

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة بلحاج بوشعيب – عين تموشنت-
Université Belhadj Bouchaib –Ain-Temouchent



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydraulique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Appréciation de l'aléa inondation dans la planification urbaine :
Cas de la ville d'Ain-Temouchent

Thème :

Soutenue le Juin 2024

Par: M. Mohamed Tahar MIRNES et M. Noureddine KADA BENABDELLAH

Devant le jury composé de

| | | | | |
|------|---------------------|-----|-----------------------|---------------|
| Mme. | BENCHKOR Hassiba | MCB | U.B.B. Ain-Temouchent | Présidente |
| M. | GUEMOU Bouabdellah | MCA | U.B.B. Ain-Temouchent | Encadrant |
| Mme. | BELARBI Halima | MBC | CU. Maghnia | Co-Encadrante |
| M. | DEHNI Abdellatif | MRA | ASAL –Oran | Co-Encadrant |
| M. | NEHARI Abderrahmane | MAA | U.B.B. Ain-Temouchent | Examinateur |

Année Universitaire : 2023-2024

M. DIAF Amine

MAA

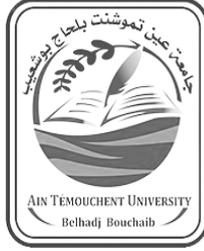
CU. Maghnia

Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة بلحاج بوشعيب - عين تموشنت-
Université Belhadj Bouchaib -Ain-Temouchent



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydraulique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Appréciation de l'aléa inondation dans la planification urbaine
Cas de la ville d'Ain-Temouchent

Thème :

Soutenue le Juin 2024

Par: M. Mohamed Tahar MIRNES et M. Nouredine KADA BENABDELLAH

Devant le jury composé de

| | | | |
|------------------------|-----|-----------------------|---------------|
| Mme. BENCHKOR Hassiba | MCB | U.B.B. Ain-Temouchent | Présidente |
| M. GUEMOU Bouabdellah | MCA | U.B.B. Ain-Temouchent | Encadrant |
| Mme. BELARBI Halima | MBC | CU. Maghnia | Co-Encadrante |
| M. DEHNI Abdellatif | MRA | ASAL -Oran | Co-Encadrant |
| M. NEHARI Abderrahmane | MAA | U.B.B. Ain-Temouchent | Examinateur |

Année Universitaire : 2023-2024

M. DIAF Amine

MAA

CU. Maghnia

Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu ALLAH, le tout puissant, pour toute la volonté et le courage qu'il nous a donnés pour l'achèvement de cette recherche.

Nous tenons à remercier nos parents qui nous ont soutenus et encouragés dans ma vie.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé dans le cadre de la préparation du diplôme de master en Hydraulique « Hydraulique Urbaine » à l'Université Belhadj Bouchaib Ain-Temouchent. Au terme de ce projet, nous tenons à exprimer nos profondes gratitudes et notre immense respect à nos encadrants, Monsieur Bouabdellah GUEMOU, Maître de Conférences à l'Université Belhadj Bouchaib-Ain Temouchent, à Madame Halima BELARBI, Maître de Conférences au niveau du Centre universitaire de Maghnia et à Monsieur Abdellatif DEHNI, Maître de Recherche à l'Agence Spatiale Algérienne pour leur disponibilité, leur avis éclairés et leurs judicieux conseils.

Je tiens également à exprimer ma gratitude aux membres du Jury. Merci d'avoir accepté de prendre en compte le travail et de l'enrichir avec leurs suggestions.

Avec beaucoup d'égard, je ne manquerais pas d'exprimer ma grande reconnaissance à tous les enseignants et les administrateurs du département d'Hydraulique de l'Université Belhadj Bouchaib.

Je tiens à remercier du fond du cœur toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la formulation de ce modeste travail.

Ce travail est un peu le leur

DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste ouvrage :

A mes très chers parents, tout mon respect et mon affection en témoignage de leur soutien indéfectible, de leur sacrifice, de leur patience infinie, ainsi que pour leurs précieux conseils et leur inestimable aide morale et financière. Ils ont toujours été là pour me guider et m'encourager, et sans eux, je n'aurais pas pu réussir. Que Dieu les protège et les entoure de ses bénédictions.

A mon frère et à ma sœur, dont le soutien indéfectible et les encouragements constants m'ont permis de traverser de nombreuses épreuves. Votre amour et votre solidarité ont été les piliers sur lesquels je me suis appuyé. Que Dieu préserve à jamais notre fraternité et qu'elle continue d'être une source de force et de réconfort.

À tous mes amis, sans exception, qui ont partagé avec moi des moments de joie et de difficulté, et dont l'amitié a été une source inestimable de soutien et de motivation. Votre présence dans ma vie a enrichi mon parcours et rendu cette aventure plus agréable.

Enfin, à la Classe Hydraulique 2023/2024, avec qui j'ai eu le privilège de partager cette étape de ma vie académique. Que notre cohésion et notre esprit d'équipe perdurent, et que chacun trouve la réussite dans ses projets futurs.

Je vous dédie ce travail avec une profonde gratitude et une reconnaissance éternelle.

Noreddine KADA BENABDELLAH

DEDICACE

Le chemin n'a pas été court, il n'aurait pas dû être court, le rêve n'était pas proche, la route était semée d'embûches, mais je l'ai fait, et la louange est à Allah qui a facilité nos débuts et nous a menés jusqu'au bout.

À celui vers qui notre bonheur est immédiat, et notre misère en nous ou en lui sont des larmes, et à celui vers qui notre bonheur est immédiat, et notre misère en nous ou en eux sont des larmes.

Aux larmes et à la gratitude, je dédie cet humble travail, tout d'abord.

À la personne que j'aime le plus au monde, à qui je dois tant pour son sacrifice et son amour, à la personne que j'ai attendue tranquillement et patiemment.

À qui j'ai attendu tranquillement et patiemment les fruits de ses bons enseignements,

À mon cher oncle Mohammed, que Dieu lui fasse miséricorde.

À la précieuse personne qui a été mon espoir, au cœur tendre et à la bougie qui a été ma lumière dans les nuits sombres, à celle qui m'a soutenu dans mon voyage et a facilité mon chemin, à ma chère mère.

À mon père bien-aimé Miloud, à mon frère Larbi qui a toujours été à mes côtés. À celui qui m'a appris à gravir l'échelle de la vie avec sagesse et patience, à celui qui m'a donné la vie et l'espoir, à celui qui m'a donné la bénédiction de leur présence dans ma vie, de mon innocence et de ma vertu : À mes chers papa et maman, compagnons de l'adversité et inspirateurs de ma réussite, à ceux qui m'ont aidé lorsque j'avais besoin de bougies pour éclairer mon chemin.

À mes grands-parents, arrière-grands-parents et arrière-arrière-grands-parents, que Dieu ait leur âme, à tous mes amis sans exception

A toutes les personnes que j'ai rencontrées dans ma vie, à mes frères, plus que tout, que j'ai eu l'honneur de connaître.

MIRNES TAHAR

Résumé

Le présent travail se concentre sur l'analyse des phénomènes d'inondation dans la zone urbaine d'Ain-Temouchent, en Algérie. L'objectif principal est de comprendre les dynamiques des inondations, d'évaluer les risques associés et de proposer des stratégies de gestion adaptées pour minimiser les impacts sur la population et les infrastructures. La méthode d'analyse hiérarchique multicritère (AHP) a été appliquée pour cartographier les risques d'inondation. Deux analyses AHP ont été réalisées, une avec 8 critères et une avec 11 critères. Les cartes de risque d'inondation résultantes ont été validées par la courbe ROC-AUC (avec 85,3 % de précision pour 8 critères et 66,8 % pour 11 critères) et par comparaison avec les zones à risque identifiées par la Protection civile, démontrant que celle de 8 critères reflète davantage la réalité. Ce projet présente de nombreux avantages : une meilleure identification des risques grâce à la cartographie géospatiale détaillée, une prise de décision améliorée par une méthode structurée et objective, une allocation ciblée des ressources pour une meilleure protection des populations vulnérables, un urbanisme informé pour atténuer les risques futurs et favoriser le développement socio-économique, et une sensibilisation accrue des parties prenantes aux zones critiques nécessitant une attention particulière. Les résultats obtenus améliorent la résilience de la ville et protègent ses habitants et infrastructures contre les futurs événements climatiques extrêmes.

Mots clés : Inondation, Risque, Ain-Temouchent, ArcGIS, AHP, ROC-AUC

ملخص

تركز هذه الدراسة على تحليل ظواهر الفيضانات في المنطقة الحضرية في عين تموشنت بالجزائر. والهدف الرئيسي هو فهم ديناميكيات الفيضانات وتقييم المخاطر المرتبطة بها واقتراح استراتيجيات الإدارة المناسبة لتقليل التأثير على السكان والبنية التحتية. تم تطبيق طريقة التحليل الهرمي متعدد المعايير (AHP) لرسم خريطة لمخاطر الفيضانات. وأجري تحليلان من تحليل التدرج الهرمي متعدد المعايير، أحدهما يتضمن 8 معايير والآخر يتضمن 11 معياراً. وقد تم التحقق من صحة خرائط مخاطر الفيضانات الناتجة باستخدام منحني ROC-AUC (بدقة 85.3% لـ 8 معايير و66.8% لـ 11 معياراً) وبالمقارنة مع مناطق الخطر التي حددتها الحماية المدنية، مما يدل على أن الخريطة ذات المعايير الثمانية كانت انعكاساً أكثر دقة للواقع. إن فوائد هذا المشروع عديدة: تحديد أفضل للمخاطر بفضل رسم الخرائط الجغرافية المكانية المفصلة؛ وتحسين عملية صنع القرار بفضل طريقة منظمة وموضوعية؛ وتخصيص الموارد بشكل مستهدف من أجل حماية أفضل للسكان المعرضين للخطر؛ والتخطيط الحضري المستنير للتخفيف من المخاطر المستقبلية وتعزيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية؛ وزيادة الوعي بين أصحاب المصلحة بالمناطق الحرجة التي تتطلب اهتماماً خاصاً. ستعمل النتائج على تحسين قدرة المدينة على الصمود وحماية سكانها وبنيتها التحتية من الظواهر المناخية القاسية في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: فيضان، مخاطر، عين تموشنت، ArcGIS، AHP، ROC-AUC

Abstract

The present work focuses on the analysis of flooding phenomena in the urban area of Ain-Temouchent, Algeria. The main objective is to understand the dynamics of flooding, assess the associated risks and propose appropriate management strategies to minimize impacts on the population and infrastructure. The hierarchical multi-criteria analysis (AHP) method was applied to map flood risks. Two AHP analyses were carried out, one with 8 criteria and one with 11 criteria. The resulting flood risk maps were validated by the ROC-AUC curve (with 85.3% accuracy for 8 criteria and 66.8% for 11 criteria) and by comparison with the risk zones identified by the Civil Protection, demonstrating that the 8-criteria map better reflects reality. The benefits of this project are numerous: better identification of risks thanks to detailed geospatial mapping, improved decision-making through a structured and objective method, targeted allocation of resources for better protection of vulnerable populations, informed urban planning to mitigate future risks and foster socio-economic development, and heightened awareness among stakeholders of critical areas requiring special attention. The results obtained improve the city's resilience and protect its inhabitants and infrastructure against future extreme weather events.

Keywords: Flood, Risk, Ain-Temouchent, ArcGIS, AHP, ROC-AUC



LISTE DES FIGURES

Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| <i>Fig. I.1. Combinaisons du risque</i> | 5 |
| <i>Fig. I.2. Orthogonalité de la vulnérabilité</i> | 8 |
| <i>Fig. I.3. Relations topographiques entre les différents lits</i> | 9 |
| <i>Fig. I.4. Inondation de Plaine</i> | 13 |
| <i>Fig. I.5. Inondation par remontées des nappes phréatiques</i> | 13 |
| <i>Fig. I.6. Inondation par crues torrentielles</i> | 14 |
| <i>Fig. I.7. Inondation par ruissellement en secteur urbain</i> | 15 |
| <i>Fig. I.8. Inondation par débordement au-dessus de la digue</i> | 16 |
| <i>Fig. I.9. Inondation par débordement au-dessus de la digue</i> | 16 |
| <i>Fig. I. 10. Inondation du Philippines 2017</i> | 20 |
| <i>Fig. I.11. Inondation du Bangladesh 2017</i> | 20 |
| <i>Fig. I.12. Grandes inondations survenues en Algérie</i> | 22 |

Chapitre II : ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA ZONE D'ETUDE

| | |
|---|----|
| <i>Fig. II.1. Situation géographique de la zone d'étude</i> | 27 |
| <i>Fig. II.2. Contexte morpho-tectonique de l'Oranie Nord-occidentale</i> | 28 |
| <i>Fig. II.3. Carte altimétrique d'Ain-Temouchent. Commune et ville</i> | 29 |
| <i>Fig. II.4. Carte de pente d'Ain-Temouchent. Commune et ville</i> | 30 |
| <i>Fig. II.5. Cadre géologique d'Ain-Temouchent. Commune et ville</i> | 31 |
| <i>Fig. II.6. Réseau hydrographique d'Ain-Temouchent. Commune et ville</i> | 32 |
| <i>Fig. II.7. Système aquifère de la zone d'étude</i> | 33 |
| <i>Fig. II.8. Variations des totaux pluviométriques annuels enregistrées au niveau de la station</i> | 35 |
| <i>Fig. II.9. Variations des précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17)</i> | 35 |
| <i>Fig. II.10. Répartition des températures moyennes des moyennes. Station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17)</i> | 36 |
| <i>Fig. II.11. Occupation du sol d'Ain-Temouchent. Commune et ville</i> | 37 |

Chapitre III : ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|--|----|
| <i>Fig. III.1. Variation des totaux pluviométriques journaliers annuels maxima enregistrés au niveau de la station d'Ain-Temouchent (1971/72-2022/23)</i> | 40 |
| <i>Fig. III.2. Boîte à moustaches des totaux pluviométriques mensuels maxima journalières enregistrés au niveau de la station d'Ain-Temouchent (1971/72-2022/23)</i> | 40 |
| <i>Fig. III.3. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi log-normale (1971/72-2022/23)</i> | 42 |
| <i>Fig. III.4. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi log-normale (1971/72-2022/23)</i> | 43 |
| <i>Fig. III.5. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Gumbel (1971/72-2022/23)</i> | 44 |
| <i>Fig. III. 6. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Gumbel (1971/72-2022/23)</i> | 45 |
| <i>Fig. III. 7. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Weibull (1971/72-2022/23)</i> | 46 |
| <i>Fig. III. 8. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Weibull (1971/72-2022/23)</i> | 47 |
| <i>Fig. III.9. Comparaison entre les courbes d'ajustements des deux lois de Gumbel et la loi de Weibull de la station d'Ain-Temouchent (1970/71-2022/23)</i> | 48 |
| <i>Fig. III. 10. Courbes des pluies fréquentielles</i> | 49 |
| <i>Fig. III.11. Courbes intensité -durée -fréquence</i> | 50 |

Chapitre IV: CARTOGRAPHIE DU RISQUE AUX INONDATIONS

| | |
|---|----|
| <i>Fig. IV.1. Organigramme -a) Fonctionnement méthode AHP – b) Décomposition du problème</i> | 50 |
| <i>Fig. IV.2. Procédure d'analyse hiérarchique multicritères</i> | 53 |
| <i>Fig. IV.3. Procédure d'analyse hiérarchique multicritères</i> | 54 |
| <i>Fig. IV.4. Courbe ROC – Taux de VP / FP au niveau de différents seuils de classification.</i> | 56 |
| <i>Fig. IV.5. Elévation de la zone d'étude</i> | 57 |
| <i>Fig. IV.6. Pente de la zone d'étude</i> | 57 |
| <i>Fig. IV.7. Densité de linéaments.</i> | 58 |
| <i>Fig. IV. 8. Indice NDVI</i> | 58 |
| <i>Fig. IV. 9. Pluviométrie</i> | 59 |
| <i>Fig. IV.10. Distance hydrologique</i> | 59 |
| <i>Fig. IV. 11. Indice NDWI</i> | 60 |
| <i>Fig. IV.12. Distance Hydrologique</i> | 60 |
| <i>Fig. IV.13. TWI</i> | 61 |
| <i>Fig. IV.14. Aspect</i> | 61 |
| <i>Fig. IV.15. Occupation du sol</i> | 61 |
| <i>Fig. IV. 16. Analyse multicritère basée sur la méthode AHP-SIG ArcGIS</i> | 63 |
| <i>Fig. IV.17. Carte des risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent à 08 critères</i> | 64 |
| <i>Fig. IV.18. Carte des risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent à 11 critères.</i> | 64 |
| <i>Fig. IV.19. Validation de méthode multicritères AHP par la courbe ROC-AUC.</i> | 65 |
| <i>Fig. IV.20. Zones inondables identifiées par la protection civile d'Ain-Temouchent.</i> | 66 |
| <i>Fig. IV.21. Validation des résultats de la méthode AHP appliquée à la ville d'Ain-Temouchent à 8 critères</i> 66 | |

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|--|---|
| <i>Tableau I.1. Définition de l'aléa</i> | 6 |
|--|---|

Chapitre II : ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA ZONE D'ETUDE

| | |
|---|----|
| <i>Tableau II.1. Situation de la station pluviométrique d'Ain Temouchent</i> | 34 |
| <i>Tableau II.2. Répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain-Temouchent</i> | 36 |

Chapitre III : ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|---|----|
| <i>Tableau III 1. Coordonnées géographiques et période d'étude des données pluviométriques journalières maxima de la station d'Ain-Temouchent</i> | 39 |
| <i>Tableau III 2. Caractéristiques statistiques des données pluviométriques mensuelles et annuelles maximas. Station d'Ain-Temouchent (1970/71-2022/23)</i> | 39 |

Chapitre IV: CARTOGRAPHIE DU RISQUE AUX INONDATIONS

| | |
|---|----|
| <i>Tableau IV.1. Echelle de Saaty - Détermination des combinaisons binaires</i> | 51 |
| <i>Tableau IV.2. Matrice de comparaison de critère (Matrice de décision)</i> | 51 |
| <i>Tableau IV.3. Matrice de comparaison binaire (matrice de décision)</i> | 52 |
| <i>Tableau IV.4: Indice aléatoire en fonction du nombre de critères dans le cadre d'une AHP</i> | 53 |
| <i>Tableau IV 5. Matrice de décision "AHP" à 8 critères</i> | 62 |
| <i>Tableau IV.6. Matrice de décision "AHP" à 11 critères</i> | 62 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ANRH : *Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.*

AUC: *Area Under the ROC Curve*

BV : *Bassin Versant*

DEM: *Modèle Numérique d'Élévation*

FHBM: *Flood Hazard Boundary Map*

FIBM: *Flood Insurance Rate Map*

H: *Altitude*

IDW: *Inverse Distance Weighting*

MNT: *Modele Numerique de Terrain*

Qdf : *Débit-durée-fréquence*

ROC: *Receiver Operating Characteristic*

ROP: *Radar optique passif*

RSO : *Radar à synthèse d'Ouverture*

SHFA: *Special Flood Hazard Areas*

SIG : *Système d'Information Géographique*

T : *Température*

TFP : *Taux de Faux Positifs*

TVP : *Taux de Vrais Positifs*

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----------|
| REMERCIEMENT | |
| DEDICACE..... | |
| Résumé/ملخص / Abstract..... | |
| <i>LISTE DES FIGURES</i> | |
| <i>LISTE DES TABLEAUX</i> | |
| <i>LISTE DES ABREVIATIONS</i> | |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| Chapitre I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE | |
| Introduction..... | 4 |
| I.1. Risques majeurs aux inondations..... | 4 |
| I.2. Connaissance de l'aléa aux inondations | 6 |
| I.3. Vulnérabilités des enjeux exposés | 7 |
| I.4. Paramètres fondamentaux d'une rivière..... | 8 |
| <i>I.4.1. Lit d'un cours d'eau</i> | 8 |
| <i>I.4.2. Berges et talus</i> | 10 |
| <i>I.4.3. Ripisylve</i> | 10 |
| <i>I.4.4. Alluvions et substratum</i> | 10 |
| I.5. Crues..... | 10 |
| I.6. Inondation..... | 11 |
| I.7. Principaux paramètres spécifiant l'aléa aux inondations..... | 11 |
| <i>I.7.1. Période de retour de crue</i> | 11 |
| <i>I.7.2. Hauteur et durée de submersion</i> | 12 |
| <i>I.7.3. Vitesse du courant</i> | 12 |
| <i>I.7.4. Volume de matériaux transportés</i> | 12 |
| I.8. Types d'inondations | 12 |
| <i>I.8.1. Inondation de plaine (fluviale)</i> | 12 |
| <i>I.8.2. Inondation par les eaux souterraines</i> | 13 |
| <i>I.8.3. Inondation torrentielle</i> | 14 |
| <i>I.8.5. Rupture de barrages ou d'embâcles provoquant des inondations</i> | 15 |
| <i>I.8.6. Inondation marine</i> | 16 |
| I.9. Causes des crues et des inondations..... | 17 |
| <i>I.9.1. Causes directes</i> | 17 |
| <i>I.9.2. Phénomènes aggravant l'aléa</i> | 18 |
| <i>I.9.2.1. Influence des facteurs naturels</i> | 18 |

| | |
|--|----|
| I.9.2.2. Influence des facteurs anthropiques | 19 |
| I.10. Crues et inondations..... | 20 |
| I.10.1. A l'échelle internationale..... | 20 |
| I.10.2. A l'échelle nationale | 21 |
| I.10.3. A l'échelle de la wilaya d'Ain-Temouchent..... | 23 |
| Conclusion | 24 |

Chapitre II: ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA ZONE D'ETUDE

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 26 |
| II.1. Analyse des composantes du milieu physique | 26 |
| II.1.1. Position géographique de la zone d'étude | 26 |
| II.1.2. Cadre physique..... | 28 |
| II.1.3. Géologie de la zone d'étude..... | 30 |
| II.1.4. Hydrologie de la zone d'étude..... | 32 |
| II.1.5. Hydrogéologie de la zone d'étude..... | 33 |
| II.1.6. Caractéristique climatique de la zone d'étude..... | 34 |
| II.1.7. Occupation du sol de la zone d'étude | 36 |
| II.1.8. Situation démographique et urbaine de la ville d'Ain-Temouchent..... | 37 |
| Conclusion | 37 |

Chapitre III: ETUDE HYDROLOGIQUE

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 38 |
| III.1. Choix de la période de retour..... | 38 |
| III.2. Détermination de l'intensité moyenne de précipitation | 38 |
| III.2.1. Analyse des données pluviométriques et choix du type de la loi d'ajustement..... | 39 |
| III.2.2. Calcul du paramètre de la loi choisie | 41 |
| III.2.3. Pluies de courte durée..... | 49 |
| Conclusion | 50 |

Chapitre IV: CARTOGRAPHIE DU RISQUE AUX INONDATIONS

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 48 |
| IV.1. Méthode d'analyse multicritère hiérarchique | 48 |
| IV.2. Principes de la méthode AHP | 49 |
| IV.3. Étapes de calcul et de résolution de la méthode AHP..... | 50 |
| IV.4. Avantage et inconvénients de la méthode AHP..... | 54 |
| IV.4.1. Avantages de la méthode AHP | 54 |
| IV.4.2. Inconvénients de la méthode AHP | 55 |
| IV.5. Modèle de validation (ROC\AUC)..... | 56 |
| IV.5.1. Validation par la courbe de performance : ROC..... | 56 |
| IV.5.2. AUC : Area Under Curve ou Aire sous la courbe : AUC-ROC..... | 57 |

| | |
|--|-----------|
| IV.6. Méthode AHP appliqué à la ville d'Ain-Temouchent | 57 |
| IV.7. Validation de la méthode AHP | 64 |
| IV.7.1. Validation par la courbe ROC-AUC..... | 64 |
| IV.7.2. Vérification basée sur les informations obtenues de la Protection civile | 65 |
| Conclusion | 67 |
| CONCLUSION..... | 59 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 48 |

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les catastrophes naturelles n'ont plus rien de prétentieux aujourd'hui, car elles affectent l'humanité, mais aussi les personnes sur lesquelles l'humanité peut avoir une influence, bien que la Terre soit toujours ronde et bleue et qu'elle subisse ce que l'on appelle un changement climatique. Avec d'autres causes, ces changements sont aujourd'hui à l'origine d'un nombre croissant de catastrophes naturelles.

Les activités humaines contribuent de manière significative à l'augmentation des inondations. Parmi ces activités, l'urbanisation rapide et souvent non planifiée joue un rôle crucial. La construction d'infrastructures sur des zones autrefois perméables réduit la capacité d'absorption des sols, augmentant ainsi le ruissellement des eaux pluviales (Smith, 2016). De plus, la déforestation pour faire place à des zones résidentielles ou agricoles diminue la végétation capable de retenir l'eau, aggravant les risques d'inondation (Brown, 2018). Le mauvais entretien des systèmes de drainage urbain contribue également aux inondations urbaines, comme observé dans plusieurs villes, y compris Ain Témouchent (Jones, 2020)

En effet, l'Algérie fait partie de ces pays confrontés à des catastrophes d'inondation, qui représentent probablement une contrainte majeure dans le développement économique et social. La répétition de ce phénomène hydro-climatique majeur ces dernières années a suscité une réflexion sur l'aménagement du territoire et une forte demande de connaissances sur ce risque et ses enjeux dans les zones urbaines comme la ville d'Ain-Temouchent. La croissance urbaine importante dans cette zone inondable ne fera qu'augmenter la vulnérabilité, notamment économique, d'une région comme Ain-Temouchent. L'étalement urbain continue d'exercer une pression pour plus d'espace avec des constructions de plus en plus nombreuses, qui modifient l'écoulement de l'eau. Ce mémoire de fin d'études s'inscrit dans cette problématique et cherche à évaluer le risque d'inondation dans les zones urbanisées de la ville d'Ain-Temouchent. L'un des objectifs est d'offrir une analyse de cette dernière. L'identification des zones inondables est donc indispensable pour présenter les mesures de réduction des risques. Le mémoire de fin d'études est composé d'une introduction, de quatre chapitres et d'une conclusion organisés selon une méthodologie qui répond à cette problématique. Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique afin de mettre en lumière certains concepts essentiels concernant les inondations et les risques. Ensuite, le chapitre suivant expose les caractéristiques physiques de notre zone d'étude. Au cours du troisième chapitre, nous avons continué avec une étude hydrologique qui nous a permis de dégager l'intensité pour diverses périodes de retour. La carte des risques d'inondation est réalisée dans le dernier chapitre. Cette dernière est utilisée pour surveiller et gérer les risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent.

Chapitre I

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE

Introduction

L'inondation est un phénomène naturel qui correspond à une montée des eaux. Peu gênante lorsqu'elle est modérée, elle est susceptible de présenter un risque lorsque le débit et le volume d'eau sont tels qu'ils débordent de l'endroit où ils s'écoulaient normalement. On parle alors d'inondation. L'eau déborde alors dans les zones d'extension des crues respectives, en particulier celles situées dans le lit majeur des rivières et souvent très urbanisées. Il est donc important de bien différencier les notions de crue et d'inondation (Gullouh, 2017)

L'inondation est un phénomène naturel dangereux. Le risque d'inondation implique donc un processus tel qu'il se produit, ses causes, son déroulement et son évolution, ainsi que l'aléa, les enjeux et leur vulnérabilité.

I.1. Risques majeurs aux inondations

Les inondations constituent un risque majeur dans le monde d'aujourd'hui. Elles se classent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, faisant environ 20 000 victimes par an (Simona & Cedric, 2007)). Comme dans le reste du monde, la région méditerranéenne a connu de multiples inondations, qui deviennent une menace de plus en plus redoutable. Les précipitations dépassent souvent 200 millimètres en 24 heures, et parfois en moins de six heures (Ducrocq)

Les types de risques auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en cinq familles:

1. **Risques naturels** : compris toutes les catastrophes dites naturelles - tremblements de terre, inondations, incendies, tempêtes, ouragans, tornades, cyclones, typhons, tempêtes de grêle, raz-de-marée, tsunamis, orages, foudre, avalanches...
2. **Risques technologiques** : d'origine humaine, comprennent les risques industriels, nucléaires, biologiques, de rupture de barrage, etc.

