



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département des Sciences et Technologie

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** **HYDRAULIQUE**

**Spécialité :** *HYDRAULIQUE URBAINE*

**Par :**

**GRINE Youcef**

**BOUHAMIDA Hadj Laid**

## **Thème**

***Cartographie de la vulnérabilité  
aux inondations dans la région d' El Tarf***

**Soutenu publiquement le : 17/06/2021**

**Devant le jury :**

<b>NOM</b>	<b>.....grade.....</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>OULED BELKHEIR Cheikh</b>	Docteur hydraulique	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>CHOUIREB Mustafa</b>	Docteur hydraulique	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>BOULMAIZ Tayeb</b>	Docteur hydraulique	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2020/2021**

# Dédicace

*Au nom de Dieu, le Plus Miséricordieux, le Plus Miséricordieux, et que les prières et la paix soient sur notre maître Muhammad. Il me fait grand plaisir de saisir cette opportunité pour dédier ce travail à tous ceux que j'aime, qui m'ont aidé durant mes études de loin ou de près : A mon père, qui a toujours rêvé de me voir pendant que je terminais mes études, ربي یرحموا*

*Et à la perle de ma vie, ma mère, la plus belle mère du monde entier, qui travaillait dur et veillait tard et m'a toujours entouré de son amour et de son affection sacrée, ce qui a un grand mérite pour moi A mes sœurs et grand-mères et à toute ma famille et mes proches Aux personnes les plus proches de mon cœur celles que j'aime tant, qui m'ont guidé et encouragé dès mes premiers pas et en gage d'allégeance à mes amis à tous ceux que je connais et aime.*

*GRINE Youcef*

# Dédicace

*Tout d'abord nous remercions infiniment le bon dieu puissant de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il nous à donner tout le long de nos études.*

*Nous présentons nos sincères remerciements avec nos profonds respects à :*

*☞ mon père TOUMI qu'il rêvé toujours de ma voir en finir mes études. ربي يرحموا.*

*☞ ma mère qui n'a pas cessé de me prodiguer.*

*☞ ma femme et mon fil (Toumi)*

*☞ tous mes frères et sœurs (Mustapha, Zoubir, Maroua, farés, Mohamed Sif Eddine, Ishak, Arbía, Aridj ELjana).*

*☞ Tous famille BOUHAMIDA*

*☞ tout(s) (tes) mes ami(s) (es) du Travail.*

*Nos remerciements vont également à toutes les personnels du département d'hydraulique et génie civil de l'université de GHARDAIA.*

*BOUHAMIDA Hadj Laïd*

## REMERCIEMENT

*En préparation de ces notes, nous remercions Dieu qui nous aide et nous donne patience et courage pendant ces années d'étude des langues. Nous tenons à remercier sincèrement les personnes qui nous ont aidés et qui ont contribué à l'élaboration de ce message ainsi qu'à la réussite de cette belle année scolaire. Nous adressons nos sincères remerciements, notre appréciation et notre gratitude à tous mes professeurs, et en particulier à ce rédacteur de notes, BOULMAIZ Tayeb, pour ses précieux conseils, et sa disponibilité, qui apparaît toujours à l'auditeur et est nouvelle. Disponible tout au long de la réalisation de ce souvenir, ainsi que l'inspiration, l'aide, et le temps qu'il nous a consacré et sans lesquels cette note n'aurait pas vu le jour. Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous mes parents et amis.*

# Liste des Matières

Dédicace	
Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Résumé	

## Introduction général

Introduction général.....	1
---------------------------	---

## Chapitre I La Télédétection

I.1	Introduction.....	4
I.2	Historique.....	4
I.3	Définition.....	5
I.4	Principe.....	6
I.5	Rayonnement électromagnétique.....	6
I.6	Sources du rayonnement utilisé pour la télédétection .....	8
I.7	Interactions du rayonnement avec l'atmosphère .....	8
I.8	Interactions entre le rayonnement et l'objet observé.....	10
I.9	Plateformes et capteurs .....	11
I.9.1	Plateformes .....	11
I.9.2	Capteurs.....	11
I.9.2.1	Capteurs optiques .....	11
I.9.2.2	Capteurs à micro-ondes.....	12
I.10	Utilisations de la télédétection.....	12
I.10.1	Applications terrestres .....	12
I.10.1.1	Forêts.....	12
I.10.1.2	Agriculture .....	13
I.10.1.3	Suivi des zones urbaines .....	13
I.10.1.4	Couverture et utilisation du sol .....	13
I.10.1.5	Cartographie.....	13
I.10.1.6	Catastrophe naturelles .....	14
I.10.2	Applications militaires.....	14
I.10.3	Applications maritimes.....	14

I.10.4	Applications atmosphériques.....	15
I.11	Conclusion : .....	16

## **Chapitre II Machine Learning**

II.1	Introduction.....	17
II.2	Historique.....	17
II.3	Définition .....	18
II.4	Principes : .....	19
II.5	Applications .....	19
II.6	Types d'apprentissage .....	20
II.6.1	Apprentissage supervisé .....	20
II.6.2	Apprentissage non supervisé .....	20
II.6.3	Apprentissage semi-supervisé .....	21
II.6.4	Apprentissage partiellement supervisé .....	21
II.6.5	Apprentissage par renforcement.....	22
II.6.6	Apprentissage par transfert.....	22
II.7	Étapes d'un projet d'AA .....	22
II.8	Algorithmes existants .....	23
II.9	Random Forest.....	24
II.9.1	L'algorithme Random forest .....	25
II.9.2	Principe de fonctionnement de Random forest .....	26
II.9.3	La forêt aléatoire est-elle bonne pour la classification.....	26
II.10	Conclusion : .....	27

## **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

III.1	Introduction.....	28
III.2	Description de la zone d'étude.....	28
III.2.1	Situation géographique .....	28
III.2.2	Découpage administrative .....	29
III.2.3	Barrages existants.....	29
III.2.4	Situation climatique.....	30
III.2.4.1	Température .....	30
III.2.4.2	Précipitation .....	31

III.2.4.3	Humidité.....	32
III.2.4.4	Vent.....	32
III.2.5	Relief.....	32
III.2.6	Description hydrologique.....	33
III.2.7	Description géologique.....	36
III.2.8	Activités agricoles.....	37
III.3	Historique des inondations à El Tarf.....	38
III.4	Conclusion.....	41

## **Chapitre IV Traitement et constitutions De la base de donnée**

IV.1	Introduction.....	42
IV.2	Données d'inventaire.....	43
IV.3	Base de données géo spatiale (paramètres influençant les crues).....	44
IV.4	Facteurs topographiques.....	45
IV.4.1	Elévation.....	45
IV.4.2	Pente.....	45
IV.4.3	Aspect.....	46
IV.4.4	Courbure du plan.....	46
IV.4.5	Ombrage.....	46
IV.4.6	Accumulation de flux.....	47
IV.5	Facteurs hydrologiques.....	51
IV.5.1	Indice d'humidité topographique (IHT).....	51
IV.5.2	Indice de transport des sédiments (ITS).....	51
IV.5.3	Indice de rugosité du terrain (IRT).....	52
IV.5.4	Indice de puissance de flux (IPF).....	53
IV.5.5	Précipitations.....	53
IV.5.6	Le sens de l'écoulement.....	53
IV.6	Facteurs de forme géologique et terrestre.....	58
IV.6.1	Utilisation des terres et Occupation du sol (UT/OS).....	58
IV.6.2	Lithologie.....	59
IV.6.3	IVDN.....	59
IV.7	CONCLUSION.....	61

## Chapitre V Résultat et discussion

V.1	Introduction.....	62
V.2	Sélection des facteurs de conditionnement des crues .....	63
V.2.1	Coefficient de corrélation de rang de Spearman : .....	64
V.2.2	Test de multicolinéarité : .....	65
V.2.3	Évaluation de modèle RF : .....	66
V.2.4	Évaluation de la validation des performances du modèle : .....	67
V.2.5	Matrice de confusion .....	69
V.3	Modélisation de la susceptibilité aux inondations .....	70
V.4	CONCLUSION .....	72

### Conclusion Générale

Conclusion générale.....	73
--------------------------	----

Bibliographie

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> coefficient de corrélation entre les facteurs influençant.....	64
<b>Tableau 2</b> Test de multicolinéarité .....	65
<b>Tableau 3</b> la meilleure structure est donnée .....	67
<b>Tableau 4</b> Matrice de confusion de la simulation en période test .....	69
<b>Tableau 5</b> Pourcentage de la superficie sous classes de susceptibilité aux inondations utilisant le modèle RF .....	70

## Liste des Figure

<b>Figure 1</b> Photo d'ouragans prise par le satellite Tiros-1 premier satellite de télédétection civil (1961)	5
<b>Figure 2</b> Le spectre électromagnétique.....	7
<b>Figure 3</b> Pourcentage d'absorption (ou opacité) atmosphérique de la Terre à diverses longueurs d'onde et radiation électromagnétique, y compris lumière visible.....	9
<b>Figure 4</b> Schéma résumant les interactions du rayonnement avec l'atmosphère et l'objet observé.	10
<b>Figure 5</b> Schéma des processus de télédétection passive et active.....	11
<b>Figure 6</b> Apprentissage automatique .....	19
<b>Figure 7</b> Les types d'apprentissage automatique.....	22
<b>Figure 8</b> Illustration de l'algorithme Random forest .....	26

<b>Figure 9</b> Ensemble d'entraînement et ensemble de test de Random forest .....	26
<b>Figure 10</b> La carte géographique de zone d'étude.....	28
<b>Figure 11</b> Découpage administrative de la wilaya d'El Tarf.....	29
<b>Figure 12</b> La courbe de température moyenne maximale et minimale d'El Tarf.....	30
<b>Figure 13</b> Courbe de variation annuelle des précipitations d'El Tarf .....	31
<b>Figure 14</b> La carte hydrologique de bassin versant la Mafragh .....	36
<b>Figure 15</b> La carte géologique de la région d'El Tarf .....	37
<b>Figure 16</b> L'inondation qui a frappé El Tarf en 2012.....	39
<b>Figure 17</b> El Tarf le 23 février 2012.....	39
<b>Figure 18</b> L'inondation d'El Tarf février 2017 .....	40
<b>Figure 19</b> L'inondation de la région d'El Kala (El Tarf) .....	41
<b>Figure 20</b> La carte d'inventaire des inondations pour la formation du modèle montrant les emplacements inondés et non inondables. ....	44
<b>Figure 21</b> Carte d'Élévation de la wilaya d'El Tarf .....	48
<b>Figure 22</b> Carte de Pente de la wilaya d'El Tarf .....	48
<b>Figure 23</b> Carte d'Aspect de la wilaya d'El Tarf.....	49
<b>Figure 24</b> Carte de Courbure du plan de la wilaya d'El Tarf .....	49
<b>Figure 25</b> Carte d'Ombrage de la wilaya d'El Tarf.....	50
<b>Figure 26</b> Carte d'Accumulation de flux de la wilaya d'El Tarf.....	50
<b>Figure 27</b> Carte de IHT de la wilaya d'El Tarf.....	55
<b>Figure 28</b> Carte de ITS de la wilaya d'El Tarf .....	55
<b>Figure 29</b> Carte de IRT de la wilaya d'El Tarf.....	56
<b>Figure 30</b> Carte de IPF de la wilaya d'El Tarf .....	56
<b>Figure 31</b> Carte de Précipitation de la wilaya d'El Tarf.....	57
<b>Figure 32</b> Carte de Sens d'écoulement de la wilaya d'El Tarf.....	57
<b>Figure 33</b> Carte de UT / OS de la wilaya d'El Tarf.....	60
<b>Figure 34</b> Carte de Lithologie de la wilaya d'El Tarf.....	60
<b>Figure 35</b> Carte de IVDN de la wilaya d'El Tarf .....	61
<b>Figure 36</b> Organigramme méthodologique pour la susceptibilité aux inondations .....	63
<b>Figure 37</b> Analyse de multicollinéarité des facteurs d'influence .....	66
<b>Figure 38</b> Évaluation de la validation des performances du modèle .....	68
<b>Figure 39</b> La courbe AUC .....	69
<b>Figure 40</b> Carte de susceptibilité aux inondations par RF.....	70
<b>Figure 41</b> Pourcentage de la superficie sous classes de susceptibilité aux inondations utilisant le modèle RF .....	71

# Liste des abréviations

(RF) Random forest

(IHT) l'indice d'humidité topographique

(ITS) Indice de transport des sédiments

(ITC) d'indice topographique composé

(EURPS) l'équation universelle révisée de perte de sol

(IRT) Indice de rugosité du terrain

(IPF) Indice de puissance de flux

(PERSIANN) Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

(PDIR-Now): Dynamic Infrared-Rain Rate A Near-real time, Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset

(DEM) la distance est estimée moyenne

(UT/OS) Utilisation des terres et Occupation du sol

(UTM) Universal Transverse Mercator

(WGS) World Geodetic System

(SIG) system d'information géographique

(MODIS) Le Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

(EOS) Earth Observation System

(NASA) National Aeronautics and Space Administration

(IVDN) Indice de Végétation par Différence Normalisé

(VIF) Les valeurs importantes du facteur

(ROC) Receiver operating curve

(AUC) area under the curve

(RS) remote sensing

(ASAL) Agence Spatiale Algérienne

(UNESCO) United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

(DASS) Direction Affaires sanitaires et sociales

(RN) route national

(N/NE-S/SW) le nord et le nord-est / le sud et le sud-ouest

(AA) Apprentissage Automatique

(en) employées normalisation

(SVM) Support Vector Machine

(ADN) l'acide désoxyribonucléique

(IA) L'intelligence artificielle

(IBM) International Business Machines

(LCD) lutte contre la désertification

(GCL) gestion de la chaîne logistique

(CSI) La cartographie de la susceptibilité aux inondations

(AHP) le processus de hiérarchie analytique

(Rf) Rapport de fréquence

(IPCC) The Intergovernmental Panel on Climate Change

## Résumé

La problématique des risques naturels en général et des inondations en particulier est un sujet d'actualité qui marque une action mémorable dans le monde et spécifiquement dans les villes et agglomérations urbaines pose un problème avec acuité, notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques de la wilaya d'El Tarf. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et moyens disponibles et possibles. A travers ce mémoire la portée de cette étude est d'étudier la faisabilité de l'utilisation d'une méthode d'apprentissage automatique pour la cartographie de la sensibilité aux inondations de la wilaya d'El Tarf. À cette fin, nous avons utilisé la méthode de Random Forest (RF) la plus populaire pour ses performances de prédiction. Des cartes d'inventaire des crues ont été générées pour les crues historiques (900 emplacements) et divisées en ensembles de données de formation et de validation (70 % et 30 %) par un schéma de sélection aléatoire. Les facteurs influençant la crue ont été construits dans l'espace sur la base de caractéristiques topographiques, hydrologiques, géologiques et en tant qu'entrées dans les modèles. Ces facteurs comprennent, élévation, pentes, aspect, ombrage, la courbure du plan, accumulation de flux, l'indice d'humidité topographique (IHT), l'indice de transfert de sédiments (ITS), l'indice de rugosité de terrain (IRT), l'indice de puissance de flux (IPF). Précipitation, Sens d'écoulement, l'utilisation des terres/occupation du sol (UT/OS), lithologie, et l'indice de végétation par différence normalisé (IVDN). Le modèle RF décrit la relation entre le nombre d'inondations et les facteurs d'évaluation, et il a une précision de classification relativement élevée. L'efficacité des étapes du modèle RF a finalement atteint une précision de simulation moyenne de 84,81 %. Les analyses de 15 indicateurs montrent que les zones à fortes inondations sont concentrées dans les zones côtières, les bassins, les zones autour des lacs et divers bassins versants,

**Mots clés** : inondation, cartographie de la sensibilité aux inondations, apprentissage automatique, Random Forest, données formation et de validation.

## Abstract

The problem of natural risks in general and floods in particular is a topical subject which marks a memorable action in the world and specifically in cities and urban agglomerations poses a problem with acuteness, in particular with regard to the last major catastrophic floods of the Wilaya of El Tarf. Indeed, the management of this risk becomes more and more a necessity which must include all the actors and means available and possible. Through this

thesis, the scope of this study is to study the feasibility of using a machine learning method for the mapping of flood sensitivity in the wilaya of El Tarf. To this end, we used the most popular Random Forest (RF) method for its prediction performance. Flood inventory maps were generated for historical floods (900 locations) and divided into training and validation data sets (70% and 30%) by a random selection scheme. The factors influencing the flood were constructed in space on the basis of topographical, hydrological, geological as inputs into the models. These factors include, elevation, slopes, aspect, hillshade, plane curvature, flow accumulation, topographic witness index (TWI), sediment transfer index (STI), terrain roughness index (TRI), the flux power index (SPI). Rainfall, Flow direction, land use / land cover (LU /LC), lithology, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The RF model describes the relationship between the number of floods and the assessment factors, and it has relatively high classification accuracy. The efficiency of the RF model steps eventually reached an average simulation accuracy of 84.81%. Analyzes of 15 indicators show that areas with heavy flooding are concentrated in coastal areas, basins, areas around lakes and various watersheds,

**Keywords:** flood, mapping of flood sensitivity, machine learning, Random Forest, training and validation data.

## المخلص

تعد مشكلة المخاطر الطبيعية بشكل عام والفيضانات بشكل خاص موضوعاً موضعياً يمثل نشاطاً لا يُنسى في العالم وتحديداً في المدن والتجمعات الحضرية يمثل مشكلة معقدة، لا سيما فيما يتعلق بالفيضانات الكارثية الأخيرة لولاية الطارف. في الواقع، أصبحت إدارة هذا الخطر أكثر وأكثر ضرورة والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة والوسائل المتاحة والممكنة. من خلال هذه الرسالة، فإن نطاق هذه الدراسة هو دراسة جدوى استخدام طريقة التعلم الآلي لرسم خرائط حساسية الفيضانات في ولاية الطارف. تحقيقاً لهذه الغاية، استخدمنا طريقة (Random Forest (RF) الأكثر شيوعاً لأداء التنبؤ الخاص بها. تم إنشاء خرائط جرد الفيضانات للفيضانات التاريخية (900 موقع) وقسمت إلى مجموعات بيانات التدريب والتحقق (70% و30%) من خلال مخطط اختيار عشوائي. تم بناء العوامل المؤثرة في الفيضان في الفضاء على أساس السمات الطبوغرافية والهيدرولوجية والجيولوجية والطبوغرافية كمدخلات في النماذج. وتشمل هذه العوامل، الارتفاع، والمنحدرات، والجانب، والتظليل، وانحناء المستوى، وتراكم التدفق، ومؤشر الرطوبة الطبوغرافية (IHT) ، ومؤشر نقل الرواسب (STC) ، ومؤشر خشونة التضاريس (IRT) ، ومؤشر قوة التدفق (IPF). بطول الأمطار، واتجاه التدفق، واستخدام الأراضي / الغطاء الأرضي (UT / OS) ، وعلم الصخور، ومؤشر الفروق الطبيعية للغطاء النباتي (NDVI). يصف نموذج RF العلاقة بين عدد الفيضانات وعوامل التقييم، ولديه دقة تصنيف عالية نسبياً. وصلت كفاءة خطوات نموذج التردد اللاسلكي في النهاية إلى متوسط دقة محاكاة بلغت 84.81%. تظهر تحليلات 15 مؤشراً أن المناطق التي تشهد فيضانات غزيرة تتركز في المناطق الساحلية والأحواض والمناطق المحيطة بالبحيرات ومستجمعات المياه المختلفة،

**الكلمات المفتاحية:** الفيضانات، خرائط حساسية الفيضانات، والتعلم الآلي، والغابات العشوائية، وبيانات التدريب والتحقق

# **Introduction Générale**

### Introduction générale

Les inondations sont, de toutes les catastrophes naturelles qui frappent le monde chaque année, les plus fréquentes, les plus dommageables et les plus mortelles (Pulvirenti et al, 2011). Elles sont la source de près de la moitié des décès occasionnés par les catastrophes naturelles au cours des 50 dernières années, et sont responsables de près du tiers des pertes économiques au niveau mondial (James, 2008). L'impact des inondations en termes de dommages et de pertes en vies humaines est plus important dans les pays en voie de développement du fait d'une vulnérabilité humaine et économique plus élevée. Si les tendances aux changements climatiques, combinées à l'augmentation de la population vivant sur les terres inondables, à la déforestation, à la disparition des terrains marécageux et à l'augmentation du niveau moyen des mers, se confirment dans les décennies à venir, les inondations catastrophiques devraient être plus fréquentes (IPCC, 2012). Un nombre croissant d'individus devraient donc être exposés à ce phénomène, ce qui rend la question de la gestion du risque d'inondation de plus en plus importante pour les gouvernements.

