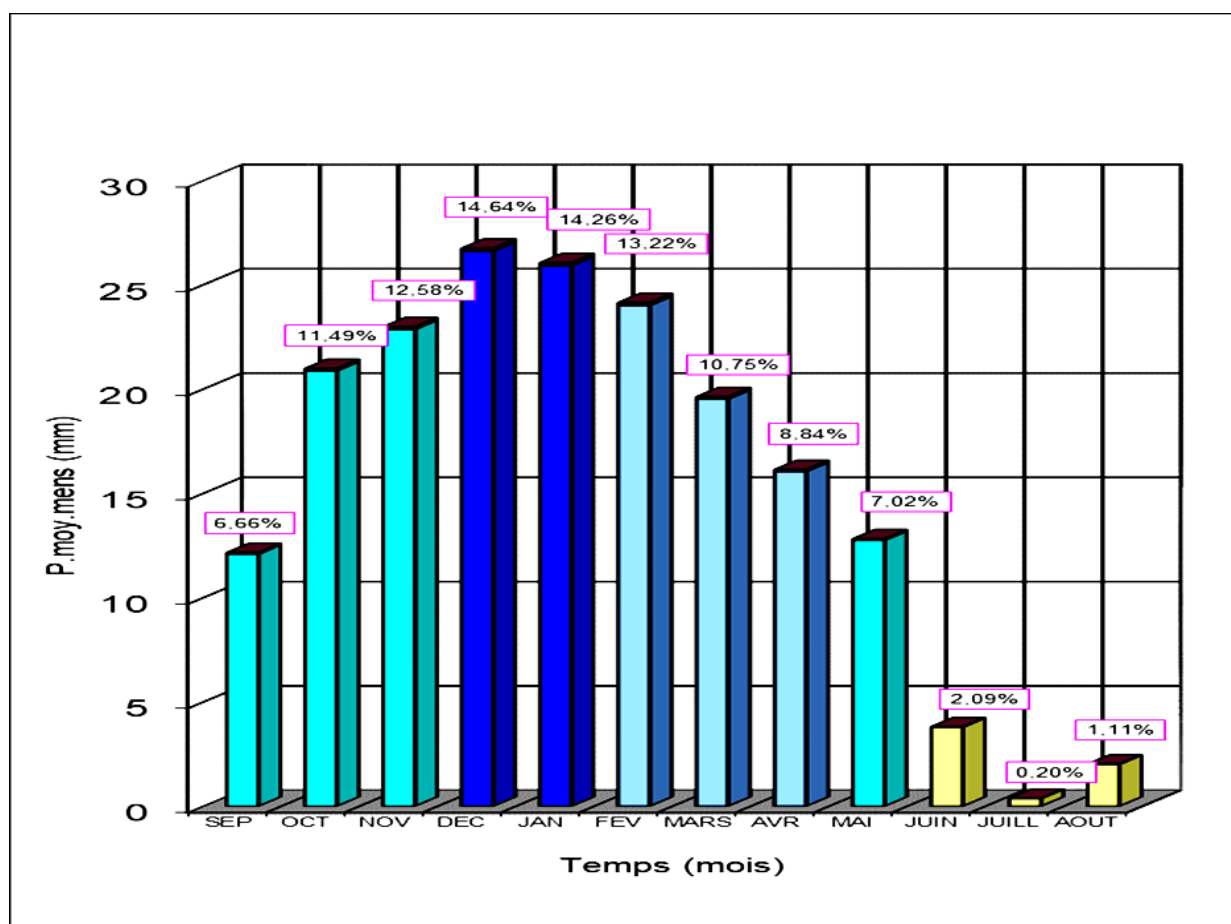


Figure II.10. Répartition des précipitations moyennes mensuelles.

### II.3.4. Les pluies journalières maximales

La série d'observations des pluies journalières maximales du poste pluviométrique est insérée dans le tableau ci-après :

**Tableau II.10. Série d'observations des précipitations journalières maximales de la station d'Azzaba (pépinière).**

Année	Pluies journalières maximales (en mm)	Année	Pluies journalières maximales (en mm)
1970	46.4	1991	36.7
1971	43.6	1992	39.4
1972	47.9	1993	47.5
1973	28.9	1994	38.4
1974	38.3	1995	33.7
1975	39.4	1996	27.4
1976	54.5	1997	46.7
1977	36.1	1998	39.4
1978	41.2	1999	71.4
1979	29.4	2000	25.1
1980	28.4	2001	22.5
1981	68.5	2002	39.3
1982	47.1	2003	30.6
1983	64	2004	44.3
1984	50.5	2005	62.5
1985	30.1	2006	33.4
1986	43.1	2007	33.3
1987	41.1	2008	17.4
1988	31.3	2009	47.3
1989	58.3	2010	41.3
1990	53.3	2011	
		2012	

- Nombre de lacunes : 2
- Nombre total de cellules : 43
- Pourcentage de lacunes : 4.65%

#### II.3.4.1. Comblement des données manquantes par régression linéaire

Les lacunes dans les données ont été comblées à partir des données de la station voisine, avec un coefficient de corrélation  $r = 0.65$ , indiquant une corrélation modérée à forte entre les deux séries.

Les coefficients de l'équation de régression :  $a = 0.66$   $b = 22.10$

**Tableau II.11. Comblement la lacune d'observation des précipitations journalières maximales de la série de la station d'Azzaba (pépinière).**

Année	Pluies journalières maximales (en mm)
2011	66.5
2012	43.8

#### II.3.4.2. Caractéristiques statistiques des données

**Tableau II.12. Paramètres statistiques des précipitations journalières maximales.**

Critère	Valeur
Nombre de données [n]	43
Valeur minimale	17.4
Valeur maximale	71.4
Moyenne	42.1
Écart-type	12.5
Médiane	41.1
Coefficient de variation [CV]	0.298
Coefficient d'asymétrie [Cs]	0.532
Coefficient d'aplatissement [Ck]	2.75

#### II.4. Conclusion

La région d'Azzaba se caractérise par une vulnérabilité prononcée aux inondations récurrentes, attribuable à divers facteurs environnementaux et climatiques. La configuration topographique, marquée par des zones dépressionnaires et des pentes abruptes, favorise un écoulement rapide des eaux pluviales, particulièrement lors de périodes de fortes précipitations.

Cela est particulièrement évident au niveau de l'Oued Fendek, qui représente le réseau hydrographique de la région, et qui constitue un risque majeur d'accumulation des eaux et d'inondations soudaines. Les inondations au niveau de cette région peuvent causer des dommages matériels importants affectant les infrastructures routières, les habitations et les terres agricoles environnantes. Elles représentent également une menace directe pour les populations locales, nécessitant des interventions fréquentes des services de secours afin de protéger les habitants et de limiter les pertes humaines et matérielles.

En 2023, la Direction Générale de la Protection Civile a rapporté des opérations de sauvetage et d'évacuation de plusieurs citoyens dans la wilaya de Skikda, suite aux intempéries ayant affecté la région. Par exemple, le 23 novembre, la crue de l'Oued Fendek dans la commune

d'Azzaba a emporté un bus de transport de passagers ainsi qu'un autre véhicule. Les équipes de la Protection Civile ont réussi à intervenir, sauvant huit personnes coincées à l'intérieur du bus et quatre autres à bord du véhicule.



**Figure II.11. Inondation de l'Oued Fendek (Novembre 2023).**

Étant donné la récurrence des inondations dans cette région, il est impératif de renforcer les infrastructures de drainage et de mettre en place des stratégies préventives pour minimiser les risques pour la population et les biens. Une approche combinant des solutions d'ingénierie et des mesures de sensibilisation pourrait permettre de mieux anticiper ces phénomènes et de réduire leurs impacts à l'avenir.

**Chapitre III :**  
**Etude Hydrologique**

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### III.1. Introduction

L'étude hydrologique d'un bassin versant permet d'analyser les ressources en eau et les risques d'inondation, tout en fournissant une base pour la gestion durable de l'eau et l'aménagement du territoire.

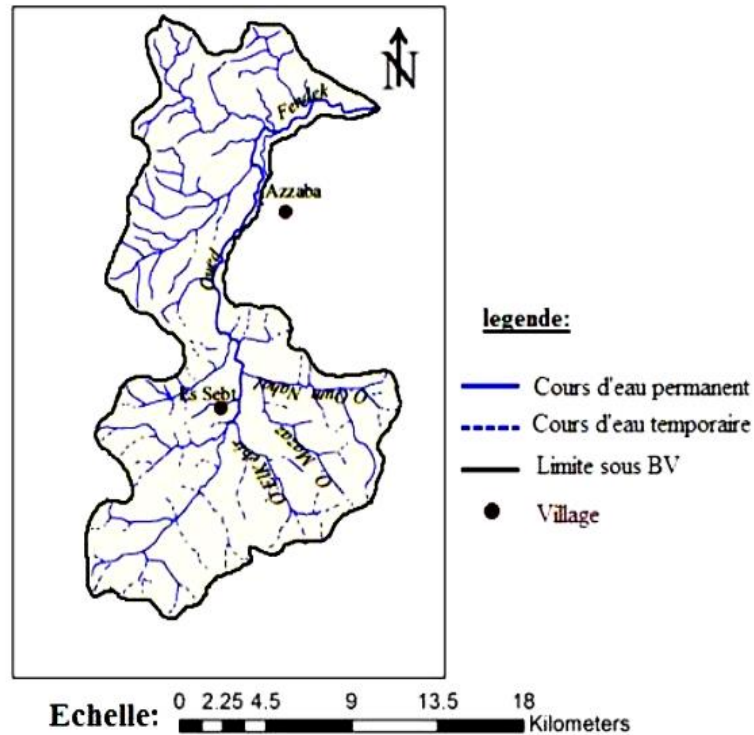
Ce chapitre se divise en deux parties : la première concerne l'étude du bassin versant de l'oued Fendek, avec une analyse de ses caractéristiques morphologiques, topographiques et hydrographiques, ainsi que de l'impact du couvert végétal sur l'infiltration et le ruissellement. La deuxième partie est consacrée aux calculs hydrologiques, incluant l'estimation des périodes de retour et le calcul des débits de crue.

### III.2. Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Fendek

#### III.2.1. Analyse et délimitation du bassin

L'Oued Fendek est situé dans la wilaya de Skikda, au nord de l'Algérie, dans une zone à la fois urbaine et industrielle. Il traverse la commune d'Azzaba, s'écoulant du sud-ouest vers le nord-ouest, à l'ouest de la ville (2006, هبهب).

Prend sa source dans les contreforts nord de la chaîne numidique. Il traverse plusieurs localités et gagne en importance lorsqu'il se joint à l'Oued Krob pour former l'Oued Emchekel. Ce dernier conflue avec l'Oued El Hammam, donnant naissance à l'Oued El Kébir, qui traverse la région de Guerbès avant de se jeter dans la mer Méditerranée (LABIOD et BOUAITA, 2018).



**Figure III.1. Carte de réseau hydrographique du sous-bassin d'Oued Fendek à la confluence avec l'Oued EL Kebir.**

### 1) Superficie

L'aire du bassin d'étude est déterminée à l'aide du logiciel AutoCAD 2025, dont la précision excède largement celle des planimètres classiques.

### 2) Périmètre

Le périmètre du bassin versant est aussi mesuré à l'aide du logiciel AutoCAD 2025.

### 3) Longueur du cours d'eau principal

Le principal cours d'eau (Oued Fendek) est également évalué grâce au logiciel AutoCAD 2025 (ADJISSI, 2007, p. 07-13).

Tableau III.1. Caractéristiques morphométriques du sous bassin d'Oued Fendek.

Désignation du bassin versant	Surface en Km <sup>2</sup>	Périmètre en Km	Longueur du cours d'eau principal En Km
Bassin versant d'Oued Fendek	169.95	62.25	24.35

### III.2.2. Caractéristiques de forme

#### III.2.2.1. Indice de forme K<sub>c</sub>

L'indice de compacité ou indice K<sub>c</sub>, également connu sous le nom d'indice GRAVELUIS, est un paramètre qui indique la forme du bassin versant. Il est déterminé par la formule ci-après :

$$K_c = \frac{p}{2\sqrt{(\pi \cdot s)}} = 0.28 \frac{p}{\sqrt{s}} \quad (\text{III.1})$$

Concernant notre bassin versant :

$$K_c = 1.40$$

- Le bassin présente une forme allongée.

#### III.2.2.2. Rectangle équivalent

Les formules suivantes fournissent les dimensions du rectangle équivalent :

- Longueur :

$$L = K_c \frac{\sqrt{s}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] \quad (\text{III.2})$$

$$L = 26.12 \text{ km}$$

- Largeur :

$$l = Kc \frac{\sqrt{s}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (\text{III.3})$$

$l = 6.506 \text{ km}$
------------------------

### III.2.3. Caractéristiques de relief

#### III.2.3.1. Répartition altimétrique

L'établissement de la distribution altimétrique du sous-bassin étudié est effectué à partir du planimètre des surfaces élémentaires situées successivement entre deux courbes dominantes, par tranche d'altitude de 50 m, au 1/100 000.

Cette distribution altimétrique autorise la création de la Courbe Hypsométrique, qui facilite l'identification des altitudes typiques du sous bassin et le profil de son relief.

Tableau III.2. Répartition altimétrique du sous bassin d'Oued Fendek.