3. **Risques de transport public (personnes, marchandises dangereuses) :** risques technologiques dont les enjeux varient fortement selon que l'accident se produit en ville ou à la campagne ; ils sont donc qualifiés d'exceptionnels. Transport de matières premières ou de produits dangereux, dommages sur les canalisations, etc. Une inondation est une submersion rapide ou lente d'une zone habitée ordinairement hors d'eau. C'est un phénomène naturel lié aux caractéristiques géomorphologiques et météorologiques d'un bassin versant. Elle ne devient un risque que lorsqu'elle occasionne des dommages de tout genre;
4. **Risques de la vie quotidienne :** (accidents domestiques, accidents de la route, etc.)
5. **Risques liés aux conflits :** guerre, terrorisme, émeutes.

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités d'apparition de phénomènes naturels sont appelées **aléas**. Les principales caractéristiques des études d'aléas deviennent alors de chercher à caractériser ces phénomènes en termes de fréquence d'occurrence, d'intensité destructrice et d'étendue. L'intensité des crues en un lieu donné est principalement donnée par la hauteur et la durée de submersion ainsi que par la vitesse du courant (Fig. I.1). La seule différence est que ces paramètres sont donnés, de manière plus ou moins précise, sur l'ensemble de la zone inondée par une crue de fréquence donnée (Ledoux)

L'inondation est la submersion rapide ou lente d'une zone habitable, mais normalement hors d'eau. L'inondation est un phénomène naturel lié aux caractéristiques géomorphologiques et météorologiques d'un bassin versant. Elle ne devient un risque que lorsqu'elle provoque des dommages de toute nature



Fig. I.1. Combinaisons du risque ((<https://ppri-sudest-vendee.fr>, 2021).

I.2. Connaissance de l'aléa aux inondations

L'aléa est la possibilité d'occurrence d'un phénomène ou d'un événement résultant de facteurs ou de processus qui échappent, au moins en partie, au contrôle de l'Homme. Il est défini par une probabilité qui tient compte de l'occurrence et de l'intensité du phénomène considéré et est fonction du temps et de l'espace (Dauphiné)

L'aléa fait appel à deux disciplines principales : l'hydrologie et l'hydraulique fluviale. Dans le cas des inondations, l'hydrologie est la discipline qui fournit les débits et leurs périodes de retour moyennes. L'hydraulique, quant à elle, est la discipline qui fournit les hauteurs d'eau et, accessoirement, les vitesses correspondant à ces débits. La combinaison de ces deux disciplines permet d'associer les périodes de retour aux débits et aux vitesses en différents points d'un cours d'eau (Blin)

Par conséquent, l'aléa est une représentation indépendante de l'inondation en tant que phénomène naturel, physique et incontrôlé en ce qui concerne uniquement les conséquences possibles pour l'environnement et les activités humaines. Il se réfère au comportement hydrologique du bassin versant et au fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique.

Elle représente une carte d'un lieu où l'inondation est susceptible de se produire plus ou moins souvent et plus ou moins violemment. Elle est basée sur la combinaison des deux concepts suivants : la récurrence des crues et la submersion.

L'aléa sera calculé dans le cas de la crue centennale, à partir des résultats du modèle hydraulique de référence, en termes de hauteurs maximales atteintes par les débits de crue et en termes de vitesses. L'aléa sera défini selon trois niveaux : faible, moyen et élevé. Leurs caractéristiques sont déterminées sur la base des hauteurs d'eau H et des vitesses V , comme le montre le tableau I.1 ci-dessous :

Tableau I.1. Définition de l'aléa (HYDRETUDES., 2021).

| Hauteur | Vitesse | | |
|---------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| | $V < 0,2$ m/s | $0,2$ m/s $< V < 0,5$ m/s | $V > 0,5$ m/s |
| $H < 0,5$ m | Aléa faible | Aléa moyen | Aléa fort |
| $0,5$ m $< H < 1$ m | Aléa moyen | Aléa moyen | Aléa fort |
| 1 m $< H < 1,5$ m | Aléa fort | Aléa fort | Aléa très fort |
| $H > 1,5$ m | Aléa très fort | Aléa très fort | Aléa très fort |

Le danger est considéré comme élevé dans les zones inondables où les hauteurs d'eau dépassent 1 m ou les vitesses sont élevées.

Un risque moyen sera pris en considération pour des vitesses d'écoulement allant de faibles à moyennes dans les zones caractérisées comme inondables à une hauteur comprise entre 0,5 m et 1 m, ou dans les cas où les hauteurs d'eau restent inférieures à 1 m pour des vitesses moyennes.

Le risque est faible dans les zones inondables où les hauteurs d'eau sont inférieures à 0,5 m et les vitesses faibles (HYDRETTUES., 2021)

I.3. Vulnérabilités des enjeux exposés

Outre les dangers, l'autre élément clé de l'analyse des risques est la vulnérabilité, en particulier dans les zones urbaines et les mégapoles. Elle est à la fois humaine, socio-économique et institutionnelle. Elle couvre l'existence ou non de mesures de protection que certains pays prennent et d'autres non. Elle remet en question la capacité de la société à être affectée par ces crises de la nature.

La vulnérabilité implique une approche systémique : une réquisition est nécessaire, bien que complexe, encore plus dans le cas des villes, et encore plus pour les mégapoles. Les facteurs de vulnérabilité se multiplient, s'amplifient et se diversifient à travers la ville qui se nourrit de son fonctionnement, de son organisation spatiale et de ses dynamiques territoriales. Les aspects économiques, sociaux et organisationnels, patrimoniaux et environnementaux peuvent tous être des facteurs de vulnérabilité comme :

- la densité de la population (étalement des constructions) ;
- les acteurs techniques (comme le drainage sous-dimensionné, les stations d'épuration des eaux usées, etc.) ;
- les facteurs sociaux et économiques (qui définissent dans une certaine mesure les modes d'occupation des sols, la ségrégation sociale et la fragmentation de l'espace) ;
- l'acceptation du danger (parfois au lieu du logement ou de la pauvreté comme facteur de vulnérabilité) ;
- les facteurs psychologiques (ignorance du danger, manque de connaissance des risques) ;

- les facteurs politiques et ceux liés au contexte historique des sociétés : facteurs institutionnels et politico-administratifs (manque de réflexion sur les programmes de planification) ;
- les facteurs structurels (position précise et moment de l'impact) ;
- les facteurs fonctionnels (mauvaise gestion des crises, mauvaise articulation entre la technique et l'humain).

Cette orthogonalité de la vulnérabilité est définie par trois composantes : écologique, humaine ou sociale et économique (Fig. I.2) (Blin)

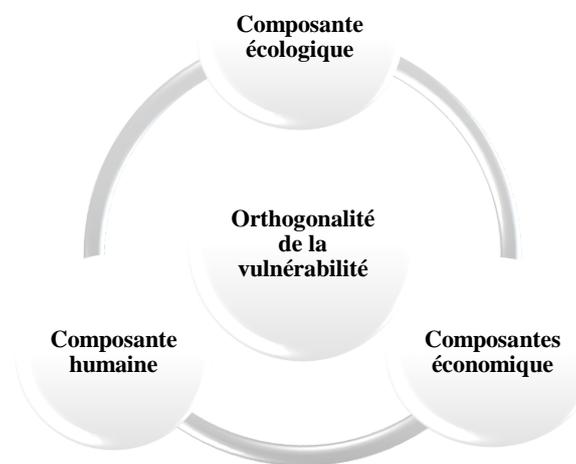


Fig. I.2. *Orthogonalité de la vulnérabilité (Blin, 2001)*

Il sera commenté les concepts de base suivants pour une meilleure compréhension de l'aléa inondation : Paramètres fondamentaux d'une rivière, inondation, inondation, principaux paramètres du risque d'inondation, les types d'inondation et les causes d'inondation.

I.4. Paramètres fondamentaux d'une rivière

I.4.1. Lit d'un cours d'eau

Dans la mesure où les lits des cours d'eau sont formés par l'eau qu'ils contiennent, il est assez naturel de penser à leurs dimensions et de les relier aux régimes hydrologiques. Un cours d'eau comporte généralement trois lits : le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur (Fig. I.3). Le lit mineur est presque toujours plein (sauf pour les oueds) (Ballais, 2005) et cette crue exceptionnelle et rare est donc accueillie par le lit majeur. Le troisième lit, généralement intermédiaire entre les deux, est représenté par le régime des crues fréquentes (avec des

périodes de retour de 1 à 5 ans, parfois 10 ans). Bien identifié dans les régions à pluviométrie contrastée, comme la Méditerranée, ainsi que dans les traversées de piedmont des massifs montagneux, il n'est pas toujours facilement identifiable du lit majeur, dans le cas des cours d'eau de plaine sous des climats à pluviométrie plus régulière. En conséquence, la courbe enveloppe des crues de la rivière dans le passé devient la limite extérieure du lit majeur d'une rivière (Lambert., 2006)

Ainsi, délimiter la zone inondable d'un cours d'eau revient à délimiter les limites de son lit majeur. Ses limites extérieures sont déterminées par l'étude stéréoscopique des photos aériennes et par l'étude du terrain, en combinant la microtopographie avec la granulométrie et la couleur des dépôts.

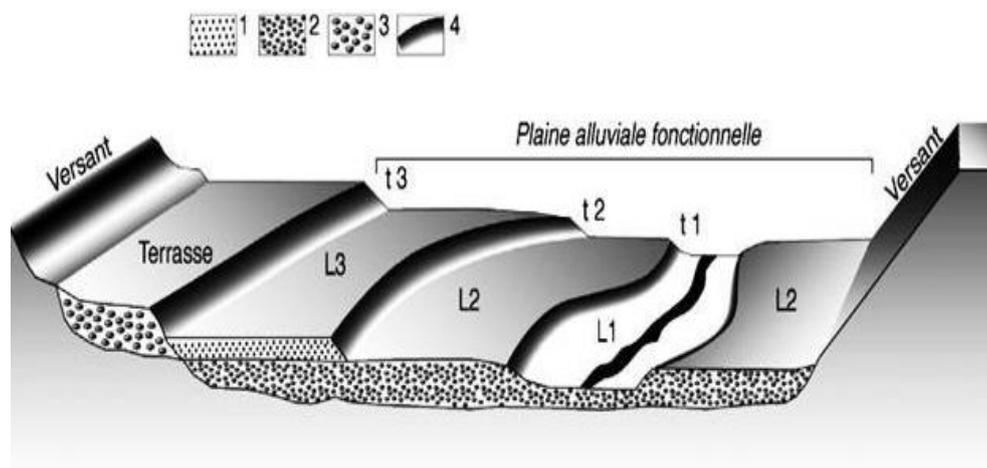


Fig. I.3. Relations topographiques entre les différents lits (Masson, 1996)

- 1 : limons de crues ; 2 : alluvions sablo-graveleuses de plaine alluviale fonctionnelle ;
 3 : alluvions sablo-graveleuses de terrasse alluviale ; 4 : talus. ;
 L1 : lit mineur ; L2 : lit moyen ; L3 : lit majeur ;
 t1 : limite des crues non débordantes ; t2 : limite du champ d'inondation des crues
 fréquentes ; t3 : limite du champ d'inondation des crues exceptionnelles.

Ce lit majeur fait alors partie intégrante de la rivière ; s'y installer, c'est s'installer dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un fleuve lors d'une crue peut être divisé en deux zones (Merabet, 2006):

1. Zone d'écoulement, aux abords du lit mineur, qui régit l'inondation : la baisse du débit et la vitesse de montée de l'eau vers l'aval ;
2. Zone de stockage des eaux à faible vitesse. Ce stockage est très important car il diminue l'inondation, c'est-à-dire le débit et la vitesse de la montée des eaux en aval.

I.4.2. Berges et talus

La berge désigne le talus incliné qui délimite le lit mineur et le lit majeur des cours d'eau. D'autre part, la berge est l'espace géographique qui se situe entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Elles commencent au niveau du sommet du talus et constituent une aire plus ou moins horizontale, située sous l'influence du milieu aquatique (Merabet, 2006)

I.4.3. Ripisylve

Il peut s'agir d'une bande étroite d'arbres soulignant le bord du lit mineur ou d'un véritable occupant plusieurs dizaines voire centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Il recouvre tout ou partie du lit majeur. Elle fait partie de l'environnement fluvial et est riche en termes de diversité floristique. Elle est composée de strates herbacées très diversifiées, souvent, et de strates arbustives et arborescentes de quelques espèces (Degoutte, 2012)

La végétation riveraine peut jouer un rôle important dans les inondations, soit en augmentant la capacité des eaux de la plaine d'inondation, soit en créant une plaine d'inondation qui affectera ultérieurement l'inondation par les effets hydrauliques suivants :

- ✗ l'abaissement des vitesses dans le lit majeur, d'où l'action érosive du courant ;
- ✗ le contrôle des inondations en aval.

I.4.4. Alluvions et substratum

En règle générale, les alluvions constituent le socle de la rivière. Elles sont constituées de grains fins ou grossiers déposés ou repris par le courant. Au-dessus se trouve la roche mère, qui peut être une roche dure ou une roche plus ou moins tendre (schiste, grès, marne, etc.).

I.5. Crues

Une crue est définie comme la hauteur d'eau qui peut rester dans le lit mineur de la rivière. Dès que celui-ci ne suffit plus à contenir le débit, l'eau déborde et se répand dans le lit majeur, provoquant une inondation. Il est donc possible d'avoir une crue sans inondation (Veyret & et al, 2004). L'inondation, quant à elle, implique la notion de débordement et d'envahissement d'un territoire. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère selon lequel un cours d'eau est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. Plus concrètement, on considère qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde les limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui ne

devient exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, qui peut provoquer des inondations dans les zones riveraines. Une crue est caractérisée par son hydrogramme, qui représente les variations du débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie ascendante de ce hydrogramme qui est appelée crue, la partie descendante étant la décrue. Une crue est définie par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume

I.6. Inondation

L'inondation est une immersion comparative, rapide ou progressive, de la zone qui est habituellement hors d'eau et dans laquelle vivent des personnes. Ainsi, un risque d'inondation est une combinaison de deux éléments : l'eau, qui déborde du lit habituel, et les personnes qui organisent leur vie dans la zone alluviale. L'extension de l'inondation dépend directement de la hauteur de l'eau, de la vitesse du courant et de sa durée. Les paramètres comprennent : les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être exacerbées par la présence d'activités humaines (Merabet, 2006)

I.7. Principaux paramètres spécifiant l'aléa aux inondations

I.7.1. Période de retour de crue

La notion de période de retour T est une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, elle est définie comme l'inverse de la probabilité de dépassement "P" de ce phénomène: $T = \frac{1}{P}$

Un phénomène dont la période de retour est de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Ceci est vrai sur une très longue période. Mais il peut aussi se répéter plusieurs fois sur de courtes périodes (quelques années). En d'autres termes, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de subir une crue centennale. La notion d'inondation est souvent associée à la notion de période de retour (décennale, centennale, millénaire, etc.). Plus la période est longue, plus le débit et l'intensité sont importants. Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q_{10}) et la crue centennale (Q_{100}) (Merabet, 2006)

I.7.2. Hauteur et durée de submersion

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur les bâtiments, en particulier lorsqu'elle dépasse le niveau de référence. Pour l'homme, une hauteur d'eau supérieure à 50 cm est généralement considérée comme dangereuse. Par exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau (Merabet, 2006)

I.7.3. Vitesse du courant

La vitesse d'écoulement est déterminée par la pente du lit et sa rugosité, et la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. Par exemple, au-delà de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec le risque d'être emporté par le cours d'eau ou blessé par des objets emportés à grande vitesse (Merabet, 2006)

I.7.4. Volume de matériaux transportés

Ce volume est communément appelé transport solide. Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, etc.) présents dans les cours d'eau, qui peuvent être transportés soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement le long du lit, sous l'effet des forces du courant. Le risque d'inondation d'une rivière torrentielle est essentiellement caractérisé par une vitesse de courant élevée et un fort transport solide (Merabet, 2006)

I.8. Types d'inondations

Selon l'événement à l'origine de la catastrophe, on peut distinguer plusieurs types d'inondations :

I.8.1. Inondation de plaine (fluviale)

Les inondations de plaine (Fig. I.4) font suite à des pluies océaniques prolongées qui, en général, présentent des vitesses d'écoulement modérées, des montées d'eau lentes et affectent des surfaces peu inclinées. C'est le cas lorsque la rivière sort lentement de son lit normal et occupe le lit principal et la plaine pendant une période assez longue. Ces phénomènes sont très répandus dans les zones de plaine ou mal drainées. Sa dynamique lente peut durer plusieurs semaines.



Fig. I.4. *Inondation de Plaine.* (Ledoux, 2006).

Elle est susceptible de provoquer des dégâts en raison de la hauteur et de la durée de submersion.

I.8.2. Inondation par les eaux souterraines

Dirige l'inondation par débordement, par remontée de la nappe phréatique (Fig. I.5) en surface ou par intrusion d'eau à l'intérieur des différents réseaux d'assainissement (Merabet, 2006)

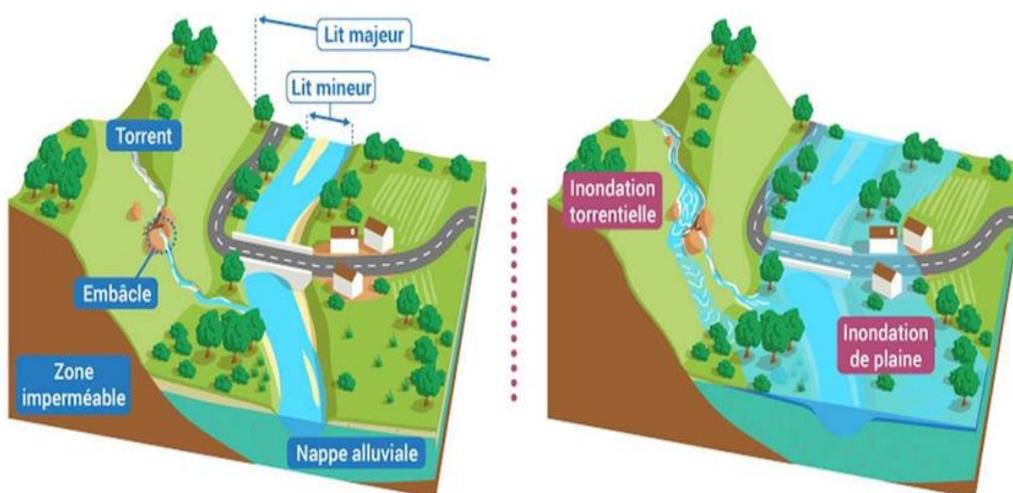


Fig. I.5. *Inondation par remontées des nappes phréatiques*

(<https://images.app.goo.gl/ftsSHNHseX2ADkVt8>)

Toute référence à la nature de l'inondation dans le marais fait généralement référence à un typhon de très fortes pluies qui immerge complètement tout ce qui se trouve sous l'eau, mais sans aucune montée des eaux sous les bâtiments (Boubchir, 2007)

I.8.3. Inondation torrentielle

Les inondations torrentielles (Fig. I.6) se présentent avec des caractéristiques soudaines et violentes proches de celles des événements pluvieux de courte durée et de forte intensité, comme les orages convectifs. Normalement, les crues rapides se produisent lorsque le temps de parcours de la goutte d'eau sur le point hydrologique le plus éloigné est inférieur à 12 heures (ou 24 heures selon certains auteurs) jusqu'à l'exutoire. En général, elles se caractérisent principalement par une montée rapide des eaux et des vitesses d'écoulement élevées sur des surfaces fortement inclinées.

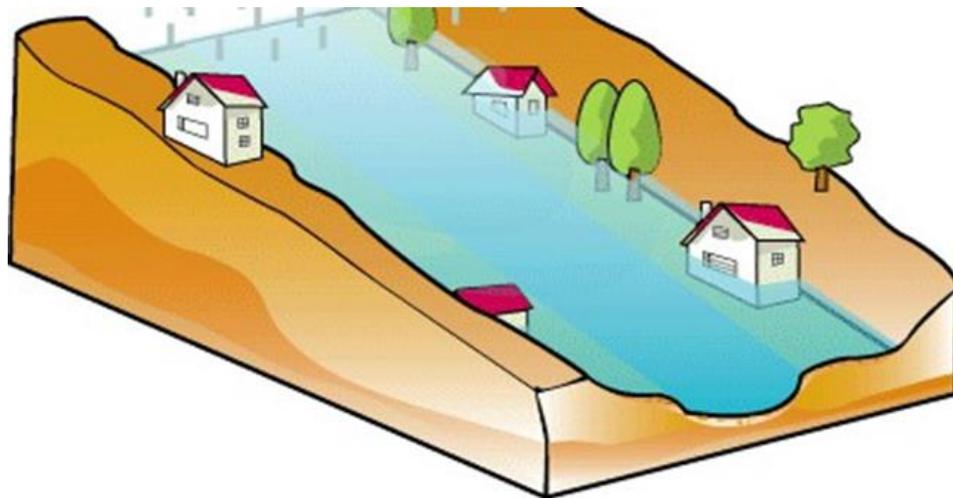


Fig. I.6. Inondation par crues torrentielles (Merabet, 2006)

Les bassins versants susceptibles d'être affectés par ces phénomènes sont ceux dont la surface est petite à moyenne et la pente moyenne forte. Les crues torrentielles sont donc celles d'un transport solide très important et d'une modification marquée des lits. Les dégâts occasionnés par ces phénomènes sont généralement liés à la vitesse du courant renforcée par les matériaux qui peuvent être transportés par les rivières générant de telles crues (Ledoux, 2006).

I.8.4. Inondations par ruissellement en milieu urbain

Un régime de fortes pluies se traduit par des pics de ruissellement en milieu urbain qui peuvent être très importants et provoquer le débordement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales et des ouvrages hydrauliques (ponceaux, caniveaux, fossés). Les débordements se font souvent à des vitesses élevées et à des hauteurs d'eau variables. Ils peuvent entraîner des dégâts humains et matériels considérables (Fig. I.7).



Fig. I.7. Inondation par ruissellement en secteur urbain (Ledoux., 2006)

I.8.5. Rupture de barrages ou d'embâcles provoquant des inondations

L'inondation qui résulterait de la rupture des barrages et des embâcles dans les rivières endiguées serait un événement soudain, soit par débordement au-dessus de la digue, soit par l'occurrence de la rupture de la digue. Le phénomène peut être très soudain, et plus le site est proche de la digue, plus il est dommageable. Par conséquent, le fait de se trouver derrière un ouvrage de protection conçu pour un niveau de crue donné peut augmenter le seuil de risque en cas de rupture ou de surverse. Des secteurs normalement hors d'eau peuvent se retrouver subitement inondés. Le réservoir se remplit puis déborde pour la crue d'ampleur suffisante. Une fois ce seuil atteint, l'ouvrage n'atténue plus le débit. Cette rivière inonde alors sa plaine alluviale comme s'il n'y avait pas eu d'aménagement (Ledoux., 2006) (Boubchir, 2007). La végétation, y compris les arbres et les arbustes, arrachée aux berges et transportée par le courant peut s'accrocher et même bloquer les ponts. Il en résulte une exacerbation des crues en amont. Lorsque l'embâcle se rompt, la vague peut être générée et le danger d'inondation en aval accru (Fig. I.8).

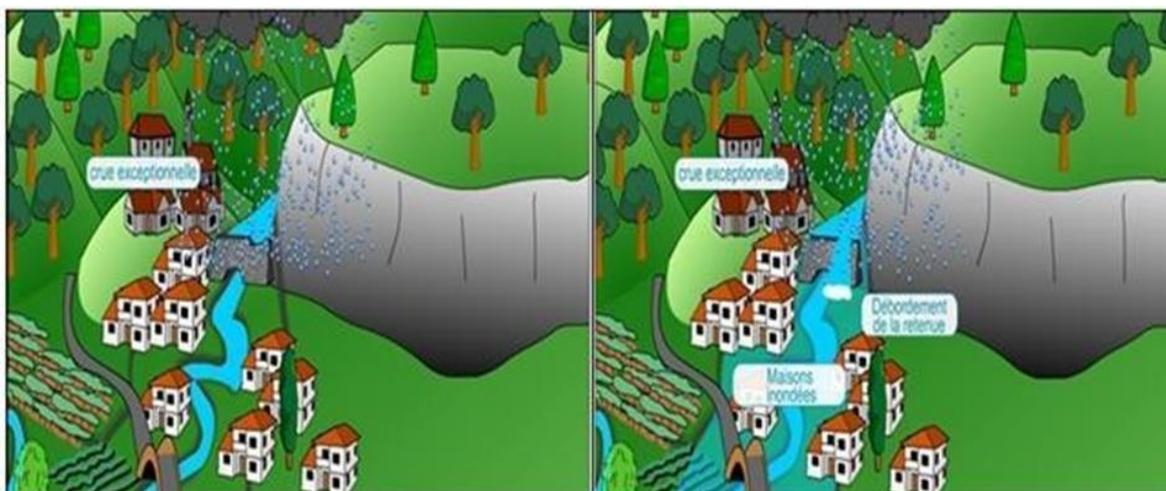


Fig. I.8. Inondation par débordement au-dessus de la digue ((Ledoux., 2006)).

Les structures les plus vulnérables à ce phénomène sont celles dont les piles ont une très faible hauteur de chute ou un tirant d'air sous le pont trop faible pour permettre le passage des embâcles. Seule la présence de tels embâcles augmente le risque de contournement, voire de submersion de la structure. Le résultat peut être un coup sévère, voire la destruction du pont lui-même et/ou des remblais d'accès, étant donné que les remblais routiers ne retiennent pas l'eau et ne soutiennent pas l'érosion actuelle du remblai (Fig. I.9).