En Algérie, en raison de l'assèchement de la plupart des terres, la question de l'eau prend la forme d'une crise aiguë qui a un impact négatif sur le cadre de vie, la santé des populations, l'emploi ainsi que le développement agricole et industriel en Algérie. Le manque de contrôle de l'urbanisation dans les zones sujettes aux inondations, le développement de logements et la construction accrue d'installations clés, de routes et de structures d'autoroutes encouragent l'expansion des inondations. Il est admis qu'il n'est pas encore en mesure de contrôler les forces de la nature, mais qu'il est néanmoins capable d'obstruer les cours d'eau et de construire des ouvrages suffisamment résistants pour neutraliser partiellement ou totalement les forces de la nature ; Étant donné que les phénomènes naturels ne sont pas sur le point de prendre fin, il est important de s'attaquer aux problèmes qu'ils causent avec des mesures appropriées de prévention, d'atténuation et de préparation. La prévention est essentielle, qu'il s'agisse d'identifier les risques naturels ou d'évaluer les menaces qu'ils font peser sur les personnes et les biens. Alors, quelles méthodes sont utilisées pour prédire ces risques naturels ?

L'Algérie est l'un des pays les plus confrontés aux phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestant de façon catastrophique constituant ainsi une menace sérieuse pour l'homme et ses biens à travers plusieurs communes du territoire national. En allant d'Annaba, Skikda, Alger, Sidi bel Abbes, M'sila, Ghardaïa, Bechar, Tamanrasset, El Tarf ..... etc.

## Introduction générale

Plusieurs régions du pays sont menacées par ce phénomène dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique impliquant une occupation des terres inondées et même les rives des oueds connus par leurs irrégularités et caractères torrentiels. Cela signifie que les risques naturels sont en grande partie les produits de la société actuelle plus que de simples phénomènes naturels. Le degré du risque augmente proportionnellement avec le degré des vulnérabilités directes et indirectes de divers enjeux. La délimitation des zones susceptibles d'être inondées reste une étape primordiale pour une bonne gestion du risque d'inondation. Dans ce cadre, l'imagerie satellitaire a montré toute son importance dans l'organisation des secours, l'évaluation des dégâts des régions concernées ainsi que dans la prévention par la cartographie des zones inondables et le dimensionnement des dispositifs de lutte contre les inondations.

La vulnérabilité aux inondations et l'évaluation des risques sont très importantes pour un développement urbain approprié. L'étude présente une méthodologie d'identification des zones d'exposition aux inondations à l'aide d'une analyse multicritère. La méthodologie a été appliquée dans l'état d'El Tarf et validée à l'aide d'un processus de hiérarchie analytique pour dériver le poids de chaque facteur de sensibilité, et une analyse de sensibilité a été réalisée pour tester la sensibilité des résultats aux changements dans les poids des facteurs de sensibilité, et pour évaluer la contribution de différents facteurs de susceptibilité au développement des crues. Cartes de sensibilité Ces cartes se sont avérées en bon accord avec les inondations historiques dans l'État d'El Tarf et devraient donc être utiles pour aider à atténuer les inondations et pour l'avenir. Aménagement du territoire dans chacun des États d'El Tarf. La méthodologie proposée est utile à des fins générales de planification et d'évaluation, car il a été démontré qu'elle est indépendante de l'échelle. Des zones d'exposition aux inondations similaires pour l'État d'El Tarf ont été obtenues à partir de modèles grands et petits. Les principaux facteurs contribuant à l'exposition aux inondations sont là caractéristiques topographiques, hydrologiques, géologiques et en tant qu'entrées dans les modèles. Ces facteurs comprennent, élévation, pentes, aspect, ombrage, la courbure du plan, accumulation de flux, l'indice d'humidité topographique (IHT), l'indice de transfert de sédiments (ITS), l'indice de rugosité de terrain (IRT), l'indice de puissance de flux (IPF). Précipitation, Sens d'écoulement, l'utilisation des terres/occupation du sol (UT/OS), lithologie, et l'indice de végétation par différence normalisé (IVDN).

La base des résultats obtenus à partir de l'analyse de sensibilité, les facteurs de sensibilité dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité aux inondations, en particulier les facteurs liés aux

## Introduction générale

ITS et accumulation de flux. Pour notre travail nous avons pris comme zone d'étude la région d'El Tarf qui est toujours en voie d'extension, elle est touchée par ce phénomène d'inondation de type torrentiel dû à des fortes averses de pluies ou des orages violents survenus sur de petits bassins versants qui caractérisent les principaux écoulements qui traversent cette wilaya. L'intérêt principal de ce type de sujet de mémoire de master est l'initiation aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) ainsi que des méthodes du domaine de l'apprentissage machinent pour la délimitation des zones susceptibles d'être inondées dans la wilaya d'El Tarf. La carte résultante pourra être utilisée par la suite pour proposer des solutions durables afin d'améliorer l'efficacité de la gestion du risque d'inondation à l'échelle locale de la région d'El Tarf.

Pour atteindre les objectifs, la démarche suivante a été adoptée :

Le premier chapitre est consacré à expliquer le processus de la télédétection, la source de rayonnement utilisée, la télédétection et ses moyens, les applications et l'utilisation de la télédétection et son intérêt dans notre travail.

Quant au deuxième chapitre, il est consacré à la définition du machine learning, de son principe, de ses applications et de ses types à l'aide de l'algorithme de Random forest et de son principe de fonctionnement, de l'intérêt du machine learning dans le traitement des données, et du classificateur de Random forest traitant des valeurs manquantes et maintenir l'exactitude d'un grand nombre de données.

Le troisième chapitre traite de la description de la situation géographique, des conditions climatiques (précipitations, température, vent, etc.), de la topographie, la description hydrologique et géologique, de l'activité agricole, du découpage administratif et des barrages situés dans la zone d'étude et l'histoire de certaines inondations qui ont frappé la wilaya d'El Tarf.

Le quatrième chapitre est consacré au traitement et à la constitution de la base de données et mentionne les facteurs affectant les crues, y compris les facteurs topographiques, géologiques et hydrologiques.

Le cinquième et dernier chapitre est consacré à présenter et expliquer la méthodologie des travaux en plus d'analyser et de discuter des résultats et de cartographier la sensibilité des crues et ainsi d'identifier les sites susceptibles d'être affectés par les inondations dans la wilaya d'El Tarf.

Les textes sont illustrés par un nombre de cartes, figure et tableaux.

Une conclusion générale est donnée à la fin de ce travail

# **CHAPITRE I**

## *La télédétection*

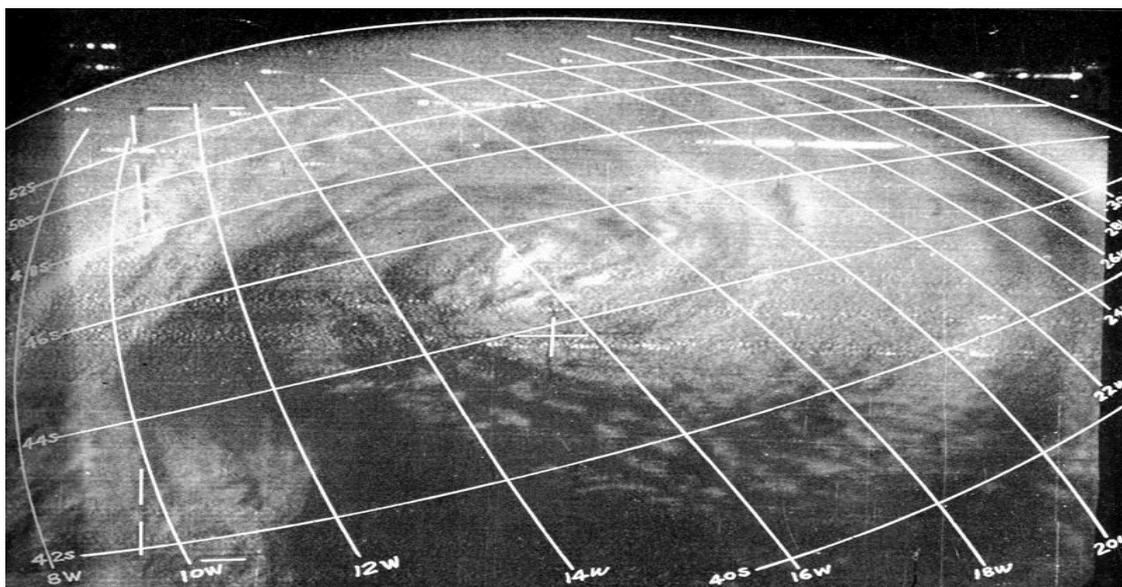
## I.2 Introduction

La télédétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol, ...), etc.

## I.3 Historique

Le développement de la télédétection est lié à l'invention de la photographie et à l'essor de l'aéronautique. La photographie de Paris réalisée depuis un ballon en 1860 par le photographe Nadar marque ses débuts. Durant le siège de Paris, des clichés sont pris depuis des ballons captifs pour obtenir des informations sur le dispositif militaire de l'adversaire. Durant près d'un siècle la télédétection est principalement mise en œuvre pour des activités de cartographie et de reconnaissance militaire en utilisant des caméras embarquées à bord d'avions. Les satellites artificiels (premier lancement en 1957 de Spoutnik-1) modifient complètement la donne en permettant de collecter des données sur la planète entière dans un laps de temps très court. Tiros-1, mis en orbite en 1960, est le premier satellite expérimental consacré à cet objectif. Sur le plan technique ces engins continuent à utiliser soit des appareils photographiques à film argentique qui doivent être numérisés ou renvoyés sur Terre soit des capteurs analogiques (tube cathodique vidicon) qui fournissent des images de basse qualité. Ces appareils sont remplacés par des détecteurs photoélectriques à l'état solide au début des années 1970. Il s'agit d'abord d'un détecteur élémentaire (un seul pixel) qui nécessite un double balayage pour enregistrer une image. C'est ce type de capteur qui est mis en œuvre par Landsat-1 (1972), premier satellite d'observation de la Terre civil opérationnel développé par l'agence spatiale américaine, la NASA. Les barrettes de détecteurs alignés, qui permettent de capturer une ligne entière de l'image (technique pushbroom) sont utilisées pour la première fois par le satellite français Spot 1 placé en orbite en 1986. Celui-ci inaugure la commercialisation des images obtenues par télédétection spatiale. Des capteurs composés des matrices de détecteurs permettant de capturer une image en une seule passe apparaissent à la fin des années 1980. Depuis leur capacité (nombre de pixels) et leur sensibilité (nombre de

pixels) n'a cessé de s'améliorer. Un réseau coordonné de satellites météorologiques géostationnaires, première grande application civile de la télédétection, est mis en place entre 1974 et 1978 sous les auspices de l'Organisation Météorologique Mondiale. En 1978 le satellite de la NASA Seasat emporte pour la première fois un radar à synthèse d'ouverture qui est utilisé pour effectuer des mesures au-dessus des océans. Le satellite Landsat-4, lancé en 1982 est le premier à fournir des images à haute résolution spatiale. Le satellite IKONOS lancé en 1999 est le premier à fournir des images à très haute résolution spatiale (moins de 1 mètre).



**Figure 1** Photo d'ouragans prise par le satellite Tiros-1 premier satellite de télédétection civil (1961)

#### I.4 Définition

La télédétection est l'ensemble des techniques utilisées pour déterminer à distance les propriétés d'objets naturels ou artificiels à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent. Les techniques de télédétection comprennent l'ensemble du processus : la capture et l'enregistrement de l'énergie d'un rayonnement émis ou réfléchi par les objets observés, le traitement des données résultantes et enfin l'analyse des données finales. Ce processus met en œuvre un capteur (appareil photographique, laser, radar, sonar, lidar, sismographe, gravimètre, ...) qui est généralement embarqué à bord d'une plateforme mobile : avion, satellite, ballon, navire (sonar), .... La télédétection moderne repose normalement sur des traitements numériques mais peut tout aussi bien utiliser des méthodes non numériques.

Une grande partie du spectre électromagnétique du rayonnement X aux ondes radios en passant par l'ultraviolet, la lumière visible et l'infrarouge peut être utilisée. Chaque partie du spectre est susceptible de fournir des informations sur l'objet : forme, température, composition chimique, moléculaire et minéralogie, distance, ...

La technique de la télédétection apparaît avec l'invention de la photographie et l'essor de l'aviation mais elle se développe plus particulièrement dans les années 1970 grâce à la mise au point des satellites d'observation de la Terre et de capteurs numériques. La télédétection a de multiples applications à la fois scientifiques et opérationnelles : météorologie, reconnaissance militaire, gestion des ressources agricoles et forestières, cartographie, gestion des catastrophes, étude du climat, modélisation des processus atmosphériques, ...

La télédétection spatiale, dans le domaine de l'aéronautique, est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques de la surface et de l'atmosphère de la Terre ou d'une autre planète, par des mesures effectuées à partir d'un engin spatial évoluant à distance convenable de cette dernière. Le terme correspondant en anglais est *remote sensing from space*.

## **I.5 Principe**

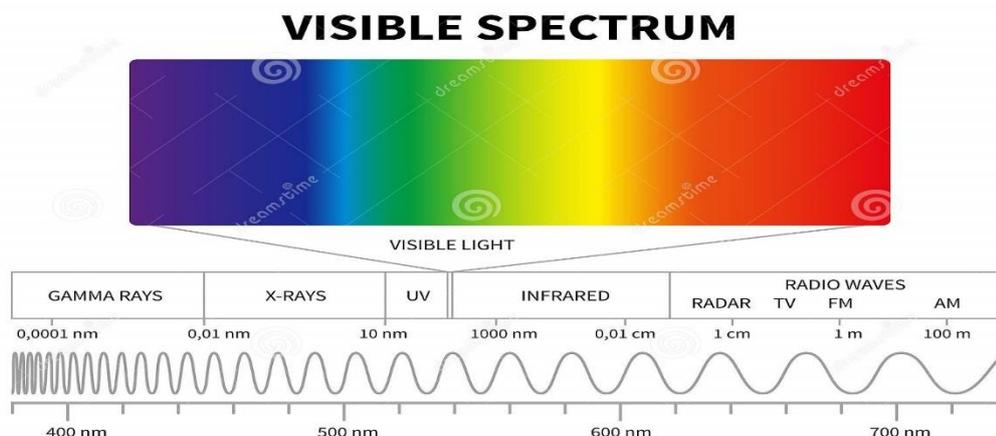
La télédétection est une méthode d'acquisition qui exploite principalement la mesure du rayonnement électromagnétique soit émis soit réfléchi par les objets étudiés.

## **I.6 Rayonnement électromagnétique**

Le rayonnement électromagnétique est une onde qui transporte de l'énergie et qui se déplace à la vitesse de la lumière. Il est composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Le champ électrique varie en grandeur et est orienté perpendiculairement à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté perpendiculairement au champ électrique. La principale propriété d'un rayonnement électromagnétique est sa longueur d'onde ( $\lambda$ ) qui est la distance entre deux crêtes successives de l'onde. Elle est exprimée en unité dérivée du mètre (nanomètre :  $10^{-9}$  m. - micron :  $10^{-6}$  m, millimètre :  $10^{-3}$  m. - etc..). La fréquence ( $\nu = c / \lambda$  mesure le nombre d'oscillation par unité de temps. Elle se calcule avec la formule  $\nu = c / \lambda$  (avec  $c$  = vitesse de la lumière).

On classifie le rayonnement électromagnétique en fonction de sa longueur d'onde : le spectre électromagnétique va des courtes longueurs d'ondes (rayons gamma, rayons X) aux grandes longueurs d'ondes (micro-ondes et ondes radio) en passant par l'ultraviolet, la lumière visible et l'infrarouge. La quantité d'énergie transportée par l'onde électromagnétique décroît avec la longueur d'onde. Une grande partie du spectre électromagnétique peut être utilisé pour la télédétection. On utilise plus particulièrement (par longueur d'onde croissant) :

- L'ultraviolet (0,1 à 0,4 microns) : Certains matériaux de la surface de la Terre (roches, minéraux) émettent de la lumière visible lorsqu'ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet (fluorescence).
- La lumière visible (entre 0,4 et 0,7 microns du violet au rouge), qui représente une toute petite partie du spectre électromagnétique, est le seul rayonnement que nos yeux peuvent détecter et qu'on peut associer à une couleur. Cette lumière que nous voyons d'une couleur uniforme est composée d'une multitude d'ondes de longueur différentes qui peuvent être rendues visibles en la décomposant avec un prisme.
- L'infrarouge (0,7 à 1000 microns) exploité est de deux types : l'infrarouge réfléchi (0,7 à 3 microns) et l'infrarouge thermique (de 3 à 100 microns). Contrairement aux autres rayonnements qui ont leur origine directement ou indirectement dans le rayonnement solaire, le rayonnement thermique est principalement un rayonnement émis directement par l'objet sous forme de chaleur.
- Le rayonnement hyperfréquence/micro-onde (1000 microns/1 mm à 1 mètre) sont utilisées par exemple pour la télédétection par radar.



**Figure 2** Le spectre électromagnétique.

**I.7 Sources du rayonnement utilisé pour la télédétection**

L'instrument utilisé pour la télédétection observe un domaine de fréquences précis qui peut être situé dans l'infrarouge, la lumière visible, les micro-ondes, l'ultraviolet, le rayonnement X ou les ondes radio. Ceci est rendu possible par le fait que les objets étudiés (surface, plantes, maisons, plans d'eau ou masses d'air) émettent ou réfléchissent du rayonnement à différentes longueurs d'onde et intensités en fonction de leurs composants et de leur état. Certains instruments de télédétection utilisent également des ondes sonores de façon similaire tandis d'autres mesurent des variations dans des champs magnétiques ou gravitaires.

Le rayonnement électromagnétique exploité par le processus de télédétection peut provenir des sources suivantes :

- Le rayonnement solaire réfléchi par l'objet observé.
- Le rayonnement émis par l'objet observé (rayonnement thermique).
- Le rayonnement émis par l'instrument utilisé pour la télédétection

(Par exemple radar) : et réfléchi par l'objet observé.

**I.8 Interactions du rayonnement avec l'atmosphère**

L'instrument utilisé pour la télédétection est généralement installé à bord d'un avion ou d'un satellite circulant sur une orbite basse. Le rayonnement source (rayonnement solaire) a traversé l'atmosphère terrestre avant d'atteindre l'objet et l'a à nouveau traversé pour revenir vers l'instrument. Les particules et les gaz composant l'atmosphère interagissent en bloquant (absorption optique) ou en déviant en partie le rayonnement (diffusion).

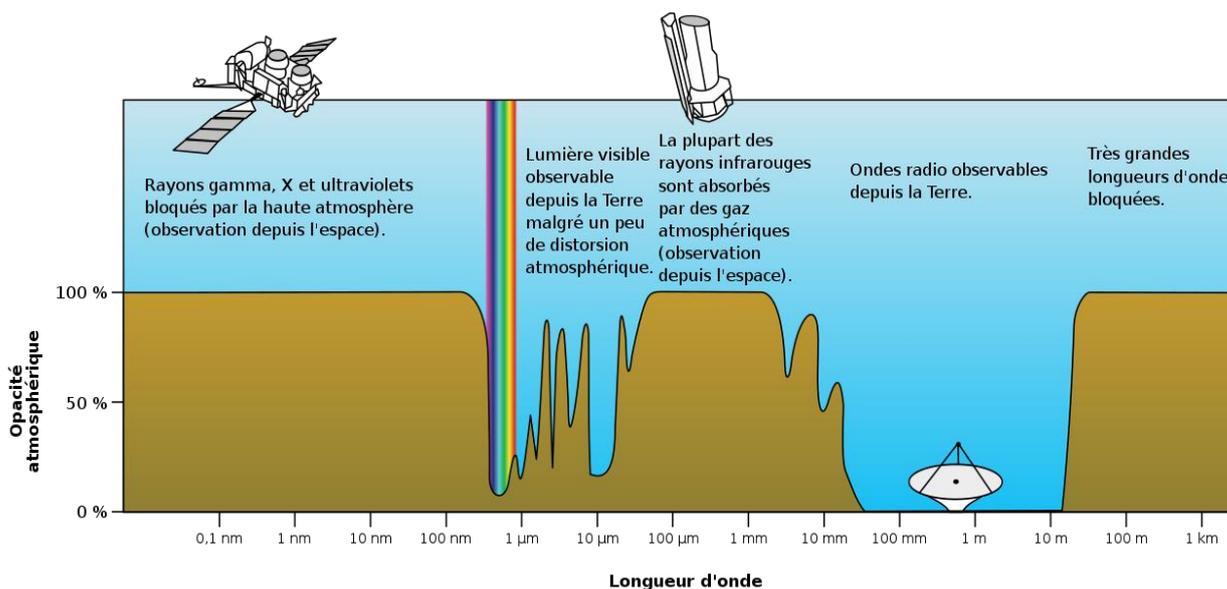
L'absorption optique survient parce que des molécules absorbent l'énergie de certaines longueurs d'ondes : l'ozone absorbe les ultraviolets, le dioxyde carbone absorbe une grande partie de l'infrarouge thermique (ce qui contribue à l'effet de serre) et la vapeur d'eau absorbe une grande partie de l'infrarouge dans les grandes longueurs d'ondes et les hyperfréquences de petites longueurs d'ondes. L'impact de l'absorption varie en fonction de l'altitude (couche atmosphérique plus ou moins épaisse) et de la quantité de vapeur d'eau. Dans un ciel limpide et à haute altitude il est fortement réduit. Le phénomène d'absorption a un impact important sur les longueurs d'ondes utilisées pour la télédétection.