Tranches d'altitudes (m)	Superficies partielles Si (Km <sup>2</sup> )	Superficies partielles Si/St (%)	Superficies cumulées $\sum$ Si (Km <sup>2</sup> )	Superficies cumulées $\sum$ (Si/St) (%)
948 - 900	0.1500	0.09	0.1500	0.090
900 - 850	0.6100	0.36	0.7600	0.449
850 - 800	2.0600	1.21	2.8200	1.661
800 - 750	2.6300	1.55	5.4500	3.209
750 - 700	2.8200	1.66	8.2700	4.868
700 - 650	5.1100	3.01	13.3800	7.875
650 - 600	8.1400	4.79	21.5200	12.664
600 - 550	9.7900	5.76	31.3100	18.425
550 - 500	12.4000	7.30	43.7100	25.721
500 - 450	13.9000	8.18	57.6100	33.900
450 - 400	16.9300	9.96	74.5400	43.862
400 - 350	20.5300	12.08	95.0700	55.942
350 - 300	23.4600	13.80	118.5300	69.746
300 - 250	21.8300	12.84	140.3600	82.591
250 - 200	16.6900	9.82	157.0500	92.411
200 - 150	10.5000	6.18	167.5500	98.590
150 - 118	2.4000	1.41	169.9500	100.00
<b>Total</b>	169.9500	100.00	169.9500	100.00

La distribution altimétrique du sous-bassin de l'Oued Fendek permet la division du bassin en trois niveaux de haut en bas, clairement définis et interprétables de la manière suivante :

1. Il convient de noter que la zone totale s'élevant à 21.520 Km<sup>2</sup>, représentant 12.664 % de la superficie globale du bassin, est répartie sur de petites superficies pour les segments d'altitude situés entre 948.00 m et 600.00 m en amont. On observe une augmentation nette de ces superficies lorsqu'on se déplace du point le plus haut vers le centre amont du bassin. Cette répartition altimétrique fait que les pentes sont particulièrement raides en amont et tendent à être plus graduellement inclinées vers le centre du sous-bassin.

2. De vastes zones pour les tranches comprises entre 600.00 m et 200.00 m, couvrant environ 135.530 Km<sup>2</sup>, soit 79.747 % de la superficie totale du bassin, ce qui justifie un relief modéré dans la partie centrale et inférieure du bassin, autrement dit, la présence d'un plateau dans la partie inférieure du bassin.

3. De petites zones situées en aval du sous-bassin, pour les tranches d'altitude comprises entre 200,00 m et 118,00 m « Exutoire », couvrent une superficie de 2,900 km<sup>2</sup>, ce

qui représente 7.589 % de la surface totale. En d'autres termes, le terrain devient accidenté dans la partie la plus basse du bassin.

**III.2.3.2. Altitude du bassin**

- Altitude Maximale : 948.00 m
- Altitude Moyenne : 400.99 m
- Altitude Médiane : 374.00 m
- Altitude Minimale : 118.00 m

**III.2.3.3. Courbe hypsométrique**

Le tracé de la courbe hypsométrique du bassin, basé sur la distribution altimétrique, a été réalisé avec le logiciel AutoCAD 2025 (voir figure III.2).

Il convient de souligner qu'en ce qui concerne l'hydrologie de surface, la lecture de la courbe hypsométrique dépeint à grande échelle le profil réel du relief du bassin versant et, par extension, sa capacité à évacuer les eaux.

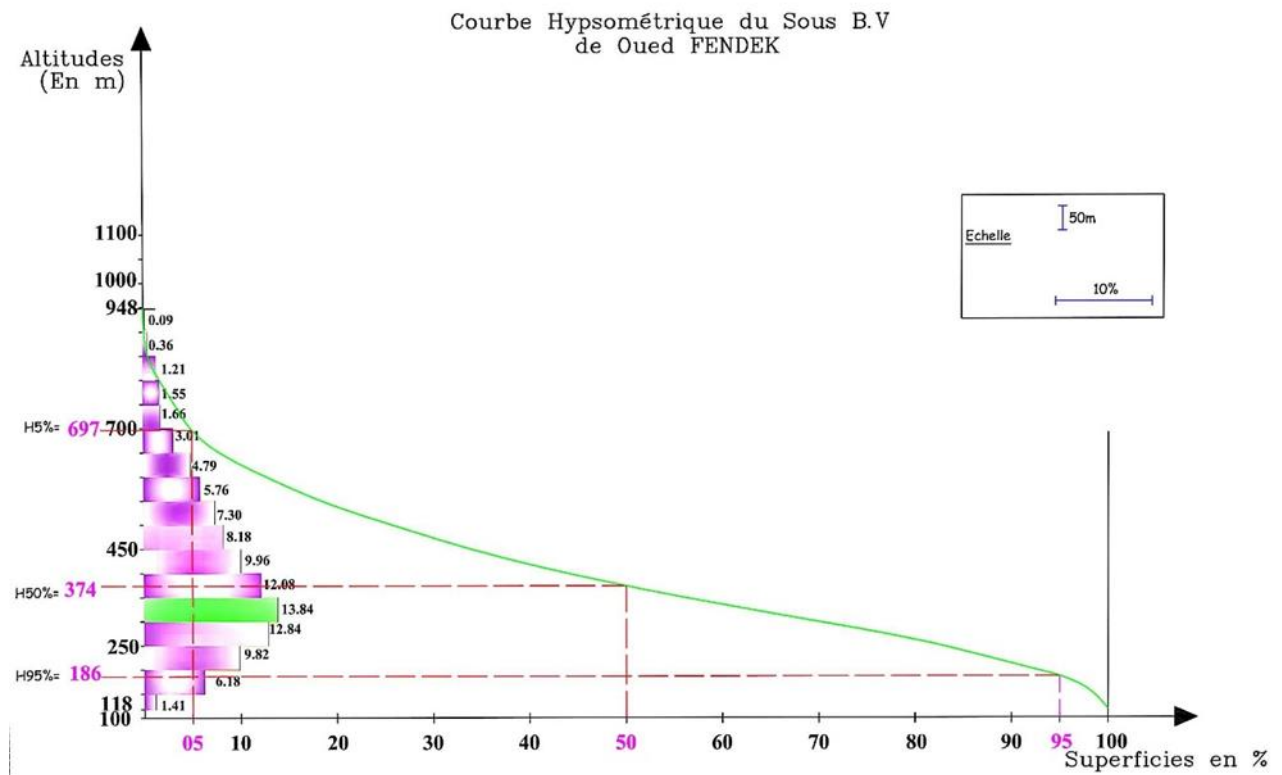


Figure III.2. Courbe hypsométrique en fonction de la superficie %.

L'interprétation de la courbe hypsométrique peut se faire de la manière suivante :

- 1- La courbe montre une forte descente qui s'accroît en amont du sous bassin, caractérisée par des fortes pentes entre les altitudes 948 m et 600 m et ce après drainage de 12.664 %, de la superficie du sous bassin en étude et par conséquent le flux en cette partie du sous bassin atteint de très fortes vitesses, comme le montre bien la courbe hypsométrique.
- 2- La courbe continue de descendre, mais avec un gradient réduit, entre les altitudes de 600,00 m et 200,000 m, suite à un drainage de 92.411 % du sous bassin ; cette section du sous bassin contribue à modérer le flux et par conséquent elle favorise l'accumulation des eaux de crue.
- 3- Dans cette section aval du sous-bassin (entre 200,00 m et 118,00 m), « Exutoire » présente des inclinaisons prononcées, surtout après un drainage de 95 % à 100 % de la surface. De ce fait, le flux dans cette partie aval du sous-bassin retrouve une vitesse très élevée. Cette zone se trouve juste en amont du complexe de mercure, d'où le cours d'eau sur une distance approximative de 6 km traverse un terrain plat avec une pente ne dépassant pas 0,25 % (selon le relevé topographique), ce qui est la raison principale des débordements et inondations.

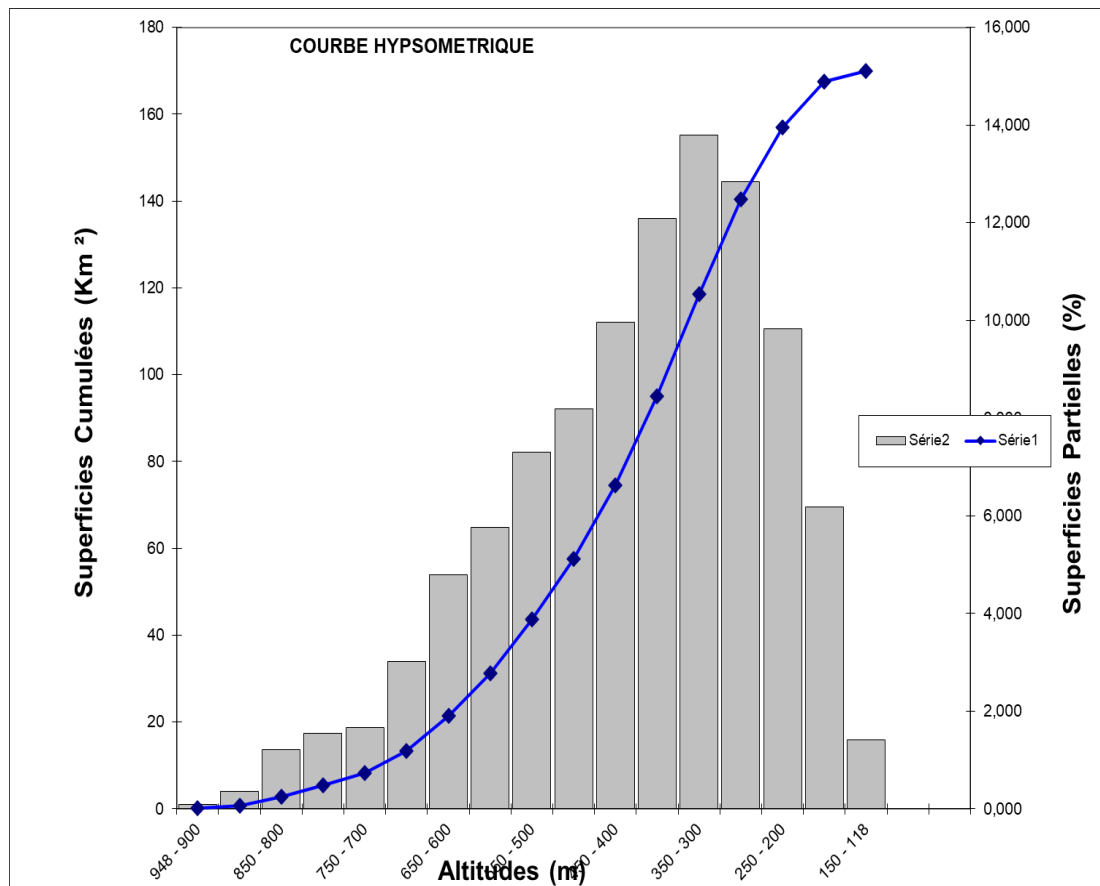


Figure III.3. Répartition des superficies en fonction de l'altitude.

III.2.3.4. Indice de pente globale Ig

Il s'agit du rapport entre la différence d'altitudes correspondant aux 5 % et 95 % figurant sur la courbe hypsométrique et la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \tag{III.4}$$

$$I_g = 0.0196 \text{ Km/ Km}$$

L'indice de pente globale calculé est de 0,0196 Km/Km, un chiffre très faible. Toutefois, on peut affirmer que le sous-bassin examiné présente une légère dénivellation ce qui implique un régime d'écoulement relativement modéré.

### III.2.3.5. Profil en long

La figure 04 illustre le profil détaillé de la chevelure hydrographique du sous-bassin étudié. Ce profil met en évidence les points problématiques dans le parcours du cours d'eau, comme les variations abruptes de dénivelé, surtout en amont et après le point de sortie.

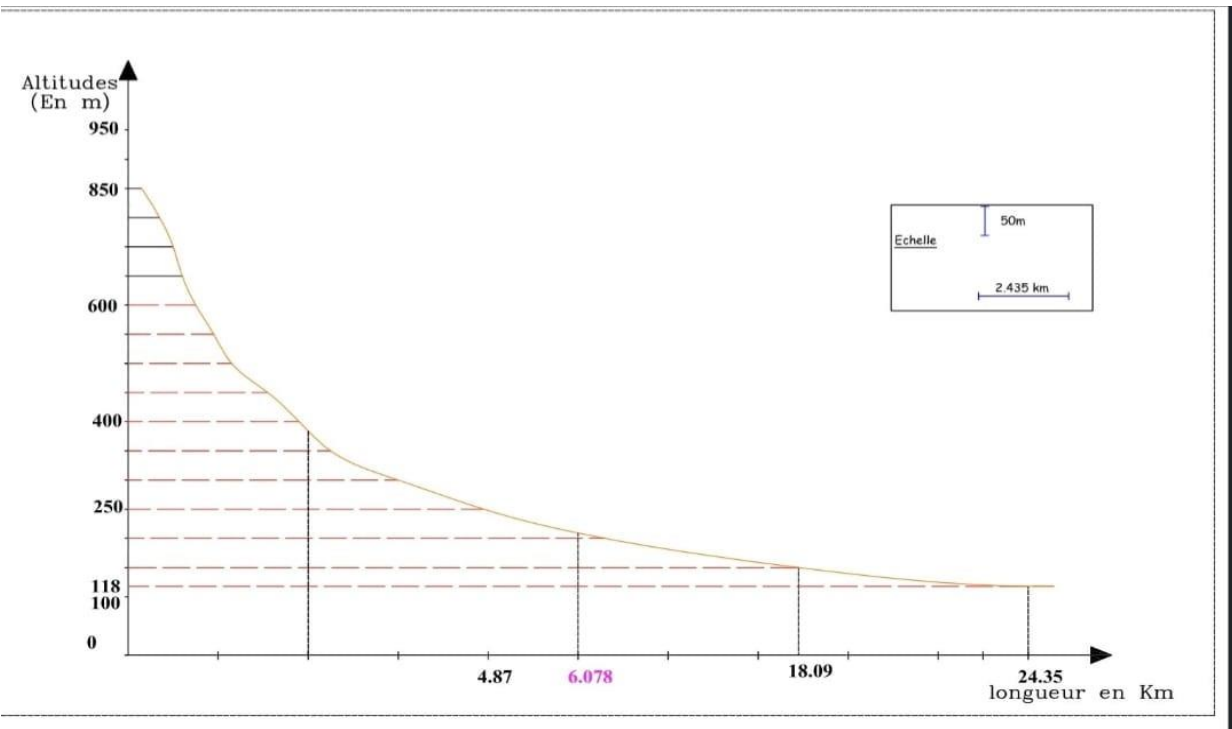


Figure III.4. Profil en long du cours d'eau principale d'Oued Fendek.