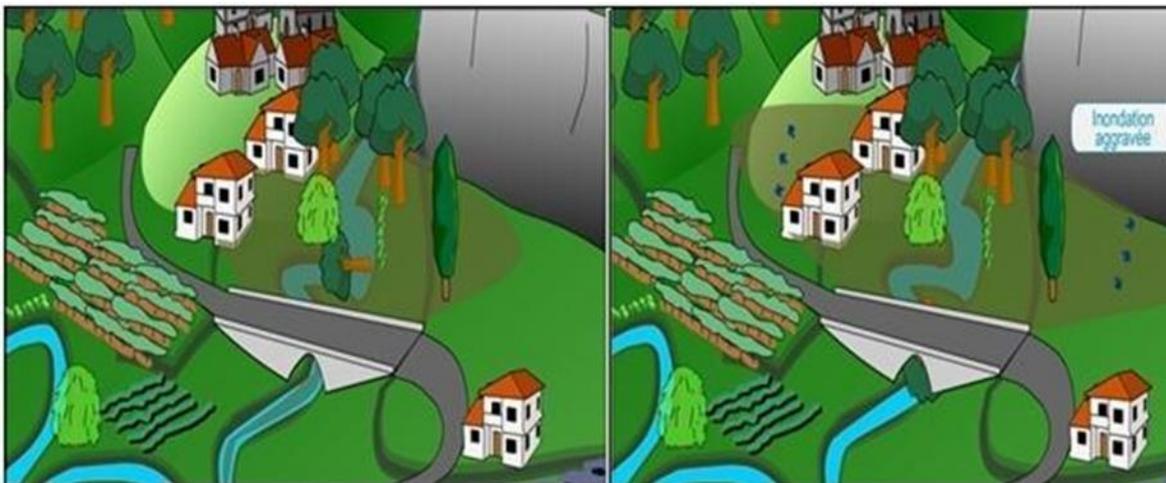


Fig. I.9. Inondation par débordement au-dessus de la digue ((Ledoux., 2006)

I.8.6. Inondation marine

La submersion marine est l'inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques, y compris de fortes dépressions et des vents marins et des coefficients de marée élevés. Elle se traduit par l'invasion d'une eau salée particulièrement agressive. Lors d'un raz-de-marée ou d'un tsunami (phénomène très faible mais dévastateur), ou lors d'une tempête (coup de mer, vents violents et précipitations), ou lors de la rupture

des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques sont concentrés dans les zones dépressionnaires du littoral)

I.9. Causes des crues et des inondations

I.9.1. Causes directes

La cause la plus importante des inondations est l'abondance des précipitations. Les causes des pluies abondantes peuvent être classées selon quelques types (Salomon, 1997):

- *Averses soudaines* de type orageux, lorsqu'en quelques heures, les orages produisant des pluies ont des hauteurs d'eau de 200 à 300 mm. Les intensités de pluie de 10 mm/min en Espagne en sont un exemple. Si l'on considère qu'une intensité de 1 mm/min représente un débit d'eau météorique de $16,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, il n'est pas étonnant que certains petits bassins versants puissent offrir des débits spécifiques records parfois supérieurs à $30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ pendant un certain temps, avec les conséquences catastrophiques que l'on suppose ;
- *Averses prolongées*, moins violentes, car constituées de nombreuses averses consécutives séparées par des intervalles de calme, mais tout aussi dévastatrices. A titre d'exemple, la crue de la Saine en 1990 a été une véritable mangeuse d'hommes et le pays a été submergé pendant des semaines ;
- *Pluies orographiques et cycloniques* : par exemple, 1136 mm aux Philippines en 24 heures. La relation générale entre la puissance de l'inondation et les dommages qu'elle provoque est fonction du poids, de l'intensité et de la durée des précipitations dans le bassin versant, de la hauteur des quotients de ruissellement et de l'érodabilité morphologique et matérielle du bassin versant ;
- *Fonte soudaine des neiges* : ce phénomène est fréquent en Europe à la fin du printemps et au début de l'été. Au printemps, les bassins versants sont recouverts de neige. La présence d'un front chaud avec du vent et de la pluie qui arrive à la fin de l'hiver, peut provoquer un dégel brutal de la neige, générant d'importantes inondations sur le sol, dans certains cas gelé et sans végétation. Le plus souvent, cependant, l'apport de neige est combiné à des précipitations. de neige est combiné à des précipitations ;

- *Rupture de la glace des fleuves* : il s'agit de la rupture des barrages naturels de glace, que ce soit en haute montagne ou dans les pays à haute altitude (par exemple, les grands fleuves de Sibérie et du Canada). Dans ce dernier cas, le phénomène est saisonnier : chaque hiver, des températures glaciales gèlent les eaux des fleuves, d'abord en surface, puis progressivement en profondeur. D'importants embâcles se forment, empêchant progressivement tout écoulement en surface. Cependant, dans le cours supérieur des rivières, le captage est moins efficace en raison de leur position plus méridionale (et donc relativement plus chaude), de sorte que l'eau restant à l'état liquide s'accumule dans de grands lacs temporaires. Dès l'arrivée du printemps, la combinaison des températures plus chaudes et du fantastique poussé d'eau qui s'accumule derrière les barrages de glace, conduit tôt ou tard à leur rupture. C'est alors que se produit la vaste rupture des barrages, qui emporte tout sur son passage. Ces inondations catastrophiques, heureusement très rares, ne peuvent pas être gérées une fois qu'elles ont commencé. Seule la prévention est possible, par exemple par le dynamitage préalable des embâcles dès qu'ils atteignent un certain seuil ;
- *Accidents* : rupture accidentelle d'un barrage naturel ou artificiel. Parfois, cet accident est lui-même lié à un autre phénomène exceptionnel (glissement de terrain, fortes pluies, volcanisme, tremblement de terre, etc.) (Merabet, 2006)

I.9.2. Phénomènes aggravant l'aléa

Un grand nombre de facteurs autres que ceux mentionnés ci-dessus interviennent, souvent de manière aggravante, dans les dommages causés par les inondations. Il s'agit notamment de l'influence de facteurs naturels et anthropiques.

I.9.2.1. Influence des facteurs naturels

Bassin versant et sa forme : Pour une même surface, la forme de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente en fonction de la forme du bassin versant. Un bassin versant très allongé ne réagit pas de la même manière qu'un bassin versant compact, ce qui a conduit à l'utilisation d'un indice pour évaluer le coefficient de compacité. En principe, plus l'indice est faible, plus la concentration des eaux des affluents est rapide, et plus le risque d'inondations brutales et bien différenciées est important ;

Configuration du relief du lit de la rivière : la pente a une influence directe sur la vitesse d'écoulement, et donc sur la puissance de l'inondation. Si le profil longitudinal d'une rivière peut être assimilé à une série de segments plus ou moins pentus, il exerce une influence visible sur les inondations. Le profil transversal est également important : pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra son niveau d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau au profil plus évasé. En revanche, ce dernier a plus de chances de déborder ;

Densité des cours d'eau et perméabilité du bassin versant : la densité des cours d'eau est fonction de la nature du terrain, et moins le terrain est perméable, plus le réseau est développé et complexe. Il est facile de comprendre que plus l'imperméabilité est grande, plus l'eau météorique est disponible pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, les rivières drainant des régions imperméables sont plus susceptibles de développer des inondations dangereuses ;

Facteurs biogéographiques : la végétation joue un rôle climatique complexe, en influençant le ruissellement, en retenant une partie des précipitations, en évaporant l'eau, etc. Depuis longtemps, on sait qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement le ruissellement. D'une part, la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière mettant très longtemps à fondre sous le couvert. D'autre part, elle augmente fortement l'évapotranspiration qui, dans les zones tempérées, atteint ou dépasse fréquemment 500 à 700 mm/an. On comprend que cela limite le ruissellement direct et l'alimentation en eau des cours d'eau. Dans de nombreux cas, une végétation vigoureuse, avec ses nombreuses racines enchevêtrées, constitue une excellente protection naturelle, presque totale, contre l'érosion torrentielle. A l'inverse, la destruction du couvert végétal est un facteur d'augmentation de la puissance des inondations.

I.9.2.2. Influence des facteurs anthropiques

Occupation des zones riveraines : la concentration de personnes et l'accumulation de biens dans les zones inondables génèrent des risques d'inondation par l'augmentation des enjeux, l'accroissement de la vulnérabilité et l'absence de prévention-précaution ;

1. L'imperméabilisation importante (conséquences du développement urbain ou agricole)
2. La méfiance à l'égard des systèmes de protection (digues, seuils).

I.10. Crues et inondations

I.10.1. A l'échelle internationale

Selon l'International Disaster Database du Research Centre for Disaster Epidemiology de l'Université Catholique de Louvain (Belgique), les pays les plus touchés par les inondations depuis 1990 sont : les USA 135 inondations, la Chine 228 inondations, les Philippines 120 inondations, le Bangladesh 60 inondations, le Japon 22 inondations, l'Inde 192 inondations, l'Indonésie 137 inondations (Fig. I.10 et I.11).



Fig. I. 10. Inondation du Philippines 2017
(<https://www.parismatch.com/>, 2021)



Fig. I.11. Inondation du Bangladesh 2017
(<https://www.aa.com.tr/fr>, 2021)

Le nombre d'inondations augmente partout et elles causent de nombreuses pertes «C'est certainement la pire menace pour le monde, y compris pour l'Europe», insiste Debarati Guha-Sapir, directrice du Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED) et professeur à l'université de Louvain, à Bruxelles. Selon la même logique que pour les autres catastrophes naturelles, le CRED considère comme inondation un phénomène qui, depuis 1900, a fait plus de dix morts, a touché plus de cent personnes, a provoqué une déclaration d'état d'urgence ou de catastrophe naturelle, ou pour lequel les autorités ont dû lancer un appel international à l'aide. Parmi les catastrophes naturelles d'origine météorologique, hydrologique et climatologique, ce sont les inondations qui ont le plus augmenté, juste derrière les températures extrêmes, qui ont augmenté de 140%. Le tableau suivant indique les dommages subis par les pays touchés par les inondations.

Tableau I.1. *Dommages causés par les inondations dans les pays* (Metah, 2020)

| Année d'inondation | Pays | Dégâts des inondations |
|--------------------|-------------------------|---|
| 1931 | Chine | Plus de 4 millions morts |
| 1957 | Espagne | 80 morts |
| 1975 | Inde (Gonge) | 300 000 morts |
| 1991 | Bangladesh | 150 000 morts |
| 1993 | États-Unis (Midwest) | 50 morts |
| 2010 | France | 26 morts |
| 2015 | Philippine | 54 morts 16000 personnes ont été déplacées 200000 maisons ont été endommagées |
| 2016 | Indonésie | 47 morts 22 personnes disparues |
| 2017 | Japon | 15 morts 22 personnes disparues |
| 2017 | L'États-Unis (Texas) | 40 morts Dégâts estimés plus de 30 milliards de dollars |
| 2017 | Chine | 128 morts 42 personnes disparues Les dégâts sont estimés à plus de 5,13 milliards d'euros |
| 2017 | Canada (Québec) | 261 municipalités touchées, 5 260 résidences inondées, 4 066 personnes évacuées et 557 routes touchées. |

I.10.2. A l'échelle nationale

D'après le recensement effectué par les services de protection civile, on estime qu'en moyenne, une commune sur trois pourrait très probablement être partiellement ou totalement touchée par les inondations. Les inondations restent l'une des formes de catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dommageables. Certaines inondations majeures en Algérie atteignent parfois l'échelle d'une catastrophe nationale (Guerbi & Abdelkebir, 2017). Dans ce sens, les inondations les plus importantes en Algérie sont présentées dans la figure I.12 comme une échelle de leur magnitude.

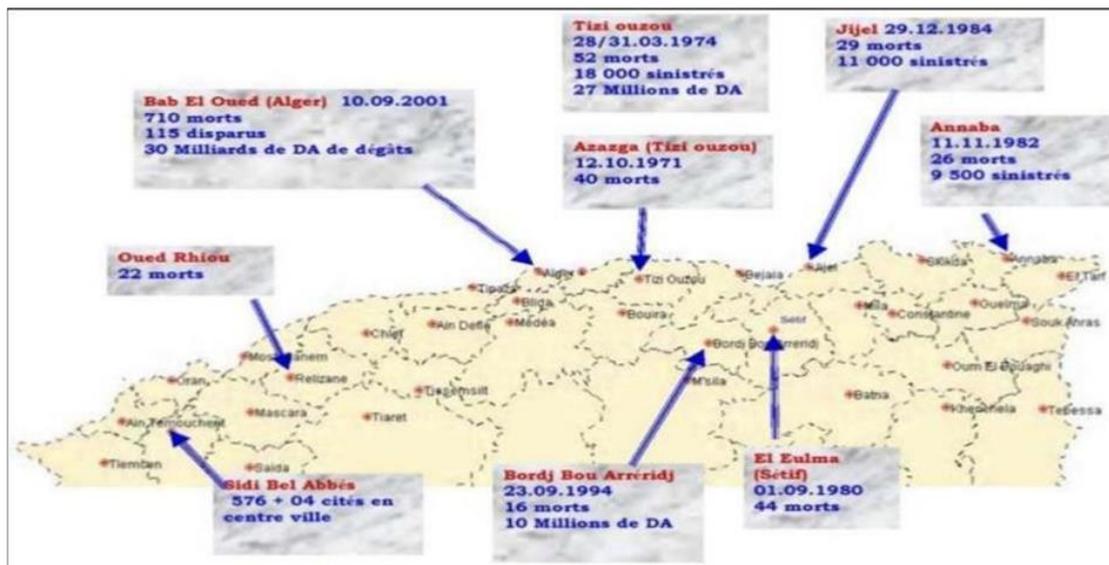


Fig. I.12. Grandes inondations survenues en Algérie (Guerbi & Abdelkebir, 2017)

Au cours de la dernière décennie, nous avons pu obtenir des données sur un certain nombre d'inondations, notamment (Guerbi & Abdelkebir, 2017):

- ✘ *Le 01 septembre 1980* : Violences pluvieuses localisées au rayon de 15 km de la ville d'El Eulma, avec inondation catastrophique de l'Oued Djehadi. Le bilan est de 44 morts, 50 blessés et 365 familles sinistrées ;
- ✘ *Le 20 octobre 1993* : dans l'ouest de l'Algérie, 22 morts et 14 blessés dans l'Oued Rhiou (W. Chlef) ;
- ✘ *Octobre 1994* : le pays est frappé par des inondations dans plusieurs régions. Le bilan est de 60 morts et des dizaines de disparus en dix jours d'inondations ;
- ✘ *Le 22 octobre 2000* : l'ouest de l'Algérie est à nouveau touché, avec plus de 24 morts ;
- ✘ *Le 10 et 11 novembre 2001* : les tristement célèbres inondations de Bab El Oued à Alger, avec des pluies torrentielles causant 733 morts, 30 000 personnes sans abri et d'importants dégâts matériels ;
- ✘ *Le 1^{er} octobre 2008* : des pluies torrentielles ont frappé la région de Ghardaïa avec des orages extrêmement violents, au cours desquels les rivières ont dangereusement monté. Au moins 33 personnes ont été tuées, 44 ont été blessées et près de 600 maisons ont été détruites ;
- ✘ *Le 09 octobre 2008* : Dans la wilaya de Aïn Defla, des inondations soudaines ont causé 06 morts et 08 blessés parmi la population ;

- ✘ Les fortes pluies orageuses de la nuit du 12 octobre 2008 ont causé, dans les communes de Khemis Miliana et Sidi Lakhdar (w. Aïn Defla), des dégâts matériels essentiellement importants ;
- ✘ *En octobre 2008*, il a été rapporté que certaines parties de la wilaya de Batna (450 km au sud-est d'Alger) ont été touchées par des inondations au cours desquelles deux personnes ont été emportées par les crues des oueds ;
- ✘ *En octobre 2008*, toujours les 15 et 16, plus exactement, la wilaya de Béchar, une région aride de type désertique, a été sous les eaux et a provoqué la mort d'au moins 08 personnes par noyade en plus de dégâts matériels considérables ;
- ✘ *Dans la nuit du 01 octobre 2011*, de violentes pluies se sont abattues sur la wilaya d'El Bayadh, faisant au moins 11 morts, détruisant près de 170 habitations, et causant des dégâts à deux ponts ;
- ✘ *Le 15 septembre 2015*, des pluies abondantes se sont abattues sur la ville de Tamanrasset provoquant l'inondation de l'Oued Amsel. On dénombre 13 victimes et d'importants dégâts matériels.

I.10.3. A l'échelle de la wilaya d'Ain-Temouchent

La première inondation enregistrée par l'histoire dans la Wilaya d'Ain-Temouchent est fixée au 14ème siècle. Ainsi, l'inondation catastrophique de 1397 a frappé la ville, faisant de nombreuses victimes et d'importants dégâts. Dans le développement local des siècles suivants, la récurrence des inondations a également eu lieu :

- ✘ *Les inondations de 1930* ont été particulièrement dévastatrices pour la région. Les fortes précipitations ont provoqué la crue des rivières et des oueds, inondant de vastes zones agricoles et résidentielles. Ces inondations ont causé d'importants dégâts matériels et des pertes humaines ;
- ✘ *Les inondations de 1969* ont été un autre événement majeur pour la région. Les fortes pluies ont provoqué une montée des eaux qui a submergé de nombreuses zones habitées. Cette catastrophe naturelle a également causé des dégâts considérables aux infrastructures locales et à l'agriculture ;
- ✘ *En 2001*, la wilaya d'Ain-Temouchent a été touchée par des inondations. Des pluies torrentielles ont provoqué une montée rapide des eaux des rivières et des

oueds, inondant des zones résidentielles et des terres agricoles. Ces inondations ont été suivies d'importants efforts de secours et de réhabilitation.

- ✘ *En octobre 2008*, la wilaya d'Aïn Témouchent a de nouveau été touchée par de graves inondations dues à de fortes pluies. Les quartiers urbains ont été inondés, ce qui a fortement perturbé la vie quotidienne des habitants ;
- ✘ *En novembre 2012*, de nouvelles inondations ont touché la région, causant des dégâts considérables. Les autorités locales ont dû prendre des mesures pour évacuer les personnes des zones à risque et fournir une aide humanitaire aux personnes touchées ;
- ✘ *En novembre 2013*, la région a subi une série d'inondations causées par des pluies torrentielles. Les crues soudaines des rivières ont provoqué des inondations dans plusieurs villes et villages de la wilaya, entraînant des pertes en vies humaines et des dégâts matériels importants ;
- ✘ *En novembre 2018*, de fortes pluies ont à nouveau frappé la wilaya, entraînant d'importantes inondations. Des routes ont été coupées, des maisons inondées et des habitants ont dû être évacués de certaines zones à risque.

Conclusion

Le risque d'inondation a toujours fait partie de ces sujets de recherche vraiment essentiels, visant à améliorer notre compréhension des phénomènes qui le régissent en diminuant l'incertitude globale inhérente à leur caractérisation. En effet, notre connaissance du risque est très imparfaite tant que les incertitudes sur l'aléa et la vulnérabilité sont grandes, et tant que l'on attend de ces mesures qu'elles conduisent à des réglementations plus fines et plus puissantes en matière d'aménagement.

Chapitre II

**ANALYSE DES
COMPOSANTES DE
LA ZONE D'ETUDE**

Chapitre II

ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction

Le présent chapitre vise à analyser l'ensemble des informations géographiques qui permettent de situer et de décrire le milieu physique dans le contexte topographique, géologique et hydrologique, ainsi que l'aspect artificiel du milieu urbanistique dans la zone d'étude.

II.1. Analyse des composantes du milieu physique

II.1.1. Position géographique de la zone d'étude

Au niveau de la région, Ain-Temouchent fait partie de la région Nord-Ouest du pays. Sa position géographique est avantageuse, étant donné sa proximité avec trois grandes villes : Oran au nord-est, à 72 km dans la wilaya d'Oran ; Sidi Bel Abbas au sud-est, à 63 km dans la wilaya de Sidi Bel Abbas ; et Tlemcen au sud-ouest, à 69 km dans la wilaya de Tlemcen. De plus, au nord-ouest, elle est bordée par la mer Méditerranée sur environ 80 kilomètres (Fig. II.1).

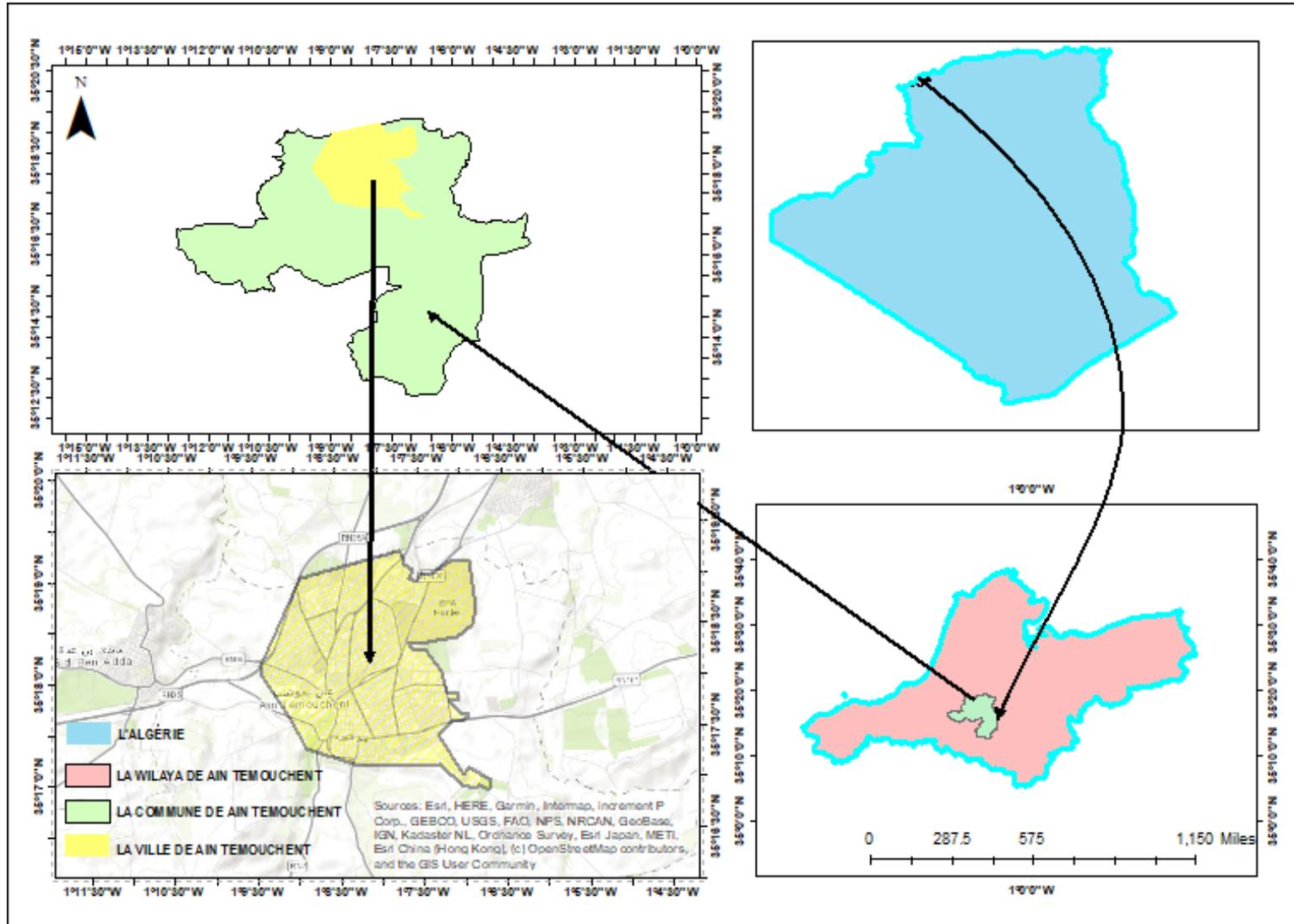


Fig. II.1. Situation géographique de la zone d'étude.

II.1.2. Cadre physique

Les reliefs de la région de Tlemcen et leurs versants plus bas à l'ouest encerclent la wilaya d'Ain-Temouchent. Cette chaîne montagneuse comprend divers massifs, notamment le massif des Traras situé au sud de la chaîne, à proximité de la limite de la chaîne de Fillaoussene. Ensuite, on trouve le massif des Tessala, suivi d'une zone de collines à l'ouest appelée Sebba Chioukh. Ces montagnes et collines abritent un grand nombre de rivières torrentielles, dépassant même 150 cours d'eau, qui se dirigent vers les plaines fertiles le long de la Méditerranée. Ces zones basses peuvent être des plaines contemporaines ou des plaines anciennes (Fig. II.2) (Chemouri, 2013)

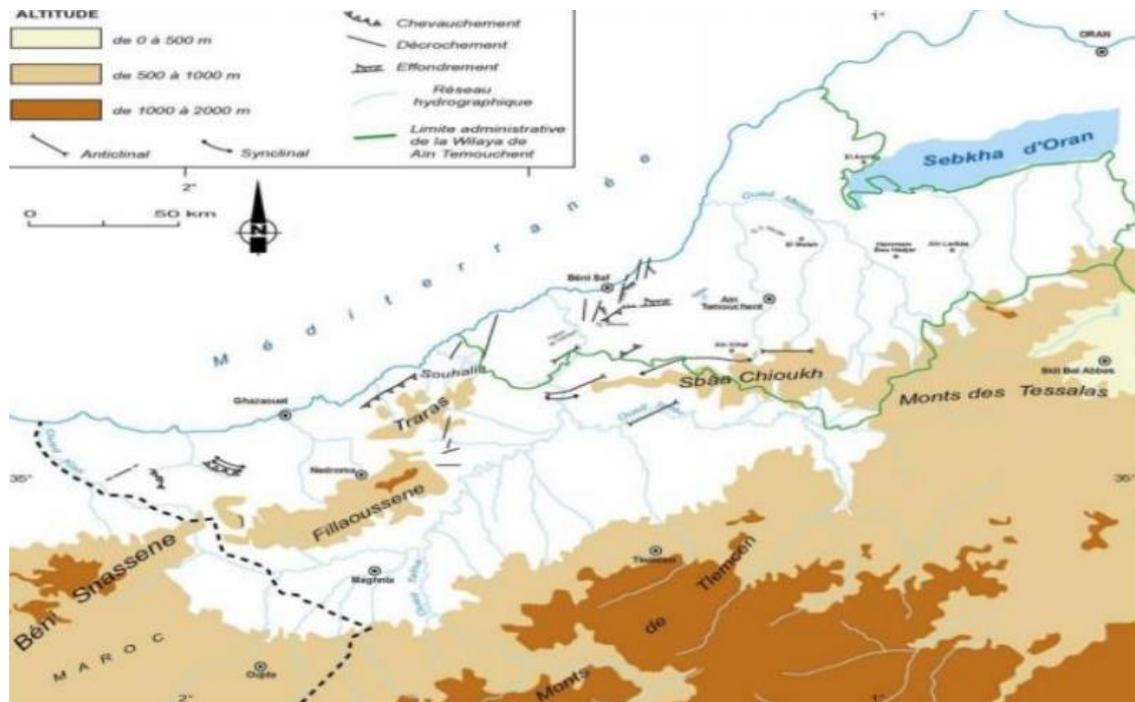


Fig. II.2. Contexte morpho-tectonique de l'Oranie Nord-occidentale (Chemouri, 2013)

D'une façon générale, le relief de la wilaya d'Ain-Temouchent se compose de 03 unités d'aménagement définies dans le cadre du plan d'aménagement de la wilaya à savoir (Amraoui, 2015)

- ✘ **Les plaines intérieures** regroupent d'un côté la plaine d'Ain-Temouchent – El-Amria, constituée de plaines et coteaux, d'une altitude moyenne de 300 m, d'un autre côté, la plaine de M'Leta qui se situe entre la Sebka d'Oran et le versant septentrional du Tessala, d'une altitude moyenne variant entre 50 et 100 m ;

✖ **La zone côtière** comprend:

- ✖ Beni-Saf est situé à une altitude moyenne de 200 mètres, avec un sommet culminant à 409 mètres au djebel Skhouna ;
- ✖ Le plateau d'Ouled Boudjemaa est marqué par une faille orientée est-ouest, légèrement inclinée vers la SEBKHA ;
- ✖ de la Baie de Bouzedjare.

✖ **La région montagneuse**, dont l'altitude moyenne se situe entre 400 et 500 mètres, englobe :

- ✖ La partie orientale des Traras, caractérisée par des pentes très abruptes ;
- ✖ Les collines élevées jusqu'à la chaîne des Berkeches, se prolongeant jusqu'au massif du Sebaa-Chioukh, créant une barrière entre les plaines intérieures et la dépression de Tlemcen ;
- ✖ Les monts Tessala, où l'altitude moyenne atteint 600 mètres, avec un pic maximum de 923 mètres au Djebali Bouhaneche

Au niveau de la ville d'Ain-Temouchent, les altitudes oscillent entre 185 m dans la partie aval (Nord) à 330 m dans la partie amont (Sud) (Fig. II.3).