L'effet de la diffusion dépend de la longueur d'onde, de la densité des particules et des molécules et de l'épaisseur de la couche atmosphérique. Trois processus peuvent jouer un rôle dans la diffusion :

La diffusion de Rayleigh a lieu lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. L'effet est plus important sur les longueurs d'ondes courtes. Ce type de diffusion, qui est à l'origine de la couleur bleue du ciel, se déroule dans les couches supérieures de l'atmosphère.

La diffusion de Mie se produit lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Elle est produite par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Elle touche plus particulièrement les grandes longueurs d'ondes et se produit dans les couches inférieures de l'atmosphère. Ce type de diffusion domine lorsque le ciel est couvert.

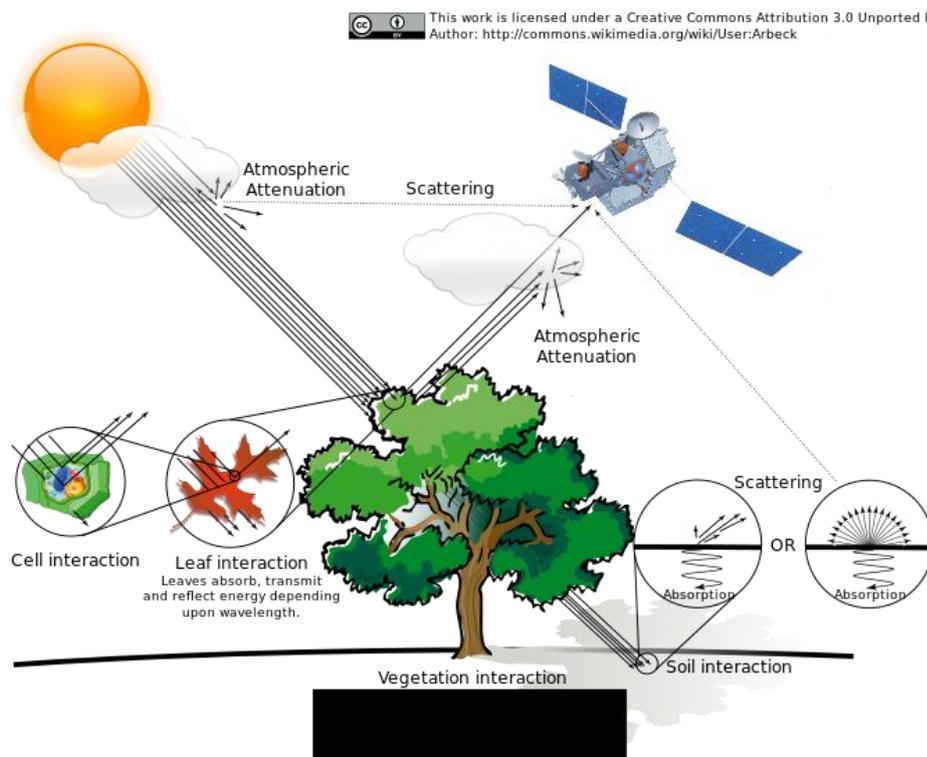
La diffusion non sélective découle de la présence de particules (gouttes d'eau, grosses particules de poussière) beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. Elle touche toutes les longueurs d'ondes. Elle est à l'origine de la couleur blanche des nuages et du brouillard.



**Figure 3** Pourcentage d'absorption (ou opacité) atmosphérique de la Terre à diverses longueurs d'onde et radiation électromagnétique, y compris lumière visible.

**I.9 Interactions entre le rayonnement et l'objet observé**

Le rayonnement électromagnétique traversant l'atmosphère interagira avec l'objet observé. Il peut être absorbé par lui, passé à travers l'objet ou réfléchi par lui. C'est le rayonnement réfléchi que la télédétection peut exploiter. Les trois motifs peuvent être combinés dans des proportions variables pour une longueur d'onde donnée. Cette interaction dépend de la longueur d'onde du rayonnement ainsi que de la nature et de la texture de la surface. Il existe deux types de réflexion : la réflexion spéculaire (le rayonnement est réfléchi dans la même direction que dans le cas d'un miroir) et la réflexion diffuse (le rayonnement est réfléchi dans toutes les directions). La plupart des objets combinent ces deux types de réflexion. Le motif de réflexion dépend de l'amplitude de la rugosité de surface par rapport à la longueur d'onde du rayonnement incident. Si la longueur d'onde est plus petite que la grossière, la réflexion diffuse domine (par exemple sur la plage la réflexion diffuse prévaut car les grains de sable ont quelques centaines de microns de diamètre alors que la longueur de la lumière visible est inférieure au micron).



**Figure 4** Schéma résumant les interactions du rayonnement avec l'atmosphère et l'objet observé.

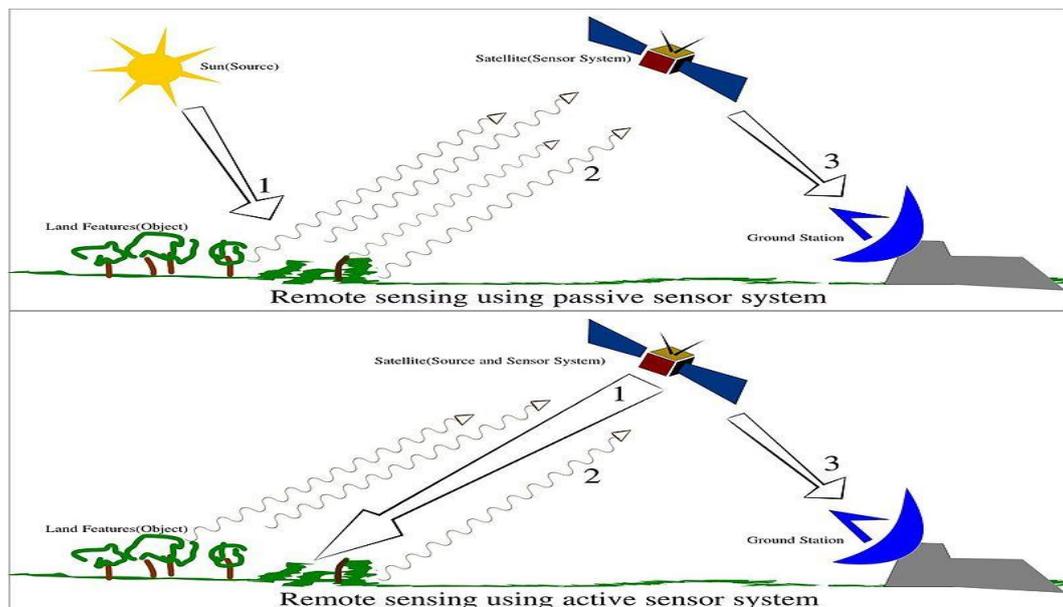
## I.10 Plateformes et capteurs

### I.10.1 Plateformes

Il existe des plates-formes mises en œuvre à courte distance telles que des systèmes de tomographie pour des applications médicales, industrielles ou spatiales (exploration in-situ), des radars d'instrumentation et des plates-formes longue distance telles que les avions et les satellites.

### I.10.2 Capteurs

Parmi les capteurs on distingue les capteurs passifs (typiquement caméra optique) qui analysent le rayonnement émis par l'objet observés et les capteurs actifs (typiquement radar) qui analysent la réflexion du rayonnement qu'ils émettent.



**Figure 5** Schéma des processus de télédétection passive et active

#### I.10.2.1 Capteurs optiques

Les capteurs optiques sont des systèmes passifs qui mesurent l'énergie électromagnétique en provenance de l'objet observée. Cette énergie peut être celle du Soleil qui a été réfléchie (rayonnement allant du visible à l'infrarouge moyen) ou celle émise par l'objet observé (infrarouge thermique ou lointain). L'instrument peut privilégier la dimension spatiale : c'est alors un radiomètre imageur (notre appareil photo) ou la dimension spectrale et c'est alors un

spectroradiomètre. L'instrument peut capturer à la fois les dimensions spatiale et spectrale et c'est alors un spectroimageur.

Les capteurs optiques peuvent utiliser différentes techniques d'acquisition :

- Acquisition matricielle
- Acquisition ligne par ligne (push-broom en anglais)
- Acquisition pixel par pixel

### *I.10.2.2 Capteurs à micro-ondes*

Les capteurs en micro-ondes sont réfléchis par les surfaces conductrices ou celles dont la permittivité ou perméabilité est différente de l'air comme le radar à synthèse d'ouverture, altimètre radar et Diffusiomètre à vent.

## **I.11 Utilisations de la télédétection**

La télédétection permet de nos jours d'observer l'ensemble de la planète dans tout le spectre électromagnétique avec une résolution spatiale inférieure au mètre dans le domaine optique. Une même région peut être observée à des intervalles rapprochés. Une des limites de la télédétection est qu'elle fournit des informations principalement sur la surface des sols. On peut distinguer les usages en fonction du domaine auquel ils s'appliquent : maritime, terrestre, atmosphérique.

### **I.11.1 Applications terrestres**

#### *I.11.1.1 Forêts*

Il est utilisé dans le type de couverture végétale et les caractéristiques des forêts, les inventaires forestiers (comptage d'arbres, évaluation de la biomasse ou de l'état de stress et de santé des arbres) utilisent de plus en plus l'imagerie aérienne, voire satellitaire (dont dans l'infrarouge). La précision est croissante, notamment pour les résineux, et moindrement pour la forêt tempérée feuillue. L'identification des espèces n'est pas fiable pour les forêts tropicales (sauf cas particuliers à floraison ou port caractéristiques).

### *1.11.1.2 Agriculture*

L'utilisation de la télédétection en agriculture est d'inventorier les cultures, les prévisions de récolte, évaluer les dommages causés par la sécheresse et les inondations, contrôler les maladies et les ravageurs des cultures, déterminer le stress hydrique ou nutritionnel des cultures.

### *1.11.1.3 Suivi des zones urbaines*

Les applications dans ce domaine dépendent de la résolution spatiale et du nombre de bandes spectrales disponibles. Ces applications sont :

- Suivi de la croissance urbaine au niveau local, régional et global
- Utilisation du sol
- Vulnérabilité en cas de catastrophes
- Évaluation des dommages après une catastrophe
- Télédétection à très haute résolution

### *1.11.1.4 Couverture et utilisation du sol*

La télédétection permet d'obtenir des cartes d'utilisation du sol et des couvertures terrestres qui sont utilisées pour faire face aux changements induits par la croissance de la population, le développement économique et les changements climatiques. En effet ces changements ont des répercussions sur la santé, l'économie et l'environnement. Il n'existe pas de norme pour représenter les différents types de couverture. Il existe par exemple GCL2000 (instrument VEGETATION), CORINE (instrument SPOT/Landat) ou GLOB-COVER (instrument MERIS).

### *1.11.1.5 Cartographie*

La résolution spatiale des capteurs récents permet de réaliser des cartes ou d'alimenter des systèmes d'information géographique (SIG). Les cartes topographiques sont souvent produites à l'aide de paires stéréographiques de photos aériennes permettant de recréer une image en trois dimensions.

Les modèles numériques de terrain peuvent être produits par interférométrie (à l'aide du radar à ouverture synthétique), méthode consistant à enregistrer une série de mesures de la cible à partir d'un avion, d'un satellite ou d'une navette spatiale. La combinaison des données issues de ces mesures offre une carte détaillée contenant de l'information sur la couverture du sol, le

relief ou encore le mouvement à une échelle centimétrique. Les données couvrent généralement des bandes de plusieurs kilomètres de largeur.

### *I.11.1.6 Catastrophe naturelles*

Les séismes sont centrés en arrière-plan en comparant les sismogrammes enregistrés à différents endroits ; L'état d'intensité relative et de précision temporelle de l'enregistrement est la qualité de l'information au site du tremblement.

Dans le cadre de la lutte contre la désertification, la télédétection facilite le suivi et le contrôle à long terme des zones à risque, l'identification des facteurs de désertification et l'aide à la prise de mesures appropriées de gestion environnementale par les autorités locales. Décideurs et évaluer l'impact de ces mesures. Il utilise également la télédétection :

- Prévention des catastrophes naturelles (incendies, inondations, tremblements de terre, éruptions volcaniques et sécheresse).
- Surveillance des catastrophes en temps réel
- Analyse d'impact
- Surveiller les processus de réadaptation.

### **I.11.2 Applications militaires**

Les applications militaires de la télédétection sont les opérations de renseignement, la cartographie, la vérification des traités internationaux et la sécurité des frontières.

### **I.11.3 Applications maritimes**

Les applications marines de la télédétection consistent à mesurer les vents de surface (vitesse et direction) : Les vents de surface sont le mouvement de l'atmosphère par rapport à la surface de l'océan. La vitesse et la direction de ces vents sont traditionnellement mesurées sur place par des anémomètres montés sur des bouées, des plates-formes ou des navires, mais la couverture est très partielle. Elle peut être mesurée à partir d'un satellite voyageant en orbite basse à l'aide d'un radar Doppler (Diffusiomètre) qui exploite la diffraction de Bragg, qui sont des ondes de surface affectées par les changements de vent à la surface. L'utilisation de radiomètres à micro-ondes est une nouveauté : cet appareil passif mesure la luminosité causée par la rugosité de la surface de l'océan causée par les vents, et **il mesure aussi** :

- Courants océaniques

- Couleur océan
- Qualité de l'océan
- Acidité
- Gestion des zones côtières
- Bathymétrie (érosion, sédimentation).
- Le fond marin est défini à l'aide d'un sonar.
- Température de surface de la mer
- Niveau de la mer
- Salinité

### I.11.4 Applications atmosphériques

L'atmosphère est un mélange de gaz composé de plusieurs couches aux caractéristiques différentes. Elle joue un grand rôle dans le climat en assurant la circulation à grande échelle de l'air dans la troposphère processus qui permet de répartir la chaleur autour de la Terre. Lorsque le rayonnement électromagnétique traverse l'atmosphère il est absorbé ou diffusé par les particules présentes. Par ailleurs l'atmosphère émet un rayonnement infrarouge thermique.

Les principales applications associées aux observations de l'atmosphère sont : Les prévisions météorologiques, les précipitations peuvent être détectées par radars, l'analyse des concentrations et des caractéristiques des gaz atmosphériques, la prévention des catastrophes (tempêtes, vents, etc.) les énergies renouvelables (éolien, solaire), la qualité de l'air (pollution, aérosols, brumes, etc.), la mesure des gaz à effet de serre et le changement climatique.

Il existe d'autres applications pour le processus de télédétection, notamment la géologie (minéraux, sédimentation, érosion), l'humidité des sols, la topographie, l'archéologie, la géodésie .... Etc.

**I.12 Conclusion**

L'emploi des images de télédétection pour la cartographie de l'occupation du sol, zones humides et l'estimation de certaines variables environnementales tels que l'indice foliaire, le rayonnement utile à la photosynthèse, biomasse, etc. demeure encore une affaire de spécialistes. Les étapes préalables avant l'exploitation de l'information radiométrique sont relativement longues et fastidieuses. En effet, les images acquises par les systèmes spatiaux ou aéroportés ne sont pratiquement jamais superposables à une carte et il est nécessaire de corriger géométriquement les données. Les effets atmosphériques doivent aussi être pris en compte et corrigés. Cette étape est fondamentale pour des études multi-temporelles du couvert. La télédétection a connu ces dernières années un essor considérable en raison de l'intérêt de plus en plus croissant accordé aux écosystèmes terrestres et les échanges de masse et d'énergie dans le système lithosphère-biosphère-atmosphère. Des images sont disponibles par milliers sur toutes les surfaces du globe.

À partir d'informations de télédétection et en utilisant des réseaux de neurones artificiels (PERSIANN) - nous avons pu trouver le taux dynamique de pluie dans l'infrarouge en temps quasi réel.

**CHAPITRE II**  
*Machine learning*

**II.1 Introduction**

L'apprentissage automatique (AA) est une discipline qui consiste à appliquer des algorithmes à des jeux de données afin d'en extraire des modèles. Ceux-ci peuvent à leur tour être appliqués sur des données similaires à des fins de prédiction. Avec suffisamment de données, il est possible de formuler une approximation de la relation entre toutes les variables d'entrée et les valeurs particulières dites « cible ». On peut alors appliquer cette formule sur de nouvelles données d'entrée pour prévoir la valeur cible associée. Cette approche diffère de la programmation conventionnelle où une application est développée à partir de règles préalablement définies. Même si les concepts fondamentaux de l'AA existent depuis un certain temps, le domaine a récemment pris de l'ampleur en raison d'une part de l'amélioration de la performance des processeurs (en particulier graphiques), et d'autre part grâce à la disponibilité de grandes quantités d'information. Ces deux composantes qui sont essentielles à l'obtention de prévisions précises.

**II.2 Historique**

Depuis l'antiquité, le sujet des machines pensantes préoccupe les esprits. Ce concept est la base de pensées pour ce qui deviendra ensuite l'intelligence artificielle, ainsi qu'une de ses sous-branches : l'AA.

La concrétisation de cette idée est principalement due à Alan Turing (mathématicien et cryptologie britannique) et à son concept de la « machine universelle » en 1936, qui est à la base des ordinateurs d'aujourd'hui. Il continuera à poser les bases de l'AA, avec son article sur « L'ordinateur et l'intelligence » en 1950, dans lequel il développe, entre autres, le test de Turing.

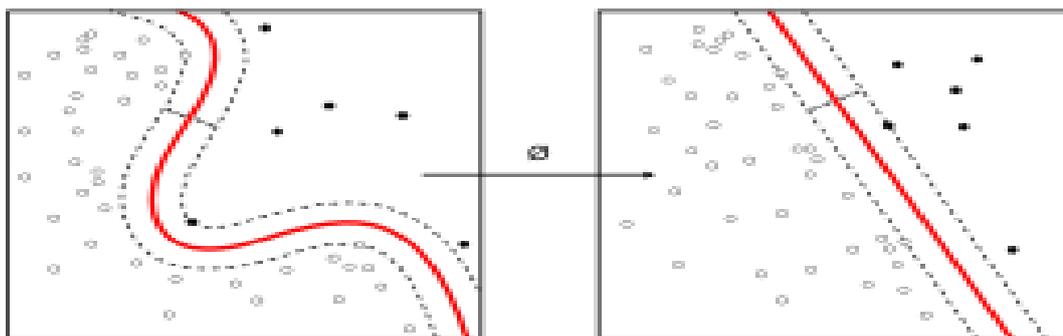
En 1943, le neurophysiologiste Warren McCulloch et le mathématicien Walter Pitts publient un article décrivant le fonctionnement de neurones en les représentant à l'aide de circuits électriques. Cette représentation sera la base théorique des réseaux neuronaux.

Arthur Samuel, informaticien américain pionnier dans le secteur de l'intelligence artificielle, est le premier à faire usage de l'expression machine Learning « AA » en 1959 à la suite de la création de son programme pour IBM en 1952. Le programme jouait au Jeu de Dames et s'améliorait en jouant. À terme, il parvint à battre le 4e meilleur joueur des États-Unis.

**II.3 Définition**

En anglais machine Learning, apprentissage artificiel ou apprentissage statistique est un champ d'étude de l'intelligence artificielle qui se fonde sur des approches mathématiques et statistiques pour donner aux ordinateurs la capacité d'« apprendre » à partir de données, c'est-à-dire d'améliorer leurs performances à résoudre des tâches sans être explicitement programmés pour chacune. Plus largement, il concerne la conception, l'analyse, l'optimisation, le développement et l'implémentation de telles méthodes.