## III.2.4. Caractéristiques du réseau hydrographique

### III.2.4.1. Vue en plan

La compréhension du réseau hydrographique nous offre une bonne connaissance du système de drainage des bassins versants, ainsi que de leur capacité à générer du ruissellement. De plus, elle facilite l'identification de divers paramètres associés au ruissellement, comme la densité de drainage et le coefficient de torrentialité.

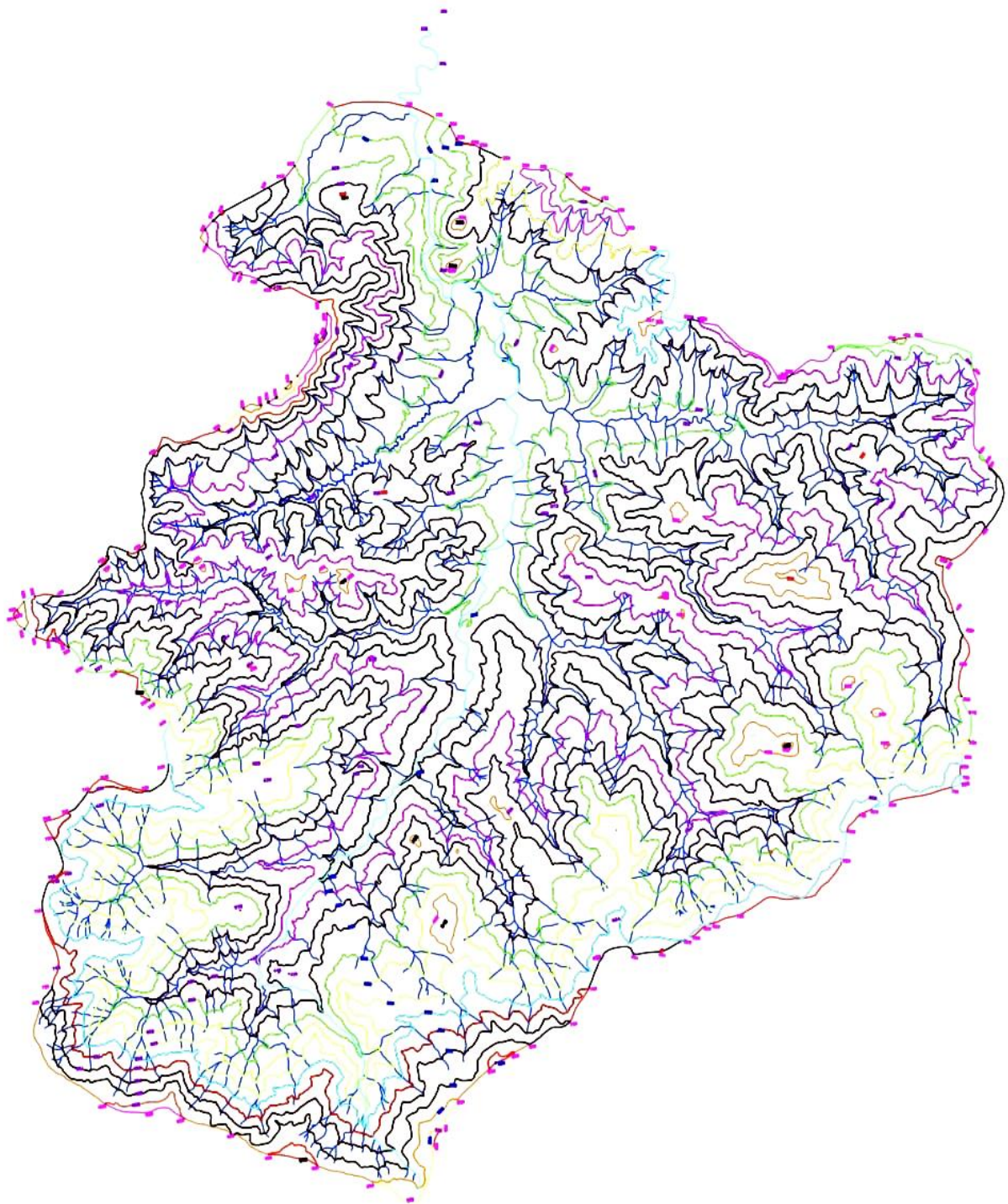


Figure III.5. Réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek.

Pour déterminer ces paramètres, nous avons classé et numéroté les Thalwegs en employant la méthode de SCHUMM, généralement privilégiée pour les petits bassins versants.

**Tableau III.3. Longueur du réseau hydrographique du sous bassin d'Oued Fendek.**

Numéro d'ordre	Longueur des tronçons Lx (en Km)
1	272.738

L'examen du tableau ci-dessus indique que le sous-bassin étudié est traversé par un réseau hydrologique très dense.

#### III.2.4.2. Densité de drainage

La densité de drainage est un indicateur hydrographique qui reflète le niveau et la capacité du sous-bassin versant à évacuer les eaux de ruissellement.

La densité de drainage est donnée par la formule ci-après :

$$Dd = \frac{\sum_{x=1}^i Lx}{s} \quad (\text{III.5})$$

Dd= 2.63 Km / Km <sup>2</sup>
-------------------------------

Le sous-bassin d'Oued Fendek présente une densité de drainage assez élevée, ce qui rend complexe l'évacuation des eaux de crue par le bassin, surtout dans la section se trouvant à proximité immédiate de l'exutoire.

#### III.2.4.3. Coefficient de torrentialité

Ce coefficient indique le régime hydrologique et l'intensité des inondations causées par les courants violents.

Ce paramètre est donc indicatif de la susceptibilité du bassin à l'érosion. C'est formulé comme suit :

$$Ct = Dd * F \quad (\text{III.6})$$

Dans laquelle :

$Dd$  : densité de drainage en  $Km / Km^2$

$F$  : fréquence de thalwegs élémentaire (d'ordre 1) sans dimension.

$$F = \frac{N1}{S} \quad (III.7)$$

Avec :  $N1$  : Nombre de thalweg N° 1.

$S$  : superficie du bassin versant.

$Ct = 3.47 Km / Km^2$
-----------------------

Ce paramètre est étroitement associé à la densité de drainage et à la fréquence des thalwegs élémentaires du bassin versant. Par conséquent, on peut aisément comprendre pourquoi ce paramètre élevé pour le sous-bassin en question indique un degré élevé de torrentialité du régime.

#### III.2.4.4. Temps de concentration

Pour le calcul de ce paramètre de grande importance, il a été procédé à l'application de quatre formules empiriques, celle de GIANDOTTI, KRIPPICH, S.C.S (USA) et enfin la formule Algérienne de l'A.N.R.H. Dont on insère ci-dessous, la formule de GIANDOTTI.

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \sqrt{(H_{moy} - H_{min})}} \quad (III.8)$$

Avec :

- $Tc$  : temps de concentration (h)
- $S$  : superficie du bassin versant ( $Km^2$ )
- $L$  : longueur du talweg le plus long. (Km)
- $H_{moy}$  et  $H_{min}$  : Altitudes moyennes et minimales du bassin versant. (m)

Le temps de concentration du sous bassin versant d'Oued Fendek avancé par les différentes formules est illustré dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III.4. Temps de concentrations estimés selon différentes formules.**

Formules	Temps de concentrations (h)
Giandotti	6.59
Kirpich	9.78
F. Algérienne	3.53
Formule SCS	3.43
Moyenne	5.83

### III.2.5. Couvert végétal

Étant donné que la couverture végétale d'un bassin versant spécifique joue un rôle crucial dans la régulation des flux, la préservation des itinéraires naturels des cours d'eau et la conservation ainsi que la stabilité du sol, cela se manifeste par :

- L'augmentation du phénomène d'infiltration.
- L'amortissement du flux.
- La diminution du phénomène de l'érosion.
- En enfin la diminution du volume de la crue.

La couverture végétale forestière insuffisante en amont et en aval du sous-bassin examiné représente un point noir distinctif et, par conséquent, constitue un désavantage significatif pour les flux d'eau (*ADJISSI, 2007, p. 07-13*).

### III.3. Calculs hydrologiques

#### III.3.1. Calcul de l'apport moyen annuel

Pour le calcul de l'apport moyen annuel, il a été procédé à l'application des formules empiriques les plus utilisées en régime hydrologique Algérien, notamment par l'A.N.R.H.

##### 1) Formule de C. SAMIE

$$L = P^2(293 - 2.2\sqrt{s}) \quad (\text{III.9})$$

Avec :

- L = Apport moyen annuel, exprimé en mm de lame d'eau.
- P = Pluviométrie moyenne annuelle, en m.
- S = Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>

## 2) Formule de COUTAGNE

$$L = (0.164 - 0.00145\sqrt{S})P \quad (\text{III.10})$$

Avec :

- L = Apport moyen annuel, exprimé en m de lame d'eau.
- P = Pluviométrie moyenne annuelle, en m.
- S = Surface du bassin versant en Km<sup>2</sup> (ADJISSI, 2007).

**Tableau III.5. Tableau récapitulatif de calcul de l'apport moyen annuel selon différentes formules utilisées.**

Sous B. V	Formule utilisée	Lame d'eau ruisselée (mm)
Oued Fendek	C. SAMIE	89.5
	COUTAGNE	84
	Valeurs adoptées	89.5

### III.3.2. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales

#### ❖ Test d'adéquation à la loi de Gumbel

Afin de vérifier si les données des valeurs maximales annuelles (P.max) suivent une loi de Gumbel, un test du khi-deux (Chi<sup>2</sup>) d'adéquation a été réalisé. Les hypothèses suivantes ont été posées :

- H0 : L'échantillon suit une loi de Gumbel.
- H1 : L'échantillon ne suit pas une loi de Gumbel.

#### Résultats du test :

- Statistique du test :  $X^2 = 2.51$
- Valeur p (p-value) = 0.7747
- Degrés de liberté : 5
- Nombre de classes : 6

Étant donné que la valeur p est supérieure au seuil de signification de 5 % ( $p > 0.05$ ). Ainsi, on peut conclure que les données suivent bien une loi de Gumbel. Cela renforce la fiabilité de l'utilisation de cette loi dans l'analyse des crues et l'estimation des valeurs extrêmes des précipitations à la station synthétique de l'Oued Fendek.

❖ Estimation des paramètres

- Paramètre de localisation :  $u = 35.93$
- Paramètre d'échelle :  $\alpha = 9.52$

Tableau III.6. Pluies maximales journalières (PJmax) selon différents périodes de retour.

Probabilité (P)	0.9	0.98	0.99
Période de retour (ans)	10	50	100
Valeurs calculées de PJmax (mm)	57.4	73.1	79.8

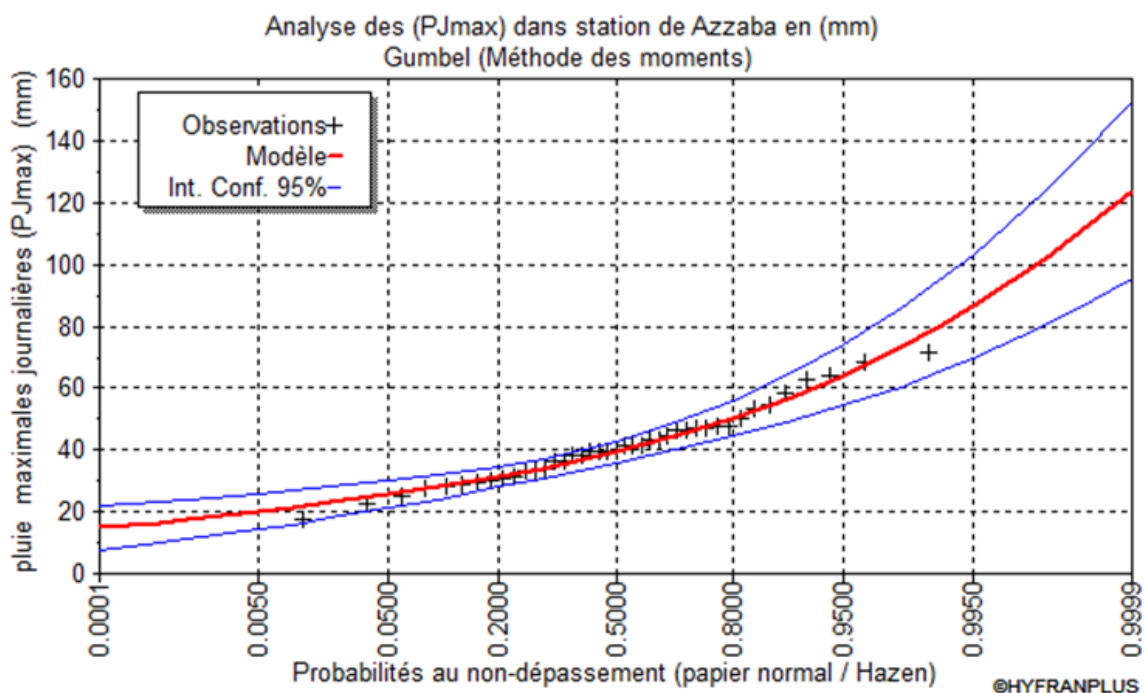


Figure III.6. Analyse des (PJmax) dans la station synthétique de l'Oued Fendek.

Ce graphique représente l'analyse des valeurs maximales quotidiennes des pluies (Pmax) enregistrées à la station synthétique de l'Oued Fendek, en utilisant la loi de Gumbel. À partir de cette analyse, les observations suivantes peuvent être faites :

1. Valeurs aberrantes aux extrémités : Aux valeurs maximales, on observe certains écarts par rapport aux limites de confiance, ce qui peut indiquer des pluies

exceptionnelles ou un phénomène climatique extrême, augmentant ainsi le risque d'inondations soudaines.