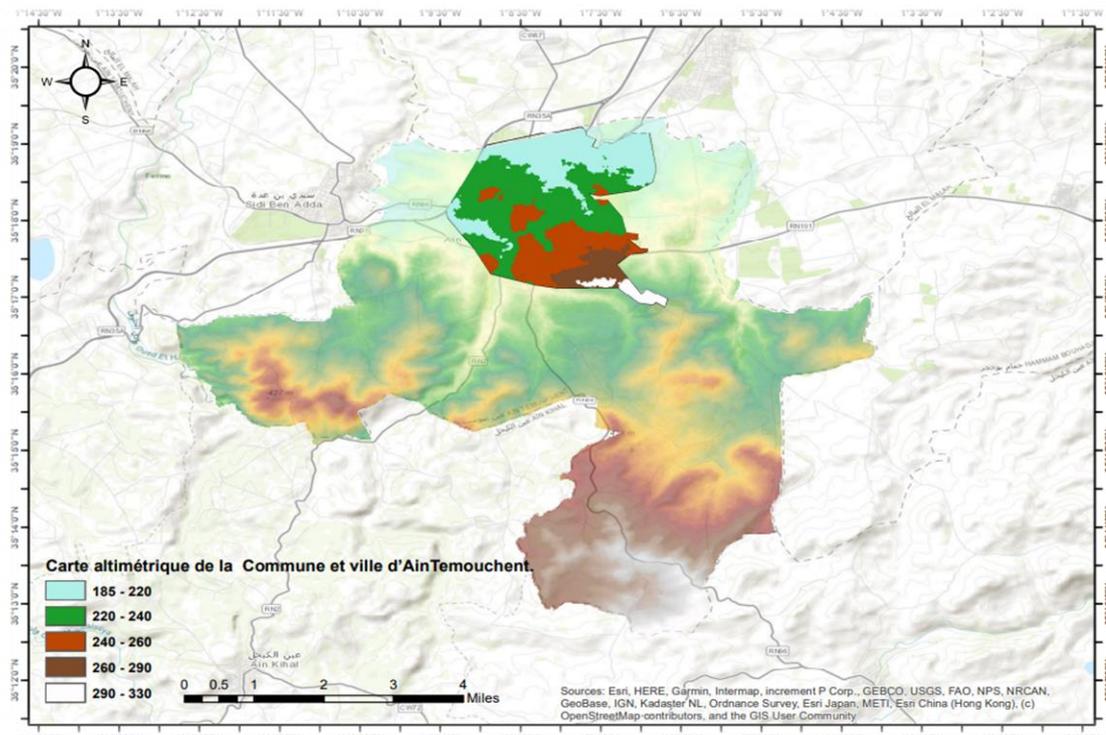


Fig. II.3. Carte altimétrique de la ville d'Ain-Temouchent.

Il apparaît ainsi que les attitudes relatives, c'est-à-dire la différence entre les altitudes les plus élevées et les plus basses, s'élèvent à 145 m.

La carte de répartition des pentes du bassin versant indique que la ville d'Ain-Temouchent (Fig. II.4) est caractérisée par une grande pente allant du sud au nord.

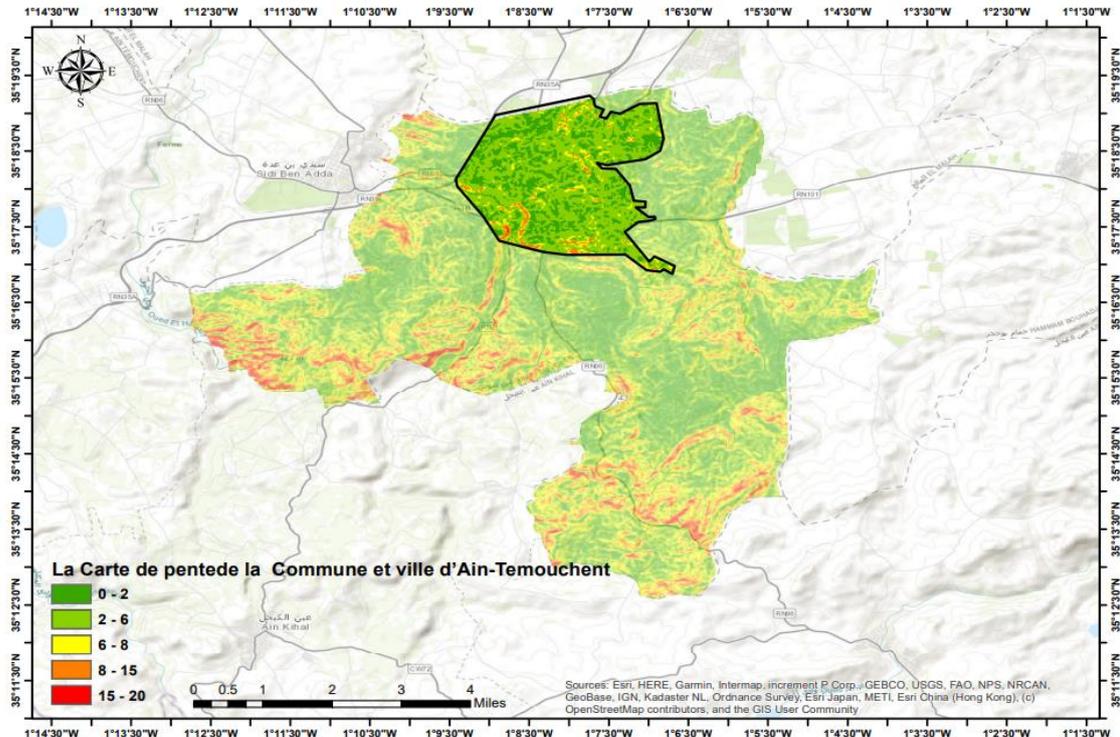


Fig. II.4. Carte de pente d'Ain-Temouchent. Commune et ville

Les pentes au nord-ouest de la ville d'Ain-Temouchent sont comprises entre 0% et plus de 2%. Les pentes moyennes sont signalées plutôt au sud-ouest et à l'ouest de la commune (10,8%) (Fig. II.4).

II.1.3. Géologie de la zone d'étude

La partie volcanique de la structure basaltique domine l'ensemble de la structure géologique de cette région ; de plus, éruptés au Pliocène et au Quaternaire, les dépôts de cendres volcaniques étendent ces formations sur la totalité du Sud-Est et du Sud d'Aïn Témouchent, jusqu'à Chabet El Leham, Béni Saf, et Ain Tolba. En général, on distingue à l'échelle de la commune (Fig. II.5).

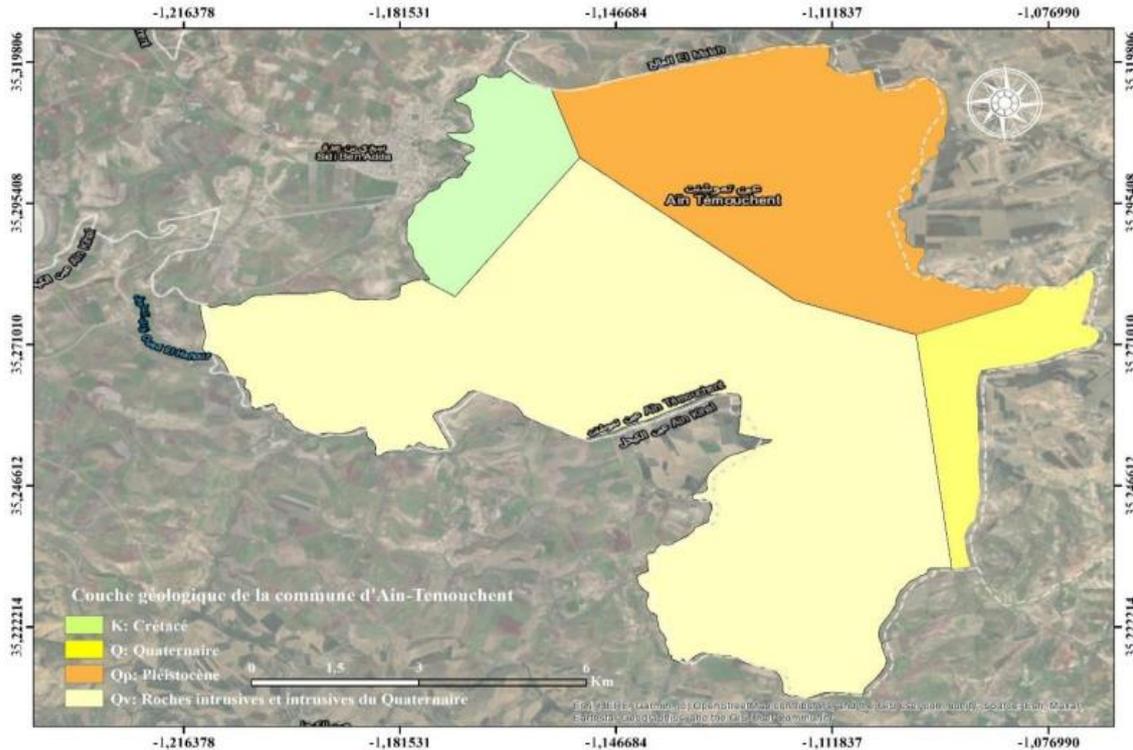


Fig. II.5. Cadre géologique de la Commune et ville d'Ain-Temouchent

- ✘ **Trias** affleure au sud du massif du Har El Mendjel. Il est généralement représenté par des argiles rouges, de couleur lie-de-vin parfois vertes et violacées associées à du gypse et du sel. En effet, ces affleurements sont effectivement nombreux, mais ils sont recouverts par des alluvions caillouteuses et du poudingue tertiaire, qui forment la majeure partie du sol de la plaine d'Ain-Temouchent ;
- ✘ **Lias** est généralement représenté par du calcaire. Ils forment les deux principaux Djebel Touita et D'har El Mendjel. Ces calcaires affleurent en larges lits gris ou gris-bleu, très fissurés, entrecoupés localement de nombreuses veinules de calcite. Plus haut, les calcaires cèdent la place à des dolomies de même âge. à des dolomies de même âge, plus compactes et tachetées ;
- ✘ **Schistes d'âge Callovo-Oxfordien** : Il s'agit de schistes verdâtres intercalés de filonnets de calcite, parfois fer rugineuses et de lentilles de quartzites. Ces formations forment la base des massifs de Djebel Touita et de D'Har El Mendjel ;
- ✘ **Néocomien** correspond à des schistes et des quartzites, des schistes argileux avec des intercalations de lentilles de quartzites ;

- ✗ **Miocène** : La discordance du Miocène post-nappe est avec le Miocène synchro-nappe et affleure à la Plâtrière (village Emir Abdelkader). Quelques étapes sédimentaires d'apparition de gypse, de formations volcaniques (laves et pyrite), de formations volcaniques (laves et pyroclastes), d'apparition de récifs, et de disparition. Trias et blocs exogènes;
- ✗ **Pliocène discordant post-nappes** est discordante avec le Miocène. Il s'agit d'un grès mollassique jaunâtre, post-nappe. Ce grès fossilifère d'Astien contient de nombreuses espèces de faune ; il est riche en pectens, huîtres et autres bio-clastes, comme des débris de bivalves ;
- ✗ **Le Quaternaire** est représenté par un limon qui se dépose dans les courbes à fond plat.

A l'échelle de la ville, nous distinguons la présence de la formation Pléistocène (Fig. II.5).

II.1.4. Hydrologie de la zone d'étude

Le réseau hydrographique est marqué par une indigence. Les importants axes hydrographiques traversant la commune d'Ain-Temouchent, ainsi que notre périmètre étude sont (Fig. II.6) :

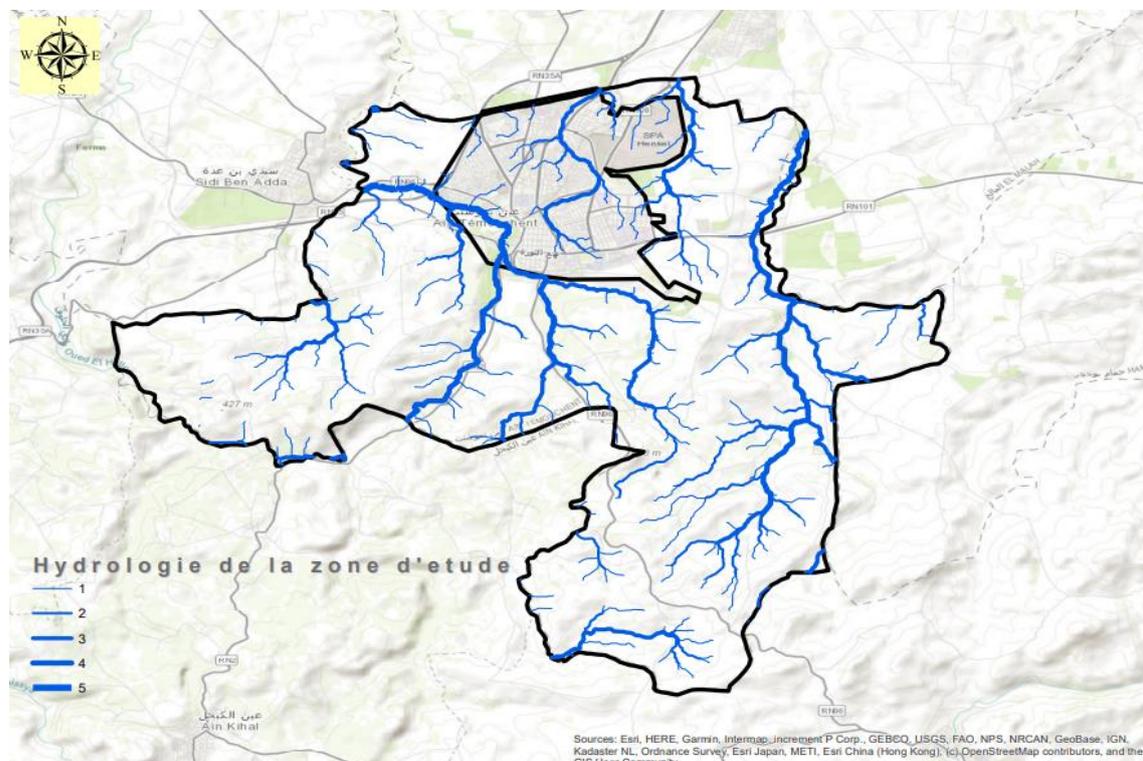


Fig. II.6. Réseau hydrographique de la Commune et ville d'Ain-Temouchent.

- ✗ **Oued Sennane** qui prend sa source dans les monts de Tessala au Sud, pour s'orienter vers le Nord. Son cours est parallèle à la RN2 au Sud-Est passant à la limite de l'agglomération d'Ain-Temouchent. A la sortie de cette agglomération, il prend une direction Ouest vers Sidi Benadda pour se revenir ensuite vers le Nord pour rejoindre l'Oued El Malah avant de se jeter à la mer au niveau de la plage de Terga ;
- ✗ **Oued Chaabat**, plusieurs autres Chaabat traversent la commune avant d'aller rejoindre l'Oued Sennane accentuant ainsi la topographie très accidentée de la commune.

II.1.5. Hydrogéologie de la zone d'étude

Les structures complexes du sol dans la zone fortement marquée par la discrimination tectonique des formations souterraines peuvent servir de réservoirs pour les eaux souterraines.

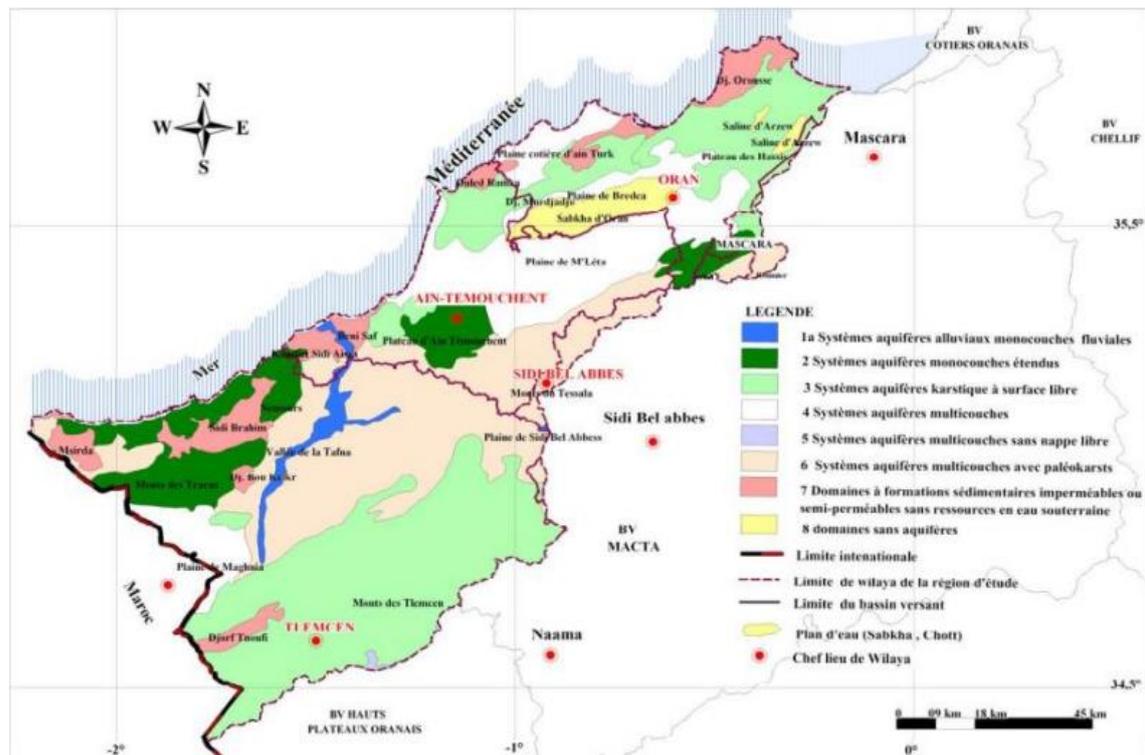


Fig. II.7. Système aquifère de la zone d'étude

Dans la zone étudiée, les eaux souterraines s'écoulent dans de vastes systèmes monocouches avec une nappe phréatique à peu près libre dans des formations de grès, de sable ou de carbonate non calcaires. Les bassins fluviaux de taille moyenne avec des cours d'eau

permanents se caractérisent à leur tour par des réserves et des capacités de régulation moyennes et élevées. (Fig. II.7).

II.1.6. Caractéristique climatique de la zone d'étude

Le climat est la somme des conditions atmosphériques dans une région donnée sur une longue période (Sighomnou, 2014), y compris les pressions, les températures, les niveaux d'humidité, les types de précipitations, l'insolation et les vents. En fait, on considère que le climat sera responsable de l'affectation des cycles végétatifs des cultures ou des besoins en eau, qui pourraient être susceptibles d'être gaspillés (Amraoui, 2015). Les caractéristiques climatiques de la région sont donc analysées en fonction de cette évolution.

Dans cette étude, les données climatologiques nous ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (AN.R.H) (Tableau II.1).

Tableau II.1. Situation de la station pluviométrique d'Ain Temouchent.

| Code | Longitude (Km) | Latitude (Km) | Altitude (m) |
|-------|----------------|---------------|--------------|
| 40205 | 153 500 | 227 000 | 310 |

II.1.6.1. Paramètres climatiques

A. Précipitations

La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. Dans cette étape, nous analysons la pluviométrie aux différentes échelles de temps

A.1. Précipitations interannuelles

La moyenne annuelle à la station pluviométrique d'Ain-Temouchent reste à 455,3 mm. Par ailleurs, l'analyse des précipitations annuelles montre que le niveau des précipitations peut varier d'une année à l'autre, avec un minimum de 268,4 mm atteint en 1993/1994, et un maximum de 520 mm en 1927/28. Cette tendance montre qu'il existe une tendance générale régressive à la baisse des précipitations (Fig. II.8).

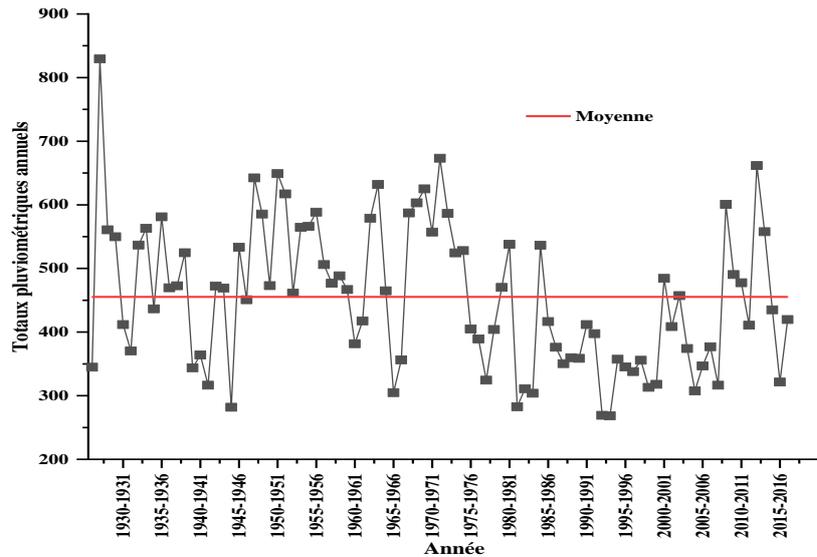


Fig. II.8. Variations des totaux pluviométriques annuels enregistrées au niveau de la station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17).

A.2. Précipitations intra-annuelles

Sur une période de 91 ans (1926/27-2016/17), les variations mensuelles des précipitations, illustrées par la figure II.9 ci-après, révèlent un maximum en décembre. Le minimum correspond aux mois de juillet avec des moyennes mensuelles de 5 mm.

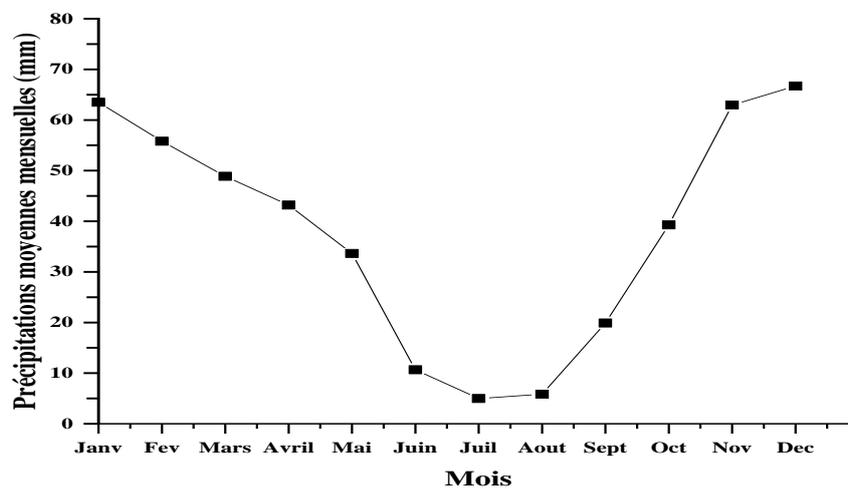


Fig. II.9. Variations des précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17).

A.3 Précipitations saisonnières

Un climat ne peut être qualifié de méditerranéen que si, et seulement si, la somme totale des modules de précipitations estivales s'avère être la plus faible par rapport aux autres modules

climatiques saisonniers. Dans la symbiose de MUSSET pour qu'un désignateur soit de type - - -E, il faut qu'il soit qualifié de climat méditerranéen (Amraoui, 2015).

On note dans le tableau II.2 ci-dessus que les régimes pluviométriques sont de type Hivernale-Printanier, ou **HPAE** selon la classification de Karl. Elle se rétracte de 1926 à 2016 mais s'identifie, en général, à deux périodes très marquées dans la pluie : pluvieuse, avec deux successions de saisons (hiver-printemps), et moins pluvieuse ou parfois sèche, avec deux successions de saisons (été-automne).

Tableau II.2. Répartition saisonnière des précipitations. Station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17).

| Saisons | Automne | | | Hiver | | | Printemps | | | Eté | | |
|---------|---------|------|------|-------|------|------|-----------|------|------|------|-----|-----|
| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
| P (mm) | 19,9 | 39,3 | 62,9 | 66,7 | 63,5 | 55,8 | 48,9 | 43,2 | 33,6 | 10,7 | 5,0 | 5,8 |
| | 122,1 | | | 186,0 | | | 125,7 | | | 21,5 | | |
| % | 26,82 | | | 40,85 | | | 27,61 | | | 4,72 | | |

B. Température

La température enregistrée en août a présenté, en fait, la valeur la plus élevée des années 1926/27 à 2016/17. La température moyenne la plus basse enregistrée a été de 11,9°C en janvier. La moyenne annuelle à long terme est de 19,2°C (Fig. II.10).

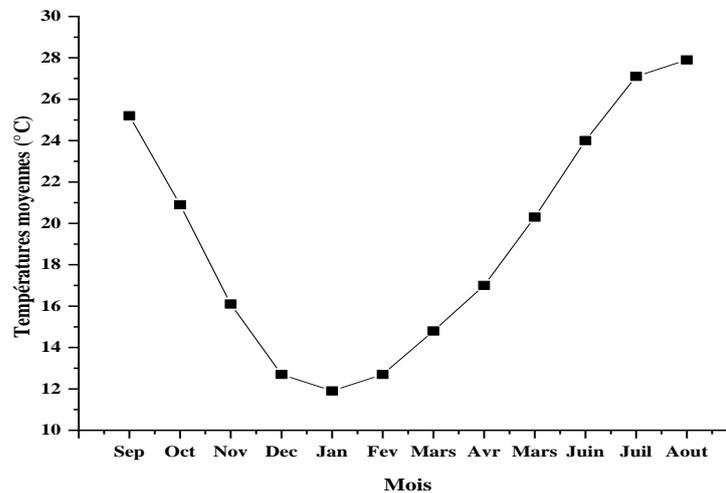


Fig. II.10. Répartition des températures moyennes des moyennes. Station d'Ain-Temouchent (1926/27-2016/17).

II.1.7. Occupation du sol de la zone d'étude

La commune d'Ain-Temouchent se caractérise par une prédominance des surfaces de cultures plantées, occupant 71% de son territoire, suivies par les bâtiments qui représentent 15%, et les terres cultivées couvrant 14% de l'espace. En considérant la superficie totale de

la ville, qui s'étend sur 2,377 km², les surfaces bâties occupent 12% de cette étendue et les terres cultivées 76 %.

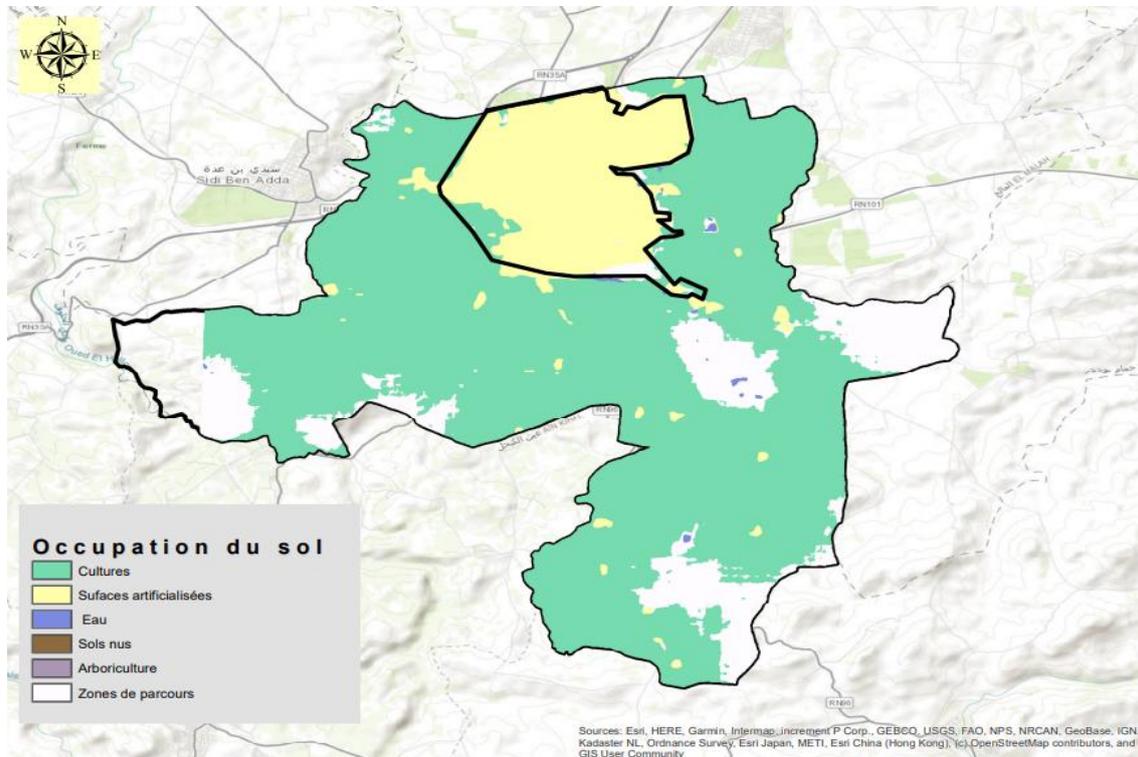


Fig. II.11. Occupation du sol de la Commune et ville d'Ain-Temouchent.