L'AA comporte généralement deux phases. La première consiste à estimer un modèle à partir de données, appelées observations, qui sont disponibles et en nombre fini, lors de la phase de conception du système. L'estimation du modèle consiste à résoudre une tâche pratique, telle que traduire un discours, estimer une densité de probabilité, reconnaître la présence d'un chat dans une photographie ou participer à la conduite d'un véhicule autonome. Cette phase dite « d'apprentissage » ou « d'entraînement » est généralement réalisée préalablement à l'utilisation pratique du modèle. La seconde phase correspond à la mise en production : le modèle étant déterminé, de nouvelles données peuvent alors être soumises afin d'obtenir le résultat correspondant à la tâche souhaitée. En pratique, certains systèmes peuvent poursuivre leur apprentissage une fois en production, pour peu qu'ils aient un moyen d'obtenir un retour sur la qualité des résultats produits. Selon les informations disponibles durant la phase d'apprentissage, l'apprentissage est qualifié de différentes manières. Si les données sont étiquetées (c'est-à-dire que la réponse à la tâche est connue pour ces données), il s'agit d'un apprentissage supervisé. On parle de classification ou de classement si les étiquettes sont discrètes, ou de régression si elles sont continues. Si le modèle est appris de manière incrémentale en fonction d'une récompense reçue par le programme pour chacune des actions entreprises, on parle d'apprentissage par renforcement. Dans le cas le plus général, sans étiquette, on cherche à déterminer la structure sous-jacente des données (qui peuvent être une densité de probabilité) et il s'agit alors d'apprentissage non supervisé. L'apprentissage automatique peut être appliqué à différents types de données, tels des graphes, des arbres, des courbes, ou plus simplement des vecteurs de caractéristiques, qui peuvent être des variables qualitatives ou quantitatives continues ou discrètes.



**Figure 6** Apprentissage automatique

## II.4 Principes :

L'AA permet à un système piloté ou assisté par ordinateur comme un programme, une IA ou un robot, d'adapter ses réponses ou comportements aux situations rencontrées, en se fondant sur l'analyse de données empiriques passées issues de bases de données, de capteurs, ou du web.

L'AA permet de surmonter la difficulté qui réside dans le fait que l'ensemble de tous les comportements possibles compte tenu de toutes les entrées possibles devient rapidement trop complexe à décrire et programmer de manière classique (on parle d'explosion combinatoire). On confie donc à des programmes d'AA le soin d'ajuster un modèle pour simplifier cette complexité et de l'utiliser de manière opérationnelle. Idéalement, l'apprentissage visera à être non supervisé, c'est-à-dire que les réponses aux données d'entraînement ne sont pas fournies au modèle.

Ces programmes, selon leur degré de perfectionnement, intègrent éventuellement des capacités de traitement probabiliste des données, d'analyse de données issues de capteurs, de reconnaissance (reconnaissance vocale, de forme, d'écriture...), de fouille de données, d'informatique théorique...

## II.5 Applications

L'AA est utilisé dans un large spectre d'applications pour doter des ordinateurs ou des machines de capacité d'analyser des données d'entrée comme : perception de leur environnement (vision, Reconnaissance de formes tels des visages, schémas, segmentation

d'image, langages naturels, caractères dactylographiés ou manuscrits ; moteurs de recherche, analyse et indexation d'images et de vidéo, en particulier pour la recherche d'image par le contenu ; aide aux diagnostics, médical notamment, bio-informatique, chémoinformatique ; interfaces cerveau-machine ; détection de fraudes à la carte de crédit, cyber sécurité, analyse financière, dont analyse du marché boursier ; classification des séquences d'ADN ; jeu ; génie logiciel ; adaptation de sites Web ; robotique (locomotion de robots, etc.) ; analyse prédictive dans de nombreux domaines (financière, médicale, juridique, judiciaire).

## **II.6 Types d'apprentissage**

Les algorithmes d'apprentissage peuvent se catégoriser selon le mode d'apprentissage qu'ils emploient.

### **II.6.1 Apprentissage supervisé**

Si les classes sont prédéterminées et les exemples connus, le système apprend à classer selon un modèle de classification ou de classement ; on parle alors d'apprentissage supervisé (ou d'analyse discriminante). Un expert (ou oracle) doit préalablement étiqueter des exemples. Le processus se passe en deux phases. Lors de la première phase (hors ligne, dite d'apprentissage), il s'agit de déterminer un modèle à partir des données étiquetées. La seconde phase (en ligne, dite de test) consiste à prédire l'étiquette d'une nouvelle donnée, connaissant le modèle préalablement appris. Parfois il est préférable d'associer une donnée non pas à une classe unique, mais une probabilité d'appartenance à chacune des classes prédéterminées (on parle alors d'apprentissage supervisé probabiliste).

ex. : L'analyse discriminante linéaire ou les SVM en sont des exemples typiques. Autre exemple : en fonction de points communs détectés avec les symptômes d'autres patients connus (les exemples), le système peut catégoriser de nouveaux patients au vu de leurs analyses médicales en risque estimé (probabilité) de développer telle ou telle maladie.

### **II.6.2 Apprentissage non supervisé**

Quand le système ou l'opérateur ne dispose que d'exemples, mais non d'étiquette, et que le nombre de classes et leur nature n'ont pas été prédéterminés, on parle d'apprentissage non supervisé ou clustering en anglais. Aucun expert n'est requis. L'algorithme doit découvrir par

lui-même la structure plus ou moins cachée des données. Le partitionnement de données, data clustering en anglais, est un algorithme d'apprentissage non supervisé.

Le système doit ici dans l'espace de description (l'ensemble des données) cibler les données selon leurs attributs disponibles, pour les classer en groupes homogènes d'exemples. La similarité est généralement calculée selon une fonction de distance entre paires d'exemples. C'est ensuite à l'opérateur d'associer ou déduire du sens pour chaque groupe et pour les motifs (patterns en anglais) d'apparition de groupes, ou de groupes de groupes, dans leur « espace ». Divers outils mathématiques et logiciels peuvent l'aider. On parle aussi d'analyse des données en régression (ajustement d'un modèle par une procédure de type moindres carrés ou autre optimisation d'une fonction de coût). Si l'approche est probabiliste (c'est-à-dire que chaque exemple, au lieu d'être classé dans une seule classe, est caractérisé par un jeu de probabilités d'appartenance à chacune des classes), on parle alors de « soft clustering » (par opposition au « hard clustering »).

Cette méthode est souvent source de sérendipité. ex. : Pour un épidémiologiste qui voudrait dans un ensemble assez large de victimes de cancer du foie tenter de faire émerger des hypothèses explicatives, l'ordinateur pourrait différencier différents groupes, que l'épidémiologiste chercherait ensuite à associer à divers facteurs explicatifs, origines géographique, génétique, habitudes ou pratiques de consommation, expositions à divers agents potentiellement ou effectivement toxiques (métaux lourds, toxines telle que l'aflatoxine, etc.).

### **II.6.3 Apprentissage semi-supervisé**

Effectué de manière probabiliste ou non, il vise à faire apparaître la distribution sous-jacente des exemples dans leur espace de description. Il est mis en œuvre quand des données (ou « étiquettes ») manquent... Le modèle doit utiliser des exemples non étiquetés pouvant néanmoins renseigner. ex. : En médecine, il peut constituer une aide au diagnostic ou au choix des moyens les moins onéreux de tests de diagnostic.

### **II.6.4 Apprentissage partiellement supervisé**

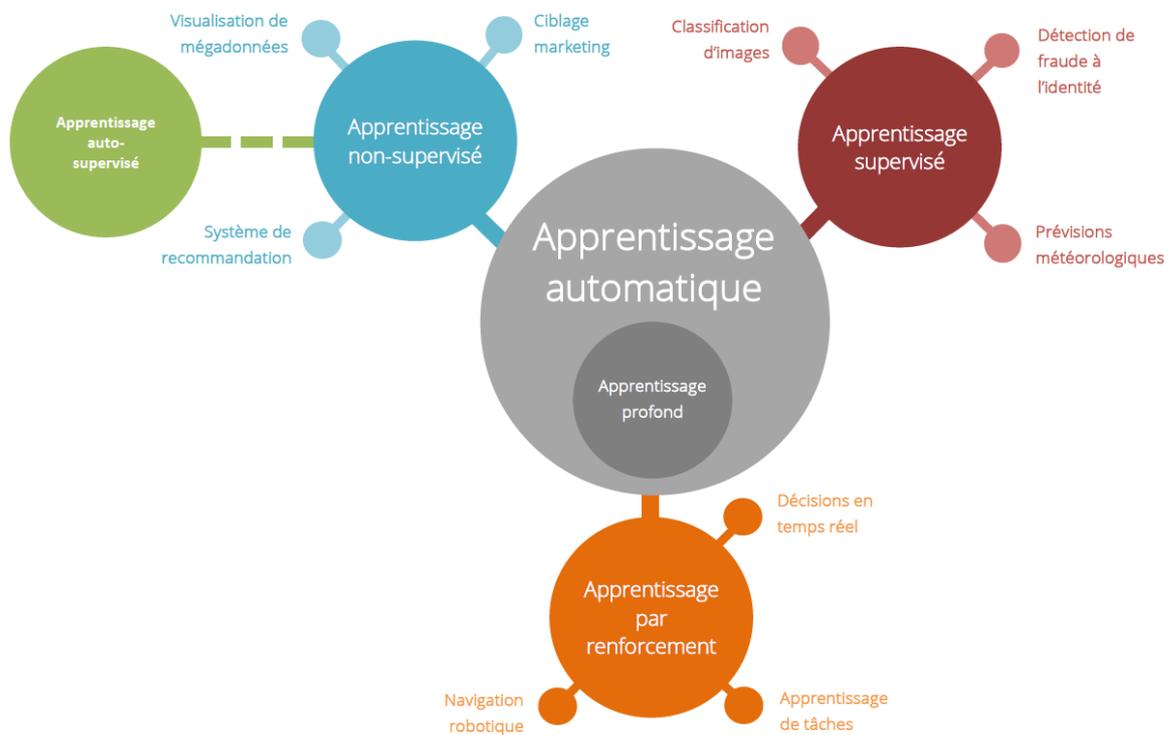
Probabiliste ou non, quand l'étiquetage des données est partiel. C'est le cas quand un modèle énonce qu'une donnée n'appartient pas à une classe A, mais peut-être à une classe B ou C (A, B et C étant trois maladies par exemple évoquées dans le cadre d'un diagnostic différentiel).

**II.6.5 Apprentissage par renforcement**

L'algorithme apprend un comportement étant donné une observation. L'action de l'algorithme sur l'environnement produit une valeur de retour qui guide l'algorithme d'apprentissage. Ex. : L'algorithme de Q-learning est un exemple classique.

**II.6.6 Apprentissage par transfert**

L'apprentissage par transfert peut être vu comme la capacité d'un système à reconnaître et appliquer des connaissances et des compétences, apprises à partir de tâches antérieures, sur de nouvelles tâches ou domaines partageant des similitudes.



**Figure 7** Les types d'apprentissage automatique

**II.7 Étapes d'un projet d'AA**

L'AA ne se résume pas à un ensemble d'algorithmes, mais suit une succession d'étapes.

1. Définir le problème à résoudre

2. Acquérir des données : l'algorithme se nourrissant des données en entrée, c'est une étape importante. Il en va de la réussite du projet, de récolter des données pertinentes et en quantité et qualité suffisantes, et en évitant tout biais dans leur représentativité.
3. Analyser et explorer les données
4. Préparer et nettoyer les données : les données recueillies doivent être retouchées avant utilisation. En effet, certains attributs sont inutiles, d'autres doivent être modifiés afin d'être compris par l'algorithme, et certains éléments sont inutilisables car leurs données sont incomplètes. Plusieurs techniques telles que la visualisation de données, la transformation de données (en) ou encore la normalisation sont alors employées.
5. Ingénierie ou extraction de caractéristiques : les attributs peuvent être combinés entre eux pour en créer de nouveaux plus pertinents et efficaces pour l'entraînement du modèle.
6. Choisir ou construire un modèle d'apprentissage : un large choix d'algorithmes existe, et il faut en choisir un adapté au problème et aux données.
7. Entraîner, évaluer et optimiser : l'algorithme d'apprentissage automatique est entraîné et validé sur un premier jeu de données pour optimiser ses hyper paramètres.
8. Test: puis il est évalué sur un deuxième ensemble de données de test afin de vérifier qu'il est efficace avec un jeu de données indépendant des données d'entraînement, et pour vérifier qu'il ne fasse pas de sur apprentissage.
9. Déployer : le modèle est alors déployé en production pour faire des prédictions, et potentiellement utiliser les nouvelles données en entrée pour se ré-entraîner et être amélioré.

### II.8 Algorithmes existants

Parmi les algorithmes utilisés dans le domaine de l'AA, on trouve :

- Les machines à vecteur de support.
- Le boosting.
- Les réseaux de neurones, dont les méthodes d'apprentissage profond (deep learning en anglais) pour un apprentissage supervisé ou non-supervisé.
- La méthode des **K** plus proches voisins pour un apprentissage supervisé.
- Les arbres de décision, méthodes à l'origine des **Random Forest**, par extension également du boosting (notamment le modèle XGBoost).

- Les méthodes statistiques comme le modèle de mixture-gaussienne.
- La régression logistique.
- L'analyse discriminante linéaire.
- Les algorithmes génétiques et la programmation génétique.

Ces méthodes sont souvent combinées pour obtenir diverses variantes d'apprentissage. Le choix d'un algorithme dépend fortement de la tâche à résoudre (classification, estimation de valeurs...), du volume et de la nature des données. Ces modèles reposent souvent sur des modèles statistiques.

### II.9 Random Forest

Random Forest est un algorithme d'apprentissage automatique robuste qui peut être utilisé pour diverses tâches, notamment la régression et la classification. Il s'agit d'une méthode d'ensemble, ce qui signifie qu'un modèle de forêt aléatoire est composé d'un grand nombre de petits arbres de décision, appelés estimateurs, qui produisent chacun leurs propres prédictions. Le modèle de forêt aléatoire combine les prédictions des estimateurs pour produire une prédiction plus précise. Les classificateurs d'arbre de décision standard ont l'inconvénient d'être enclins à sur adapter à l'ensemble d'apprentissage. La conception d'ensemble de la forêt aléatoire permet à la forêt aléatoire de compenser cela et de bien généraliser aux données invisibles, y compris les données avec des valeurs manquantes. Les forêts aléatoires sont également adaptées à la gestion de grands ensembles de données avec une dimensionnalité élevée et des types d'entités hétérogènes (par exemple, si une colonne est catégorique et une autre numérique). Les forêts aléatoires sont très bonnes pour les problèmes de classification mais sont légèrement moins bonnes pour les problèmes de régression. Contrairement à la régression linéaire, Le coefficient de régression aléatoire de la forêt ne peut pas faire de prédictions en dehors de la plage de ses données d'apprentissage. Les forêts aléatoires sont également des boîtes noires : contrairement à certains algorithmes d'apprentissage automatique plus traditionnels, il est difficile de regarder à l'intérieur d'un classificateur de forêts aléatoires et de comprendre le raisonnement qui sous-tend ses décisions. De plus, ils peuvent être lents à s'entraîner et à s'exécuter, et produire des fichiers de grande taille. Parce qu'elles sont extrêmement robustes, faciles à utiliser, bonnes pour les types de données hétérogènes et ont très peu d'hyper paramètres, les forêts aléatoires sont souvent le premier port d'escale d'un scientifiques des données lors du développement d'un nouveau système

d'apprentissage automatique, car elles permettent aux scientifiques des données d'obtenir un aperçu rapide du type de précision qui peut raisonnablement être atteint sur un problème, même si la solution finale ne peut pas impliquer une forêt aléatoire.

Random Forest est une technique informatique efficace qui peut fonctionner rapidement sur de grands ensembles de données. Il a été utilisé dans de nombreux projets de recherche récents et applications dans le monde réel dans divers domaines. Cependant, la littérature associée ne fournit presque aucune indication sur le nombre d'arbres à utiliser pour composer une forêt aléatoire

### II.9.1 L'algorithme Random forest

Après vous avoir vanté les vertus des arbres de décisions, vous êtes en droit de vous demander quel est l'intérêt de disposer d'une forêt entière. Le principal souci de ces arbres est en réalité leur optimalité.

Le fait de considérer différents sous-ensembles est important cela réduit les risques d'erreur, puisque nos arbres seront peu corrélés. On évite alors également le problème du surapprentissage, qui intervient lorsque l'arbre construit s'est trop adapté à l'échantillon considéré.

Chaque feuille ne représentant qu'un unique candidat. Cet arbre sera donc fiable à 100% pour l'échantillon ayant permis sa construction (puisque'il prend en compte tous les tests possibles), mais ne sera pas généralisable à d'autres échantillons.

Le candidat est testé sur chacun de ces arbres. L'intérêt de la forêt est de procéder par vote majoritaire quant aux résultats obtenus. On réduit ainsi la marge d'erreur que peut avoir un arbre seul. Plus l'on dispose d'arbres, plus la forêt sera fiable.

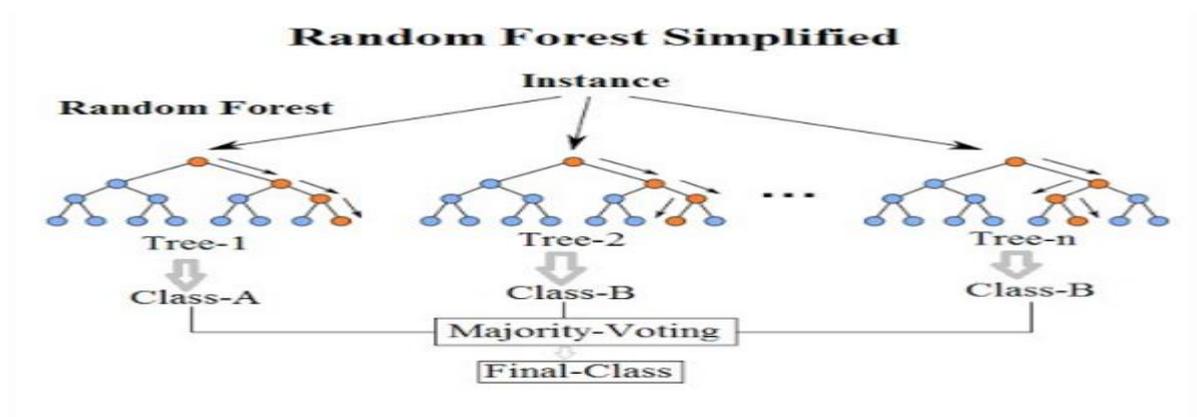


Figure 8 Illustration de l'algorithme Random forest

### II.9.2 Principe de fonctionnement de Random forest

Une forêt aléatoire se compose d'un ensemble d'arbres de décision indépendants. Chaque arbre contient une vue fragmentée du problème due à une double sélection aléatoire, et fonctionne en quatre étapes :

- Sélectionnez des échantillons aléatoires à partir d'un ensemble de données donné.
- Créez un arbre de décision pour chaque échantillon et obtenez un résultat de prédiction à partir de chaque arbre de décision
- Votez sur chaque résultat prévu.
- Le résultat de la prédiction avec le plus de votes est déterminé comme prédiction finale.

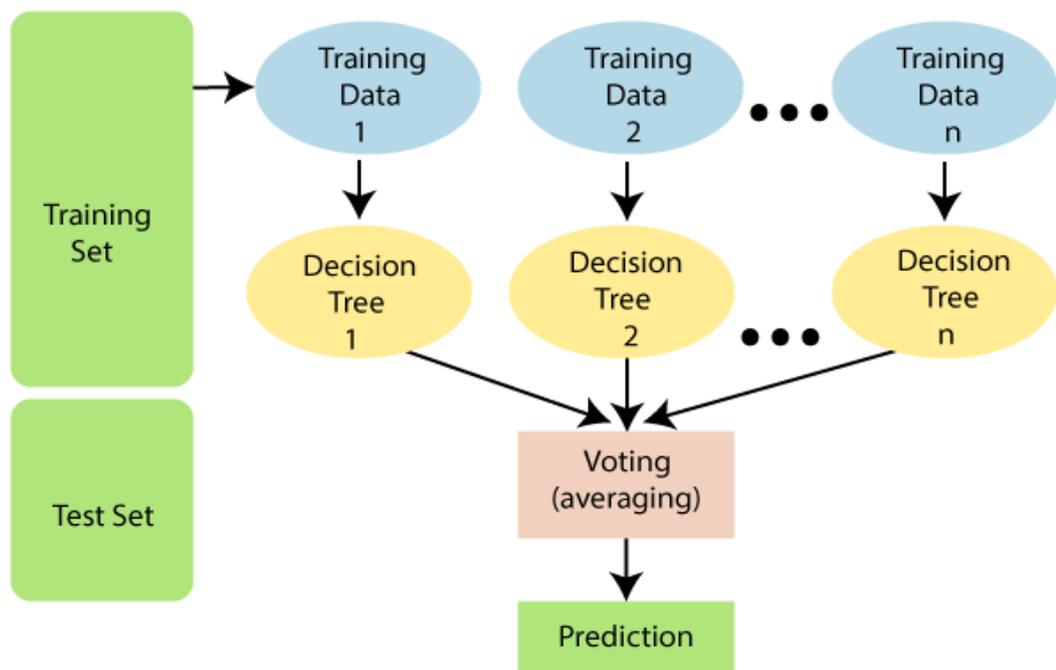


Figure 9 Ensemble d'entraînement et ensemble de test de Random forest

### II.9.3 La forêt aléatoire est-elle bonne pour la classification

Random forest est un algorithme d'apprentissage automatique flexible et facile à utiliser qui produit, même sans réglage d'hyper-paramètres, un excellent résultat la plupart du temps. C'est aussi l'un des algorithmes les plus utilisés, en raison de sa simplicité et de sa diversité (il peut être utilisé à la fois pour des tâches de classification et de régression).