2. Augmentation des quantités de pluie à faibles probabilités : L'augmentation brusque des quantités de pluie pour les valeurs à faibles probabilités reflète la possibilité d'inondations violentes mais rares, ce qui rend nécessaire de les prendre en compte dans la planification de la gestion des risques futurs.

L'analyse montre que la région d'Azzaba pourrait être sujette à des inondations graves en cas de pluies intenses rares, ce qui rend essentiel un plan de gestion des risques pour limiter les impacts des futures inondations.

### III.3.3. Etude des crues

Le débit de crue constitue le paramètre hydrologique, qui permet le dimensionnement de différents ouvrages hydrotechniques, selon leurs importances.

Pour le calcul de ce paramètre, il a été procédé à l'application de trois formules les plus adaptées à notre régime hydrologique, la formule de C. SAMIE, TURRAZA et celle de GIANDOTTI, qui sont les plus utilisées en Algérie.

#### 1. Formule de C. SAMIE

Cette formule permet de calculer le débit journalier maximum de fréquence donnée ( $Q_{max}$  %), en fonction de la pluie journalière maximale de même fréquence ( $P_{jmax}$  %) et d'autres paramètres hydrologiques, tels que, la surface du bassin versant et le coefficient de ruissellement.

La formule de C. SAMIE, s'écrit de la forme suivante :

$$Q_{max} = \frac{P_{jmax} \times S \times cr \times 10^3 \times Ka}{86400} \quad (III.11)$$

Avec :

- $Q_{max}$  = débit maximal à une fréquence donnée en M<sup>3</sup> /s.
- $P_{jmax}$  = Pluie maximale journalière à la même fréquence (en mm).
- $Cr$  = coefficient de ruissellement adimensionnel, tabulé en fonction de p.j.

max, la taille du bassin versant et la nature du sol du cours d'eau. Pour le cas d'Oued Fendek,  $Cr=0.70$ .

- S : superficie du bassin versant (en Km<sup>2</sup>).
- Ka = coefficient d'amortissement de la crue égale à 0.8.

**Tableau III.7. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule de C. SAMIE.**

<b>Fréquence %</b>	10	2	1
<b>Période de retour (ans)</b>	10	50	100
<b>PJmax (mm)</b>	57.4	73.1	79.8
<b>Qmax (m<sup>3</sup>/s)</b>	63.22	80.52	87.90

## 2. Formule de GIANDOTTI

La formule de GIANDOTTI, est donnée par la relation suivante :

$$\frac{Q_{max}}{Q_{moy}} = Kc = \left[ \left( \frac{Ptc}{P_{jmax}} \right) \times \left( \frac{24}{Tc} \right) \right] \quad (\text{III.12})$$

Dans la quelle Qmoy est le débit moyen qui se calcule comme suit :

$$Q_{moy} = \frac{Cr \times Ptc \times S}{108} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

- Qmax= débit maximal à une fréquence donnée en m<sup>3</sup> /s.
- PJmax=Pluie maximale journalière à la même fréquence (en mm).
- Cr= coefficient de grande crue = 0.9 (fixé par C. SAMIE)
- S : superficie du bassin versant (en Km<sup>2</sup>).

Les résultats sont répertoriés dans les tableaux ci-après :

**Tableau III.8. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule GIANDOTTI.**

<b>Fréquence %</b>	10	2	1
<b>Période de retour (ans)</b>	10	50	100
<b>(PJmax) (mm)</b>	57.4	73.1	79.8
<b>Qmoy (C. SAMIE) (m<sup>3</sup>/s)</b>	47.48	60.46	66
<b>Kc</b>	2.4	2.4	2.4

<b>Qp (m<sup>3</sup>/s)</b>	114.16	145.4	158.72
<b>Ptc (mm)</b>	33.52	42.69	46.6

### 3. Formule de TURAZZA

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale des précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{\max p\%} = \frac{C_{rc} \bar{i}_{tc} S}{3.6} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

- S : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>
- $\bar{i}_{tc}$  : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h
- C<sub>rc</sub> : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité au dépassement P%

**Tableau III.9. Débit maximal du bassin versant d'Oued Fendek selon la formule TURAZZA.**

<b>Fréquence %</b>	10	2	1
<b>Période de retour (ans)</b>	10	50	100
<b>(PJmax) (mm)</b>	57.4	73.1	79.8
<b>Ptc (mm)</b>	33.52	42.69	46.6
<b>Qp (m<sup>3</sup>/s)</b>	168.84	217.66	230.75

Les résultats du débit de crues, du sous bassin d'étude, obtenus par les formules des trois auteurs, sont récapitulés dans le tableau ci-après, à différentes périodes de retours.

**Tableau III.10. Calcul du débit et choix du plus approprié.**

<b>Fréquence %</b>	10	2	1
<b>Période de retour (ans)</b>	10	50	100
<b>C.SAMI (m<sup>3</sup>/s)</b>	63.22	80.52	87.90
<b>GIANDOTTI (m<sup>3</sup>/s)</b>	114.16	145.4	158.72
<b>TURAZZA (m<sup>3</sup>/s)</b>	168.84	217.66	230.75
<b>Qmax (m<sup>3</sup>/s)</b>	115.40	147.85	159.12

**III.4. Conclusion**

En conclusion, dans ce chapitre on a pu calculer les débits de l'Oued Fendek pour différentes périodes de retour, afin de déterminer la probabilité d'inondations majeures à l'avenir. Les résultats ont démontré l'importance de ces calculs pour évaluer la gravité des inondations et les impacts potentiels sur la région.

Ce chapitre représente une étape importante pour améliorer la gestion des risques hydrologiques et protéger la région contre cette catastrophe naturelle

**Chapitre IV :**  
**Etude Hydraulique**

## Chapitre IV : Etude Hydraulique

### IV.1. Introduction

Ce chapitre traite de l'analyse de l'écoulement de l'oued Fendek à l'aide du logiciel HEC-RAS, sur la base d'un modèle géométrique préparé avec l'outil HEC-GeoRAS. Des simulations ont été réalisées pour différentes périodes de retour afin d'évaluer le comportement des eaux et d'identifier les zones exposées au risque d'inondation.

### IV.2. Préparation des données avec HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS constitue une extension du logiciel ArcGIS, élaborée dans le cadre d'un partenariat de recherche et développement entre le Centre d'Ingénierie Hydrologique (HEC) et ESRI (*USACE, 2016*). Cet outil a été employé pour la préparation des données géographiques et hydrauliques relatives à l'Oued Fendek. Il s'appuie sur le modèle d'élévation numérique (DEM) afin de générer les couches nécessaires à l'élaboration du modèle géométrique pour la simulation de l'écoulement dans le programme HEC-RAS. Dans le cadre de cette étude, plusieurs couches essentielles ont été produites à l'aide de HEC-GeoRAS, notamment :

- L'axe de la rivière (River Centerline)
- Les rives droite et gauche (Banks)
- Les chemins d'écoulement (Flow Paths)
- Les lignes de coupe (XS Cut Lines)

Ces couches sont déterminantes pour représenter avec précision les caractéristiques géométriques du lit du cours d'eau et sont utilisées pour l'analyse hydraulique dans HEC-RAS.

La figure IV.1 illustre les résultats obtenus à partir de HEC-GeoRAS.

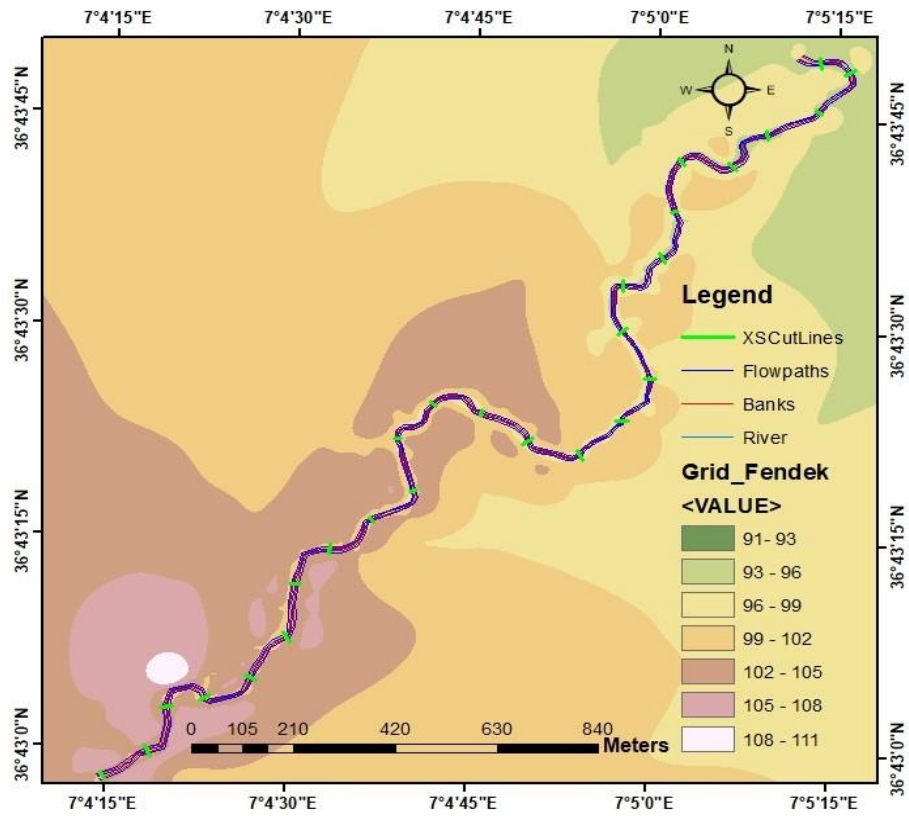


Figure IV.1. Carte DEM de la zone étudiée.

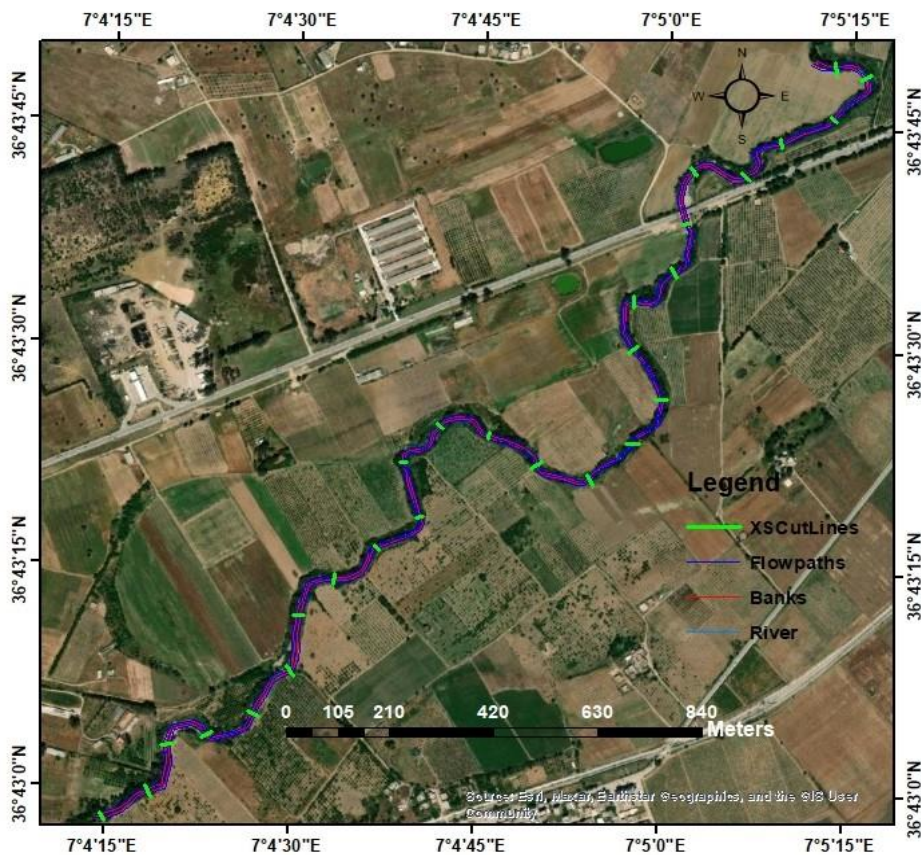


Figure IV.2. Carte des occupations du sol de l'Oued Fendek.

### IV.3. Présentation du modèle HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) est l'un des principaux outils de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement à surface libre dans les rivières et les oueds. Ce logiciel a été développé par le Hydrologic Engineering Center (HEC) du Corps des ingénieurs de l'armée américaine. Il s'inscrit dans le projet NextGen, qui englobe divers domaines d'analyse hydrologique et hydraulique, tels que le ruissellement des précipitations, l'hydraulique fluviale, la simulation des systèmes de réservoirs, l'évaluation des dommages liés aux inondations et la prévision des crues pour la conception des infrastructures hydrauliques (USACE, 2016).

#### A. Données géométriques d'Oued fendek

Les sections transversales jouent un rôle fondamental dans l'analyse hydraulique effectuée avec HEC-RAS, car elles fournissent des informations essentielles sur l'élévation du chenal principal, les caractéristiques des rives (gauche et droite) ainsi que les longueurs d'accès en amont et en aval. Ces données sont indispensables pour simuler de manière précise l'écoulement des eaux dans le cours d'eau et pour modéliser son comportement hydraulique (KHELAIPIA, 2023).

Dans cette recherche, un total de 27 sections transversales ont été extraites de l'Oued Fendek à l'aide de l'outil HEC-GeoRAS intégré à ArcGIS, en s'appuyant sur les données topographiques disponibles. Suite à cette extraction, les sections ont été importées dans HEC-RAS afin de réaliser les simulations hydrauliques et d'analyser le flux d'eau dans l'oued.

La figure ci-dessous présente la répartition des sections transversales le long du cours d'eau.