II.1.8. Situation démographique et urbaine de la ville d'Ain-Temouchent

Grâce à son dynamisme agricole, la région d'Ain-Temouchent a pu maintenir une population rurale significative, concentrée dans plusieurs agglomérations rurales, douars et fermes, bénéficiant de conditions socio-économiques favorables dans les zones rurales.

Le poids démographique très modeste de la wilaya diminuerait fortement son rôle dans la structuration spatiale de la région elle-même, dans laquelle elle se trouve et qui occupe une position de trait d'union entre des zones différenciées et inégalement développées. L'émigration des populations des grandes villes ne cesse guère de se déplacer vers les petites villes et les campagnes, alors que la volonté de promouvoir les zones peu peuplées et les centres ruraux a sûrement été présente dans l'esprit des autorités locales.

Conclusion

Le deuxième chapitre compile les informations essentielles relatives à la zone d'étude, notamment d'un point de vue géographique, topographique, de l'occupation du sol, etc. Ces données seront utilisées pour analyser et élaborer les chapitres suivants.

Chapitre III

ETUDE

HYDROLOGIQUE

Chapitre III

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction

Cette partie de ce projet de fin d'études vise principalement à établir les intensités moyennes maximales en se basant sur l'étude de l'averse la plus importante afin d'estimer la quantité de pluie dans notre zone d'étude.

III.1. Choix de la période de retour

La probabilité est le nombre d'événements favorables et la durée totale. La période de régression a donc une dimension temporelle. Si on construit des statistiques pour la crue maximale annuelle (un débit par an), la fréquence au non dépassement 0,9 pendant la période de retour. $T = \frac{1}{1-0,9} = 10$ ans.

Ce type d'inondation se produit en moyenne une fois tous les dix ans. En revanche, une inondation dont l'ampleur ne dépasse pas 10 % de la fréquence des inondations au non dépassement à une période de retour 10 ans, même si l'on peut penser qu'une telle inondation ne se produira pas en moyenne une fois tous les dix ans.

III.2. Détermination de l'intensité moyenne de précipitation

L'intensité des précipitations à l'instant t est définie comme l'écoulement de l'eau à travers une seule section horizontale. Exprimée en unités de temps. Ainsi, pour calculer le débit maximal au point P, le concepteur a besoin de connaître l'intensité moyenne maximale correspondant à l'intervalle Δt de référence et à laquelle le temps de concentration du bassin en amont est atteint ou dépassé en P une fois en n années. La définition est donc liée à l'intensité moyenne à la hauteur de la chute d'eau dans un intervalle de temps donné, à savoir:

$$i_m = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (\text{III. 1})$$

Les étapes qui seront suivies sont dérivées des données pluviométriques fournies. Tout d'abord, il convient d'analyser les données avant d'effectuer des calculs. Ensuite, nous devons choisir une loi d'ajustement et calculer les paramètres de la loi choisie. Enfin, nous calculons la valeur moyenne de l'intensité à partir des données pluviométriques fournies.

III.2.1. Analyse des données pluviométriques et choix du type de la loi d'ajustement

III.2.1.1. Analyse des données statistiques

Dans l'étude de cas présentée, il est extrêmement important d'analyser les séries de précipitations des valeurs maximales journalières sur la période la plus longue possible. Nous avons pris comme base de calcul la série pluviométrique de la station pluviométrique d'Ain-Temouchent, les coordonnées géographiques selon la projection Lambert et la période d'étude sont mentionnées dans le tableau III.1.

Tableau III 1. Coordonnées géographiques et période d'étude des données pluviométriques journalières maxima de la station d'Ain-Temouchent.

| Code | Station | X(m) | Y(m) | Z(m) | Nbre d'observation | Période d'observation |
|------|----------------|--------|--------|------|--------------------|-----------------------|
| | Ain-Temouchent | 153500 | 227000 | 310 | 53 | 1970/71-2022/23 |

L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observation de précipitations mensuelles et maximales journalières de 53 ans (1970/71 - 2022/23) (Tableau III.2 et Fig. III.1).

Tableau III 2. Caractéristiques statistiques des données pluviométriques mensuelles et annuelles maximas. Station d'Ain-Temouchent (1970/71-2022/23).

| | Min (mm) | Max (mm) | Moy. (mm) | Mediane (mm) | Ecart type (mm) | 25 prcntil (mm) | 75 prcntil (mm) | Coeff. Var (mm) |
|--------|----------|----------|-----------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| SEPT. | 0,0 | 108,8 | 11,9 | 5,8 | 19,2 | 0,85 | 13,28 | 161,34 |
| OCT. | 0,0 | 104 | 24,1 | 15 | 24,7 | 5,25 | 25 | 102,48 |
| NOV. | 0,0 | 82 | 27,3 | 23,2 | 17,3 | 14,75 | 32,12 | 63,36 |
| DÉC. | 0,0 | 90,7 | 32,2 | 26 | 25,03 | 10,35 | 38,04 | 77,73 |
| JANV. | 0,0 | 94,6 | 35,2 | 30 | 24,9 | 12,6 | 49,56 | 70,73 |
| FÉVR. | 0,0 | 97,2 | 30,6 | 22,5 | 27,7 | 9,95 | 34,76 | 90,53 |
| MARS | 0,0 | 102 | 36,6 | 22 | 30,2 | 12,25 | 54,64 | 81,96 |
| AVR. | 0,0 | 121 | 29,1 | 17,6 | 28,6 | 9,75 | 42,9 | 98,28 |
| MAI. | 0,0 | 102 | 18,7 | 14,3 | 20,8 | 4,75 | 20,76 | 111,22 |
| JUIN. | 0,0 | 57,4 | 5,4 | 0,3 | 10,8 | 0 | 5,08 | 200 |
| JUIL. | 0,0 | 22,9 | 1,03 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 349,5 |
| AOÛT. | 0,0 | 18,4 | 1,5 | 0 | 3,7 | 0 | 0,58 | 246,6 |
| TOTAUX | 27,5 | 121 | 74,4 | 2,92 | 21,3 | 61,8 | 88,3 | 28,7 |

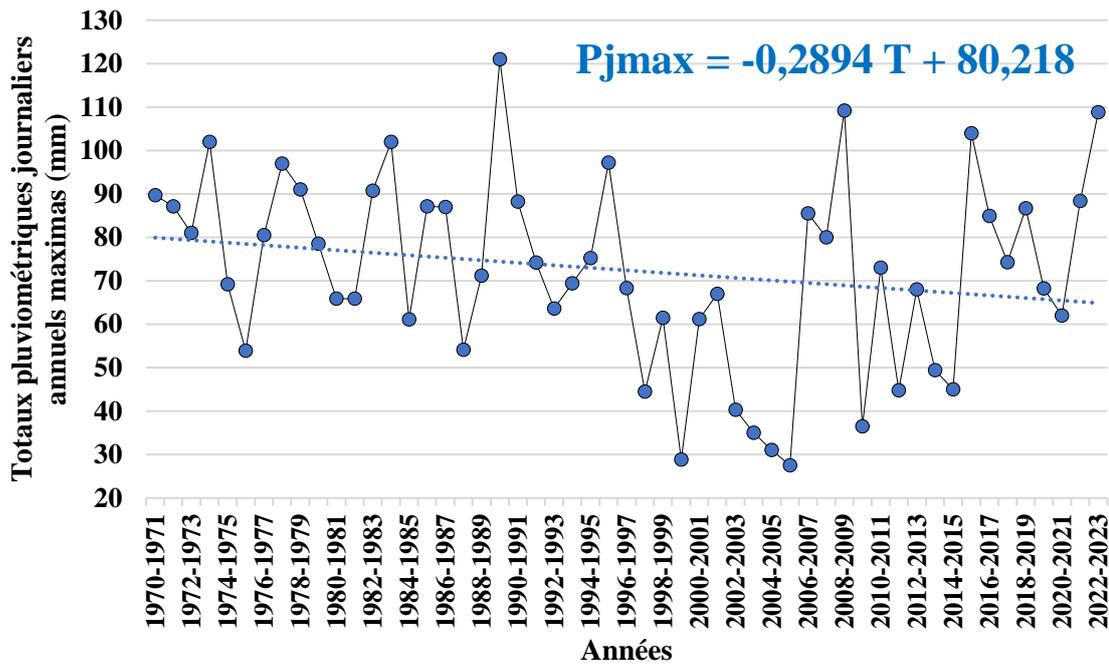


Fig. III.1. Variation des totaux pluviométriques journaliers annuels maxima enregistrés au niveau de la station d’Ain-Temouchent (1971/72-2022/23).

Durant la période 1970/71-202/23, la station d’Ain-Temouchent a enregistré une valeur maximale de 121 mm (1989/90) et une valeur minimale de 27,5 mm (2006/07). La droite de régression présente une tendance à la baisse durant cette période (Fig. III.1).

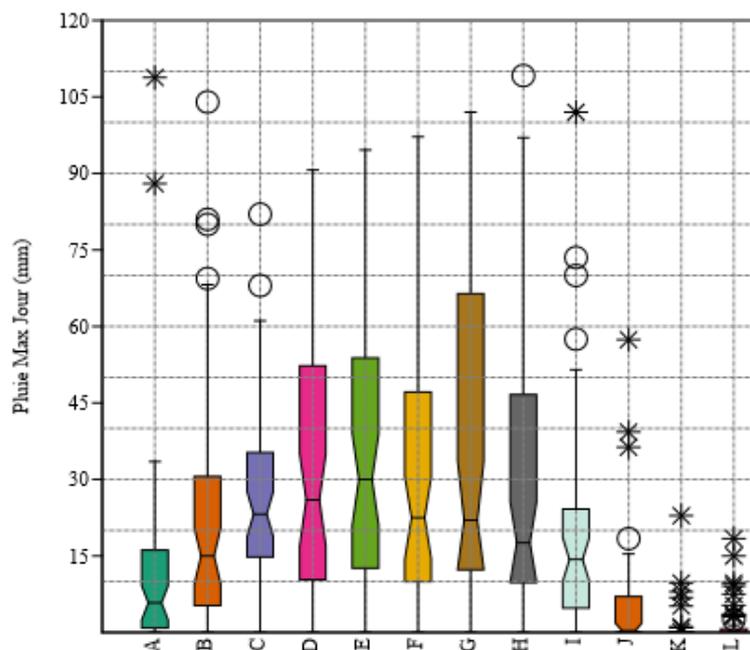


Fig. III.2. Boite à moustaches des totaux pluviométriques mensuels maxima journalières enregistrés au niveau de la station d’Ain-Temouchent (1971/72-2022/23).

D'après la figure III.2, la période estivale présente plus des valeurs aberrantes que les autres mois. Le maxima des maximas est enregistré au mois d'Avril. Les mois automnaux et estivaux présentent plus de variabilité.

III.2.1.2. Vérification de l'homogénéité de la série - Test de Wilcoxon

Nous avons appliqué le test de Wilcoxon pour vérifier la qualité de notre série de données. C'est un test non paramétrique car il ne nécessite pas d'estimation de la moyenne et de la variance. En fait, il n'utilise même pas les valeurs xi recueillies dans la série, mais seulement leur rang dans la liste or ordonnée de toutes les valeurs, pour cela on le nomme test non-paramétriques. Nous avons commencé par diviser notre série des précipitations maximas en deux échantillons de longueurs respectives $N_1 = 23$ valeurs et $N_2 = 30$ valeurs ($N = N_1 + N_2 = 23 + 30 = 53$).

Le calcul de la statistique du test de Wilcoxon, nous a donné les résultats suivants, sachant que le test est appliqué pour un seuil de signification de 5% :

$$W_x = \sum \text{Rang } x = 715 \quad (\text{III.2})$$

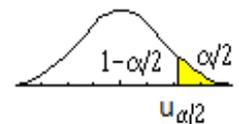
Des deux bornes W_{\min} et W_{\max} , données par les formules suivantes:

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - u_{\frac{1-\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (\text{III.3})$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{\min} \quad (\text{III.4})$$

$u_{\frac{1-\alpha}{2}}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale

correspondant à $\frac{1-\alpha}{2}$ (au seuil de 95 %, nous avons = 1,96).



Après calcul, nous avons trouvé que : $W_{\min} = 484,78$ et $W_{\max} = 757,22$

On vérifie l'inégalité: $W_{\min} < W_x = \sum \text{Rang } x < W_{\max}$ c'est-à-dire :

$$484,78 < 715 < 757,22$$

Donc, nous concluons que notre série des précipitations des pluies maximales de la station d'Ain-Temouchent est **homogène**.

III.2.2. Calcule du paramètre de la loi choisie

Dans cette étape, nous avons utilisé le logiciel Hyfran plus pour ajuster notre série de données à la loi de probabilité. L'ajustement a été appliqué en utilisant la méthode des moments à un seuil de signification de 5%.

III.2.2.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normale

La loi log normale a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivant :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \tag{III. 5}$$

Ou :

$$u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \quad ; \quad u = \frac{\log x - \overline{\log x}}{\sigma_{\log x}} \tag{III. 6}$$

Avec,

- F(x) : Fréquence au non dépassement.
- u : La variable réduite de Gauss.

L'équation de la droite de la loi log normale est donnée par la relation suivante :

$$\log x_{p\%} = \overline{\log x} + \sigma_{\log x} u \tag{III.7}$$

Avec :

$\overline{\log x}$: La moyenne de la série log xi.

$\sigma_{\log x}$: Ecart type de la série log xi.

– Calcul des paramètres d'ajustement à la loi log normale

$$\overline{\ln x} = \frac{\sum_{i=1}^{n-36} \ln x_i}{n} \Rightarrow \overline{\ln x} = 4,26 \text{ mm} \text{ et } \sigma_{\ln x} = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-36} (\ln x_i - \overline{\ln x})^2}{n}} \right] \Rightarrow \sigma_{\ln x} = 0,33 \text{ mm}$$

L'équation totale devient : $\ln x = \overline{\ln x} + \sigma_{\ln x} u \Rightarrow \ln x = 4,26 + 0,33 u$

L'ajustement graphique de la loi log normale est représenté par la figure III.3.

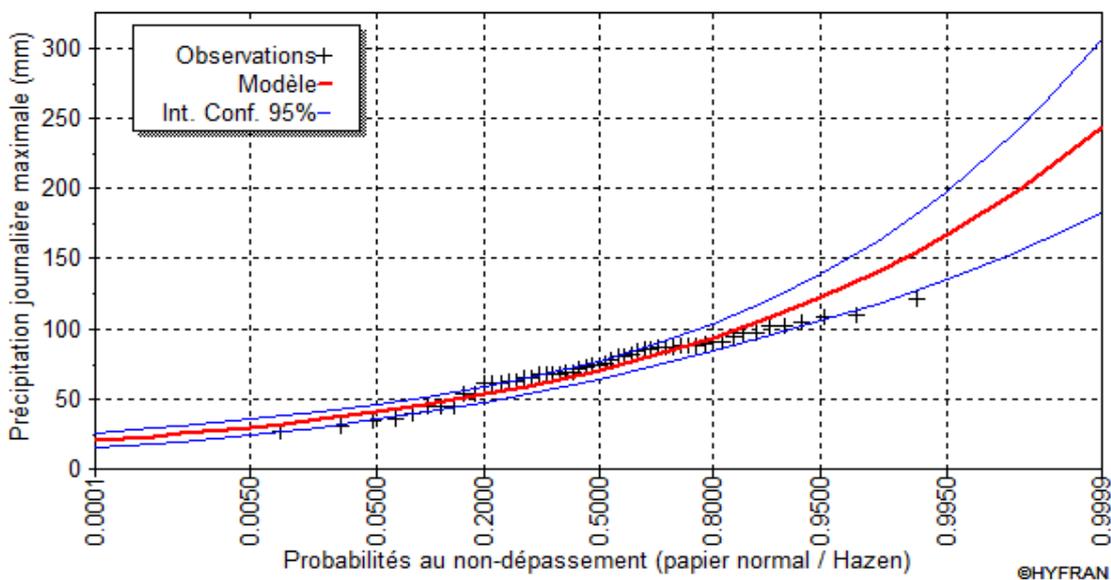


Fig. III.3. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi log-normale (1971/72-2022/23).

L'ajustement graphique (Fig. III.3) montre que la loi log normale n'ajuste pas notre échantillon de données. De la même façon, nous avons appliqué le test Khi-deux pour approuver ce résultat. Ainsi, à un seuil de signification de 5 %, le test de khi-deux rejette l'hypothèse que l'échantillon ne provient pas d'une loi log-normale. La série des pluies journalières maximales de la station d'Ain-Temouchent n'est pas ajustée par la loi de log-normale (Fig. III.4).

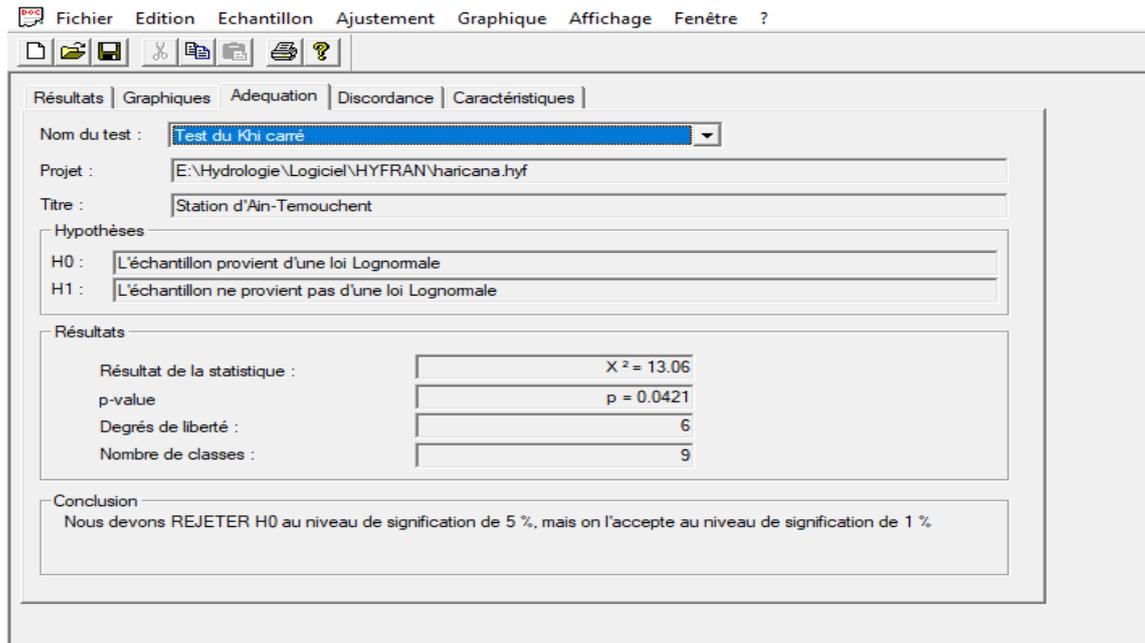


Fig. III.4. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi log-normale (1971/72-2022/23).

III.2.2.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

La fonction de la répartition de la loi de Gumbel est de la forme :

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (\text{III. 8})$$

$$\text{Avec, } Y = \frac{\alpha}{(P-P_0)} \quad (\text{III. 9})$$

P : Précipitation maximale journalière (mm) ;

P₀: Ordonnée à l'origine en (mm);

Y : Variable réduite de Gumbel.

La variable réduite de Gumbel est calculé par la formule suivante :

$$Y_i = -\text{Ln}(-\text{Ln}(F(x))) \quad (\text{III. 10})$$

– Calcule des paramètres d'ajustement par la loi de Gumbel

L'équation de la droite de Gumbel est donnée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{\alpha} y + P_0 \quad (\text{III. 11})$$

Avec :

$\frac{1}{\alpha}$: Pente de la droite de Gumbel ; P_0 : Ordonnée l'origine.

$$\frac{1}{\alpha} = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi}\right) \cdot \sigma_x = 0,779 \cdot \sigma_x \Rightarrow \frac{1}{\alpha} = \mathbf{16,64 \text{ mm}} \quad (\text{III. 12})$$

$$P_0 = \bar{P} - \frac{1}{\alpha} \cdot \bar{y} \Rightarrow \mathbf{P_0 = 64,47 \text{ mm}}$$

$$\text{La droite de Gumbel devient : } \mathbf{P_{\max,j,p\%} = 16,64 y + 64,47} \quad (\text{III. 13})$$

L'ajustement graphique de la loi de Gumbel est représenté par la figure III.5.

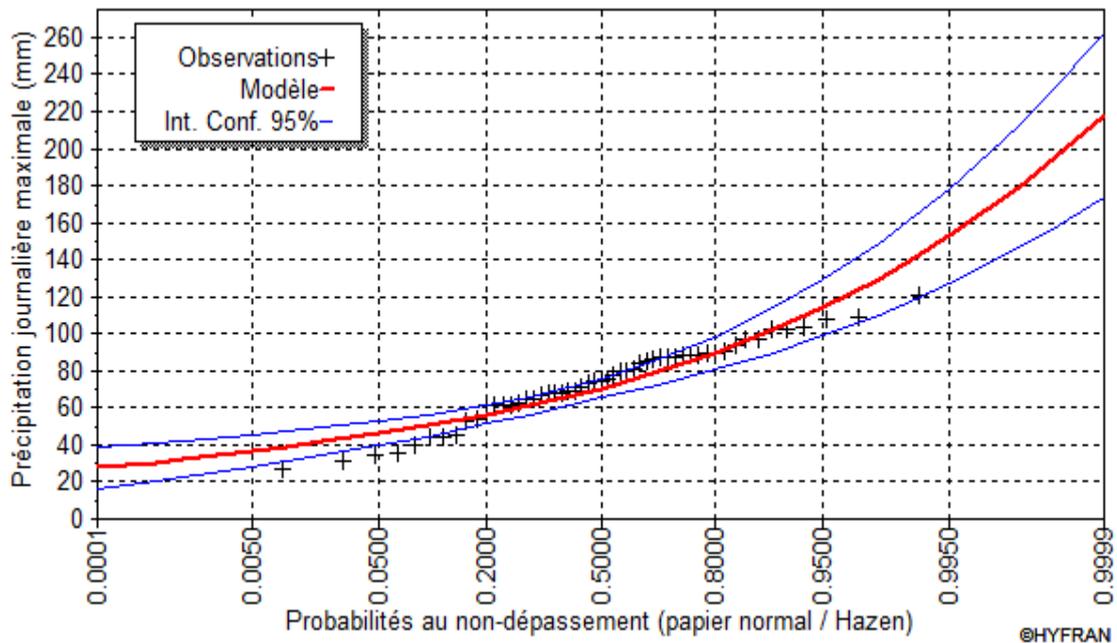


Fig. III.5. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Gumbel (1971/72-2022/23).

Plus l'ajustement graphique, nous avons appliqué le test Khi-deux pour valider l'ajustement analytiquement. Ainsi, à un seuil de signification de 5 %, le test de khi-deux accepte l'hypothèse que la série des pluies journalières maximales s'ajuste à la loi de Gumbel (Fig. III.6).

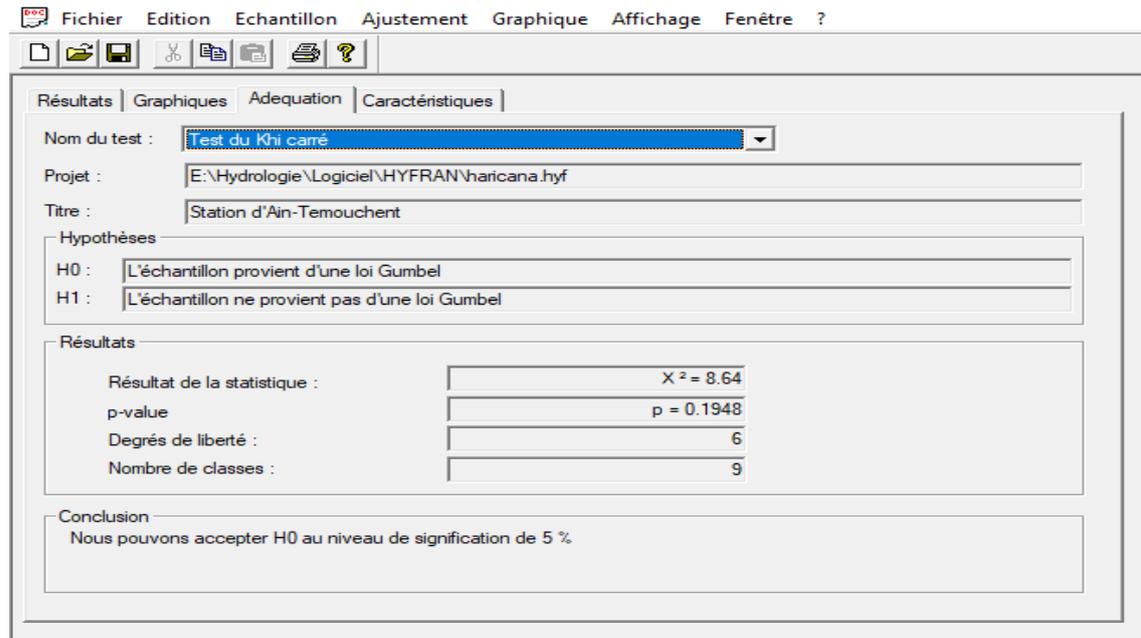


Fig. III. 6. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Gumbel (1971/72-2022/23).

Le résultat de l'ajustement de notre série des précipitations journalières maximas de la station à la loi de Gumbel est résumé dans le tableau III.1.

Tableau III. 1. Ajustement de la série pluviométrique journalière maximas à la loi log de Gumbel.

| Période de retour (ans) | Probabilité (q) | P _T (mm) | Ecart type | Int. Confiance 95% |
|-------------------------|-----------------|---------------------|------------|--------------------|
| 100 | 0,9900 | 141 | 11,5 | 118-164 |
| 50 | 0,9800 | 129 | 9,88 | 110-149 |
| 20 | 0,9500 | 114 | 7,73 | 98,7-129 |
| 10 | 0,9000 | 102 | 6,12 | 89,9-114 |
| 5 | 0,8000 | 89,4 | 4,53 | 80,5-98,3 |
| 3 | 0,6667 | 79,5 | 3,42 | 72,8-86,2 |
| 2 | 0,5000 | 70,6 | 2,69 | 65,3-75,8 |

Avec ; $q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement) et $T = 1/(1-q)$.

III.2.2.3. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Weibull

La fonction de la répartition de la loi de Weibull est de la forme :

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{x-u}{\alpha}\right)^{\frac{1}{K}-1} e^{-\left(1-K\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)^{\frac{1}{K}}\right)} \quad (\text{III. 14})$$

Avec,

α : Gradex ou le paramètre d'échelle ;

u: Paramètre de position ;

K : Paramètre de forme.

La variable réduite de Gumbel est calculé par la formule suivante :

$$Y_i = -\text{Ln}(-\text{Ln}(F(x))) \quad (\text{III. 15})$$

$$\text{La droite de Weibull devient : } P_{\text{max},p\%} = 3,88 y + 81,86 \quad (\text{III. 16})$$

L'ajustement graphique de la loi de Weibull est représenté par la figure III.7.