### II.10 Conclusion :

L'apprentissage automatique est l'une des technologies les plus perturbatrices du XXI<sup>e</sup> siècle. Bien que cette technologie puisse encore être considérée comme naissante, son avenir est prometteur. Les cinq prédictions ci-dessus ne font qu'effleurer ce qui pourrait être possible avec l'apprentissage automatique. Dans les années à venir, nous verrons probablement des applications plus avancées qui peuvent étendre ses capacités à des niveaux inimaginables.

L'apprentissage automatique peut examiner de gros volumes de données et découvrir des tendances et des schémas spécifiques qui ne seraient pas évidents pour l'homme.

L'utilisation des approches d'apprentissage automatique (ML) et des méthodes de calcul logiciel qui deviennent populaires dans de nombreuses applications pour évaluer les risques d'inondation tout en démontrant des performances et une efficacité élevées dans leurs prédictions. Les modèles d'apprentissage automatique ont reçu beaucoup d'attention de la communauté des chercheurs en raison de leurs performances exceptionnelles documentées dans divers sujets et domaines de recherche.

L'algorithme de forêt aléatoire peut être utilisé à la fois pour les classifications et les tâches de régression. Il offre une plus grande précision grâce à la validation croisée. Le classificateur de forêt aléatoire traitera les valeurs manquantes et maintiendra l'exactitude d'une grande partie des données, création de la carte des zones susceptibles d'être inondé dans la wilaya de El Tarf.

## **CHAPITRE III**

*Description de la zone d'étude Et  
Historique des inondations*

## Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

### III.1 Introduction

La Wilaya d'El Tarf est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 507 772 habitants sur une superficie de 2 904 km<sup>2</sup>. La densité de population de la Wilaya d'El Tarf est donc de 174,9 habitants par km<sup>2</sup>.

Dans ce chapitre, Nous avons donné une description des caractéristiques géographiques, les conditions climatiques (précipitations, température...), le relief, la description hydrologique et géologique, l'activité agricole, le découpage administratif et les Barrages situés dans la zone d'étude et l'historique de certaines inondations qui ont frappé la wilaya d'El Tarf.

### III.2 Description de la zone d'étude

#### III.2.1 Situation géographique

La wilaya d'El Tarf est située à l'extrême nord-est de l'Algérie à la frontière tunisienne elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée et l'est, par la Tunisie (Gouvernorat de Jendouba) et au sud, par la wilaya de Souk Ahras et au sud-ouest, par la wilaya de Guelma et à l'ouest par la wilaya d'Annaba.

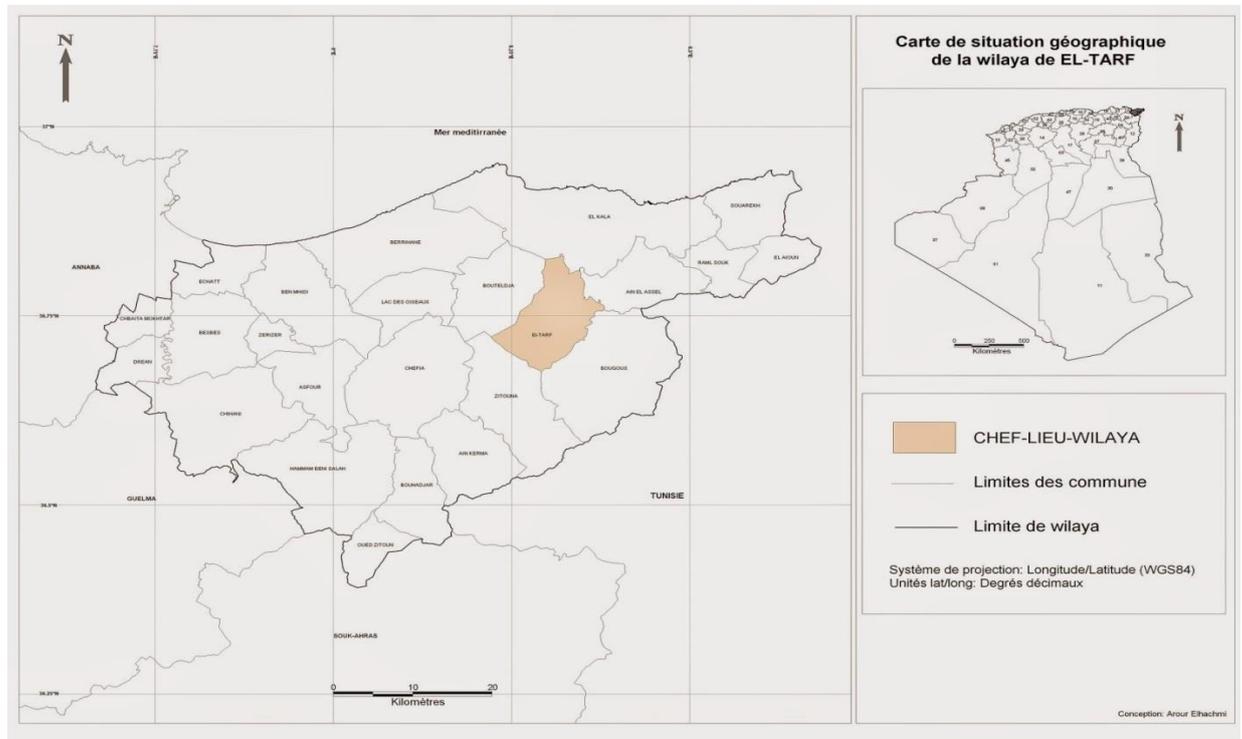


Figure 10 La carte géographique de zone d'étude

## Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

### III.2.2 Découpage administrative

El Kala, Besbes et Dréan sont les plus grandes villes de la Wilaya d'El Tarf parmi les 24 villes qui la compose.

La Wilaya d'El Tarf est divisée en 7 daïras : le daïra d'El Tarf, le daïra d'El Kala, le daïra de Ben Mehidi, le daïra de Besbes, le daïra de Dréan, le daïra de Bouhadjar et le daïra de Bouteldja.

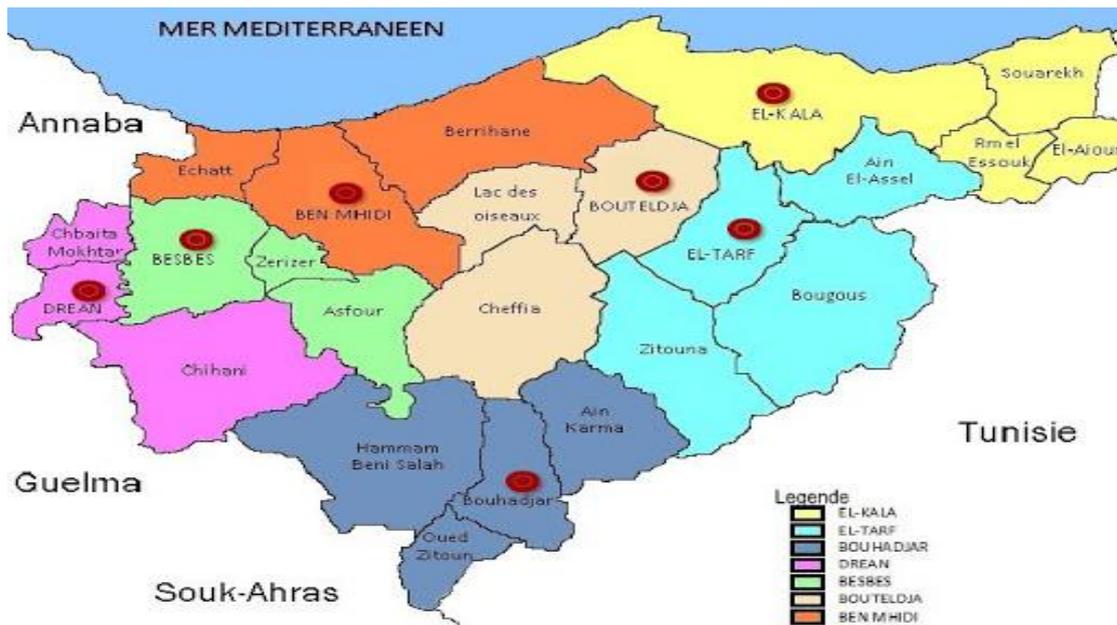


Figure 11 Découpage administrative de la wilaya d'El Tarf

### III.2.3 Barrages existants

La wilaya d'El Tarf comprend les barrages suivants :

Le barrage de Cheffia est situé à 50 kilomètres au Sud-Est de la ville d'Annaba avec une capacité de stockage de 159 millions de m<sup>3</sup>. Le barrage achevé en 1965, est constitué par une digue en terre de retenue normale de 165 m. Celle-ci régularise annuellement 95 Hm<sup>3</sup> pour les besoins du périmètre irrigué de Bounamoussa (Wilaya d'El Tarf) Il est destiné à alimenter en eau potable des villes d'Annaba et Bouhadjar, alimenté en eau industrielle du complexe sidérurgique d'El Hadjar et écrêter de crue contre la plaine d'El Tarf et d'Annaba.

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

Le barrage de Mexa est situé à 75 kilomètres de la ville d'El-Taref avec une capacité de stockage de 31 millions de m<sup>3</sup>, le barrage achevé en 1988. Il est destiné à l'alimentation en eau potable des villes d'Annaba, El-Taref et Kala.

Le barrage bougous est situé sur l'oued bougous dans la wilaya d'El Tarf, à 20 km à l'est du chef-lieu, en bordure de la frontière avec la Tunisie avec une capacité de stockage de 66 Mm<sup>3</sup>, le barrage achevé en 2002. Il est destiné à satisfaire les besoins en eau potable et industrielle de la wilaya d'el Tarf.

Le Barrage de Boukhroufa, qui se trouve à la wilaya El Tarf d'Algérie, sur l'Oued Boukhroufa, situé à 9 km au sud de la ville Bouteldja, et situé à une trentaine de kilomètres du chef-lieu de la wilaya, afin d'assurer l'approvisionnement d'eau aux terrains agricoles avec une capacité totale de 125 millions de m<sup>3</sup>. le barrage de terre à noyau d'argile, de hauteur de 87 m, le barrage est en voie de réalisation dans la daïra de Bouteldja, est-il destiné à l'irrigation de 9.600 hectares de terres agricoles. Les travaux de construction du barrage, ont été lancés en 2013, et ont accusé des retards d'ordre technique et autres liés à la crise de la pandémie du coronavirus. Cette structure est destinée à assurer la protection d'une partie de la plaine d'El Tarf contre les inondations, à valoriser les ressources en eau et à participer au développement économique et social de la région. (En cour de réalisation)

#### III.2.4 Situation climatique

##### III.2.4.1 Température

À El Tarf, les étés sont très chauds, humide, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont long, frisquet, précipitation, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 7 °C à 32 °C et est rarement inférieure à 4 °C ou supérieure à 37 °C.

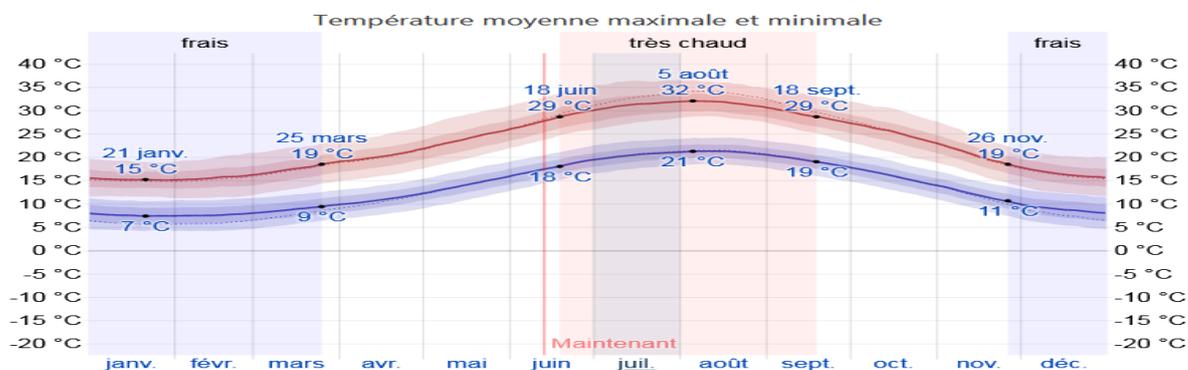


Figure 12 La courbe de température moyenne maximale et minimale d'El Tarf

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

#### III.2.4.2 Précipitation

Le terme précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. La précipitation est un facteur très important, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères. Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie.

El Tarf connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

La période pluvieuse de l'année dure 9,9 mois, du 20 août au 16 juin, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. La plus grande accumulation de pluie a lieu au cours des 31 jours centrés aux alentours du 15 janvier, avec une accumulation totale moyenne de 73 millimètres. La période sèche de l'année dure 2,1 mois, du 16 juin au 20 août. La plus petite accumulation de pluie a lieu aux alentours du 18 juillet, avec une accumulation totale moyenne de 4 millimètres.

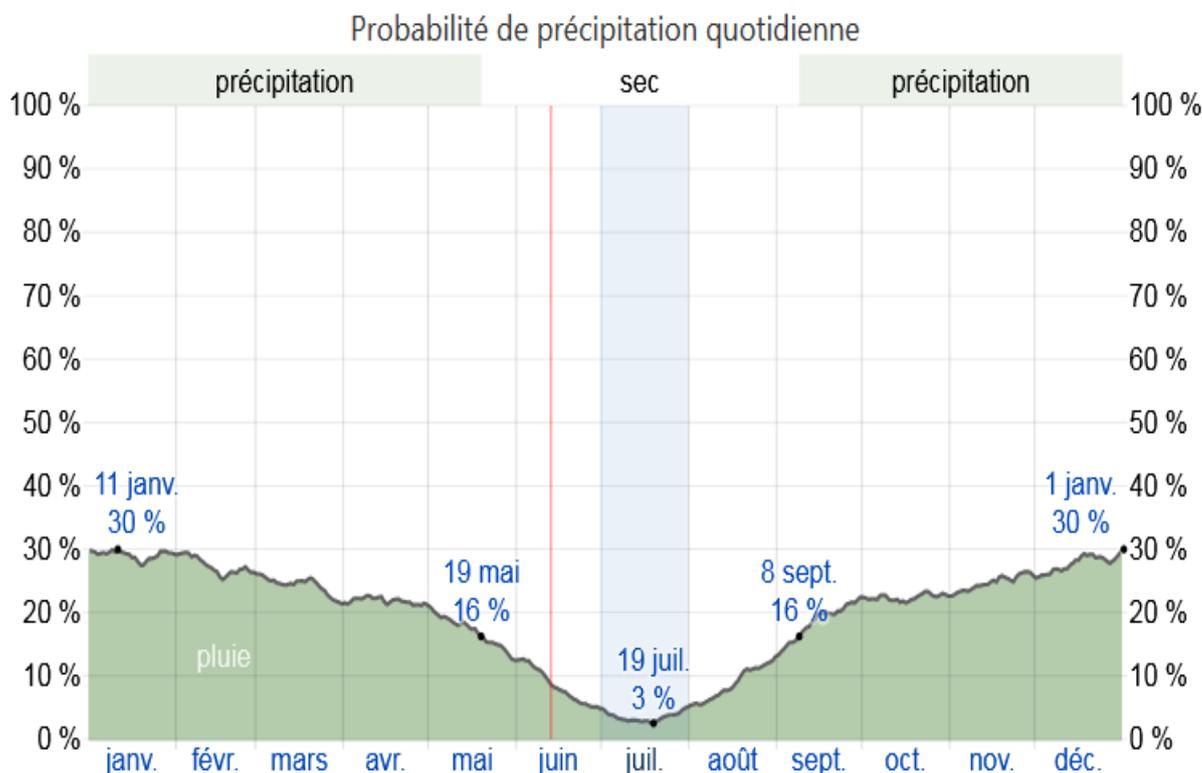


Figure 13 Courbe de variation annuelle des précipitations d'El Tarf

## **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

### *III.2.4.3 Humidité*

El Tarf connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure 4,0 mois, du 11 juin au 11 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 15 % du temps. Le jour le plus lourd de l'année est le 13 août, avec un climat lourd 61 % du temps. Le jour le moins lourd de l'année est le 16 décembre, avec un climat lourd quasiment inexistant.

### *III.2.4.4 Vent*

La vitesse horaire moyenne du vent à El Tarf connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 6,0 mois, du 1 novembre au 2 mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,3 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 1 février, avec une vitesse moyenne du vent de 17,2 kilomètres par heure. La période la plus calme de l'année dure 6,0 mois, du 2 mai au 1 novembre. Le jour le plus calme de l'année est le 13 août, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 11,3 kilomètres par heure.

### **III.2.5 Relief**

Formes de relief du bassin de la Mafragh est marqués par des tranches d'Altitudes la carte altimétrique donne plus de détails sur la morphologie du bassin versant. En effet la de la répartition altimétrique nous permet de dégager les formes du relief les plus caractéristiques du bassin versant et leurs altitudes. On distingue 04 tranches d'altitude :

Plaines et épandages de 0 à 50 m : Les plaines s'étalent d'est en ouest sur 1100 Km<sup>2</sup> d'une altitude inférieure à 10 m et atteignant les 50m. L'épandage forme la zone de contact entre la plaine et les versants où s'étalent les alluvions des cours d'eau formant alors des plaines d'épandages.

### **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

Les versants : Ils apparaissent dans une tranche d'altitude allant de 50 à 400 m, comme dans les basses collines des monts de la Cheffia qui entourent les bassins intérieurs de Bouhadjar, Cheffia, Ain Karma et Asfour, ainsi que dans la région de Bougous au niveau de Djebel Oum Ali, et occupent le centre du bassin versant.

Les Collines : Elles sont représentées sur la carte par la tranche d'altitude de 400-800m. Elles apparaissent sur les limites ouest du bassin versant sur Kef-el-Ouach, Kef el Ramoul et Kef Mzaza sur les frontières Algériennes-Tunisiennes. Elles constituent les crêtes de la ligne de partage des eaux de l'Ouest vers l'Est.

Les montagnes : D'une altitude variant de 800 jusqu'à 1406 m, elles sont représentées par Kefel Boum, Kef Rekeb à l'Ouest et Djebel Dir, Djebel El Ghorra à l'Est. Elles représentent les crêtes de la ligne de partage des eaux du bassin versant dans sa partie Sud.

#### **III.2.6 Description hydrologique**

Les Bassins Intérieurs :

Trois types de bassins internes peuvent être distingués :

Des bassins montagnards, un bassin de plaine et des bassins littoraux occupés par des lacs.

Les Bassins Montagnards : Ces bassins, à caractère montagnard, sont des fenêtres qui ont été creusées dans la nappe des grés numidiens, des failles normales ont conditionnées la localisation et les limites des bassins

Le Bassin de la Cheffia : Creusé dans des roches tendres, il présente deux parties avec au centre une ligne de hauteur qui joue le rôle de ligne de partage des eaux. La partie méridionale, occupée par le Lac du Barrage de la Cheffia (570 ha), est drainée par l'Oued Bounamoussa. La partie septentrionale, drainée par Oued Cheffia, présente une topographie de glacis. L'ensemble est dominé, sur toutes ses bordures, par des escarpements gréseux. Le bassin est drainé par Oued Cheffia qui rejoint Oued Boulathane par des gorges vers le Nord.