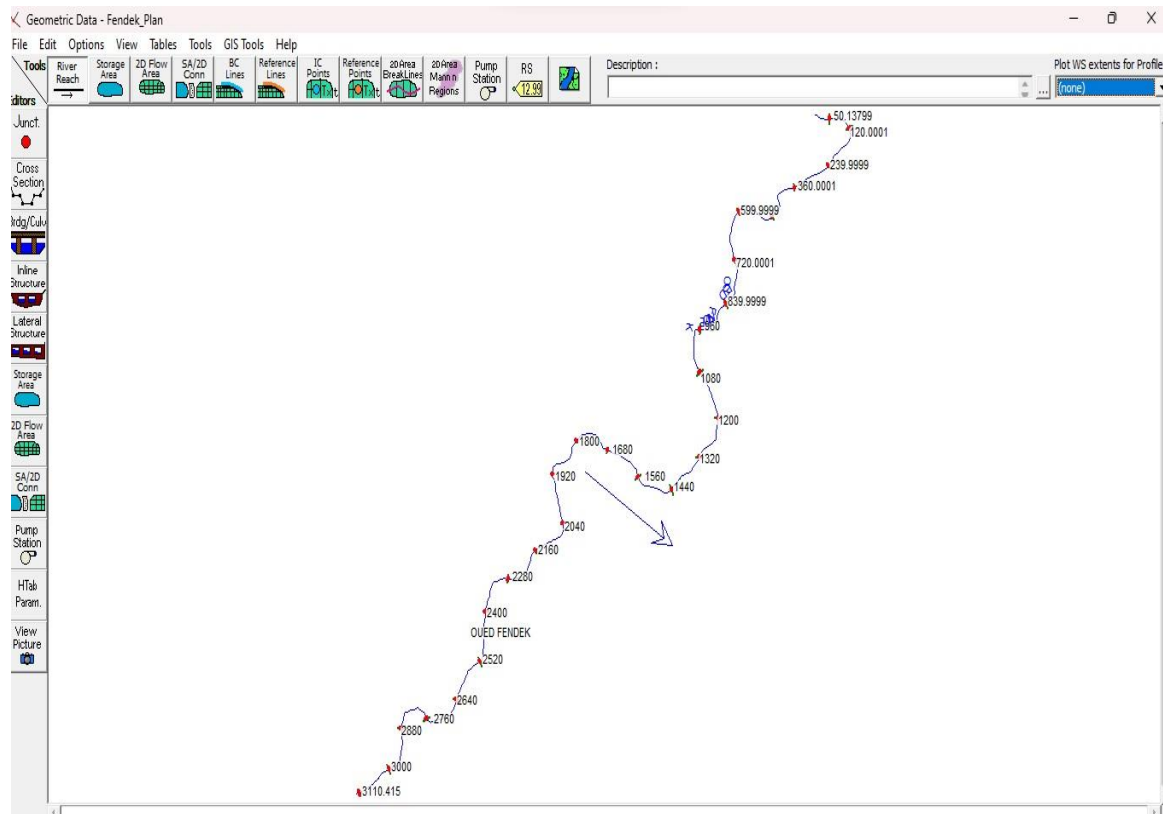


Figure IV.3. Représentation du modèle géométrique de l'Oued Fendek sous HEC-RAS.

### B. Coefficient de Manning

Le coefficient de Manning est un paramètre fondamental dans la modélisation hydraulique, car il reflète la résistance à l'écoulement dans les cours d'eau naturels. Sa valeur dépend de plusieurs facteurs, tels que la rugosité de la surface, la nature du sol, la densité de la végétation, les obstacles ou sinuosités, ainsi que la forme de la section transversale (KHELAIPIA, 2023).

Dans cette étude, la valeur  $n = 0,025$  a été choisie car elle correspond bien aux caractéristiques générales du lit de l'Oued Fendek, constitué d'argile compactée mélangée à quelques roches, avec une couverture végétale quasi inexistante. Cette valeur est considérée comme adaptée aux cours d'eau naturels en bon état et est cohérente avec les recommandations de la littérature scientifique, ce qui en fait un choix réaliste et équilibré dans le cadre de cette modélisation.

## IV.4. Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS

Les profils de la surface libre de l'eau sont calculés en utilisant l'équation d'énergie, qui tient compte de la variation de la vitesse due au changement de section du canal, tout en maintenant un débit constant (USACE, 2016).

L'équation d'énergie entre deux sections s'écrit comme suit :

$$Z_2 + Y_2 \frac{(\alpha_2 V_2^2)}{2g} = Z_1 + Y_1 \frac{(\alpha_1 V_1^2)}{2g} + h_e \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

- $Z_1$  et  $Z_2$  : sont les profondeurs d'eau aux sections 1 et 2.
- $Y_1$  et  $Y_2$  : sont les côtes du lit du canal aux sections 1 et 2.
- $V_1$  et  $V_2$  : sont les vitesses moyennes aux sections 1 et 2.
- $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  : sont les coefficients de pondération de vitesse aux sections 1 et 2.
- $g$  : est l'accélération de la gravité.
- $h_e$  : est la perte d'énergie (ou perte de charge).

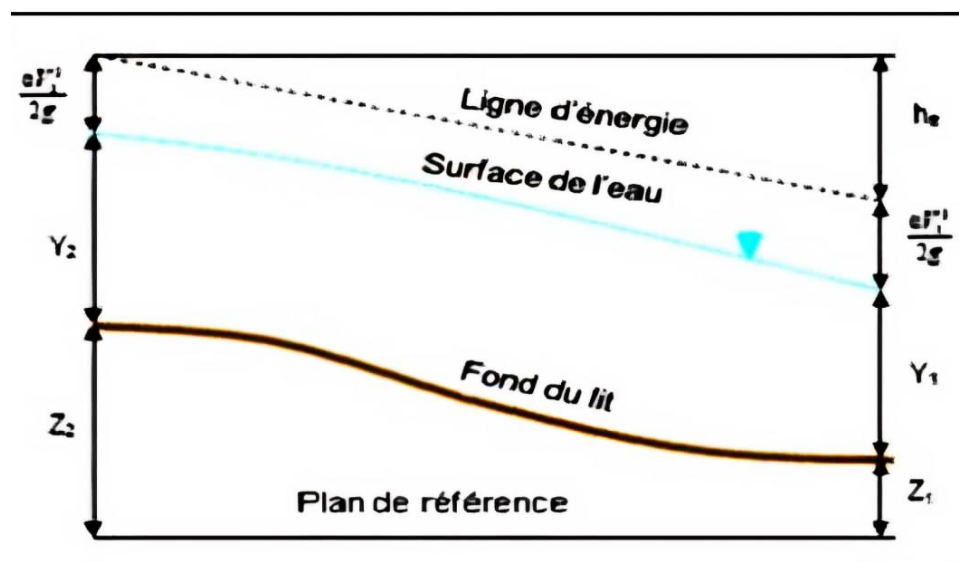


Figure IV.4. Représentation des limites de l'équation d'énergie.

Dans un écoulement à surface libre avec un débit constant, la vitesse de l'eau dépend directement de la section hydraulique selon la relation :  $V = Q/A$

Lorsque le débit est constant, une diminution de la surface d'écoulement entraîne une augmentation de la vitesse, tandis qu'une augmentation de cette surface provoque une diminution de la vitesse (KHELAIPIA, 2023).

La perte totale d'énergie entre deux sections est composée des pertes dues à la friction et des pertes dues à la contraction ou à l'expansion de la section. La perte d'énergie est exprimée par l'équation suivante :

$$h_e = L \times S\bar{F} + C \left[ \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right) - \left( \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right] \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

- **h<sub>e</sub>** : perte d'énergie (mètres),
- **L** : distance entre les deux sections (m),
- **S $\bar{F}$**  : pente moyenne de la ligne de friction,
- **C** : coefficient de perte (lié à l'expansion ou à la contraction),
- **$\alpha_1, \alpha_2$**  : coefficients de pondération de la vitesse,
- **V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>** : vitesses moyennes dans chaque section (m/s),
- **g** : accélération de la gravité (9,81 m/s<sup>2</sup>).

#### IV.5. Applications et limites du logiciel HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS constitue l'un des outils les plus répandus dans le domaine de la modélisation hydraulique, en particulier pour l'analyse des écoulements fluviaux et la délimitation des zones inondables (USACE, 2016). Il se caractérise par sa convivialité, sa documentation technique exhaustive et sa capacité à simuler diverses périodes de retour (10, 50, 100 ans), ce qui le rend pertinent pour de nombreuses applications pratiques.

Cependant, malgré son efficacité, HEC-RAS présente certaines limitations qu'il est essentiel de prendre en compte. Parmi celles-ci, l'hypothèse d'écoulement unidimensionnel (1D) se révèle particulièrement significative, car elle peut compromettre la précision des résultats dans des zones complexes ou ramifiées. De surcroît, le logiciel est fortement tributaire de la

qualité des données d'entrée, ce qui impose une rigueur accrue dans la définition des sections transversales et des paramètres hydrauliques. En outre, la version 1D du modèle ne permet pas une représentation fidèle des tourbillons ou des situations d'enneigement total, ce qui nécessite un étalonnage sur le terrain afin d'assurer la fiabilité des résultats obtenus (KHELAIPIA, 2023).

#### IV.6. Résultats de simulation de l'écoulement à surface libre 1D de l'Oued Fendek

Dans cette étude, les périodes de retour de 10, 50 et 100 ans ont été analysées à travers 3 stations d'Oued Fendek. Les débits correspondant à chaque période de retour ont été introduits dans les trois stations, puis la simulation a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS pour étudier l'écoulement à surface libre dans chaque station séparément.

##### IV.6.1. Ecoulement à surface libre 1D (T=10 ans, Q=115.40 m<sup>3</sup>/s)

###### a) Profils en travers

- Station n°3110.415 m

La figure (IV.5) présente la section transversale de la station n°3110.415m de l'Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, le débit enregistré est de 115.4 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une section mouillée de 32.93 m<sup>2</sup>, une hauteur d'eau de 2.92 mètres et une vitesse d'écoulement de 4.09 m/s (tableau IV.1).

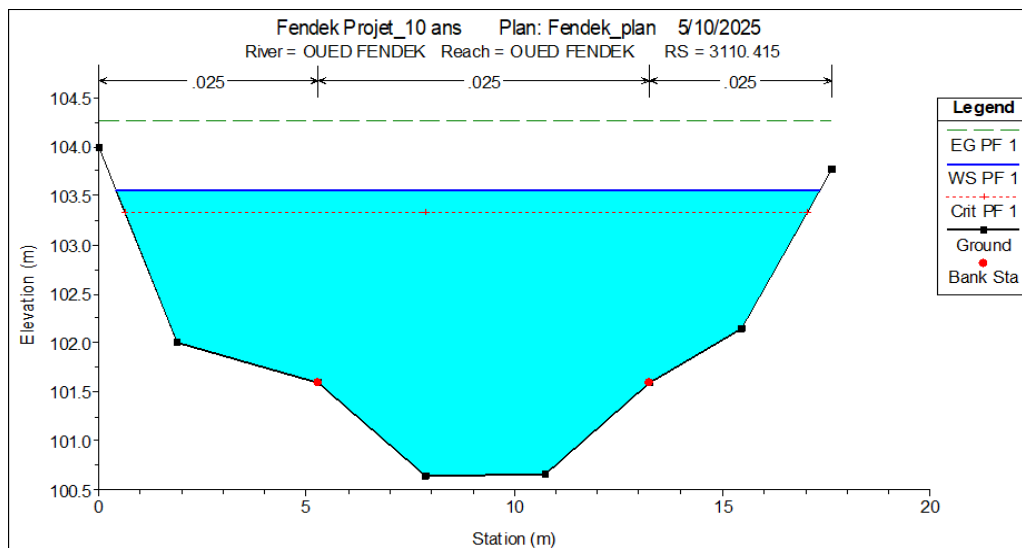


Figure IV.5. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=10ans).

- Station n°1440 m

La figure (IV.6) présente la section transversale de la station n°1440m de l'Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, le débit

enregistré est de 115.4 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une section mouillée de 53.25m<sup>2</sup>, une hauteur d'eau de 3.27 mètres et une vitesse d'écoulement de 2.77 m/s (tableau IV.1).

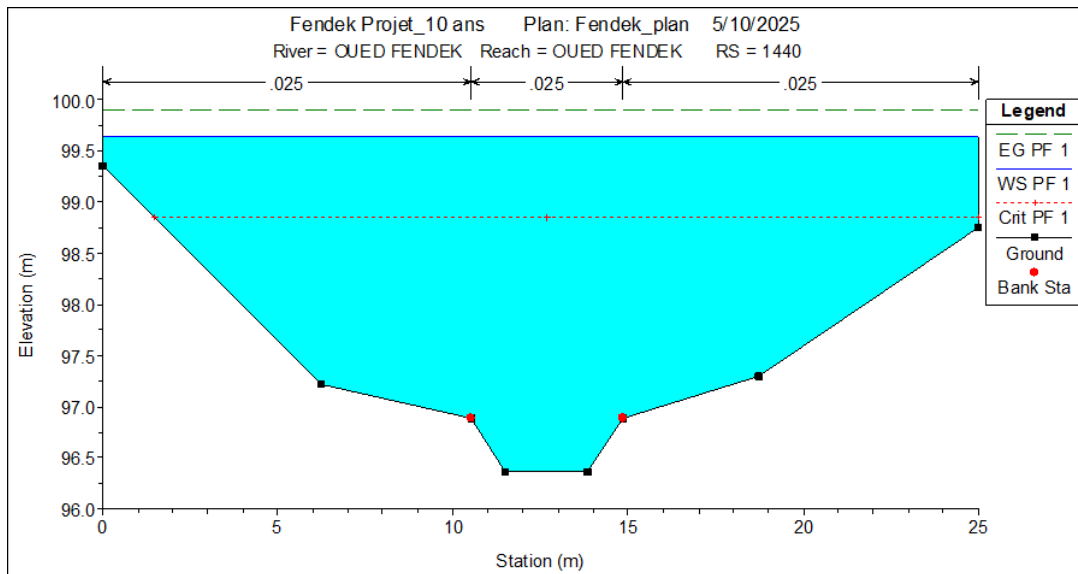


Figure IV.6. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=10ans).