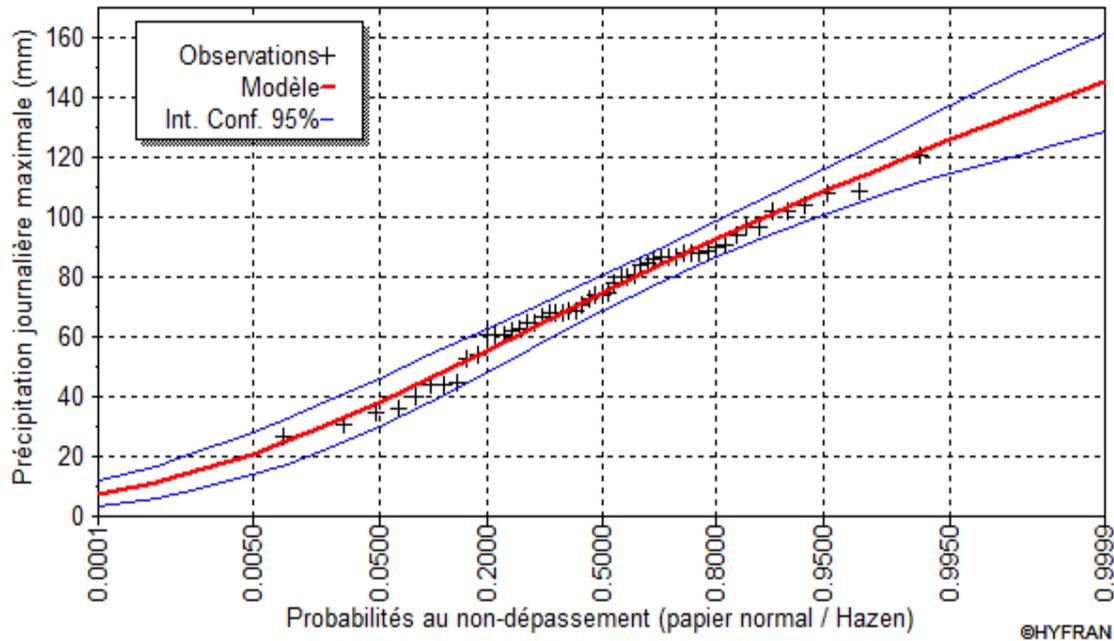


Fig. III. 7. Ajustement graphique de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Weibull (1971/72-2022/23).

Plus l'ajustement graphique, nous avons appliqué le test Khi-deux pour valider l'ajustement analytiquement. Ainsi, à un seuil de signification de 5 %, le test de khi-deux accepte l'hypothèse que la série des pluies journalières maximas s'ajuste à la loi de Weibull (Fig. III.8).

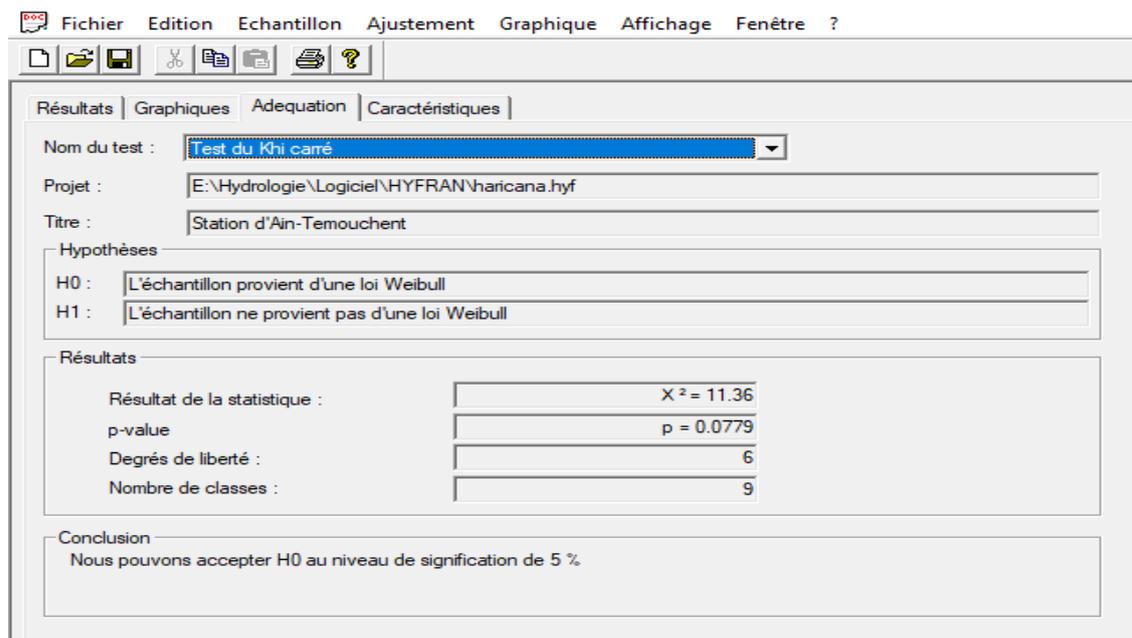


Fig. III. 8. Ajustement analytique (Test de khi-deux) à un seuil de 5% de la série pluviométrique journalière maximale de la station d'Ain-Temouchent à la loi de Weibull (1971/72-2022/23).

Le résultat de l'ajustement de notre série des précipitations journalières maximas de la station à la loi de Weibull est résumé dans le tableau III.2.

Tableau III. 2. Ajustement de la série pluviométrique journalière maximas à la loi log de Weibull.

| Période de retour (ans) | Probabilité (q) | P _T (mm) | Ecart type | Int. Confiance 95% |
|-------------------------|-----------------|---------------------|------------|--------------------|
| 100 | 0,9900 | 121 | 5,26 | 111-132 |
| 50 | 0,9800 | 116 | 4,70 | 107-126 |
| 20 | 0,9500 | 109 | 3,95 | 101-116 |
| 10 | 0,9000 | 101 | 3,42 | 94,8-108 |
| 5 | 0,8000 | 92,5 | 3,02 | 86,6-98,4 |
| 3 | 0,6667 | 83,9 | 2,93 | 78,1-89,6 |
| 2 | 0,5000 | 74,5 | 3,11 | 68,4-80,6 |

Avec ; $q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement) et $T = 1/(1-q)$.

III.2.2.4 Comparaison les lois d'Ajustements pour la Station d'Ain-Temouchent

Pour appuyer notre résultat, les tests d'adéquation pour les deux lois de Gumbel et la loi de Weibull ont été appliqués (Fig. III.9). Les résultats montrent que les droites d'ajustement s'alignent bien avec les nuages de points expérimentaux. Après comparaison entre les valeurs expérimentales et théoriques de chaque loi, il est apparu que la loi log-normale était la plus adaptée, justifiant ainsi notre choix d'utiliser cette loi.

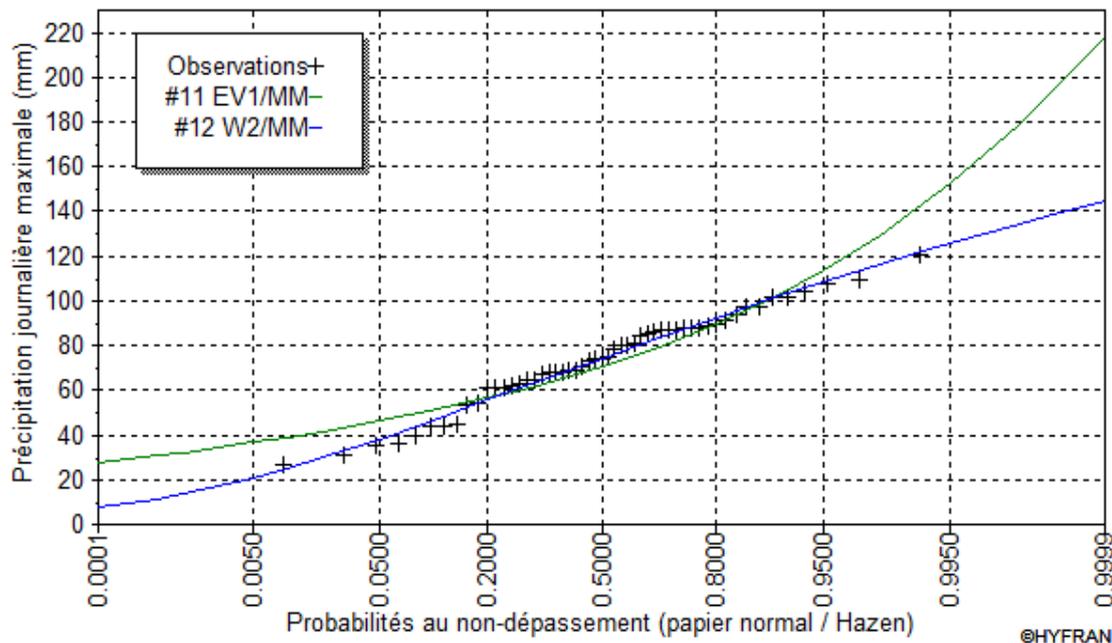


Fig. III.9. Comparaison entre les courbes d'ajustements des deux lois de Gumbel et la loi de Weibull de la station d'Ain-Temouchent (1970/71-2022/23).

Le tableau III.3 présente aussi une comparaison analytique des critères entre les deux lois, Gumbel et Weibull.

Tableau III. 3. Critère de comparaison des lois (toutes égales)

| Modèle | Nb paramètre | P_T (mm) | P(Mi) | P(Mi/x) | BIC | AIC |
|---------|--------------|------------|-------|---------|-------|-------|
| Gumbel | 2 | 141 | 50 | 0 | 502,9 | 498,9 |
| Weibull | 2 | 121,3 | 50 | 100 | 480,7 | 476,8 |

Avec,

- P(Mi) : probabilité a priori ;
- P (Mi/x) : probabilité a posteriori (Méthode de Schwarz) ;
- BIC : critère d'information Bayésien ;
- AIC : critère d'information Akaike ;
- Moyenne pondérée par la probabilité a posteriori des quantiles (121,3).

Les résultats du tableau III.3 montrent que le quantile estime P_T étant de 121,3 mm est celui observé est de 121,3 m. Nous en déduisons donc que la loi de Weibull est la plus appropriée pour ajuster la série des données journalières maxima à la station d'Ain-Temouchent sur la période 1970/71-2022/23.

III.2.3. Pluies de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courtes durées est effectué au Moyen de la formule K. Body (ANRH 1984).

$$P_{tc} = P_{maxj} \left(\frac{t}{24}\right)^{\frac{1}{m}} \tag{III.14}$$

Avec ;

t : durée de l'averse ;

m : coefficient climatique.

Les intensités maximales de période t (h) et période de retour T (ans) sont calculées par la Relation :

$$I_t = \frac{P_{tc}}{t} \tag{III.15}$$

Les précipitations et les intensités maximales pour différentes période de retour ainsi que leurs intensités maximas sont représentés dans les figures III.10 et 11.

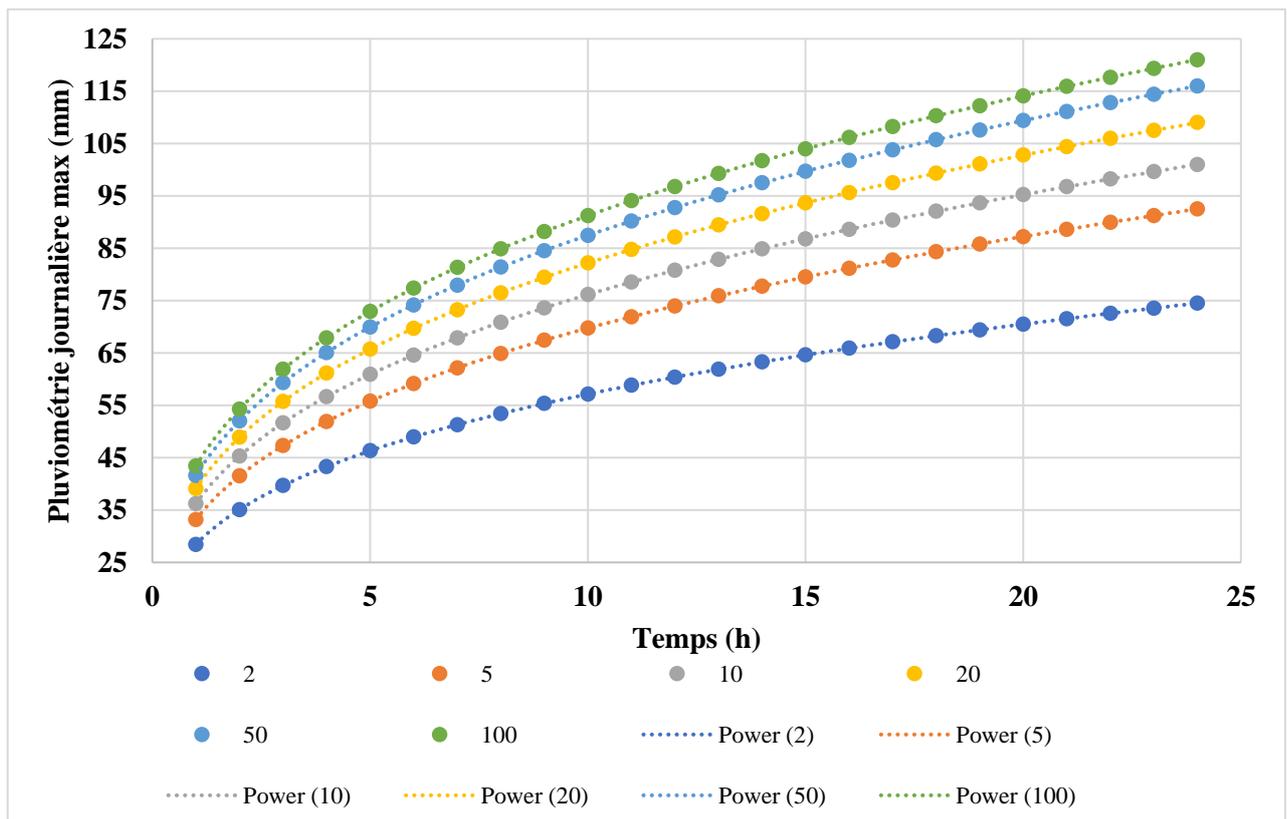


Fig. III. 10. Courbes des pluies fréquentielles.

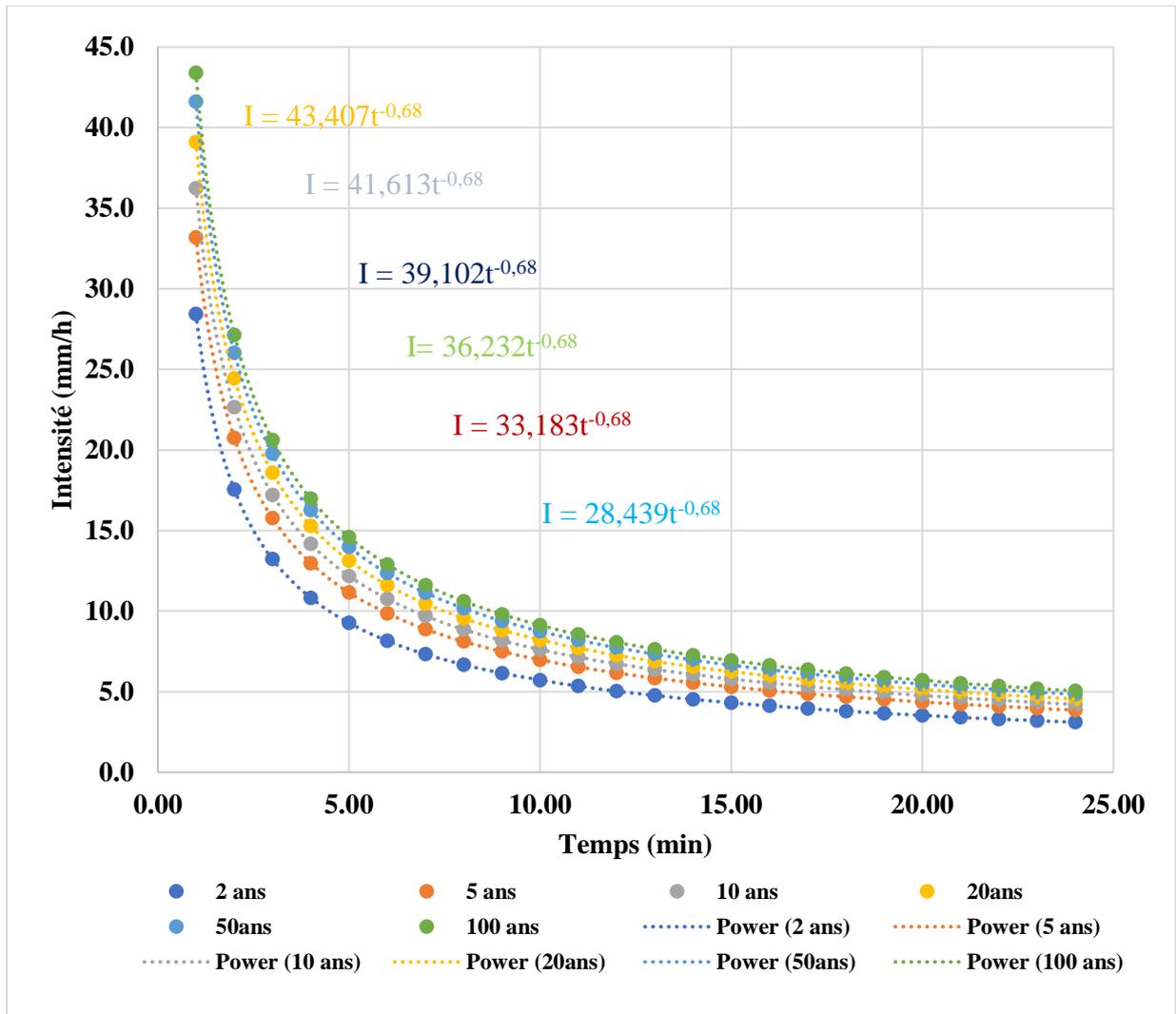


Fig. III.11. Courbes intensité -durée -fréquence.

Les résultats de calcul montrent que plus la période de retour augmente plus l'intensité augmentée elle aussi

Conclusion

La série des pluies journalières maximales de la station d'Ain-Temouchent a été analysée statistiquement dans ce chapitre afin de l'adapter à une loi de probabilité appropriée. Grâce à cette analyse, nous avons ensuite pu évaluer l'intensité, la durée et la fréquence pendant une période allant de 1970/71 à 2022/23.

Chapitre IV

**CARTOGRAPHIE DU
RISQUE AUX
INONDATIONS**

Chapitre IV

CARTOGRAPHIE DU RISQUE AUX INONDATIONS

Introduction

L'évaluation des risques d'inondation est un processus complexe impliquant de nombreux facteurs et critères à prendre en compte. La méthode d'analyse multicritère hiérarchique (AHP) offre un cadre méthodologique robuste pour structurer ce problème et combiner de manière cohérente les différents critères influençant les risques d'inondation.

Ce chapitre présente en détail les principes théoriques de la méthode AHP, ses étapes de calcul et de résolution, ainsi que ses avantages et inconvénients. La méthode est ensuite appliquée à un cas d'étude concret, la ville d'Ain-Temouchent en Algérie, en intégrant différents critères géospatiaux tels que la topographie, l'hydrologie, la pluviométrie, l'occupation des sols et les indices de végétation. Les cartes de risque d'inondation obtenues sont validées par une approche statistique (courbes ROC-AUC) ainsi que par des données terrain de la protection civile.

IV.1. Méthode d'analyse multicritère hiérarchique

La méthode AHP est une méthode multicritères adaptée aux problèmes non structurés comportant plusieurs solutions satisfaisant un ensemble de critères et d'alternatives possibles. Il est recommandé pour la résolution de problèmes complexes. Il permet de déconstruire un problème de manière logique en passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur jusqu'à ce que l'on parvienne à une comparaison simple pour chaque paire de critères, après quoi l'on peut revenir au niveau supérieur pour prendre une décision. Sa force réside plutôt dans la catégorisation et la normalisation des critères, suivies d'une pondération, d'un contrôle de cohérence, puis de l'agrégation de ces critères sous la forme d'une carte de décision et d'une synthèse (Saaty, 1980)

IV.2. Principes de la méthode AHP

La méthode repose sur l'évaluation 2×2 des éléments du problème, qui sont organisés en tableaux de comparaison. Les éléments sont définis à chaque niveau de la hiérarchie. Alors qu'au niveau zéro « 0 », les tableaux de comparaison des critères sont définis par l'utilisateur, au premier niveau, les sous-critères sont identifiés au moyen des tableaux de comparaison alternatifs des critères. Enfin, le deuxième niveau sert à définir les tableaux de comparaison alternatifs des critères et/ou sous-critères. L'ensemble de ces tableaux constitue le plan d'expérience pour une analyse AHP. Les principes fondamentaux de la méthode AHP sont énumérés sommairement par :

- ✗ Structuration hiérarchique (classes - critères - poids).
- ✗ Structuration des priorités (sous critères - rangs).
- ✗ Cohérence logique.
- ✗ Méthode semi-quantitative.

Une telle méthode s'articule essentiellement autour de trois étapes, à savoir :

1. **Première étape** : Identification et spécification des paramètres de l'événement (cartes thématiques). L'analyste sélectionne les variables du problème (dans notre cas : l'inondation) à résoudre. Le scénario de décision doit d'abord être qualifié par le cadre organisationnel et technique. A ce niveau, le décideur est identifié, la portée de l'évaluation est définie, les alternatives de planification à évaluer sont identifiées et les critères géo-spatiaux sont identifiés et examinés afin de les comparer et de les interpréter ;
2. **Seconde étape** : Cette deuxième étape consiste à classer la hiérarchie arborescente des critères de décision et de leurs alternatives, connue sous le nom d'arbre de décision, en une série de niveaux. La comparaison par paire des critères et des alternatives se fait à l'intérieur des niveaux de l'arbre de décision. L'expert attribue à chaque facteur un poids qui représente la contribution au facteur de risque d'inondation ;
3. **Troisième étape** : Evaluation du phénomène « risque d'inondation ».

IV.3. Étapes de calcul et de résolution de la méthode AHP

La méthode AHP est effectuée suivants cinq étapes essentielles qui sont (Saaty, 1980) *Décomposer le problème en une structure hiérarchique* à évaluer et à comparer séparément. La hiérarchie aidera les différents décideurs à mieux évaluer les différentes alternatives en procédant à des comparaisons par paire pour chacun des critères sélectionnés. La décomposition du problème a pour objectifs de :

- ✗ Définir l'objectif (niveau 0).
- ✗ Définir les critères de décision (niveau 1).
- ✗ Choisir les alternatives pour atteindre à une solution optimale (niveau 2).

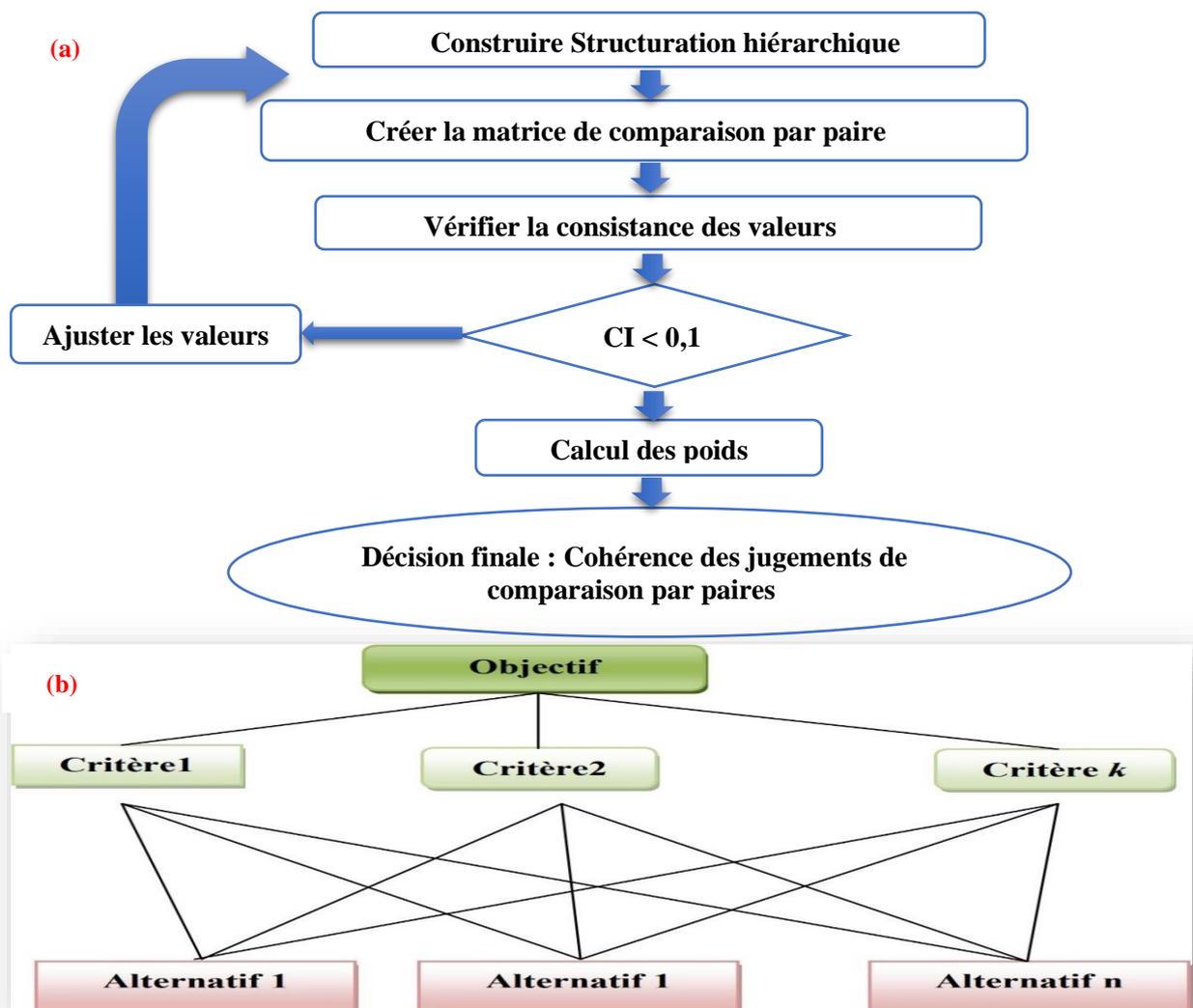


Fig. IV.1. Organigramme -a) Fonctionnement méthode AHP – b) Décomposition du problème
(-2023, n.d.)

1. *Combiner par paire* les critères pour déterminer la prédominance de l'un sur l'autre à l'aide d'une échelle de comparaison ci-contre (Tableau IV.1). Les calculs sont effectués à tous les niveaux de l'arbre de décision. La somme des poids à chaque niveau doit être égale au poids du critère ou sous-critère de rang supérieur.

Tableau IV.1. Echelle de Saaty - Détermination des combinaisons binaires

| Poids ou intensité de la comparaison (Échelle numérique) | Jugement verbal de la préférence (Echelle verbale) |
|---|---|
| 1 | Même importance |
| 3 | Importance modérée |
| 5 | Forte importance |
| 7 | Très forte importance |
| 9 | Extrême importance ou importance absolue |
| 2, 4, 6, 8 | Utilisés pour des jugements intermédiaires (Affinement du jugement) |

La technique AHP, consiste à obtenir l'importance relative ou le poids des critères après consultation d'experts, en organisant des entretiens ou en réunissant un groupe pour tenir des réunions. Les critères sont ensuite comparés deux à deux à l'aide d'une méthode d'évaluation qualitative ou quantitative. Elle vise à comparer tous les éléments d'un même niveau de la hiérarchie par paires en fonction de l'importance relative par rapport à l'élément du niveau supérieur. (Tableau IV.2).

Tableau IV. 2. Matrice de comparaison de critère (Matrice de décision)

| | Critère 1 | Critère 2 |
|-----------|---------------------------------------|----------------------|
| Critère 1 | 1 | Classement Numérique |
| Critère 2 | 1/ Classement Numérique (Réciproques) | 1 |

2. *Déterminer et synthétiser des priorités (matrice normalisée)*. Cette matrice normalisée repose sur le calcul des vecteurs propres et l'analyste passera au calcul de l'importance relative de chaque élément de la hiérarchie à partir des estimations calculées à l'étape 2. Elle est mise en place, en divisant chacune des évaluations de cette dernière par la somme des évaluations de chaque critère selon :

- ✖ Calcul de l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues de l'étape 2.
- ✖ Détermination des priorités des éléments de chaque matrice par la résolution du problème de vecteur propre (priorités).