Le Bassin d'Ain el Karma : Ce bassin est drainé par l'Oued subous et Chaabet Rebiha avant de former Oued Zitouna vers le Nord. Il est caractérisé par une topographie morcelée où les altitudes varient. Elles sont de 1041m à Djebel Dir vers le Sud-Est, pour atteindre les 349m à Kef Ain Loulidja. En son centre, un promontoire « Cap » porte le nom de Bourdj Ain El Karma « Mechtaat Meradia Fouguania».

### **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

Le bassin de Bouhadjar : Il est caractérisé par une topographie plus accidentée où les altitudes atteignent les 808m à Djebel Souani, 1406m à Djebel M'Sid, 1015m à Kef El Boum et 740m à Draa Safsaf. Il est drainé par deux oueds importants : Oued Bouhadjar et Oued El Kebir. Ce bassin constitue la zone d'alimentation du barrage de la Cheffia qui se situe au nord de ce dernier.

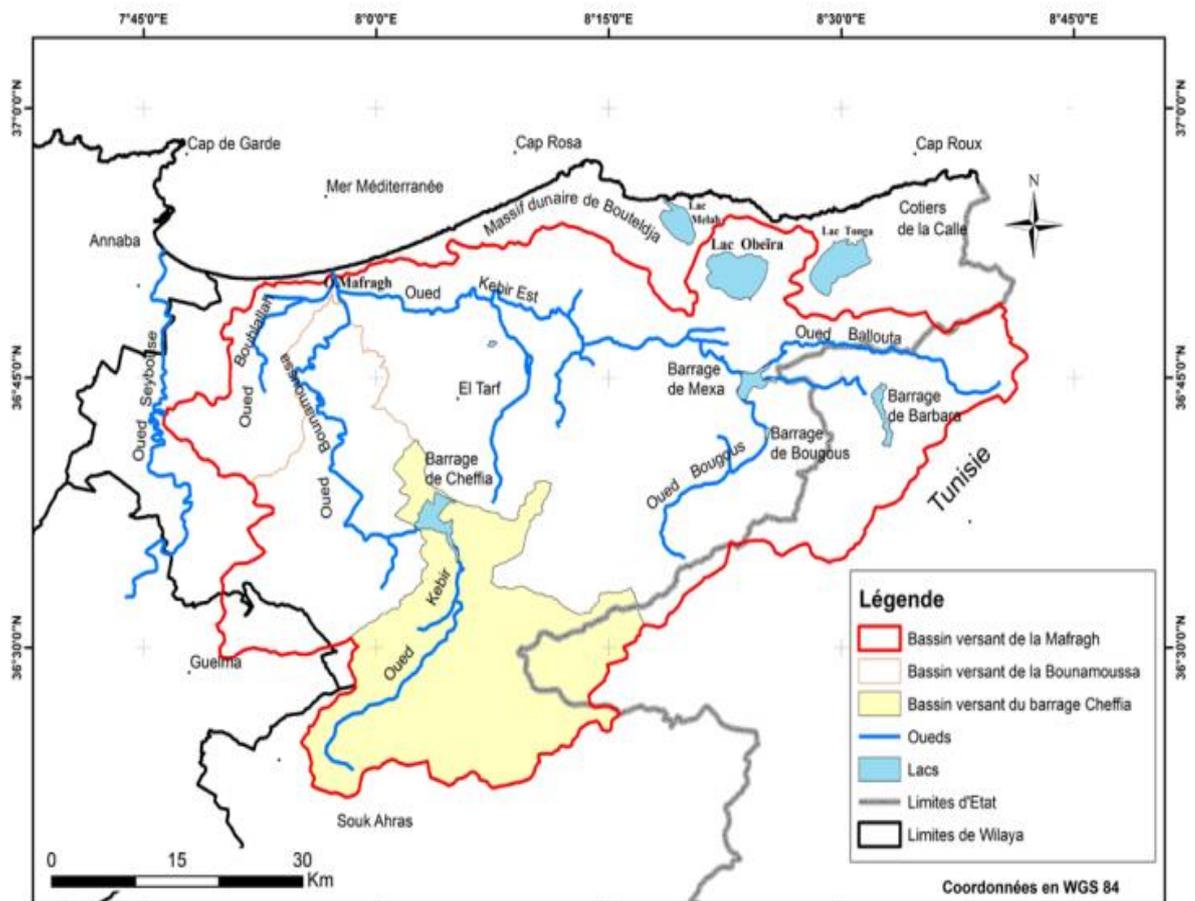
Le Bassin des Plaines : Au Nord-Est, le bassin d'El Tarf -Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de 2 à 28 m, et est parcourue par l'amont d'Oued El Kebir. Au Nord, le Lac Oubëira qui occupe une dépression prolonge cette plaine. Plus au Sud l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement. Des vallées étroites drainent ce bassin avant de rejoindre Oued Kebir qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Boutheldja vers l'Ouest par un couloir étroit.

Les Bassins Littoraux : Les crêtes de la ligne de partage des eaux au nord de l'Oued El-Kebir et qui sépare le bassin versant de la Mafragh des côtières de La Calle sont caractérisées par des altitudes basses allant d'Ouest vers l'Est de 177m à Djebel Bourdim à 156m à Djebel Hdjar Siah pour atteindre les 254m dans l'extrême Est à la limite Algéro-Tunisienne (Kef Maatallah). Ces bassins littoraux font la limite Nord-Nord-Est de notre région d'étude et c'est dans la région d'El Kala (La Calle) que se localisent les bassins littoraux. Ces trois bassins sont occupés par des lacs : le Lac Melah qui est en relation avec la mer par un grau, le Lac Oubëira à 2m d'altitude et le lac Tonga à 2-3m d'altitude. Ce dernier, drainé incomplètement vers la Baie de la Messida, prend aujourd'hui l'aspect de plaines très humides surtout durant les années sèches. Vu son importance hydrologique, le Lac Oubeïra peut être inclus comme unité du système hydrologique de la Mafragh et un aperçu pour éclaircir cette relation particulière s'avère nécessaire.

Lac Oubeïra : Le lac Oubeïra est situé à la côte 25 m. Il est occupé par de l'eau douce et alimenté essentiellement par les oueds Messida et Bouhachicha au Sud et Oued Legraa au Nord. Ce lac est séparé du Lac Melah par un seuil de 44m de hauteur. Lors des averses d'hiver (période des hautes eaux) les eaux de l'Oued El Kebir s'écoulent vers le lac. En été, le système hydrologique fonctionne en sens inverse. C'est l'Oued Messida qui a la particularité de s'écouler alternativement dans les deux sens à la recherche d'un équilibre hydrologique naturel. Donc, ce lac est alimenté principalement par l'Oued Messida qui a creusé un petit estuaire au Sud-Est de la Garaa, qui reste à sec en été et qui reçoit en hiver une importante

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

masse d'eau venant des marécages de l'Ouest de Ain El Assel. Ces marais, lors des grosses pluies sont aussi en communication directe avec Oued El- Kebir qui se jette à la mer sous le nom de la Mafragh, après avoir traversé les Garaas de la grande plaine d'Annaba et les dunes littorales voisines. C'est par cette voie que les poissons migrateurs du lacs (Anguilles, Muges, Aloses) effectuent leurs déplacements périodiques, lors des crues, où le courant de l'Oued Messida vers le lac est fort violent. Par contre, quand le niveau du lac est très haut et que les pluies cessent (période des basses eaux), l'affluent devient émissaire et une partie des eaux du lac retournent aux marais d'où elles étaient venues. Les Muges et les Aloses sont alors prisonniers. Il ne semble pas en tous cas que les poissons proprement marins tels que les Loups ou Bars, qui pénètrent fréquemment dans les Khelidjs de la grande plaine de Annaba atteignent normalement le lac Oubeira (Joleaud, 1936) Enfin, les eaux de Garaat el Ouez s'écoulent régulièrement en partie vers le Nord dans le Lac Melah par Oued el Aroug et en partie vers le Sud dans l'Oued el Kébir par Chaabet Damet El Lil qui rejoint Chaabet El Khalidj, avant de rejoindre Oued El Kebir. Ainsi donc, la ligne de partage des eaux de cette zone du versant nord du bassin d'El Tarf, n'occupe pas une position géographique immuable.



## Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

**Figure 14** La carte hydrologique de bassin versant la Mafragh

### III.2.7 Description géologique

La plaine d'El Tarf s'inscrit dans les au récoles du prolongement oriental de la chaîne numidique de direction générale N/NE-S/SW. Son sous-sol est essentiellement constitué de terrains sédimentaires s'étageant de l'Eocène au Néo-Pléistocène, à forte proportion de roches plus au moins perméables. On distingue deux terrains sédimentaires différents :

- Le complexe argilo-gréseux du Numidien représentant la nappe Numidienne.
- Les dépôts du Quaternaire qui sont d'origines différentes, remplissant tous les bas-fonds des dépressions comme celles de Bouteldja et El Tarf.

Ainsi, deux grands ensembles lithologiques se distinguent :

- Le complexe argilo-gréseux du Numidien Tertiaire a base marneuse du Secondaire constituant le substratum général de la région.
- Les remblaiements du Quaternaire qui eux seuls constituent un système géologique. Les constitutions lithologiques de la vallée d'oued Guergour (l'un des principaux affluents Sud d'oued Kébir Est distant d'au moins de 2 km à l'Est de la ville d'El Tarf) sont essentiellement des grès de Numidie (Lattorfien : en géologie, étage marin qui correspond au sous-étage du Sannoisien de la série Oligocène) formant la masse principale des reliefs couverts de forêts de chêne liège. C'est un grès quartzeux plus ou moins consolidé, affleurant sur tous les bords de la vallée par des roches abruptes. A leur base, des argiles par l'intermédiaire des quelles s'effectue un passage insensible aux argiles de Numidie (Eocène supérieur). Cette formation est développée surtout sur les pentes et dans le fond de la vallée. Les argiles sont verdâtres ou brunâtres, plus ou moins schisteuses et parfois marneuses au-dessus de ces dernières, sur les bordures on rencontre des alluvions de hautes terrasses et moyennes terrasses d'âges Pléistocène constituées par des sables et cailloux roulés situés vers 30 mètres au-dessus du talweg en se dirigeant vers le milieu de la vallée, on a des alluvions des basses terrasses d'âge Pléistocène récent constituées de sable et cailloux roulés. En

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

général la géologie de la plaine d'El Tarf ne sort pas du contexte géologique régional du Nord-est algérien qui se résume en une chrono-stratigraphie révélant des terrains géologiques d'âges différents allant du secondaire au quaternaire récent à actuel.

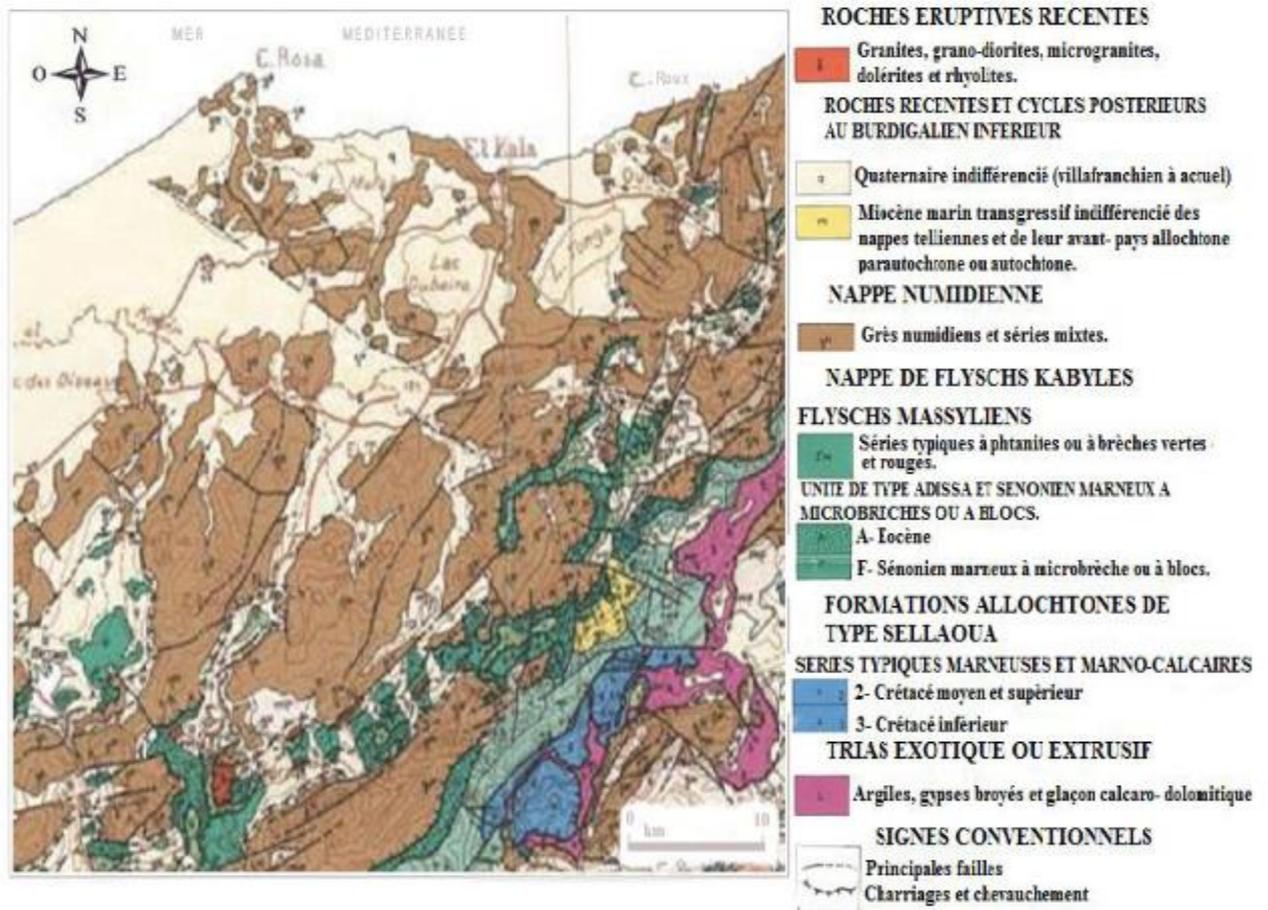


Figure 15 La carte géologique de la région d'El Tarf

#### III.2.8 Activités agricoles

Bien que la wilaya recèle d'autres potentialités économiques (pêche, tourisme), l'agriculture, qui occupe plus du tiers de la population active, constitue pour la wilaya le principal secteur économique créateur d'emplois

(1 633 en 2005) et générateur de richesses. Sur une superficie agricole totale de 250 342 ha, la surface agricole utile occupe 74 173 ha, dont 11 000 irrigués.

La wilaya n'étant pas à vocation céréalière, d'autres options ont été choisies, à savoir l'intensification (agrumiculture, arboriculture, viticulture et cultures industrielles et maraîchères) ainsi que l'amélioration de l'élevage et la protection du patrimoine génétique.

## **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

En matière de valorisation des productions agricoles, il existe un programme de développement des capacités de stockage, de conditionnement, de transformation et de traitement des produits agricoles ou para-agricoles (olive, lait, bois et liège, miel et dérivés).

### **III.3 Historique des inondations à El Tarf**

Le 25 février 2012, les habitants de la wilaya d'El Tarf ont vécu deux jours de déluge sans commune mesure. En effet, les pluies diluviennes qui se sont abattues durant plus de 36 heures, ont occasionné les pertes humaines et de colossaux dégâts matériels.

Selon le chargée d'information de la wilaya, rattachée à la cellule de crise qui supervise les opérations de secours et de prise en charge des sinistrés, «la wilaya a enregistré le mort de trois personnes par noyade. Il s'agit de deux personnes, âgées de 65 et 54 ans dans la commune éponyme. Leur voiture a été emportée par la furie des eaux. Repêchés par la protection civile le lendemain de drame, les deux corps inertes ont été transportés à la morgue de l'hôpital de la ville d'El Tarf. La troisième victime est un homme de 28 ans, il a été trouvé mort, dans sa voiture.

Son corps a été transféré vers la morgue de l'hôpital d'El Tarf, alors qu'a entrepris les recherches accrues pour repêcher de potentielles autres personnes qui accompagnaient la victime. Par ailleurs, les routes nationales ont été coupées en plusieurs endroits à la circulation automobile. Le pire est que le pont de la RN 44, a été complètement coupé, à la circulation automobile, et ce, après l'effondrement d'une grande partie de ce pont. Il est à signaler que plusieurs agglomérations et villages ont été complètement isolés, telle l'agglomération épars.

Cependant, les autorités ont procédé, à la distribution de kits alimentaires et couvertures aux familles sinistrées, et en utilisant les camions tout terrain et deux hélicoptères de la marine nationale. Il est judicieux de savoir que les autorités ont déclenché partiellement le plan orsec pour les communes de besbès, dréan et ben m'Heidi. En ce sens, ce sont 200 familles qui ont été placées dans les 7 centres de secours de la DASS et dans les établissements scolaires. Dans le même sillage, un grand nombre de familles touchées n'ont pas voulu quitter leurs habitations préférant attendre la décrue. Sur un autre plan, un responsable de la direction de l'hydraulique, révélera que le taux de pluviométrie a atteint 120 mm durant les dernières 48 heures et que les autorités locales ont procédé aux lâchers dont le cumul est de l'ordre de 184,7 millions de mètres cubes pour les trois barrages que compte la wilaya à savoir Chaffia,

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

Bougous et Meksa. Cette situation historique et inaccoutumée a engendré de grandes crues et l'inondation par les eaux de plusieurs centaines d'hectares de terres agricoles. Les premières estimations de la direction des services agricoles font ressortir plus de 1 000 hectares de terres inondées, engendrant des pertes sèches et abyssales pour les agriculteurs de la wilaya.



**Figure 16** L'inondation qui a frappé El Tarf en 2012



**Figure 17** El Tarf le 23 février 2012

Le 10 février 2017 les éléments de la Protection civile et ceux de la Gendarmerie nationale demeurent mobilisés dans la wilaya d'El Tarf, suite aux fortes précipitations qui ont marqué cette région et qui ont atteint les 70 mm ces dernières 48 heures.

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

Des quantités d'eau qui ont causé un certain nombre de désagréments, infiltrations dans les bâtisses de diverses infrastructures et surtout des routes coupées à la circulation. Les inondations causées par le débordement des oueds ont touché plusieurs administrations et 25 familles ont été secourues. Aussi le barrage El Mexa rempli à hauteur de 98%.



**Figure 18** L'inondation d'El Tarf février 2017

Le 24 Août 2018 la circulation est ralentie ou carrément coupée sur les grands axes de la ville, et même le rond-point de la gare routière est sous les eaux.

Du jamais-vu de mémoire d'homme et même dans les annales météo régionales. Des pluies, qu'on ne peut plus appeler averse tant elles sont fortes et intenses, s'abattent par intermittence sur El Kala et ses environs immédiats depuis semaine.

Et pas une goutte à El Tarf, le chef-lieu à 25 km, et encore moins dans la partie ouest de la wilaya. Il y a eu une trêve de quelques heures les pluies sont revenues en force.

Des dégâts sont signalés et des conseils sont donnés. Des inondations, comme toujours là où la topographie marque un replat dans le relief de la ville. La circulation est ralentie et carrément coupée sur les grands axes et pour ceux qui connaissent la réputation de hautement submersibles, le rond-point de la gare routière est sous les eaux. Seuls quelques conducteurs ont pu entrer ou sortir de la ville.

### Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations

Le mur d'enceinte un lycée a cédé devant les eaux qui se sont accumulées dans la cour. Les résidents du quartier voisin ont dû faire de même Là où la population ne pouvait pas n'ont pas pu sortir de chez eux, comme les riverains de la rue du Boulif, près de la plage d'El Mordjane.



**Figure 19** L'inondation de la région d'El Kala (El Tarf)

La Wilaya d'El Tarf a connu de nombreuses inondations d'intensité variable en termes de nombre de victimes et d'ampleur des pertes au cours des dernières années, dont une inondation de novembre 2010, le 10 février 2019, le 27 mai 2019 et l'inondation d'el Kala 01 /06/2014

#### III.4 Conclusion

El Tarf est une ville touristique, et ce qui la distingue c'est la diversité de ses nombreuses possibilités indéniables, ainsi que les sites historiques et archéologiques résultant du passage de plusieurs civilisations, qui sont encore présentes dans plusieurs lieux et régions de l'état. Surtout la région d'El Kala, qui se caractérise par des écosystèmes endémiques et une grande diversité d'espèces animales et végétales, la zone écologiquement unique. Le parc national d'el Kala a été créé en 1983 sur une superficie de 80 000 hectares, le parc a été désigné réserve de biosphère par l'UNESCO en 1990, le parc abrite des espèces rares et migratrices du

### **Chapitre III Description de la zone d'étude Et historique des inondations**

monde entier. Les sites touristiques les plus visités de l'État sont les lacs (lac Maleh, lac Oubiera et lac Tonga). De nombreux touristes sont attirés par la beauté du paysage et des plages, ils n'hésitent donc pas à visiter la région.