- Station n°50,13799 m

La figure (IV.7) présente la section transversale de la station n°50.13799m de l'Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, le débit enregistré est de 115.4 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une section mouillée de 35.99m<sup>2</sup>, une hauteur d'eau de 3.42 mètres et une vitesse d'écoulement de 4.17 m/s (tableau IV.1).

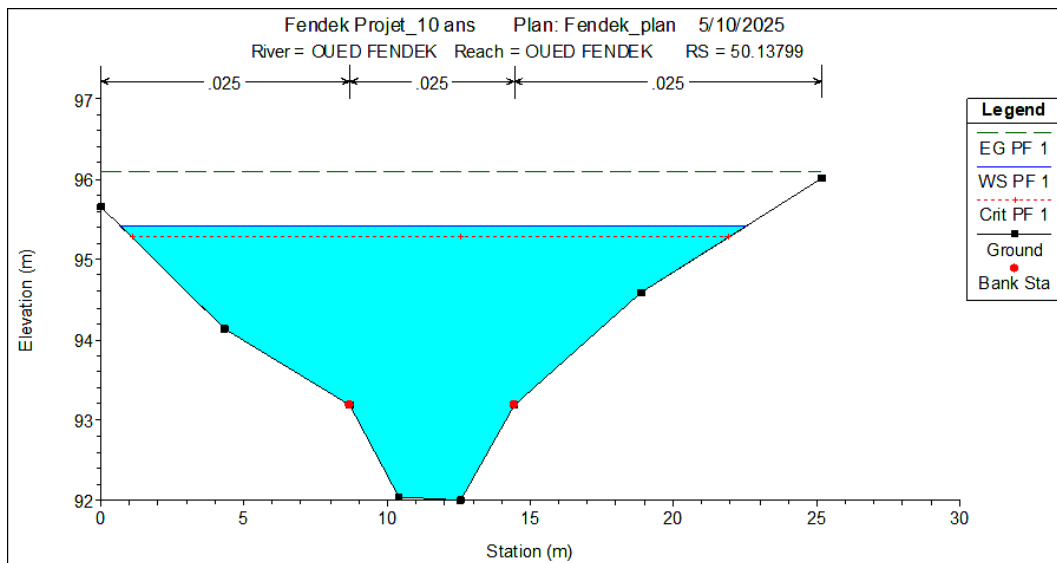
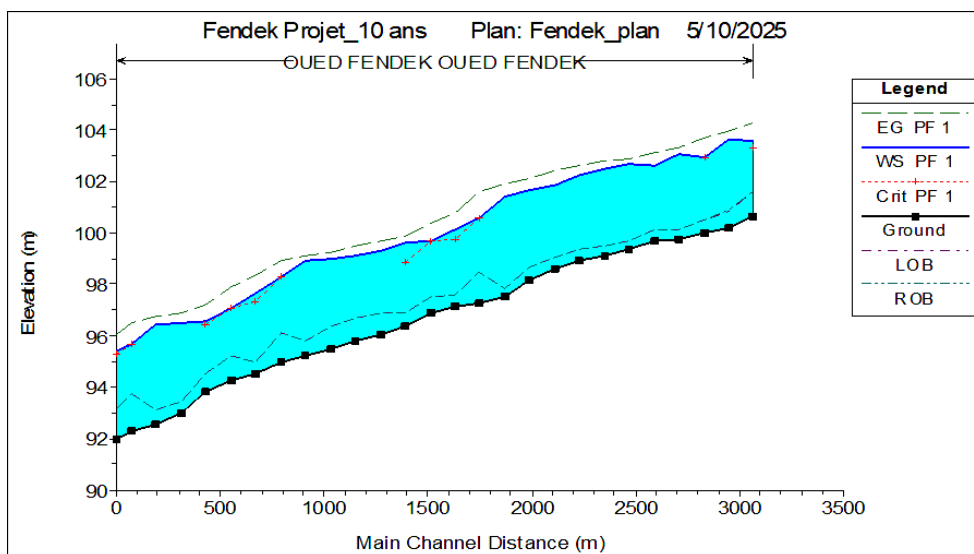


Figure IV.7. Section transversale au niveau de la station N°50.13799m (T=10ans).

**Tableau IV.1. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l'Oued Fendek - Période de retour 10ans.**

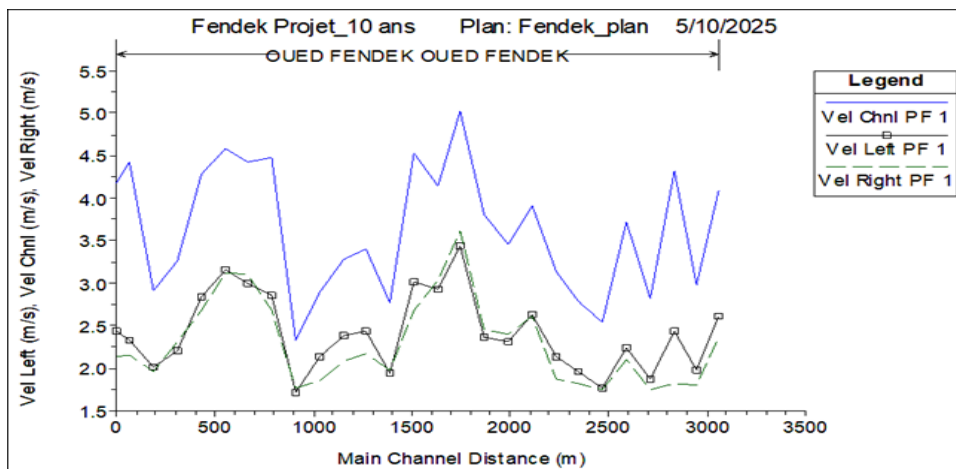
River station	Q total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Depth (m)
3110.415	115.4	100.64	103.56	103.34	104.27	0.00308	4.09	32.93	16.92	0.81	2.92
1440	115.4	96.37	99.64	98.84	99.9	0.001122	2.77	53.25	25	0.5	3.27
50.13799	115.4	92	95.42	95.27	96.08	0.002873	4.17	35.99	21.91	0.76	3.42

**b) Profil en long**



**Figure IV.8. Tracé du profil en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 10ans.**

**c) Variation de la vitesse de l'écoulement dans l'oued Fendek**



**Figure IV.9. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 10ans.**

IV.6.2. Ecoulement à surface libre 1D (T=50 ans, Q=147.85 m<sup>3</sup>/s)

a) Profils en travers

- Station n°3110.415 m

La figure (IV.10) présente la section transversale de la station n°3110.415m de l’Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, le débit enregistré est de 147.8(m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une section mouillée de 36.56m<sup>2</sup>, une hauteur d’eau de 3.13 mètres et une vitesse d’écoulement de 4.75 m/s (tableau IV.2).

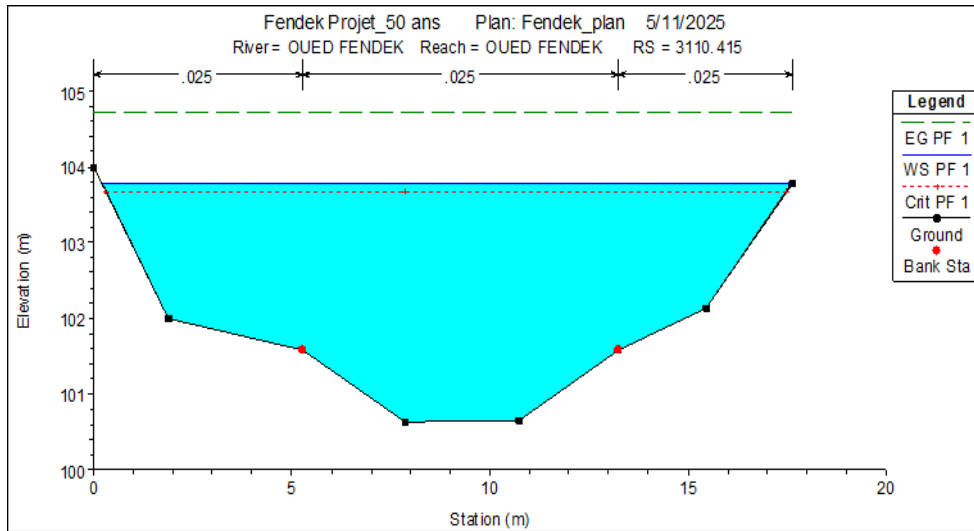


Figure IV.10. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=50ans).

- Station n°1440m

La figure (IV.11) présente la section transversale de la station n°1440 m de l’Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, les caractéristiques hydrauliques observées indiquent une section mouillée de 61.4m<sup>2</sup>, une hauteur d’eau de 3.6 mètres et une vitesse d’écoulement de 3.05m/s (tableau IV.2).

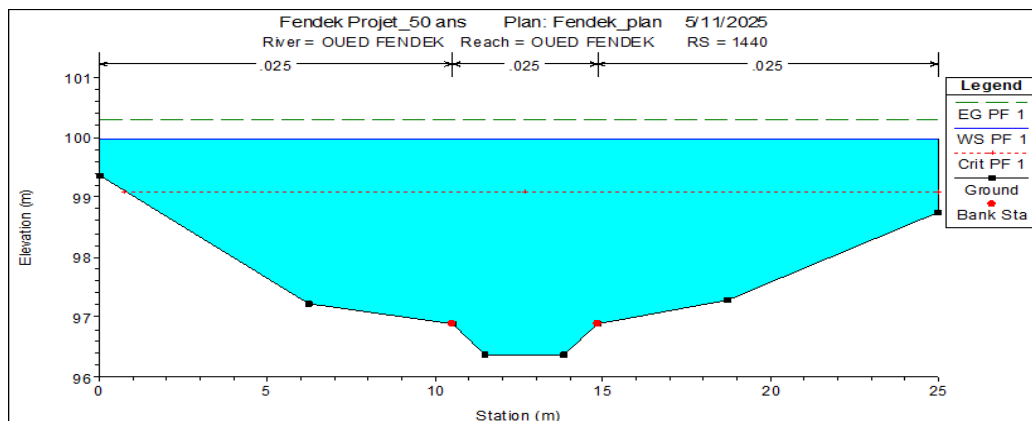


Figure IV.11. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=50ans).

- Station n°50.13799 m

La figure (IV.12) présente la section transversale de la station n°50.13799 m de l’Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, les caractéristiques hydrauliques observées indiquent une section mouillée de 43.62m<sup>2</sup>, une hauteur d’eau de 3.75 mètres et une vitesse d’écoulement de 4.47m/s (tableau IV.2).

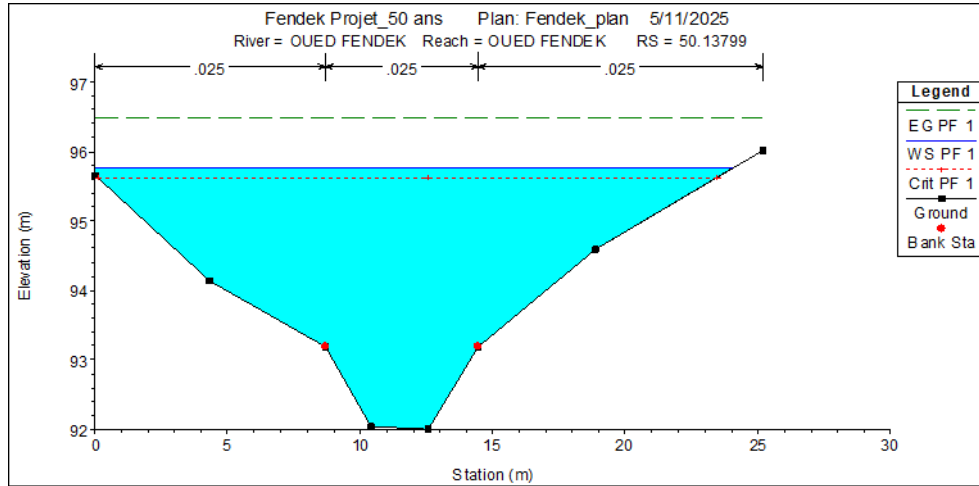


Figure IV.12. Section transversale au niveau de la station N° 50.13799m (T=50ans).

Tableau IV.2. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l’Oued Fendek - Période de retour 50ans.