3. *Cohérence des jugements* des jugements d'agrégation complète implique une combinaison linéaire pondérée ou une somme pondérée : l'intégration complète de tous les critères considérés en un seul, selon la formule proposée par Saaty (1980) :

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum \text{Cohérence}}{n} \quad (\text{Eq. IV.1})$$

Avec :

λ_{\max} : Valeur propre des éléments comparés de la matrice (cohérence moyenne).

Le calcul de la cohérence de chaque critère passe par les étapes mentionnées dans le tableau IV.3.

Tableau IV. 3. Matrice de comparaison binaire (matrice de décision).

| | Critère 1 | Critère 2 | Somme par ligne |
|------------------------------|------------------|------------------|--|
| Critère 1 | 1 | A | Paire par Paire |
| Critère 2 | 1/A | 1 | |
| Somme par colonne | S1 | S2 | Matrice de jugement |
| Critère 1 | 1/S1 | A/S2 | $\sum ((A/S1) + (B/S2) + \dots) = K1$ |
| Critère 2 | (1/A) /S1 | 1/S2 | $\sum ((C/S1) + (A/S 2) + \dots) = K2$ |
| Poids | K1/k=P1 | K2/k=P2 | Pondération |
| Critère 1 | A ×P1 | B ×P2 | $\sum ((A/P1) + (B/P2) + \dots) = W1$ |
| Critère 2 | C ×P1 | A ×P2 | W2 |
| Cohérence du jugement | W1/P1 | W2/P2 | Evaluation de RC |

Il est important de vérifier que les jugements émis sont cohérents. Pour cela, un indice de cohérence (IC) est calculé selon la formule suivante :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{Eq. IV.2})$$

Avec :

n : nombre de critères ;

λ_{\max} : Valeur propre maximale.

Une valeur faible de l'indice de cohérence signifie que moins de jugements sont cohérents. Une valeur élevée de l'IC indique qu'un critère domine trop par rapport à un autre et que les jugements ne sont donc pas cohérents. Il est ensuite comparé aux valeurs critiques obtenues par simulation correspondant à l'indice aléatoire d'une matrice de même dimension (Tableau IV.4).

Tableau IV.4: Indice aléatoire en fonction du nombre de critères dans le cadre d'une AHP (-2023, n.d.)

| Taille matrice (n) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IA | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,53 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Cette comparaison est effectuée par le calcul d'un ratio de cohérence (RC), qui peut être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée de manière aléatoire. Il doit être inférieur à 10% sinon les jugements doivent être révisés.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (\text{Eq. IV.3})$$

Avec

RC : Ratio de cohérence ; IA : Indice aléatoire.

Si le RC est inférieur à 10% alors la cohérence des jugements est bonne et les poids sont cohérents. A ce moment-là, les poids peuvent être appliqués aux jeux de données raster par le biais d'une somme pondérée (Fig. IV.2) (Chakroun et Ayari, n.d.)

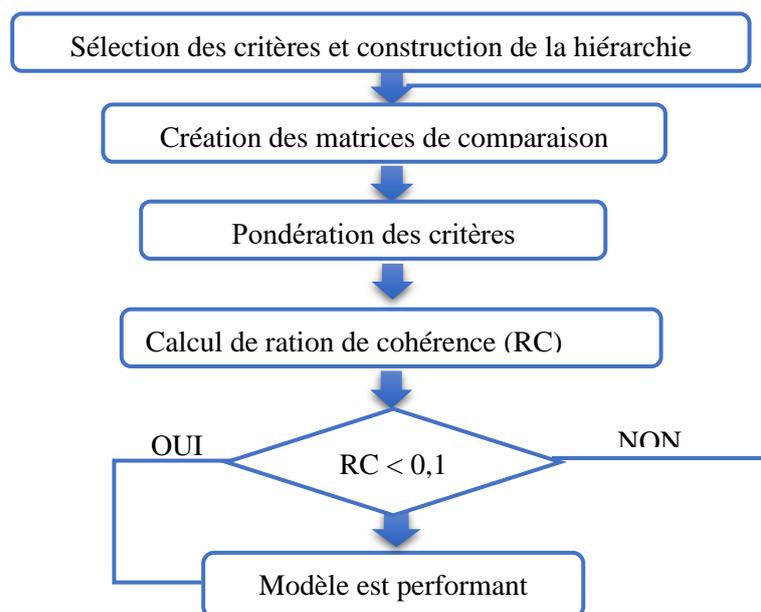


Fig. IV.2. Procédure d'analyse hiérarchique multicritères (Chakroun et Ayari, n.d.)

4. *Décision finale - Agrégation complète*: L'analyse multicritère couplée au SIG par agrégation complète conduit à un outil d'aide à la décision pour l'évaluation des risques d'inondation. Il s'agit d'une technique cartographique appliquée dans une approche globale, résultant d'un processus de prise de décision. Elle comprend la modélisation des couches d'information, le calcul des coefficients de pondération (vecteurs propres), et la pondération (valeur propre : poids) des facteurs de causalité d'une inondation, suivant la méthode AHP dans un SIG, en vue de leur agrégation.

IV.4. Avantage et inconvénients de la méthode AHP

Sommairement, les avantages (Fig. IV.3) et les inconvénients de la méthode AHP sont décrits comme suit :

IV.4.1. Avantages de la méthode AHP

- ✦ Capacité de simplifier des problématiques complexes par décomposition hiérarchique ;
- ✦ Comparaison binaire des éléments paire à paire (alternatives, critères et sous critères) ;
- ✦ Facilité d'implémentation comme support informatique (Expert Choice, Excel, ArcGIS) ;
- ✦ Méthode de normalisation et de pondération efficace (synthèse multicritère, sensibilité).
- ✦ Détermination des priorités et agrégation spatiale des critères de performance

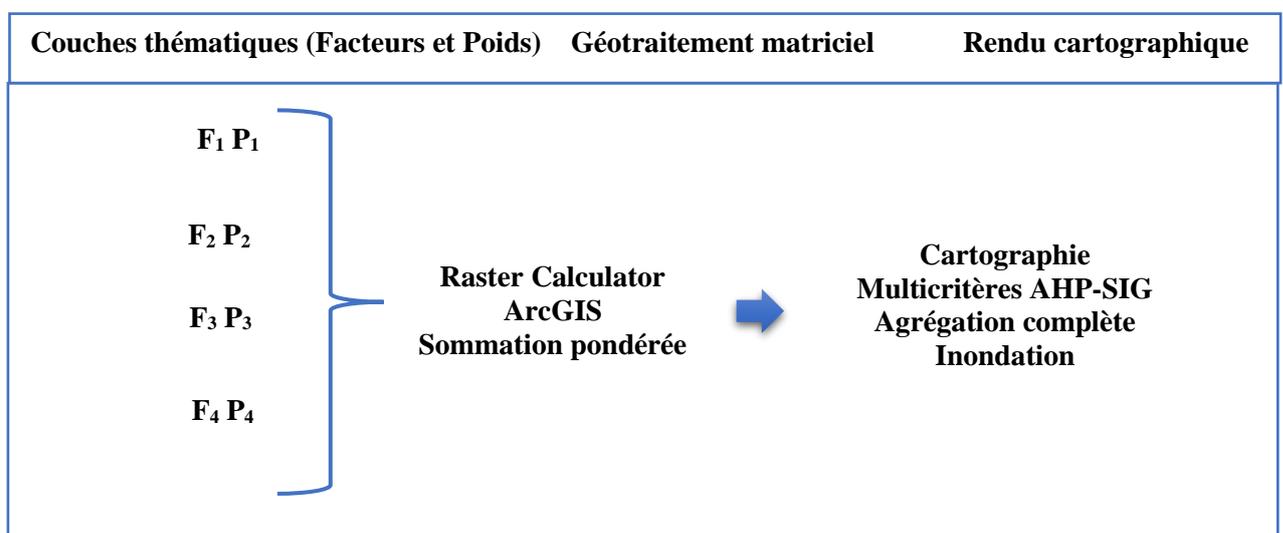


Fig. IV.3. Procédure d'analyse hiérarchique multicritères (Ntouda, Leumbe et al, 2022)

IV.4.2. Inconvénients de la méthode AHP

- ✘ Difficultés opérationnelles pour choisir des actions et définir des critères de comparaison ;
- ✘ Focalisation des analyses multicritères sur des processus lents et itératifs, qui peuvent nécessiter une part de négociation importante et de longue durée.
- ✘ Nécessité d'un savoir-faire pour les méthodes mathématiques d'agrégation des données ;

Lors de l'agrégation des pondérations calculées, les différences de performance sur certains critères des alternatives évaluées peuvent être masquées ou mal interprétées, et il faut garder à l'esprit que même avec des différences d'évaluation minimales, une meilleure note numérique indique une meilleure solution, alors que la valeur des scores doit refléter une signification objective pour l'interprétation. En outre, la normalisation des pondérations à tous les niveaux de la hiérarchie donnera également lieu à un phénomène d'inversion des rangs (si deux études sont réalisées avec le même ensemble d'études mais qu'une action est supprimée pour la seconde étude, le classement final des actions sera différent).

Enfin, le point le plus difficile à corriger est que l'AHP manque de points d'ancrage pour les différentes échelles des critères, où l'échelle absolue n'est pas la même, mais comprend des échelles flottantes l'une par rapport à l'autre. En pratique, bien que la méthode permette théoriquement un nombre infini de niveaux de critères, jusqu'à un nombre de matrices de décision N compris entre 8 et 11, l'esprit ne peut comparer objectivement, en raisonnant par paires, qu'un maximum de sept critères. Il est également impossible de comparer si les critères d'une matrice sont par paires sans obtenir des incohérences dans une autre matrice ; par conséquent, le nombre de critères redondants (ayant le même niveau hiérarchique) devrait être limité.

D'autres méthodes existent, notamment les méthodes d'agrégation partielle, qui permettent de limiter ces écueils de sur classement (exemple la méthode Electre et ses versions). Ces méthodes sont cependant moins simples à mettre en œuvre et les résultats plus longs et complexes à interpréter par les décideurs.

IV.5. Modèle de validation (ROC\AUC)

IV.5.1. Validation par la courbe de performance : ROC

Une courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) est une représentation graphique des performances d'un modèle de classification à tous les seuils de classification. La courbe ROC est créée en traçant les deux paramètres suivants : le taux de vrais positifs (TVP) et le taux de faux positifs (TFP) : le taux de vrais positifs (TVP) et le taux de faux positifs (TFP).

Les TVP et TFP sont définis comme suit :

$$\text{TVP} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (\text{Eq. IV.4})$$

$$\text{TFP} = \frac{\text{FP}}{\text{TN} + \text{FP}} \quad (\text{Eq. IV.5})$$

Une courbe ROC représente les valeurs TVP et TFP pour une gamme de seuils de classification. Un exemple de courbe ROC est présenté à la figure IV.4. Nous pouvons calculer les points d'une courbe ROC en exécutant plusieurs fois un modèle de régression logistique avec différents seuils de classification, mais ce serait un gaspillage. Heureusement, il existe un algorithme efficace basé sur le tri qui peut nous fournir ces informations

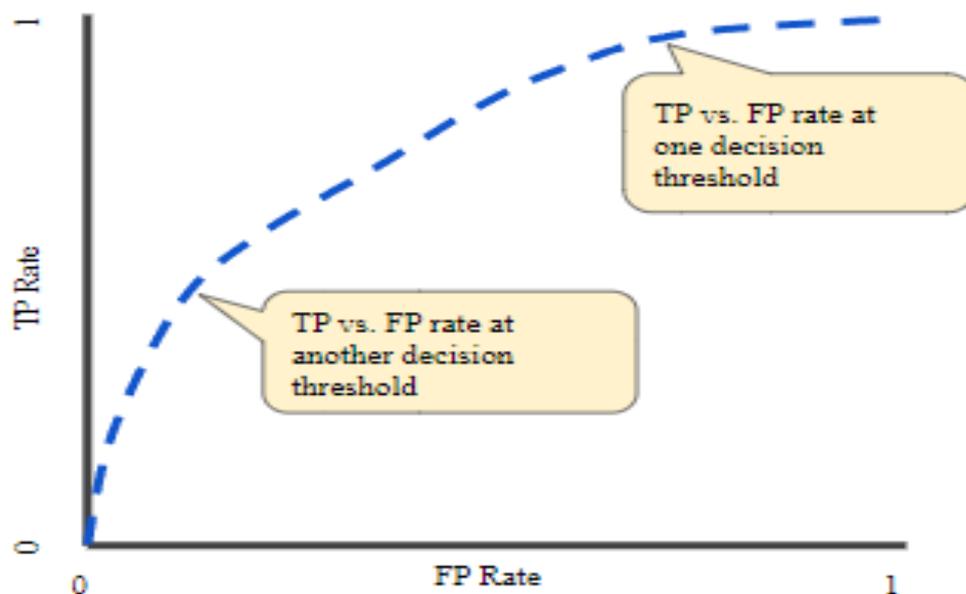


Fig. IV.4. Courbe ROC – Taux de VP / FP au niveau de différents seuils de classification. (Mr. CHOUAL Mr. KHALDI Maamar, 2023)

IV.5.2. AUC : Area Under Curve ou Aire sous la courbe : AUC-ROC

AUC signifie « Area Under the ROC Curve » (aire sous la courbe ROC) ; elle représente la courbe des taux de vrais positifs (sensibilité) et des taux de faux positifs (1-spécificité) en fonction de différents seuils. L'aire sous la courbe ROC mesure l'agrégation des performances pour tous les seuils de classification possibles. Une façon d'interpréter l'AUC est qu'elle représente la probabilité que le modèle classifie aléatoirement un exemple positif plus particulièrement qu'un exemple négatif.

IV.6. Méthode AHP appliqué à la ville d'Ain-Temouchent

Nous présentons dans cette partie du chapitre les différents critères de la méthode AHP appliquée à notre zone d'étude.

× Élévation

Les inondations sont généralement concentrées à des altitudes plus basses parce que l'eau de pluie provenant d'altitudes plus élevées s'agrège en aval sous l'action des forces gravitationnelles. Les classes d'altitude ont été automatiquement extraites du MNT 30 m de SRTM et reclassées en cinq classes, dont la classe 1 correspond à des altitudes très élevées. Les proportions respectives de ces classes sont de 6 %, 3,2 %, 5,4 %, 20,20 % et 65,2 % (Fig. IV.5).

× Pente

Les inondations se produisent dans les zones à faible pente en raison de l'accumulation des eaux de ruissellement provenant des zones plus élevées. Les pentes calculées varient de 0 % à 39,33 % sur la base du MNT SRTM comme source de données. La carte des pentes comporte cinq classes : la classe des pentes très faibles occupe le rang le plus élevé ; les autres classes comprennent 47,66 % de la zone d'étude, la classe des pentes faibles 88,6 %, la classe des

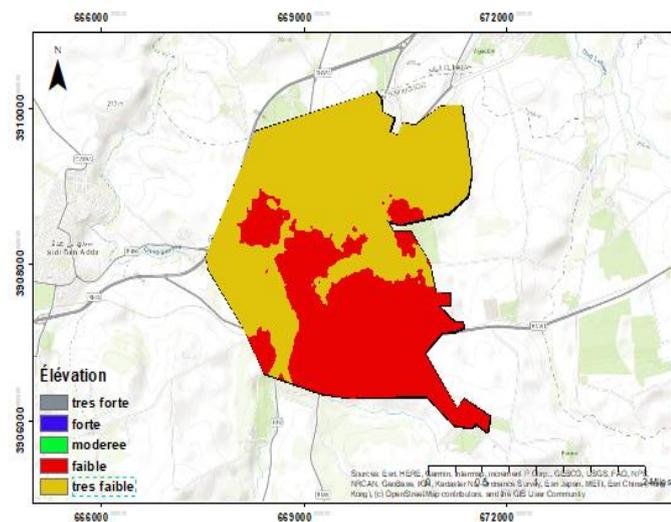


Fig. IV.5. Élévation de la zone d'étude.

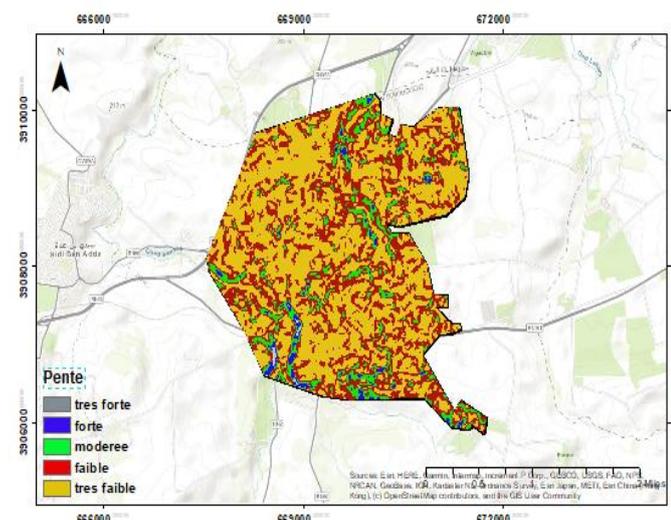


Fig. IV.6. Pente de la zone d'étude.

pentés modérées 5,53 %, et les pentés raides et très raides 4,62 % et 1,25 %, respectivement (Fig. IV.6).

× Densité de linéaments

Les linéaments jouent un rôle important dans le contrôle de l'infiltration des eaux souterraines et peuvent constituer un moyen de transmission, en particulier dans les aquifères de roches dures fracturées. Les linéaments ont été déduits de l'imagerie satellitaire Landsat 9 par interprétation visuelle basée sur la présence de fractures et de contrastes de tons dans les images satellitaires. La densité des linéaments a été préparée à l'aide de l'outil de densité des lignes d'ArcGIS 10.8.2 en fonction de la longueur unitaire des linéaments par bassin versant (km/km^2). La classification de la carte de densité en cinq classes a été réalisée à l'aide de la méthode de la rupture naturelle. Leurs proportions sont respectivement de 58,7 %, 11,85 %, 17,25 %, 5,5 % et 7,6 % (Fig. IV.7).

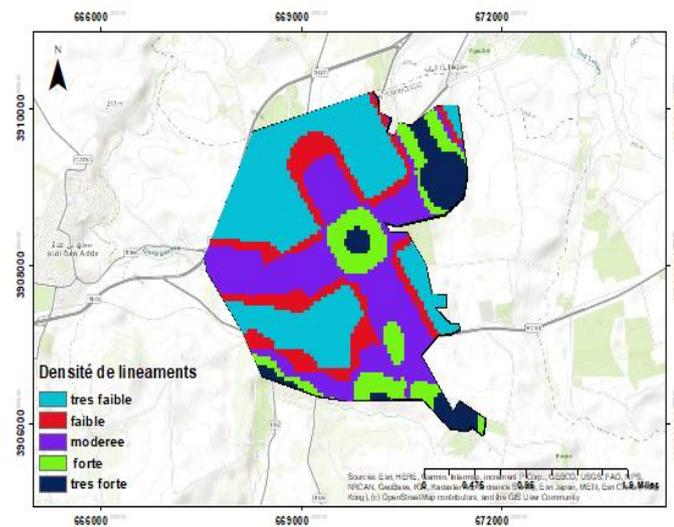


Fig. IV.7. Densité de linéaments.

× Indice NDVI

Plus l'indice de végétation normalisé est élevé, plus la zone absorbe facilement l'eau et moins il y a de risques d'inondation. Le traitement de l'image Landsat 9 permet d'obtenir la carte NDVI. Les pourcentages des indices de végétation normalisés sont classés en cinq classes respectives : 2 %, 6 %, 25%, 60,5 % et 6,5 % (Fig. IV.8).

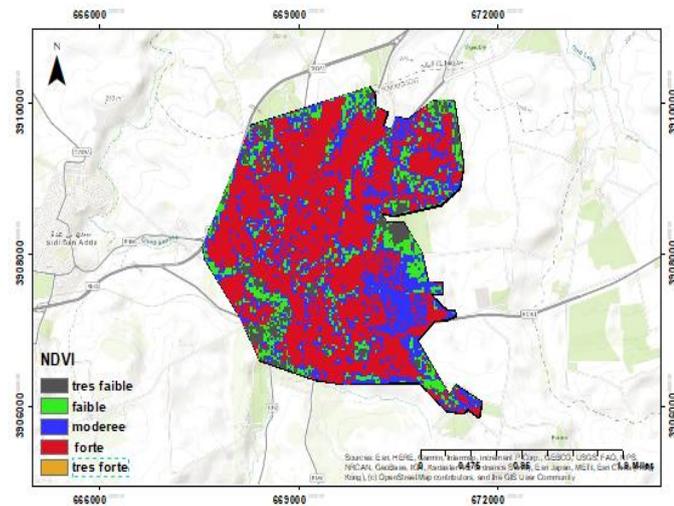


Fig. IV. 8. Indice NDVI

✖ Pluviométrie

Comme les rivières naturelles ne peuvent pas absorber l'excès de pluie, les précipitations provoquent des inondations importantes. Les berges des rivières débordent alors, provoquant des inondations fluviales. Les données relatives aux précipitations quotidiennes provenant des stations pluviométriques d'Ain Temouchent ont été collectées et analysées en tant que précipitations annuelles moyennes à l'aide de la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) sous l'environnement ArcGIS. Le pourcentage des précipitations annuelles moyennes est présenté sous forme de distribution. Les classes regroupées sont les suivantes : 0,5%, 29%, 57%, 13% et 0,5% (Fig. IV. 9).

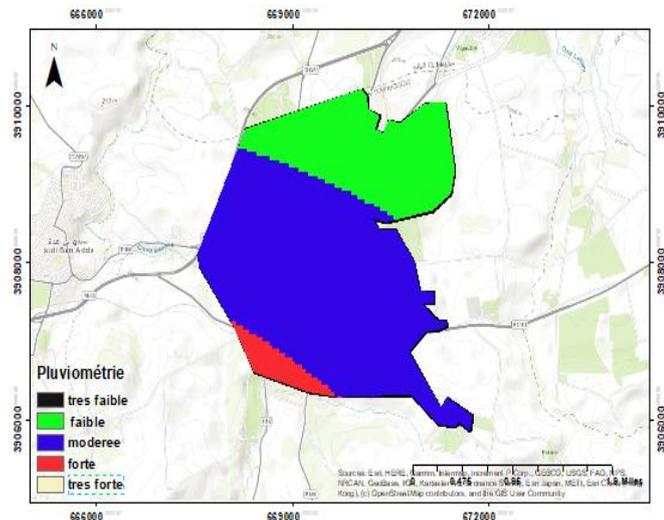


Fig. IV. 9. Pluviométrie

✖ Distance hydrologie

Les zones situées en bordure de rivière sont très sensibles aux inondations dues au phénomène de débordement ; la distance par rapport aux rivières est donc l'un des paramètres importants dans l'évaluation des risques d'inondation. La carte de la proximité des cours d'eau, établie à partir d'une classification en cinq classes de distance par rapport aux cours d'eau dans la présente étude, présente les proportions respectives de ces classes, comme suit : 2 %, 25 %, 4 %, 8 % et 61 % (Fig. IV.10).

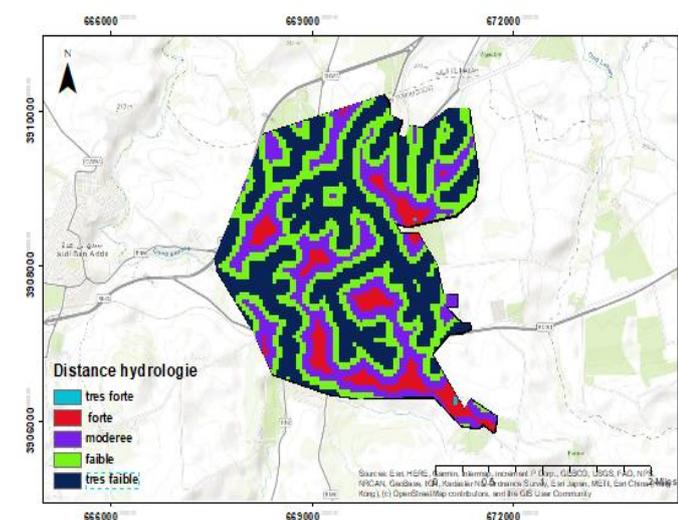


Fig. IV.10. Distance hydrologique

✖ **Indice NDWI**

En effet, les valeurs élevées de l'indice NDWI dans les zones indiquent une forte présence d'eau, ce qui pourrait être un signe précoce d'une inondation imminente. La carte de l'indice hydrique normalisé a été obtenue par le traitement d'images Landsat 9. Le pourcentage de surface sous l'indice d'eau normalisé a été classé en cinq classes respectives : 7,89 %, 19,22 %, 29,34 %, 35,56 % et 7,98 %.

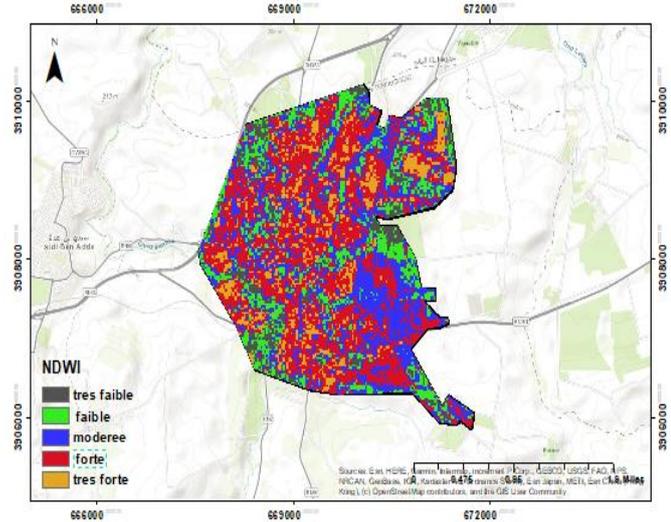


Fig. IV. 11. Indice NDWI

✖ **Densité du drainage**

La densité de drainage est une autre mesure de contrôle des inondations, définie comme la longueur des cours d'eau par unité de surface. Une densité de drainage relativement élevée implique que les zones ont de grandes surfaces de ruissellement par rapport aux zones à faible densité de drainage et que, par conséquent, il est probable que les inondations soient importantes. La carte de la densité de drainage a été établie à l'aide de l'outil d'analyse des lignes de densité d'ArcGIS. Cinq classes de densité de drainage, de très faible à très élevée : 27,61 %, 23,92 %, 23,11 %, 18,04 (Fig. IV.12).

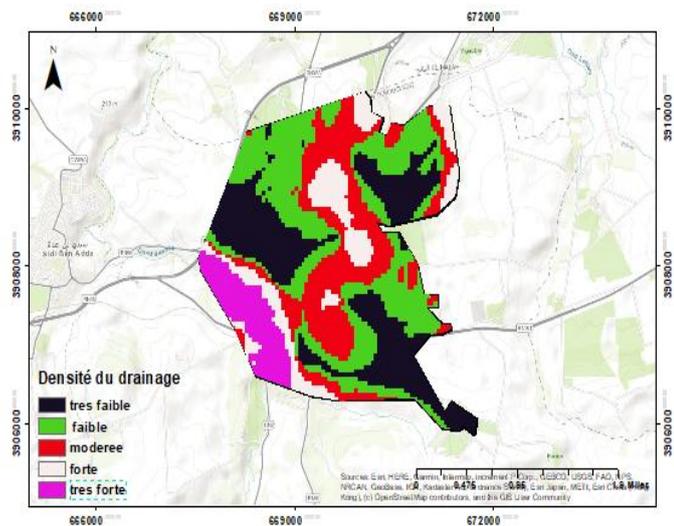


Fig. IV.12. Distance Hydrologique.