## **CHAPITRE IV**

*Traitement et constitution de la  
base des données*

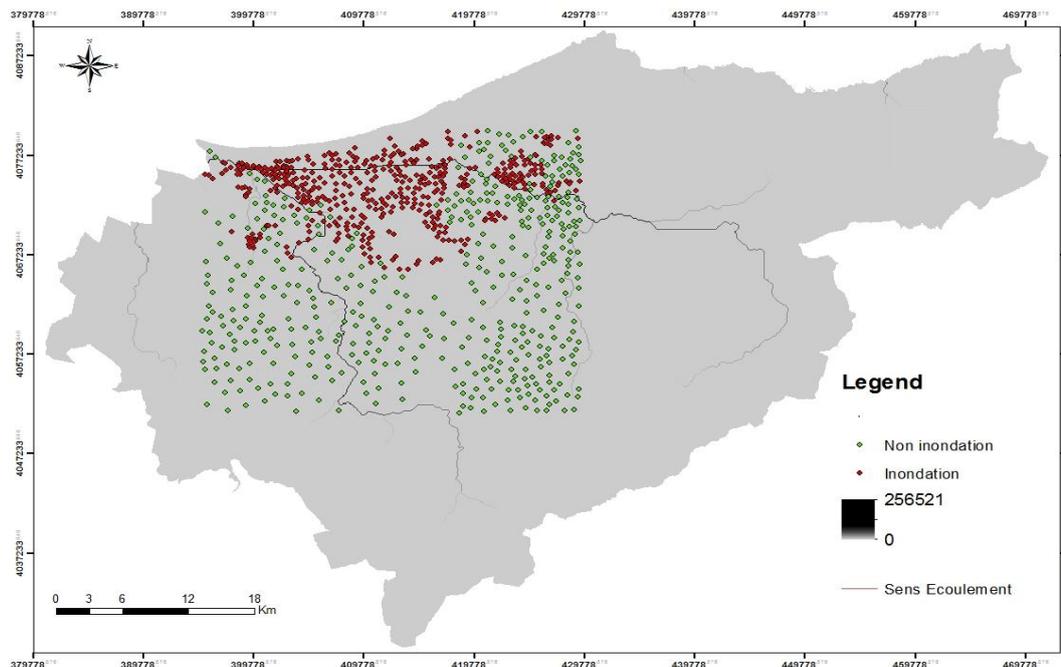
**IV.1 Introduction**

Les inondations sont parmi les menaces les plus destructrices sur Terre (Ohl et Tapsell 2000). Chaque année, les inondations peuvent affecter des millions de personnes dans le monde, causant des morts, détruisant des biens et des infrastructures et emportant parfois des sols fertiles provenant de terres agricoles. Au cours des dernières décennies, les inondations ont tué des milliers et touché 1,4 milliard de personnes dans le monde (Jonkman 2005). Selon (Hirabayashi et Kanae 2009), les inondations sont considérées comme les plus grandes menaces pour développement humain et devraient affecter environ 20 à 300 millions de personnes chaque année. Inondations dans une région aride peuvent se développer dans une courte période (heures ou moins) qui les rend dangereux pour l'homme et le bien-être (Ghoneim et Foody 2013). Il est admis que la gravité et la fréquence des inondations événements augmenteront considérablement au cours des prochaines décennies en raison de phénomènes de réchauffement climatique ; par conséquent, la préoccupation mondiale sur la nécessité d'atténuer les dommages liés aux inondations s'est accru au cours des dernières années. Ainsi, l'identification des zones sujettes aux inondations peut être une solution appropriée pour réduire les dommages liés aux inondations (Tien Bui et al. 2016). La cartographie des zones inondables peut aider à concevoir des structures pour contrôler l'accès à l'eau et aider les décideurs à créer des plans d'urgence pour faire face aux inondations (Srinivas et al. 2008). Les développements de la télédétection (RS) et de la géographie les technologies des systèmes d'information (SIG) ont ouvert de nouveaux horizons à la fois pour l'étude de la susceptibilité aux inondations et pour surmonter les difficultés associées aux modèles prédictifs hydrologiques traditionnels. De nombreux chercheurs du monde entier ont intégré les technologies SIG et RS avec des données statistiques, basées sur les données et modèles d'apprentissage automatique pour étudier la susceptibilité aux inondations avec résultats positifs et prometteurs. Au lendemain des inondations qui ont affecté la région d'El Tarf le 23 février 2012, l'Agence Spatiale Algérienne a entrepris, en collaboration avec la Direction Générale de la Protection Civile et les ministères, de l'Agriculture et du Développement Rural et des Ressources en Eau, à l'activation de la Charte internationale « Espace et risques majeurs », afin de disposer de données satellitaires complémentaires aux images Alsat 2A.L'étude comparative avant et après le sinistre, réalisée par l'ASAL à partir du traitement des images satellitaires a permis de réaliser une délimitation cartographique précise des terres agricoles inondées et leurs superficies, ainsi que les agglomérations touchées. Dans ce chapitre, nous avons identifié les zones sujettes aux inondations à l'aide des

cartes des crues du 23 février 2012. Nous avons également rassemblé toutes les cartes qui nous aident dans l'étude, telles que les cartes d'élévation, de pentes, de côtés et de précipitations..... Le quatrième chapitre est consacré au traitement et à la constitution de la base de données et mentionne les facteurs affectant les crues, y compris les facteurs topographiques, géologiques et hydrologiques.

## **IV.2 Données d'inventaire**

La première étape de la cartographie de la susceptibilité aux inondation (CSI) consiste à identifier les points ou les emplacements d'inondation sur la base des enregistrements historiques des inondations précédentes. Il s'agit de l'entrée de données la plus importante pour le CSI (Tehrany et al., 2014). À partir des enregistrements des événements passés, les emplacements des futurs événements dangereux pourraient être estimés (Devkota et al., 2013 ; Tehrany et Kumar, 2018). Par conséquent, l'analyse d'événements passés similaires et de leurs facteurs de conditionnement est la première étape principale de l'analyse de la susceptibilité aux inondations (Masood et Takeuchi, 2012). La carte d'inventaire des inondations montre les emplacements des zones inondées dans tout bassin versant sujet aux inondations (Bellu et al., 2016). La carte d'inventaire peut être préparée à partir de plusieurs sources, notamment des relevés de terrain, des enregistrements de prévision des crues et des données de télédétection (Cloke et Pappenberger, 2009 ; Pradhan et al., 2016). L'exactitude de la sélection des points d'inondation améliorera la précision du modèle pour la prévision de la susceptibilité aux inondations (Arora et al., 2019 ; Tehrany et al., 2013). Dans cette étude, 900 points d'inondation de contrôle au sol (Figure. 20) ont été identifiés à la fois pour les points d'inondation (450) et les points non inondables (450). Les emplacements des inondations ont été compilés à partir des enregistrements historiques des inondations, des cartes d'inondations développées par la modélisation pluie-débit ((Saber et al. 2020, et Abdrabo et al. 2020), ainsi que d'une enquête sur le terrain pour la zone inondée et affectée (Figure. 20). Les points non inondables ont été sélectionnés au hasard. Les points d'inondation et les non inondables ont été attribués respectivement aux valeurs 1 et 0, puis les points ont été divisés en 70% et 30% pour les deux formations à la construction du modèle de prévision des crues éclair et validation pour vérifier les performances du modèle et la capacité de généralisation en utilisant la méthode de sélection aléatoire.



**Figure 20** La carte d'inventaire des inondations pour la formation du modèle montrant les emplacements inondés et non inondables.

### IV.3 Base de données géo spatiale (paramètres influençant les crues)

La sélection des facteurs de conditionnement des crues est assez importante et a un impact sur la précision des modèles (Kia et al., 2012). Pendant les inondations dans le système de drainage, le ruissellement dépend des caractéristiques du bassin versant, de la topographie et des types d'utilisation des terres / de couverture des terres (Höling et Coldewey (2019). Il n'y a pas de critères standard et universaux pour sélectionner les facteurs de contrôle pour la CSI. Par conséquent, selon l'examen précédent et les caractéristiques de la zone d'étude, ainsi que la disponibilité des données, 15 facteurs de déclenchement d'inondation ont été préparés, notamment des facteurs topographiques, hydrologiques, géologiques et de relief. Les facteurs topographiques comprennent l'altitude, la pente, l'aspect, la courbure du plan, l'ombrage, la direction de l'écoulement, l'accumulation de l'écoulement. Les facteurs hydrologiques sont l'indice d'humidité topographique (IHT), l'indice de transport des sédiments (ITS), les précipitations et la distance d'écoulement vertical. Les facteurs de forme géologique et terrestre sont la lithologie, l'utilisation des terres/l'occupation des sols (UT/OS) et l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN). Toutes les données ont été ré échantillonnées et préparées dans des formats spatiaux raster avec des résolutions spatiales de 90 m dans ArcGIS. Tous les facteurs topographiques ont été construits sur la base

du MERIT DEM (Yamazaki et al 2017). La résolution spatiale de l'élévation du terrain est de 3 secondes (~90 m à l'équateur). Il a été développé en supprimant les composants d'erreur des DEM existants tels que SRTM3 v2.1 et Aw3D-30m V1). Les données sont librement accessibles et disponibles sur [http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT\\_DEM/](http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_DEM/).

## **IV.4 Facteurs topographiques**

### **IV.4.1 Elévation**

L'élévation est l'un des paramètres les plus efficaces qui jouent un rôle important dans les inondations d'une zone (Tehrany et al., 2014 ; Choubin et al., 2019b). Il a été fréquemment utilisé comme un soulagement indicateur à grande échelle (Rahmati et al., 2018). Il existe une relation inverse entre l'élévation et l'inondation d'une région. Li et al. (2011) ont indiqué que les régions à faible altitude sont plus sujets aux inondations. Cea et Bladé (2015) ont souligné que les inondations à basse altitude sont en raison de l'eau qui coule des hautes altitudes. La carte d'élévation a été préparée à l'aide du modèle numérique d'élévation (DEM) Résolution de 90 × 90 m dans l'interface ArcGIS. La zone d'étude présente des caractéristiques topographiques très complexes, où la zone amont est à très haute altitude allant de 500 m à plus de 2000 m, et la zone médiane est d'altitude moyenne allant de 100m à 500m, mais la zone côtière est principalement urbaine et agricole qui se situe dans les zones de basses terres avec une altitude inférieure à 100m (Figure 21).

### **IV.4.2 Pente**

La pente est une caractéristique physiographique qui affecte grandement le volume et la vitesse du ruissellement. Le volume et la vitesse de ruissellement augmentent avec l'augmentation du gradient de pente (Khosravi et al., 2016b ; Tien Bui et al., 2018a). Au fur et à mesure que le gradient de pente augmente, le taux d'infiltration des eaux de ruissellement diminue et une grande quantité de ruissellement pénètre dans le réseau de drainage (Tehrany et al., 2015a). La carte des pentes de la région varie de 0 à 71 degrés (Figure 22).

**IV.4.3 Aspect**

Aspect est également important dans les études sur les crues (Choubin et al., 2019b). Les pentes ensoleillées sont moins humides et moins susceptibles d'être inondé. (Yates et al. 2002) ont montré que l'unité de réponse hydrologique est fortement influencée par l'aspect de la pente. (Rahmati et al. 2016) ont également démontré que la teneur en humidité du sol et les conditions climatiques locales sont également influencées par l'aspect de la pente. Dans cette étude, l'aspect classé en neuf catégories comme illustré à la (Figure 23)

**IV.4.4 Courbure du plan**

Elle a été considérée comme un facteur important et essentiel d'influence des inondations par de nombreux chercheurs (Lee et al. 2012, Ahmadlou et al., 2019 ; Hong et al., 2018), et affecte également l'hyporhéique et l'hétérogénéité (Cardenas et al., 2004). Les différentes valeurs de courbures différencient les zones de ruissellement accéléré de celles à ruissellement ralenti, où les valeurs négatives conduisent à augmenter le ruissellement, et les positives le diminuent. Le ruissellement est affecté par la forme de la pente, car la forme plate (courbure nulle) et concave (négative) ont plus de potentiel d'inondation que convexe (positif) (Shahabi et al. (2020), (Tehrany et al., 2014, 2015a))), et. Par exemple, les pentes concaves ralentissent l'écoulement de surface et augmentent probablement l'infiltration (Young et Mutchler, 1969), mais les pentes convexes accélèrent l'écoulement et affectent peut-être inversement l'infiltration (Cao et al., 2016). La carte de courbure a été développée à partir de DEM avec trois classes principales (concave, plat et convexe) comme le montre la (Figure 24)

**IV.4.5 Ombrage**

L'ombrage ou l'ombrage topo est lié à l'ombre et à la longueur des pentes qui peuvent affecter la convergence de l'écoulement de surface (Aryal et al., 2003). L'ombrage est une technique utilisée pour créer une vue réaliste du terrain en créant une surface tridimensionnelle à partir d'un affichage bidimensionnel de celle-ci. L'ombrage crée un éclairage hypothétique d'une surface en définissant une position pour une source lumineuse et en calculant une valeur d'éclairage pour chaque cellule en fonction de l'orientation relative de la cellule par rapport à la lumière, ou en fonction de la pente et de l'aspect de la cellule. Les ombrages sont souvent utilisés pour produire des cartes visuellement attrayantes. Utilisés comme arrière-plan, les ombrages fournissent un relief sur lequel vous pouvez dessiner des données raster ou des données vectorielles. (Figure 25)

**IV.4.6 Accumulation de flux**

Ce paramètre peut être estimé à partir des paramètres de direction de flux pour montrer les pixels de flux accumulés vers chaque pixel. Il a été utilisé comme facteur dans des études limitées (Alipour 2020, Env\_Rese\_Let ; Hosseini et al. 2020, scien\_Tot\_envi). Dans le processus de simulation de ruissellement, l'accumulation de flux est créée en calculant la direction du flux. Pour chaque cellule, l'accumulation de flux est déterminée par le nombre de cellules qui traversent cette cellule ; si la valeur d'accumulation du débit est supérieure, la zone sera plus facile à former un ruissellement. Le système calculera les rasters avec le poids de 1 par défaut, s'il n'est pas défini. Si une cellule a une valeur plus grande, cela signifie que la cellule se trouve dans une zone où les flux sont très concentrés, et elle sera identifiée comme la vallée. 0 indique que l'emplacement de la cellule est à une altitude plus élevée, et il sera identifié comme les crêtes. (Figure 26)