River station	Q total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Depth (m)
3110.415	147.85	100.64	103.77	103.68	104.72	0.00374	4.75	36.56	17.4	0.9	3.13
1440	147.85	96.37	99.97	99.09	100.28	0.001192	3.05	61.4	25	0.52	3.6
50.13799	147.85	92	95.75	95.62	96.49	0.002873	4.47	43.62	24.03	0.78	3.75

b) Profil en long

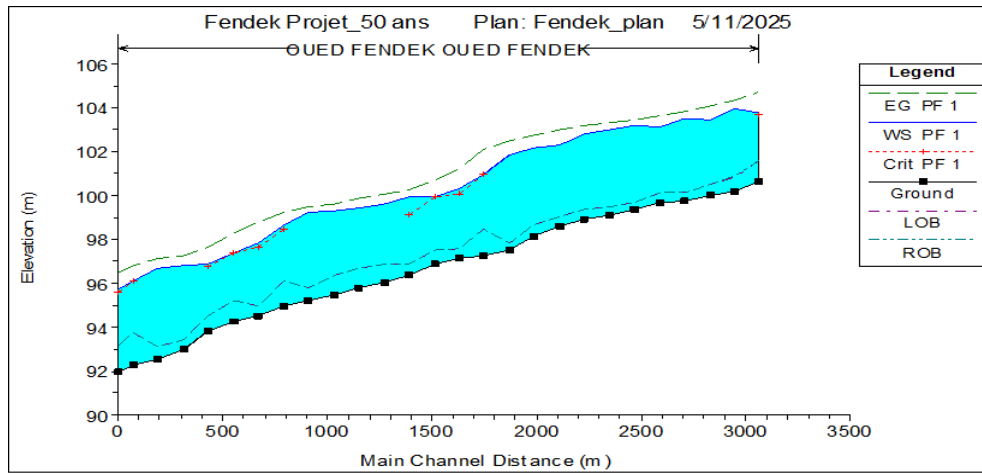


Figure IV.13. Tracé du profile en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 50ans.

c) Variation de la vitesse de l'écoulement dans l'oued Fendek

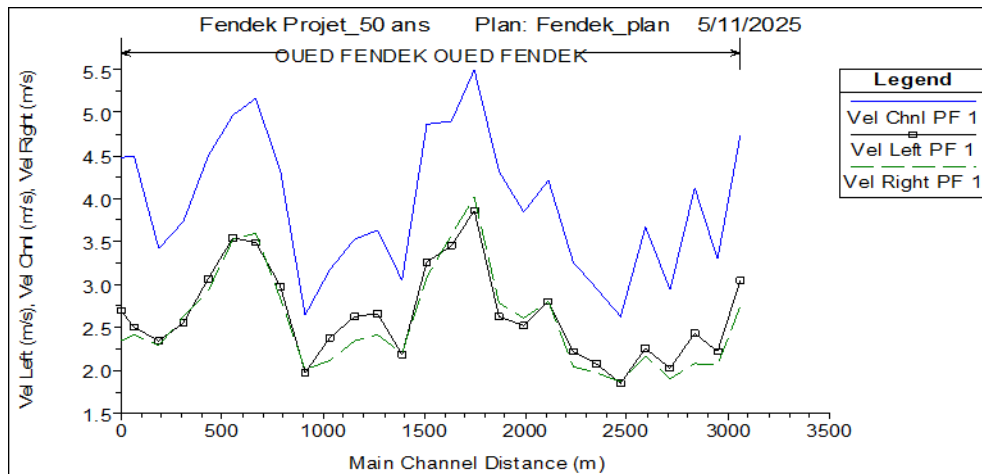


Figure IV.14. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 50ans.

IV.6.3. Ecoulement à surface libre 1D (T=100 ans, Q=159.12 m³/s)

a) Profils en travers

- Station n°3110.415 m

La figure (IV.15) présente la section transversale de la station n°3110.415m de l'Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, le débit enregistré est de 159.12 m³/s, ce qui correspond à une section mouillée de 37.97m², une hauteur d'eau de 3.21 mètres et une vitesse d'écoulement de 4.93 m/s (tableau IV.3)

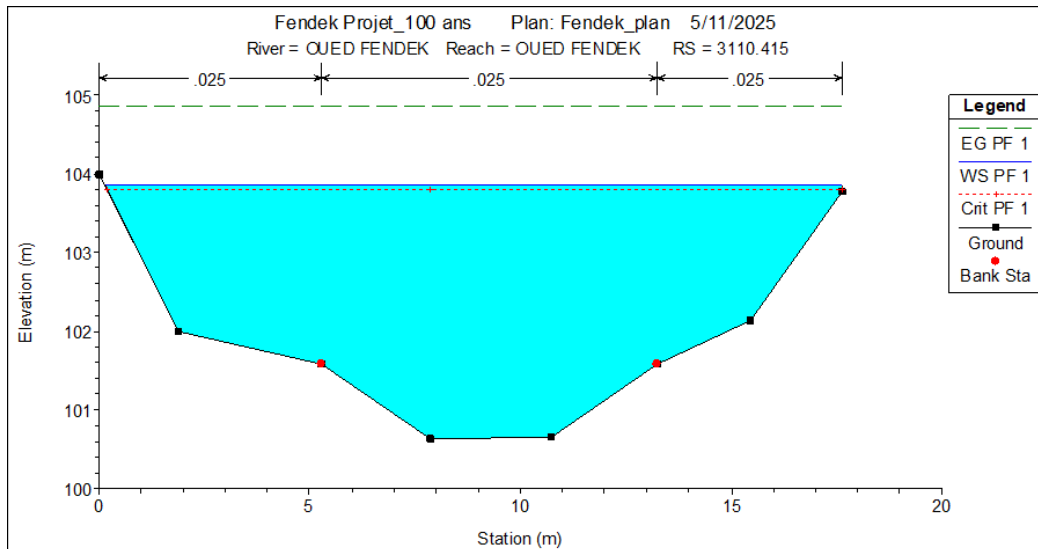


Figure IV.15. Section transversale au niveau de la station N°3110.415m (T=100ans).

- Station n°1440m

Figure (IV.16) présente la section transversale de la station n°1440m de l’Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, les caractéristiques hydrauliques observées indiquent une section mouillée de 64.2m<sup>2</sup>, une hauteur d’eau de 3.71 mètres et une vitesse d’écoulement de 3.13m/s (tableau IV.3).

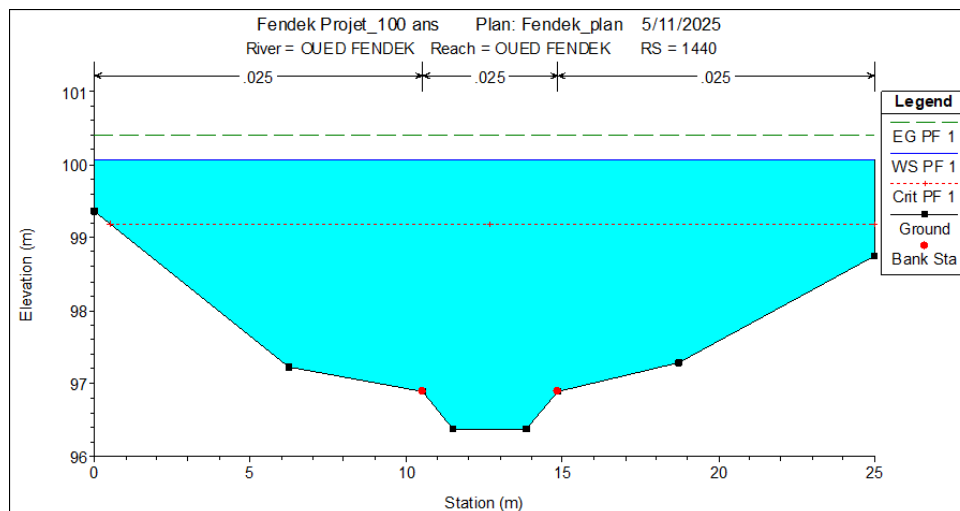


Figure IV.16. Section transversale au niveau de la station N°1440m (T=100ans).

- Station n°50.13799

La figure (IV.17) présente la section transversale de la station n°50.13799m de l’Oued Fendek. Selon les résultats de la simulation effectuée avec HEC-RAS à cette station, les caractéristiques hydrauliques observées indiquent une section mouillée de 46.09m<sup>2</sup>, une hauteur d’eau de 3.86mètres et une vitesse d’écoulement de 4.56m/s (tableau IV.3).

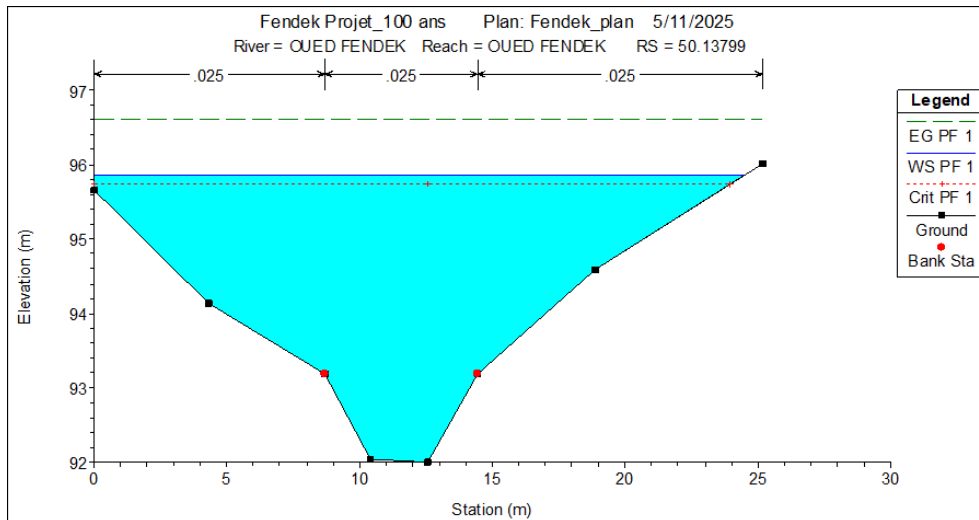


Figure IV.17. Section transversale au niveau de la station N°50.13799m (T=100ans).

Tableau IV.3. Récapitulatif des résultats Hydrauliques des sections transversales de l'Oued Fendek - Période de retour 100ans.

River station	Q total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Depth (m)
3110.415	159.12	100.64	103.85	103.79	104.87	0.003879	4.93	37.97	17.48	0.92	3.21
1440	159.12	96.37	100.08	99.17	100.41	0.001204	3.13	64.2	25	0.53	3.71
50.13799	159.12	92	95.86	95.74	96.61	0.002874	4.56	46.09	24.48	0.78	3.86

b) Profil en long

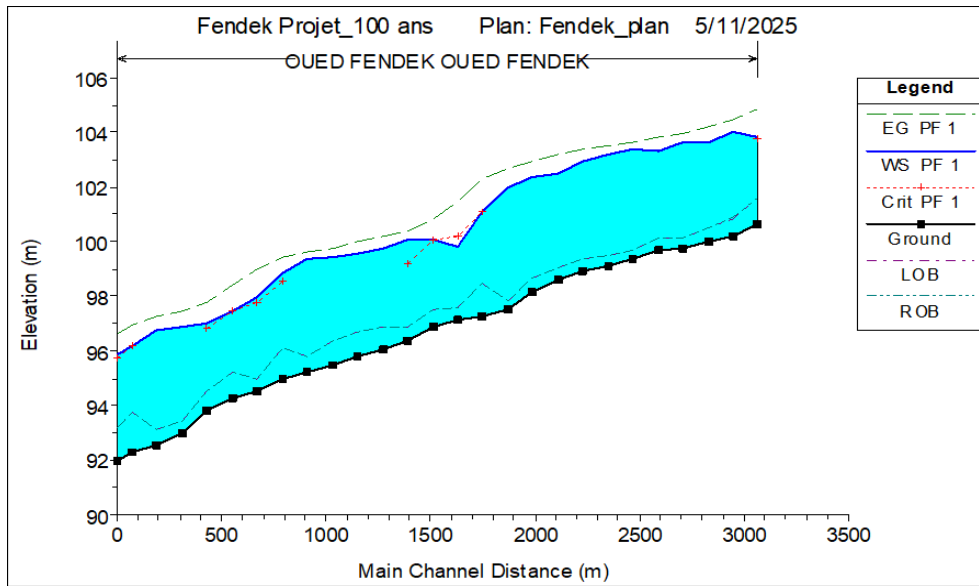


Figure IV.18. Tracé du profil en long de l'Oued Fendek pour la période de retour de 100ans.

c) Variation de la vitesse de l'écoulement dans l'oued Fendek

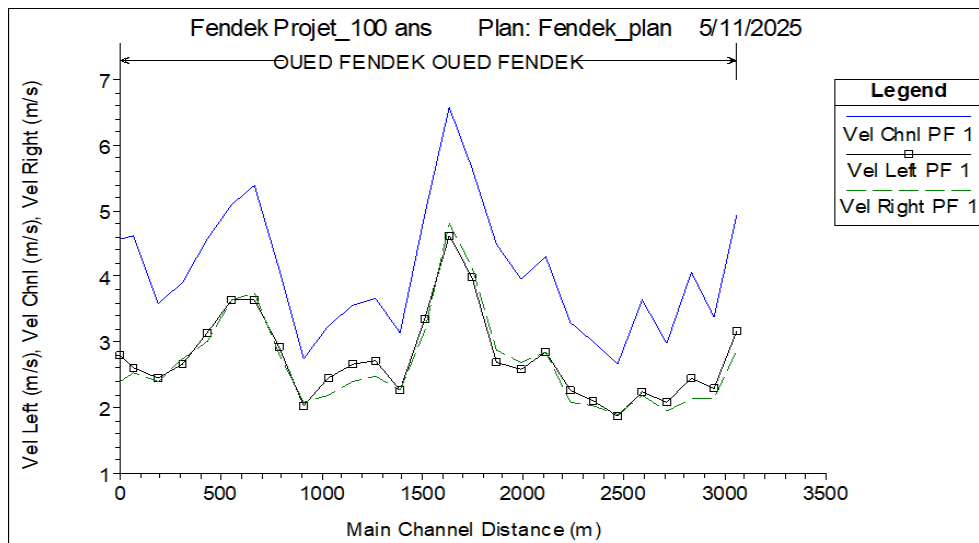


Figure IV.19. Tracé de la variation de la vitesse d'écoulement dans l'Oued Fendek pour la période de retour de 100ans.

IV.7. Discussion et analyse des résultats hydrauliques issus du modèle HEC-RAS

Cette discussion a pour objectif d'analyser les résultats hydrauliques issus de la modélisation réalisée avec HEC-RAS sur l'oued Fendek, en considérant cinq périodes de retour (10, 50 et 100 ans). L'objectif principal est d'identifier les stations ayant subi des inondations et de comprendre les facteurs hydrauliques qui en sont à l'origine.

La comparaison entre l'élévation de la ligne d'eau (W.S. Elevation) et la hauteur des berges ou des limites supérieures de chaque section transversale a permis de vérifier si le niveau d'eau a dépassé les capacités du lit de l'oued, ce qui indique un risque potentiel d'inondation.

#### **IV.7.1. Période de retour de 10 ans**

Le niveau d'eau est resté inférieur aux hauteurs des deux berges aux stations 3110.415m et 55.13977 m, indiquant l'absence de débordement. En revanche, la station 1440m, le niveau d'eau a dépassé celui des berges, entraînant des inondations locales.