✖ **TWI**

L'indice TWI a été appliqué à l'influence topographique sur les sols saturés d'eau afin de comprendre les conditions hydrologiques. La carte TWI qui en résulte a été classée en cinq catégories : faible, assez faible, modérée, élevée et très élevée. Les valeurs élevées de TWI reflètent une grande vulnérabilité aux inondations, et vice versa. Les proportions respectives de ces classes sont de 36,91%, 35,06%, 15,87%,

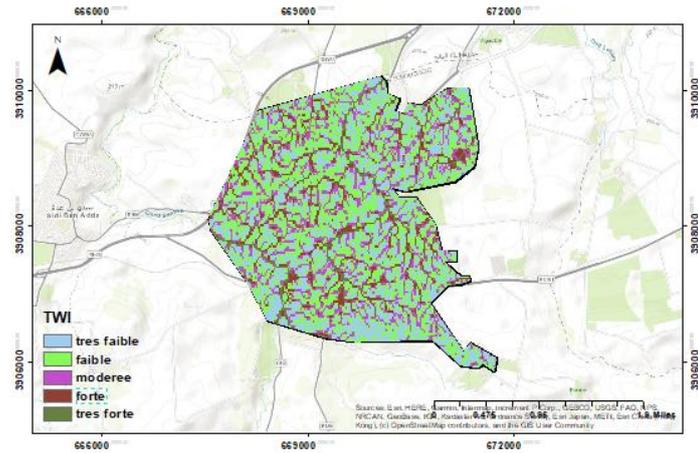


Fig. IV.13. TWI

✖ **Occupation du sol**

L'occupation du sol constitue le principal facteur pour identifier les zones susceptibles d'être submergées par les crues. Cette dernière influence le taux d'infiltration. L'acquisition de la carte d'occupation des sols est obtenue à partir du site web (<https://www.esri.com/en-us/home>, n.d.) (Fig. IV.14).

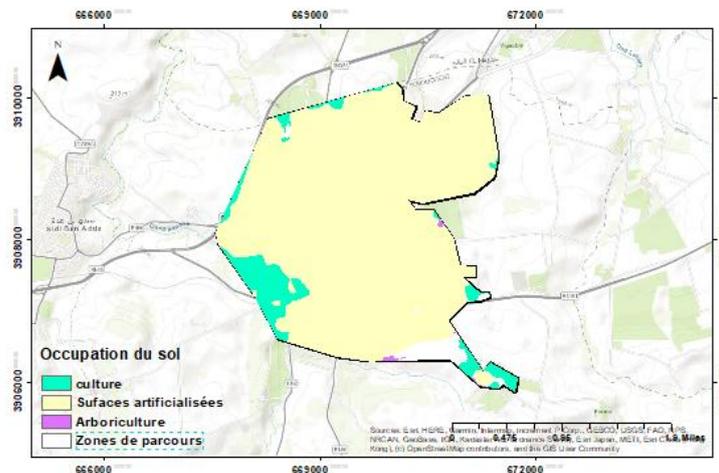


Fig. IV.15. Occupation du sol

✖ **Aspect**

L'aspect est l'un de ces critères importants, qui détermine la direction de la pente et, à son tour, affecte l'exposition à la lumière du soleil et les microclimats. La carte qui peut résulter de la superposition de l'aspect avec d'autres critères produira donc des cartes d'aptitude plus détaillées pour prendre des décisions, par exemple, pour localiser des zones propices à l'agriculture ou pour déterminer les meilleurs sites d'énergie solaire. La carte ASPECT obtenue a été reclassée en cinq classes : faible, assez faible, modérée, élevée et très élevée. Les

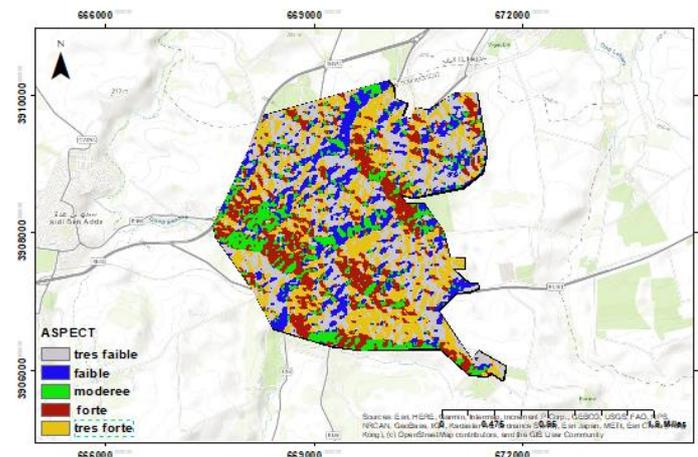


Fig. IV.14. Aspect

proportions respectives de ces classes sont de 30,91 %, 10,87 %, 30,06 %, 25,42 % et 2,74 %.

Les critères cités ci-dessus sont pondérés à partir de leur influence sur le risque d'inondation, expertisés et inspirés de la littérature. Par la suite, un ordre de priorité a été établis pour chaque facteur à savoir : Pentas, occupation du sol, courbure, altitudes, distances hydrographique, densité de drainage, densité de linéament, niveau piézométrique, TWI, NDVI, NDWI, perméabilité et enfin la pluviométrie. Les tableaux suivants présentent les résultats de la compilation des 8 critères et des 11 critères initiaux (Tableau 5, 6 et Fig. IV.16). La méthode AHP-SIG est utilisée pour l'analyse dans l'environnement ArcGIS 10.8.2 en utilisant les outils « AHP for ArcGIS et ArcSDM ».

Tableau IV 5. Matrice de décision "AHP" à 8 critères

| CRITAIRE | PENT | TWI | OS | DH | NDWI | PLUVIO | NDVI | DL |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PENT | 1,0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 |
| TWI | 0,5 | 1,0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| OS | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| DH | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| NDWI | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 0 | 1 | 2 |
| PLUVIO | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 1,0 | 6 | 7 |
| NDVI | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 1,0 | 2,0 | 0,2 | 1,0 | 1 |
| DL | 0,2 | 1,0 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 1,0 |
| SOMME | 4,200 | 6,833 | 7,667 | 11,500 | 16,500 | 6,510 | 17,500 | 22,000 |

Avec : PENT : Pente topographique (°) ; TWI : Indice d'humidité topographique ; OS : Occupation des sols ; NDWI : Indice normalisé de l'eau ; NDVI : Indice normalisé de végétation ; Pluvio : Pluviométrie (mm) ; DH : Distance hydrologique (m) ; DL : Densité de linéaments (km⁻¹).

Tableau IV.6. Matrice de décision "AHP" à 11 critères.

| CRITAIRE | PENT | TWI | OS | DH | NDWI | PLUVIO | NDVI | DD | DL | ALTITUDE | ASPECT |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| PENT | 1,0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 | 6 | 4 | 5 |
| TWI | 0,5 | 1,0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| OS | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| DH | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 1,0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| NDWI | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| PLUVIO | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 6 | 7 | 5 | 3 | 7 |
| NDVI | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 1,0 | 2,0 | 0,2 | 1,0 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| DD | 0,2 | 1,0 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 1,0 | 3 | 4 | 6 |
| DL | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 1,0 | 1 | 1 |
| ALTITUDE | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 2,0 | 1,0 | 1 |
| ASPECT | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SOMME | 4,817 | 7,833 | 9,000 | 14,000 | 13,500 | 8,986 | 18,833 | 22,750 | 28,000 | 25,500 | 32,000 |

Avec : Altitude : Elévation topographique (m) ; ASPECT (°) ; DD : Densité de drainage (km⁻¹)

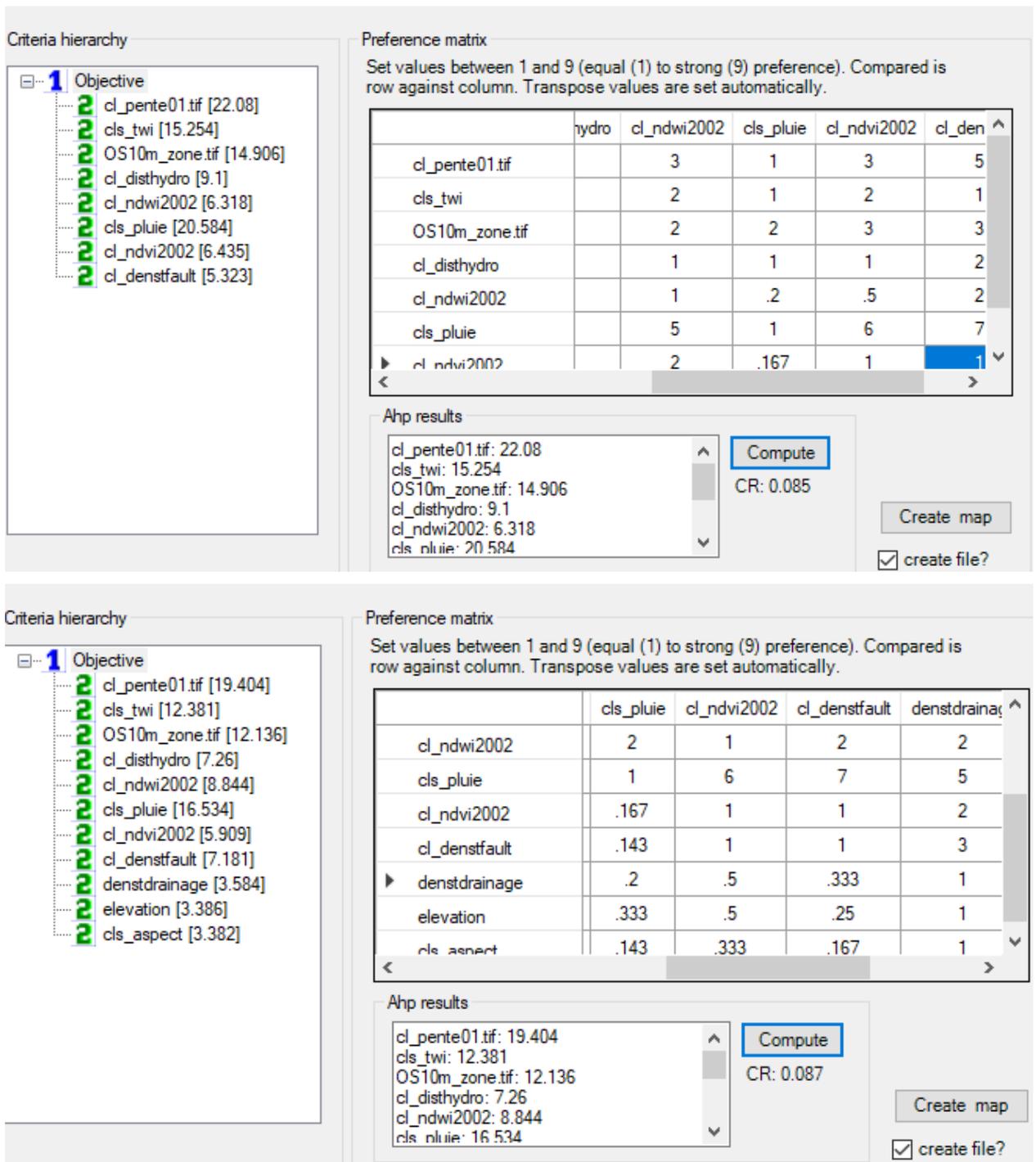


Fig. IV. 16. Analyse multicritère basée sur la méthode AHP-SIG ArcGIS

D'après la figure IV.16, il est évident que le taux de cohérence est de 8,5 % pour les 8 critères et de 7,7 % pour les 11 critères (inférieur à 10 %), ce qui confirme le bon jugement de décision concernant les deux systèmes de pondération de paires à paires utilisés pour évaluer la susceptibilité au risque d'inondation. Les figures IV.17 et IV. 18 représentent le risque d'inondation pour les critères 8 et 11.

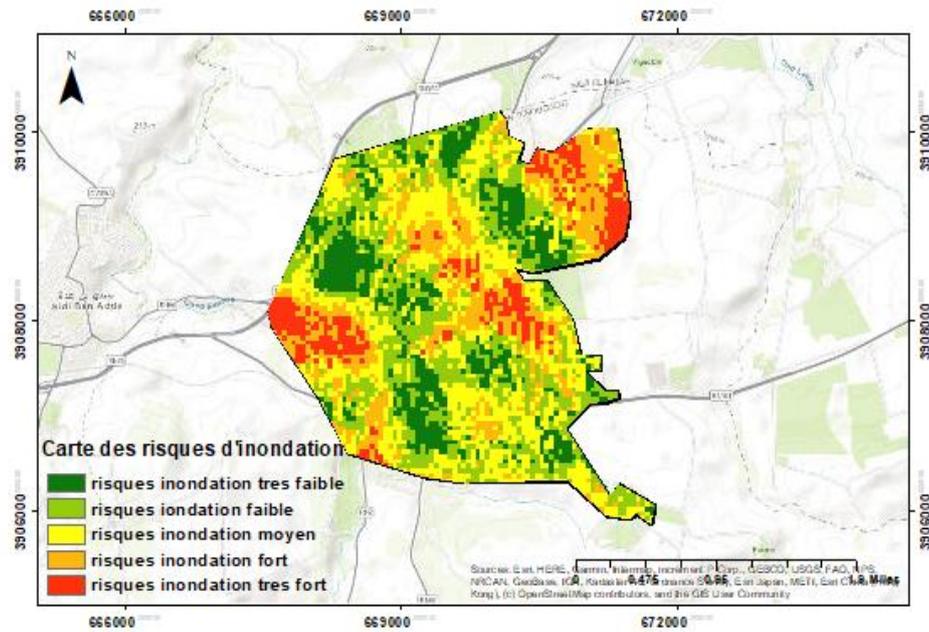


Fig. IV.17. Carte des risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent à 08 critères

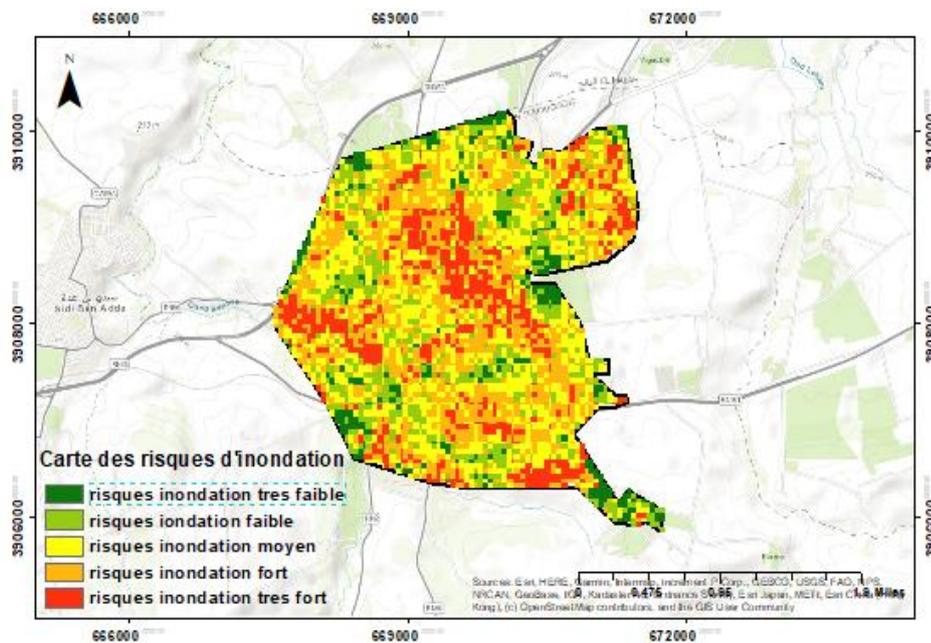


Fig. IV.18. Carte des risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent à 11 critères.

IV.7. Validation de la méthode AHP

IV.7.1. Validation par la courbe ROC-AUC

La validation de méthode multicritères AHP est effectuée par la courbe ROC-AUC (Receiver Operating Characteristic – Area Under Curve) représentant les performances de prédiction des modèles de cartographie aux risques d'inondation pour tous les seuils de classification (Fig. IV.19).

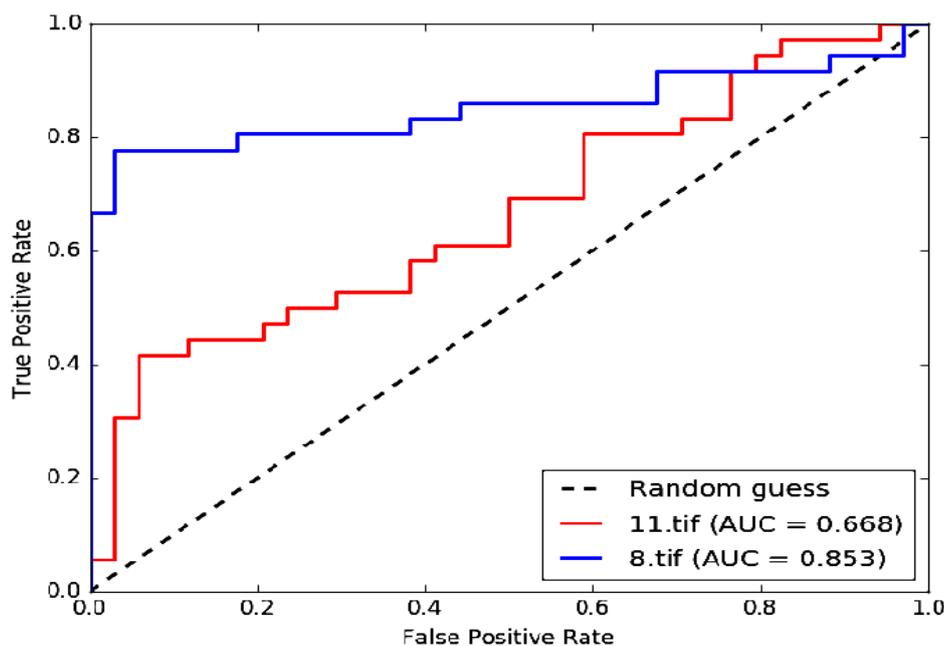


Fig. IV.19. Validation de méthode multicritères AHP par la courbe ROC-AUC.

Les résultats de simulation Monté Carlo (près de 10000 itérations) intégrés sous l'outil ArcSDM sous ArcGIS indiquent que pour la méthode AHP, la valeur de précision est égale à 85,3 % pour les 8 critères contre une précision de 66,8 % pour les 11 critères. Cependant, le résultat obtenu en appliquant 8 critères semble plus satisfaisant que celui de 13 critères.

IV.7.2. Vérification basée sur les informations obtenues de la Protection civile

La protection civile de la ville d'Ain-Temouchent a identifié les zones suivantes comme étant à risque d'inondation (Fig. IV. 20) :

1. *les parties ouest et sud-ouest*: depuis la zone sud-ouest (quartier des jardins) de la ville jusqu'à double voie de la route nationale n°35, qui traverse des quartiers résidentiels et les terres agricoles le long de l'Oued Sinane.
2. *En direction de l'Est* de la station-service du Muezzin jusqu'à l'autoroute à la sortie de la ville, au lieu-dit Petit Bois.



Fig. IV.20. Zones inondables identifiées par la protection civile d'Ain-Temouchent.

Les cartes de la figure IV. 20 ci-dessus valide les résultats obtenus par la méthode AHP à 8 critères (Fig. IV. 21).

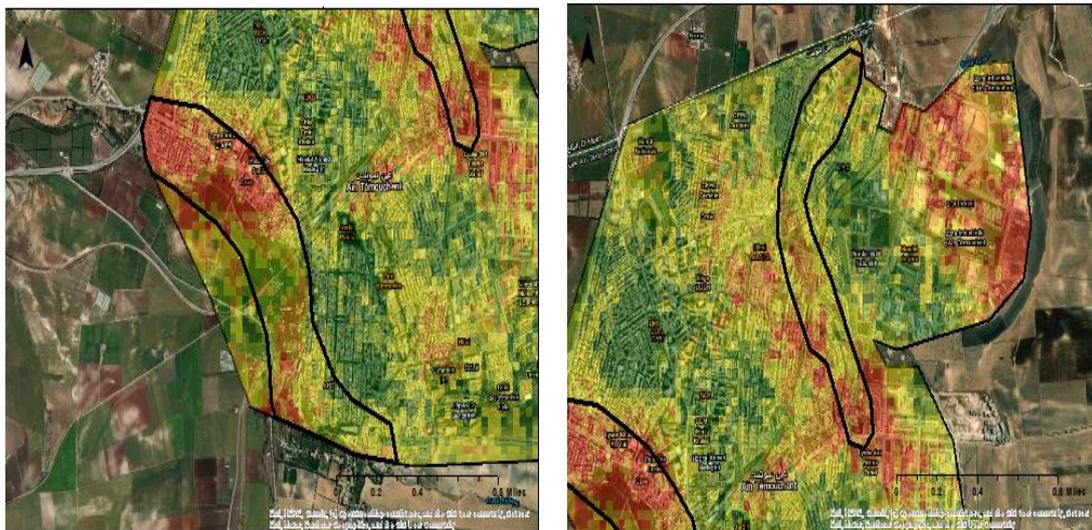


Fig. IV. 21. Validation des résultats de la méthode AHP appliquée à la ville d'Ain-Temouchent à 8 critères.

Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'intérêt et la puissance de la méthode AHP pour l'évaluation multicritère des risques d'inondation dans un environnement SIG. Grâce à sa structuration hiérarchique et à la comparaison par paires des critères, elle offre un cadre rigoureux pour pondérer et agréger les différents facteurs de risque. Son application à la ville d'Ain-Temouchent a montré une bonne performance prédictive, validée statistiquement et sur le terrain.



CONCLUSION

CONCLUSION

Située dans le nord-ouest de l'Algérie, Ain-Temouchent est une ville dont la géographie et le climat sont spécifiques, ce qui la rend vulnérable à des variations pluviométriques importantes et à des risques d'inondation.

Le travail réalisé dans ce travail de fin d'étude a permis de mener une analyse approfondie des données pluviométriques et des risques d'inondation de la ville d'Ain-Temouchent. En se basant sur une méthodologie rigoureuse incluant l'analyse statistique des pluies journalières maximales et l'application de la méthode AHP (Analyse Hiérarchique Processus), nous avons pu identifier les zones à risque et évaluer. La combinaison des données historiques avec des simulations a fourni des résultats robustes et fiables, validés par des méthodes multicritères et des comparaisons avec des événements réels signalés par la Protection civile.

Cette étude offre non seulement une compréhension approfondie des dynamiques climatiques dans la région d'Ain-Temouchent, mais aussi une base solide pour la mise en place de stratégies de gestion des risques et d'adaptation aux changements climatiques futurs.

Parmi les recommandations que nous suggérons :

- ✦ Il est primordial de maintenir une base de données à jour sur les précipitations et les événements astronomiques. De fréquentes mises à jour permettront d'améliorer les modèles prédictifs et de réagir rapidement aux bouleversements climatiques;
- ✦ Étendre l'utilisation de modèles statistiques plus avancés et de méthodes de machine learning afin d'améliorer la précision des prévisions. Il est important d'effectuer une comparaison continue entre divers modèles, tels que les lois de Gumbel et de Weibull, afin d'assurer l'adéquation des résultats;
- ✦ En se basant sur les zones identifiées comme étant vulnérables aux inondations, il est conseillé de renforcer les infrastructures de drainage et de mettre en place des systèmes de rétention d'eau afin de réduire au minimum les conséquences des fortes précipitations ;
- ✦ Élaborer des stratégies de planification urbaine et de zonage qui prennent en considération les dangers d'inondation. Il est essentiel de contrôler l'expansion

urbaine dans les zones à risque élevé et de favoriser des constructions résistantes aux inondations;

- ✘ Instaurer des initiatives visant à sensibiliser et éduquer les habitants sur les dangers des inondations et les mesures de sécurité à prendre. Il sera crucial de collaborer avec les autorités locales et la Protection civile afin d'assurer une réponse coordonnée.
- ✘ Inciter les climatologues, les ingénieurs, les urbanistes et les décideurs politiques à collaborer afin de concevoir des stratégies intégrées et globales de gestion des risques climatiques.

L'objectif de ces recommandations est d'assurer une prise en charge proactive et efficace des risques d'inondation, afin de garantir la sécurité et le bien-être des habitants de la ville d'Ain-Temouchent.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amraoui, A.** (2015). *Etude et conception d'un réseau d'irrigation localisé (Cas de la wilaya d'Ain-Temouchent)*. Mémoire de Master. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib. Ain-Temouchent.
- Ballais, J.** (2005). *Alluvial Holocene terraces in eastern Maghreb: Climate and anthropogenic controls*. In Lewin J, Macklin MG and Woodward JC (eds) *Mediterranean Quaternary River Environments*. Rotterdam: Balkema, 183-194.
- Blin, P.** (2001). *Développement d'une nouvelle cartographie du risque unitaire (CRUE) pour les résidences*. mémoire de maîtrise Es-sciences en géographie physique, Université du Québec, INRS-EAU, 104 p.
- Boubchir, A.** (2007). *Risques d'inondation et occupation des sols dans le thore (région de Labruguière et de Mazamet)*. Mémoire de Master de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse.
- Chemouri, K.** (2013). *Contribution à l'évaluation du risque sismique de la wilaya d'Ain Temouchent*. Mémoire de Master. Université de Tlemcen. Algérie.
- Dauphiné, A.** (2001). *Risques et catastrophes : observer - spatialiser - comprendre. Gérer*. Armand Colin, Paris, 288 p.
- Degoutte, G.** (2012). *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières ; Hydraulique et morphologie fluviales appliquées*. Editions Lavoisier, 57 p.
- Ducrocq, V.** (2006). Crues rapides dans le midi de la France. *Pour la Sci.*, 51, 82-85.
- Felih, S.** (2014). *Evaluation de la vulnérabilité des bassins algériens du à la variabilité climatique: Cas des bassins versants Côtiers Oranais et la Tafna*. Mémoire de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène-Alger. Algérie.
- Guellouh, S.** (2017). *L'impact du recouvrement des oueds de Batna sur la dynamique des écoulements et les risques associés*. Thèse de Docterat. UNIVERSITE BATNA -2.
- Guerbi, M., & Abdelkebir, B.** (2017). *Protection contre les inondations par l'utilisation d'ArcGIS, Hec-Geo-Ras et Hec-ras - Cas de la ville d'El-Ksour, W. Bejaïa*. Mémoire de Master. Université de M'sila, 68 p.
- Hostache, R.** (2006). *Analyse d'images satellitaire d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydrologique*. Thèse de Doctorats, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts-Montpellier.
- <https://ppri-sudest-vendee.fr>. (2021, 02 25).
- <https://www.aa.com.tr/fr>. (2021, Février 12).
- <https://www.parismatch.com/>. (2021, Septembre 12).
- HYDRETTUES.** (2021). *Etudes des aléas relatifs aux crues du guiers et de ses affluents sur les départements de la Savoie et de l'Isère*. Rapport d'étude - Territoire n 2. 114 p.
- Lambert, R., & al.,** (2001). *La cartographie informative des zones inondables. L'exemple de Midi-Pyrénées*. Presses universitaires de Perpignan, Perpignan, 147-164.
- Ledoux, B.** (2006). *La gestion du risque inondation*. Lavoisier, 766 p.
- Masson, M., & al.,** (1996). *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Editions Villes et Territoires, Paris La Défense, 100 p.

-
- Merabet, A.** (2006). *Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations*. Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés. Algérie.
- Metah, K.** (2020). *Risque d'inondation en milieu urbain. Alea, vulnérabilité et cartographie: Cas de la ville de Maghnia*. Mémoire de Master. Centre Universitaire de Maghnia.
- Oujbbour, B.** (2015). *Annonce de crue et la mise en place d'un système d'alarme*. Mémoire de Master. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Maroc.
- Raclot, D.** (2003). *Méthodologie d'exploitation quantitative des photographies aériennes d'inondation de plaine*. Thèse de Doctorats en Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental Université Montpellier II-France.
- Salomon, J.** (1997). *L'homme face aux crues et aux inondations*. Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux. France.
- Sighomnou, D.** (2014). *Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau*. Thèse Doctort d'Etat, Univ de Yaoundé I, Cameroun.
- Simona, N., & Cedric, L.** (2007). Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). *Ires Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains*, (p. 10). Hanoi, Vietnam.
- Veyret, Y., & et al.** (2004). *Risques naturels et aménagement en Europe*. Armand Colin, Paris, 256 p.