À la station 1440 m, l'inondation est principalement due à une pente longitudinale très faible (0.001122), une vitesse d'écoulement réduite (2.77 m/s), une largeur de section réduite (25 m) et un régime d'écoulement nettement subcritique (Froude = 0.50), favorisant ainsi l'accumulation d'eau et le débordement.

#### **IV.7.2. Période de retour de 50 ans**

Un dépassement a été confirmé au niveau de la berge gauche de la station 50.13799m, traduisant une aggravation par rapport aux périodes précédentes. Les stations 1440m a également poursuivi l'enregistrement d'inondations.

À la station 50.13799 m, le niveau d'eau (95.75 m) dépasse légèrement la berge gauche (95.62 m), avec une section relativement réduite (24.03 m) et un régime subcritique avancé (Froude = 0.78) avec une pente faible (0.002873), suggérant une saturation quasi totale du profil hydraulique.

Les conditions critiques observées précédemment à la station 1440m restent inchangées, maintenant un niveau de risque élevé.

#### **IV.7.3. Période de retour de 100 ans**

À la station 3110.415 m, le niveau d'eau a atteint puis légèrement dépassé la berge droite, marquant ainsi la première occurrence d'un débordement à cet endroit. Dans les deux stations déjà concernées, l'intensité du phénomène s'est accentuée.

Malgré un régime d'écoulement quasi critique (0.92) et une vitesse élevée (4.93 m/s), la cote de l'eau (103.85 m) a légèrement excédé la berge droite (103.79 m), indiquant que la capacité hydraulique de la section a été dépassée sous l'effet d'un débit important.

### **IV.8. Stratégies d'aménagement**

### IV.8.1. Atténuation des risques d'inondation

#### IV.8.1.1. Aménagement du lit de l'oued

- **Élargir la section** : En creusant latéralement les berges du lit et en supprimant les obstacles végétaux ou les accumulations de terre qui gênent l'écoulement, afin de réduire la montée du niveau d'eau lors des crues.
- **Abaisser légèrement le lit** : Par enlèvement des sédiments accumulés au fond pour augmenter la surface d'écoulement.
- **Adopter des profils simples** : Comme la forme trapézoïdale (réalisée par un creusement en pente douce et stable des berges).
- **Éliminer les dépôts et obstacles végétaux excessifs** : À l'aide d'outils manuels ou de petits engins adaptés, notamment dans les tronçons étroits, tout en conservant la végétation utile.

**Avantage** : Une intervention simple, peu coûteuse et réalisable localement, améliorant considérablement la capacité d'écoulement du lit lors des crues.

#### IV.8.1.2. Renforcement des berges par des moyens traditionnels

- **Gabions** : Pour stabiliser les berges et limiter l'érosion.



**Figure IV.20. Protection des berges par gabions.**

- **Enrochement libre** : Pour protéger les pentes contre les effets du courant.
- **Digues en terre compactée** : Pour rehausser localement le niveau de protection.
- **Ouvrages en béton** : Dans les zones critiques ou urbanisées, des ouvrages simples en béton (comme des seuils ou petits murs de soutènement) peuvent être envisagés pour renforcer la protection contre les inondations.

**Avantage** : Solutions à choisir en fonction de la configuration du site, avec possibilité de combinaison entre les différentes méthodes pour une efficacité accrue.

#### IV.8.1.3. Création de bassins de rétention temporaires

- **Excavation de dépressions en terre** : Pour stocker temporairement une partie du débit de crue, permettant ainsi de réduire la pression sur les sections faibles.

**Avantage** : Solution adaptée aux zones ouvertes et en aval, réduisant le risque d'inondation.

#### IV.8.1.4. Mise en place d'un système d'alerte précoce

- **Installation de repères visuels ou de capteurs de niveau** : Dans les sections critiques, afin d'informer rapidement la population et les autorités en cas de débordement.

**Avantage :** Une mesure préventive efficace qui peut être mise en place même sans aménagements majeurs, assurant une meilleure réactivité en cas de crue.

L'adoption de ces mesures, couplée à une prise en compte des changements climatiques et de l'évolution des débits futurs, permettrait d'assurer une gestion durable des risques d'inondation à long terme.



Figure IV. 21. Illustration de quelques solutions techniques envisageables.

#### IV.8.2. Aménagement et intervention pour chaque Station

##### ❖ Station 1440 m

Inondée dès une période de retour de 10 ans, aggravation à 50 ans.

##### ▪ Proposition

- Élargissement du lit pour augmenter la capacité de drainage.
- Stabilisation des berges, notamment avec des gabions, pour prévenir l'érosion.
- Nettoyage fréquent des obstacles végétaux et des accumulations de débris pour améliorer le flux d'eau.

##### ❖ Station 50.13799 m

Début de débordement à partir de 50 ans, aggravation à 100 ans.

**▪ Proposition**

- Rehaussement léger de la berge gauche avec un talus en terre ou des gabions pour empêcher les débordements.
- Creusement du lit pour favoriser l'écoulement et réduire les risques de saturation.
- Suppression des obstacles végétaux ou des accumulations de terre qui entravent l'écoulement.

**❖ Station 3110.415 m**

Première inondation à 100 ans.

**▪ Proposition (intervention simple)**

- Rehausser légèrement la berge droite avec un talus en terre ou des gabions pour renforcer la capacité de protection.
- Nettoyage du lit pour améliorer l'écoulement et réduire les risques de débordement.
- Pas de grands travaux nécessaires, étant donné que le risque est limité aux crues extrêmes.

**IV.9. Conclusion**

L'étude hydraulique présentée dans ce chapitre a mis en évidence l'importance cruciale de la modélisation de l'écoulement dans l'évaluation du risque d'inondation au niveau de l'oued Fendek. À travers la simulation de plusieurs scénarios de périodes de retour, les sections les plus vulnérables ont été identifiées et analysées à partir d'indicateurs hydrauliques tels que l'élévation de la ligne d'eau, la vitesse d'écoulement et la pente énergétique.

Les résultats obtenus ont permis de proposer un ensemble d'interventions techniques et préventives visant à améliorer la capacité d'écoulement de l'oued et à réduire les risques d'inondation à l'avenir. Ces données constituent une référence essentielle pour la planification des aménagements et soulignent l'importance du recours à des outils modernes dans l'analyse des cours d'eau et l'aide à la décision

**Conclusion  
Générale**

## Conclusion générale

Les inondations constituent l'un des risques naturels les plus destructeurs, en raison des pertes humaines, matérielles et économiques qu'elles engendrent, notamment dans les zones urbaines fragiles où la croissance non maîtrisée et le manque d'infrastructures adéquates amplifient les effets. Ce phénomène s'est intensifié ces dernières années sous l'effet des changements climatiques et de l'augmentation de la fréquence des précipitations extrêmes, rendant la prévention plus que jamais indispensable.

Face à cette réalité, la gestion des inondations ne peut se limiter à des interventions ponctuelles. Elle exige une analyse rigoureuse fondée sur des données scientifiques et une compréhension approfondie du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Toute stratégie efficace doit reposer sur l'identification des facteurs morphométriques, hydrologiques et hydrauliques, en lien avec les conditions naturelles et humaines du territoire.

Dans ce cadre, cette étude a été menée sur le bassin versant de l'oued Fendek situé dans la commune d'Azzaba, en tant qu'exemple représentatif d'un bassin rural exposé à des inondations récurrentes. Une démarche scientifique structurée a été suivie, englobant le cadrage théorique, l'analyse du milieu, le traitement quantitatif des données.

Dans ce contexte, une analyse complète du cadre géographique a été réalisée afin de caractériser à la fois la plaine d'Azzaba-Esebet et le bassin versant de l'oued Fendek. Cette étape a permis de mettre en évidence les spécificités Géographique, topographiques, climatiques et, ainsi que de collecter les données nécessaires pour les phases analytiques suivantes.

Les résultats ont montré que le bassin présente une forme allongée ( $Kc = 1,40$ ), une pente faible ( $Ig = 0,0196$ ), une densité de drainage élevée ( $Dd = 2,63 \text{ km/km}^2$ ) et un temps de concentration moyen (5,83 h), ce qui reflète une sensibilité marquée aux fortes précipitations. Les débits de crue ont été estimés pour plusieurs périodes de retour (10, 20, 50, 100 et 1000 ans), permettant d'anticiper divers scénarios de ruissellement.

La simulation effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS a permis de construire un modèle hydraulique précis du lit de l'oued, incluant les profils en long et les sections transversales, et d'identifier quatre stations ayant connu des débordements. L'analyse a révélé plusieurs causes d'inondation.

Des solutions spécifiques ont été proposées selon les cas, notamment l'élargissement du lit, le curage du chenal, le renforcement des berges et le rehaussement des rives (par remblais compactés, levées en terre ou gabions). Ces interventions visent à améliorer la capacité d'écoulement et de drainage de grandes crues, et à réduire le risque de débordement futur.

Finalement, cette étude démontre que la gestion efficace du risque d'inondation repose sur une connaissance approfondie du comportement du bassin versant et une approche préventive multidimensionnelle. Le cas de l'oued Fendek illustre la nécessité d'une vision intégrée combinant l'analyse de terrain, la modélisation numérique et l'ingénierie appliquée pour garantir une protection durable et adaptée aux réalités locales.

## **Bibliographie**

## Bibliographie

1. Alioua, A. Maizi, N. Semadi, F. Tahar, A. & Kahoul, M. (2008). Détection et étude de la pollution mercurielle à l'aide des bioindicateurs dans la région de Azzaba (Algérie Orientale). *European Journal of Scientific Research*, 23(2), 187–196.
2. Bekkouche, M. F. (2013, November). Caractéristiques des sources thermales de la région d'Azzaba [Communication présentée au Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement, Ouargla, Algérie].
3. Ben Lamri, O. (2020). Étude de protection de la ville de Biskra contre les crues [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra].
4. Bouleghem, Z. Kahal, A. & Saaidia, B. (2016, novembre). Évaluation et exploitation des ressources en eau dans la région d'Azzaba (Nord-Est Algérien). 2e Colloque International sur les Ressources en Eau (ICWR), Ouargla, Algérie.
5. Bureau des études en hydraulique urbaine - Adjissi Omar. (2007, novembre). Réhabilitation des berges des oueds endommagées lors des intempéries du 11, 12 et 13 mars 2007 – Lot n°01 : Oued Charchar Bouchtata (Agglomération Tmar). Phase I : Étude préliminaire et travaux topographiques (Dossier provisoire) (pp. xx–yy). Cité Daghboudi Manaa, Hamma Bouziane, Constantine.
6. Chouaf, I. (2018). Étude lithologique, géochimique et minéralogique des formations géologiques de la ligne de chemin de fer Annaba-Skikda (cas de la région d'Azzaba) : conséquences géotechniques [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie].
7. Chouikhi, S. & Chahi, Z. (2017). Modélisation de la gestion des eaux pluviales en zone urbaine par le DHI MOUSE [Mémoire de master, Faculté des Sciences de l'Ingénierat, Département Hydraulique].
8. Domzig, A. (2006). Déformation active et récente, et structuration Tecton sédimentaire de la marge sous-marine algérienne [Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale – Brest].
9. Éco-Décision. (2006, février). Dommages liés aux inondations : Rapport final. Rapport commandé par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.
10. Groupe d'étude international du lac Champlain et de la rivière Richelieu. (2019,). Causes et impacts des inondations passées dans le bassin du lac Champlain et de la rivière Richelieu : renseignements historiques sur les inondations. Rapport présenté à la Commission mixte internationale.

11. Hafiane, I. & Benzaid, I. (2019). Lutte contre les inondations de la commune de Bouhachanna [Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 de Guelma].
12. Khelaifia, A. E. M. (2023). Cartographie des inondations par HEC-HMS et HEC-RAS : Cas du bassin versant de l'Oued Kébir Ouest - Algérie (Mémoire de master, Université Badji Mokhtar - Annaba).
13. Kovacs, Y. Doussin, N. Gaussens, M. Pacoud, L. & Gilard, O. (2017, novembre). Risque d'inondation et villes des pays en développement (Notes Techniques n° 35). Agence Française de Développement (AFD).
14. Labiod, N. & Bouaita, D. (2018). Étude hydrochimique des eaux de surface de la région d'Azzaba (W. Skikda) [Mémoire de master, Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel]. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
15. Merah, B. (2021). Prédétermination des débits de crues par différentes formules empiriques : Cas du bassin versant de l'Oued Saïda (Nord-Ouest algérien) [Mémoire de master, Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran].
16. Météo France. (2011). Présentation du phénomène inondation et impact du changement climatique sur le risque inondation. Colloque NaTech 20.
17. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2016, February). HEC-RAS River Analysis System: User's manual (CPD-68). Davis, CA : Institute for Water Resources.
18. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2005, September). HEC-GeoRAS: GIS tools for support of HEC-RAS using ArcGIS (User's manual, Version 4). Davis, CA : Institute for Water Resources.
19. Ubyrisk Consultants. (2021). Bilan statistique de 20ans de catastrophe naturelle dans le monde (2001-2020). BD CATNAT.
20. Vila, J.-M., & Ailloud, P. (1978). Carte structurale au 1/500 000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens [Carte géographique, 44 × 92 cm]. [S.l.] : [s.n.], avec le concours du CNRS et du BEICIP.
21. توميات، ح. (2022، جوان). الأروغونوميا الحضرية كحل لمشاكل الساحات العمومية في مدينة عزابة (مذكرة ماستر، جامعة العربي بن مهيدي – أم البواقي).
22. هبهبوب، ن. (2006). التنظيم المجالي حول المدن الصغرى لولاية سكيكدة: حالة مدن عزابة، الحروش، القل (مذكرة ماجستير، كلية علوم الأرض والجغرافيا والتهيئة العمرانية جامعة منتوري قسنطينة)