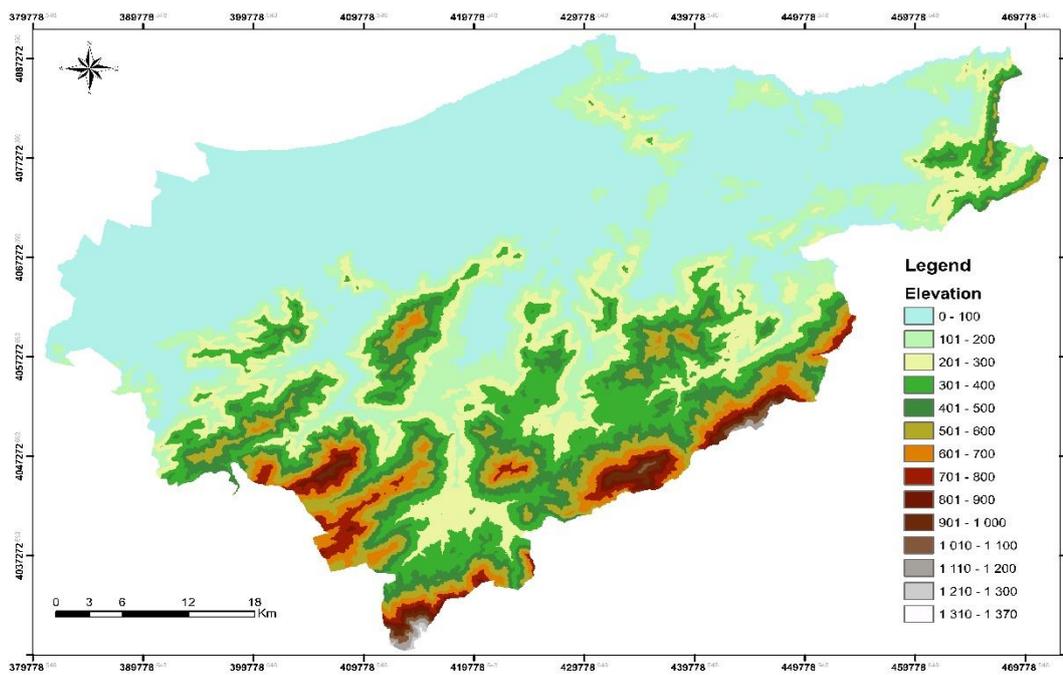


Figure 21 Carte d'Elévation de la wilaya d'El Tarf

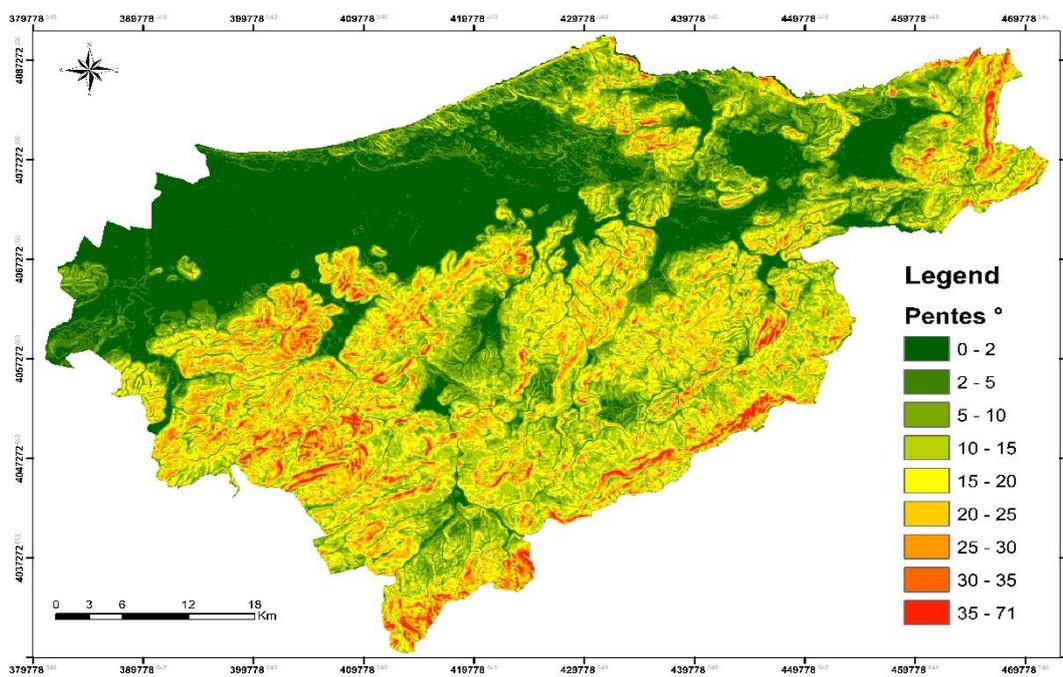


Figure 22 Carte de Pente de la wilaya d'El Tarf

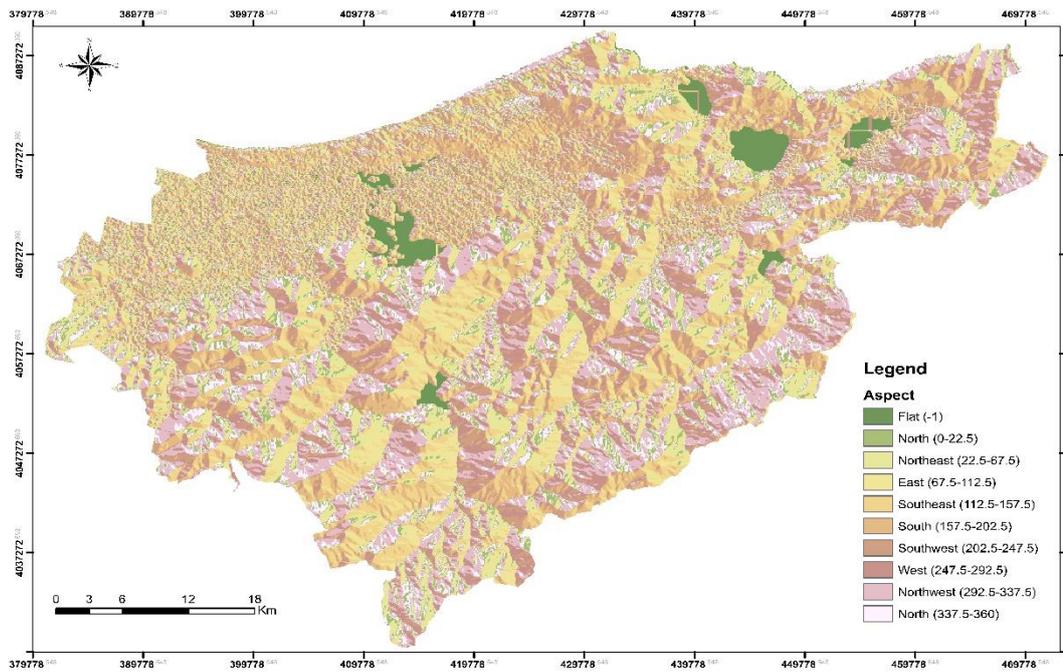


Figure 23 Carte d'Aspect de la wilaya d'El Tarf

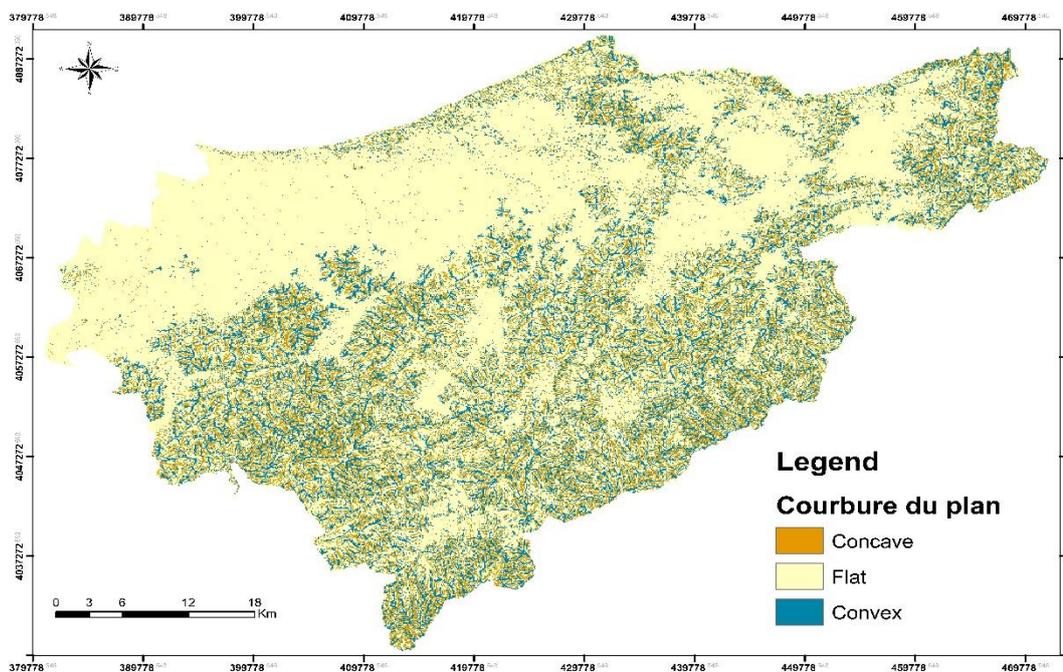


Figure 24 Carte de Courbure du plan de la wilaya d'El Tarf

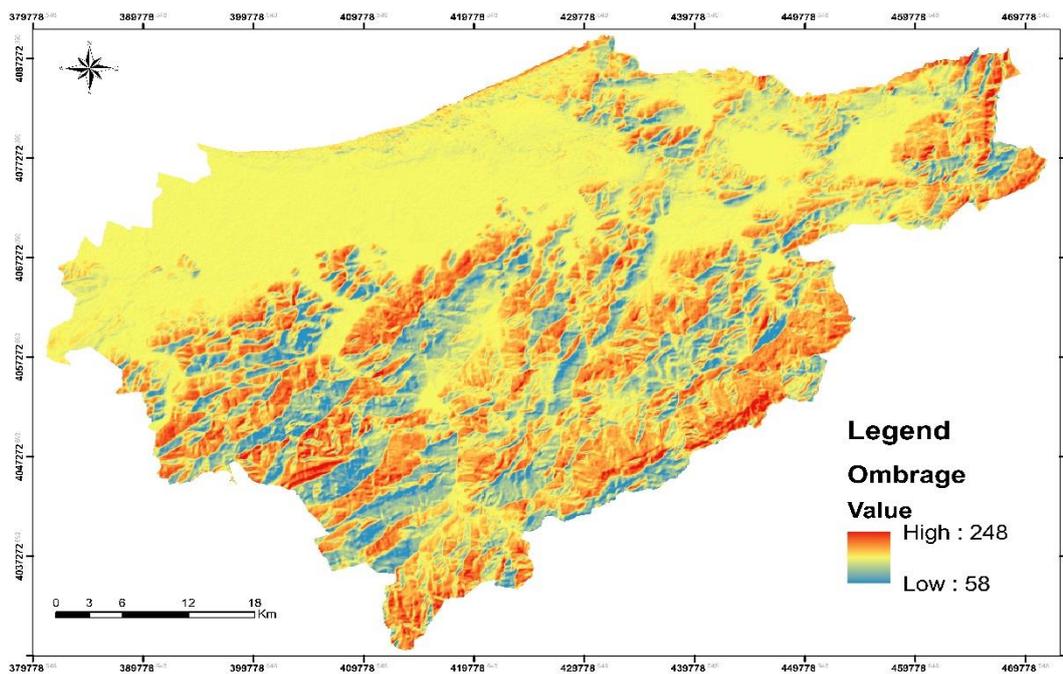


Figure 25 Carte d'Ombrage de la wilaya d'El Tarf

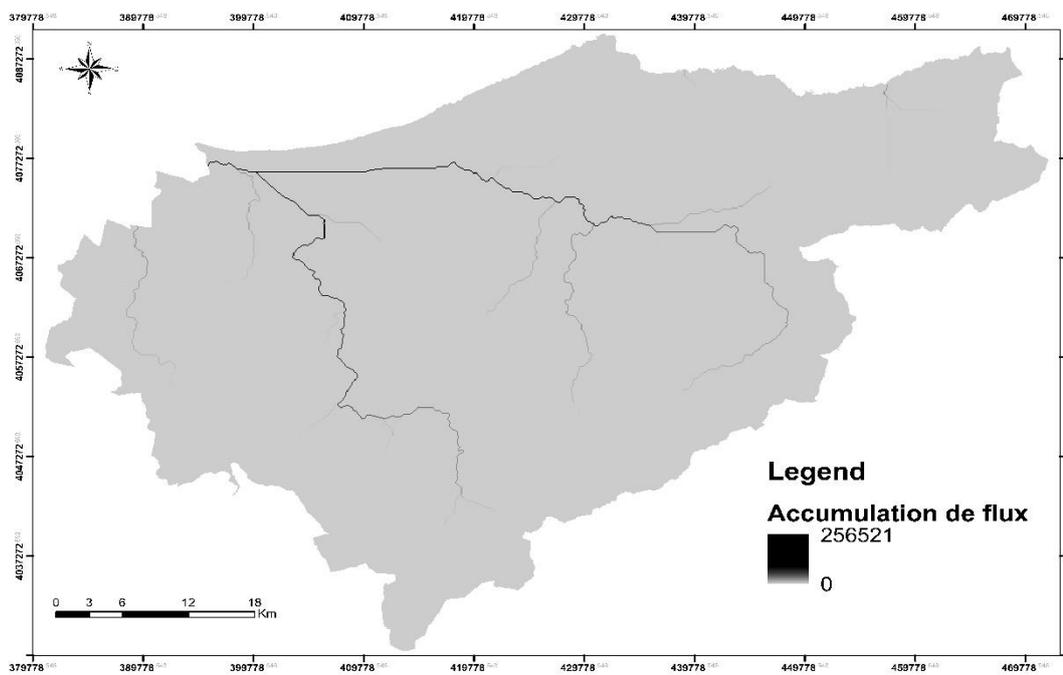


Figure 26 Carte d'Accumulation de flux de la wilaya d'El Tarf

## IV.5 Facteurs hydrologiques

### IV.5.1 Indice d'humidité topographique (IHT)

L'indice d'humidité topographique (IHT), également connu sous le nom d'indice topographique composé (ITC), est un indice d'humidité à l'état stationnaire. Il est couramment utilisé pour quantifier le contrôle topographique sur les processus hydrologiques. L'indice est fonction à la fois de la pente et de la surface contributive amont par unité de largeur orthogonale à la direction de l'écoulement (Figure 27). L'indice a été conçu pour les catenas de pente. Les nombres d'accumulation dans les zones plates seront très grands, donc IHT ne sera pas une variable pertinente. L'indice est fortement corrélé avec plusieurs attributs du sol tels que la profondeur de l'horizon, le pourcentage de limon, la teneur en matière organique et le phosphore. Les méthodes de calcul de cet indice diffèrent principalement par la manière dont la zone contributive de la pente ascendante est calculée. Proposé par Beven et Kirkby (1979), l'indice d'humidité topographique (IHT) exprime la quantité d'eau accumulée dans une taille de cellule du bassin versant, en tenant compte des tendances d'écoulement en aval dues à la force gravitationnelle (Eq 1).

$IHT = \ln\left(\frac{As}{\tan(\beta)}\right)$	(1)
--	-----

- As : est la zone de pente ascendante cumulée s'écoulant à travers un point (par unité de longueur de contour)

-  $\tan(\beta)$  représente la pente de la surface au niveau de la cellule ( $\beta$  en degré).

### IV.5.2 Indice de transport des sédiments (ITS)

Cet outil peut être utilisé pour calculer l'indice de transport sédimentaire (ITS) décrit par Moore et Burch (1986). Cet indice est dérivé de la théorie de la puissance unitaire du cours d'eau et est parfois utilisé à la place du facteur longueur-pente dans l'équation universelle révisée de perte de sol (EURPS) pour les longueurs de pente inférieures à 100 m et les pentes inférieures à 14 degrés (Figure 28). L'indice combine la zone contributive en amont (As), en

supposant que la zone contributive est directement liée au débit, et la pente (B). L'indice est calculé comme (Eq 2)

$ITS = \left( \frac{As}{22.13} \right)^{0.6} \left( \frac{\sin(\beta)}{0.0896} \right)^{1.3}$	(2)
---	-----

**IV.5.3 Indice de rugosité du terrain (IRT)**

L'indice de robustesse du terrain (IRT) est une mesure développée par Riley et al. (1999) pour exprimer la quantité de différence d'élévation entre les cellules adjacentes d'une grille d'élévation numérique. Le processus calcule essentiellement la différence entre les valeurs d'altitude d'une cellule centrale et les huit cellules qui l'entourent immédiatement. Ensuite, il met au carré chacune des huit valeurs de différence d'altitude pour les rendre toutes positives et fait la moyenne des carrés. L'indice de rugosité du terrain est ensuite dérivé en prenant la racine carrée de cette moyenne et correspond au changement d'altitude moyen entre n'importe quel point d'une grille et sa zone environnante (Figure 29).. Les auteurs du IRT proposent la décomposition suivante des valeurs obtenues pour l'indice où : 0-80 m est considéré comme représentant une surface de terrain plane, 81-116 m représente une surface presque plane, 117-161 m une surface légèrement accidentée, 162-239 m une surface moyennement accidentée ; 240-497 m un modérément accidenté, 498-958 m très accidenté, et 959-4367 m une surface extrêmement accidentée. En exécutant l'AML sur plusieurs régions des montagnes Rocheuses, cet auteur a constaté que la procédure produisait rarement des valeurs supérieures à 400 mètres. La principale valeur de cette mesure par rapport à sa cousine, la mesure du gradient de pente, est qu'elle donne une vue relativement précise du changement vertical qui se produit dans le modèle de terrain d'une cellule à l'autre. Alors que la carte de gradient de pente fournit des données sur la pente d'une pente (montée / descente), l'indice de rugosité du terrain fournit des données sur le changement relatif de hauteur de la pente (montée), comme le côté d'un canyon. Le IRT exprime le degré de déférence d'élévation entre les cellules voisines (Eq .3)

$(\text{Moy altitude} - \text{min altitude}) / (\text{max altitude} - \text{min altitude})$	(3)
---	-----

#### IV.5.4 Indice de puissance de flux (IPF)

Les dommages causés par les inondations et l'érosion des canaux fluviaux dépendent fortement de l'ampleur des facteurs de débit, notamment la puissance du cours d'eau, la contrainte de cisaillement et la vitesse. Indice de puissance de flux (IPF) est une mesure de l'érosion puissance de l'eau qui coule (Figure 30). Le IPF est calculé en fonction de pente et zone contributive. IPF se rapproche des emplacements où les ravins pourraient être plus susceptibles de se former dans le paysage. Le IPF est calculé à l'aide de l'équation suivante (Eq 4.).

$IPF = A_S \tan(\beta)$	(4)
-------------------------	-----

#### IV.5.5 Précipitations

Les précipitations sont l'un des facteurs les plus motivés pour les inondations, sans pluie, sans inondation. La moyenne totale des précipitations a été estimée sur la période de 2011 à 2020, à partir de l'estimation des précipitations à partir d'informations de télédétection utilisant des réseaux de neurones artificiels (PERSIANN) - Taux de pluie infrarouge dynamique en temps quasi réel (PDIR-Now) (Phu et al 2020, J. d'hydrométéorologie). Il s'agit d'une haute résolution mondiale en temps réel ( $0,04^\circ \times 0,04^\circ$  ou  $= 4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$  ;), elle est disponible gratuitement et accessible en téléchargement sur (<https://chrsdata.eng.uci.edu/>). (Figure 31).

#### IV.5.6 Le sens de l'écoulement

La distance au réseau de drainage a un rôle très important dans l'identification de la région à risque d'inondation et évaluation de l'indice d'aléa d'inondation. Fernandez et Lutz en 2010 montrent que les zones proches du réseau fluvial sont fortement affectées par l'aléa inondation, alors que l'effet de ce paramètre diminue progressivement en s'éloignant du lit de la rivière. La distance du réseau de drainage peut être déterminée en imposant des zones tampons autour des informations du réseau de drainage. La carte thématique produite par Arc Map 10.3 a été classés en 8 classes, À un impact important sur les occurrences d'inondation dans n'importe quelle zone (Glenn et al., 2012. Les zones adjacentes aux ruisseaux sont généralement plus sujettes aux inondations ((Butler et al., 2006 ; Chapi et al., 2017).) Le risque d'inondation est proportionnellement lié à la distance des rivières. Il a été souligné comme un facteur d'influence sérieux pour les inondations (Predick et Turner (2008), et ses

occurrences sont fréquemment dans les zones adjacentes à la rivière (Bui et al. (2018a, b) et Darabi et al. (2019) ). Dans cette étude, la distance verticale comme indiqué sur la Fig. 3x) , . La distance d'écoulement est estimée à partir de l'accumulation et de la direction du flux et du DEM dans ArcGIS.La distance verticale et horizontale du flux a été estimée en cas d'accumulation. À un impact important sur les occurrences d'inondation dans n'importe quelle zone (Glenn et al., 2012. Les zones adjacentes aux ruisseaux sont généralement plus sujettes aux inondations ((Butler et al., 2006; Chapi et al ., 2017).) Le risque d'inondation est proportionnellement lié à la distance des rivières. Il a été souligné comme un facteur d'influence sérieux pour les inondations (Predick et Turner (2008), et ses occurrences sont fréquemment dans les zones adjacentes à la rivière (Bui et al. (2018a, b) et Darabi et al. (2019) ). Dans cette étude (Figure 32).

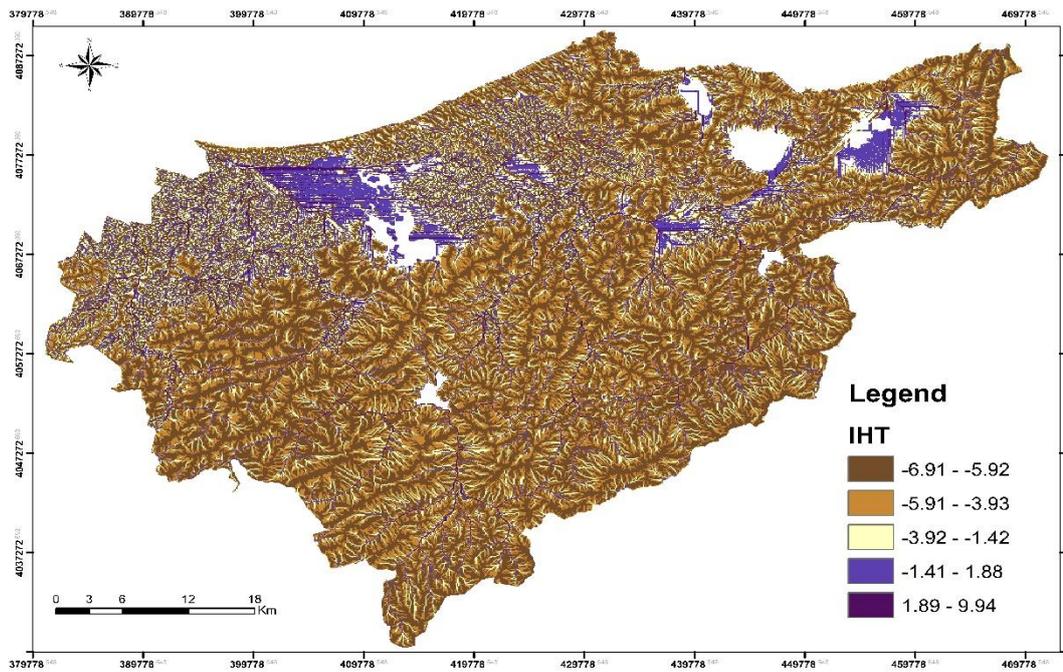


Figure 27 Carte de IHT de la wilaya d'El Tarf

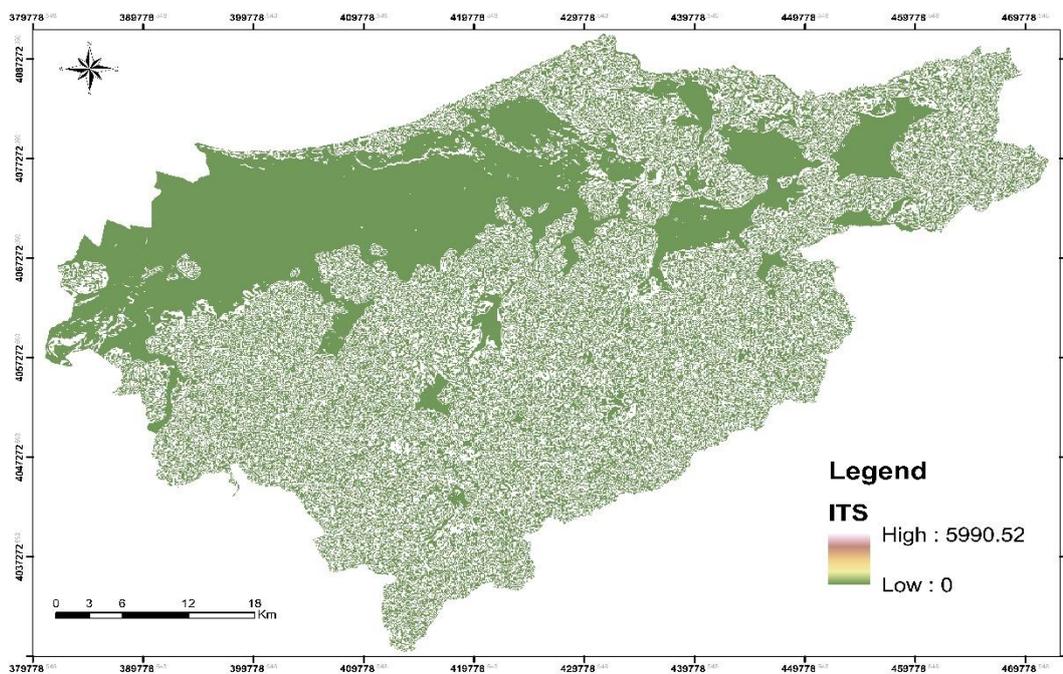


Figure 28 Carte de ITS de la wilaya d'El Tarf

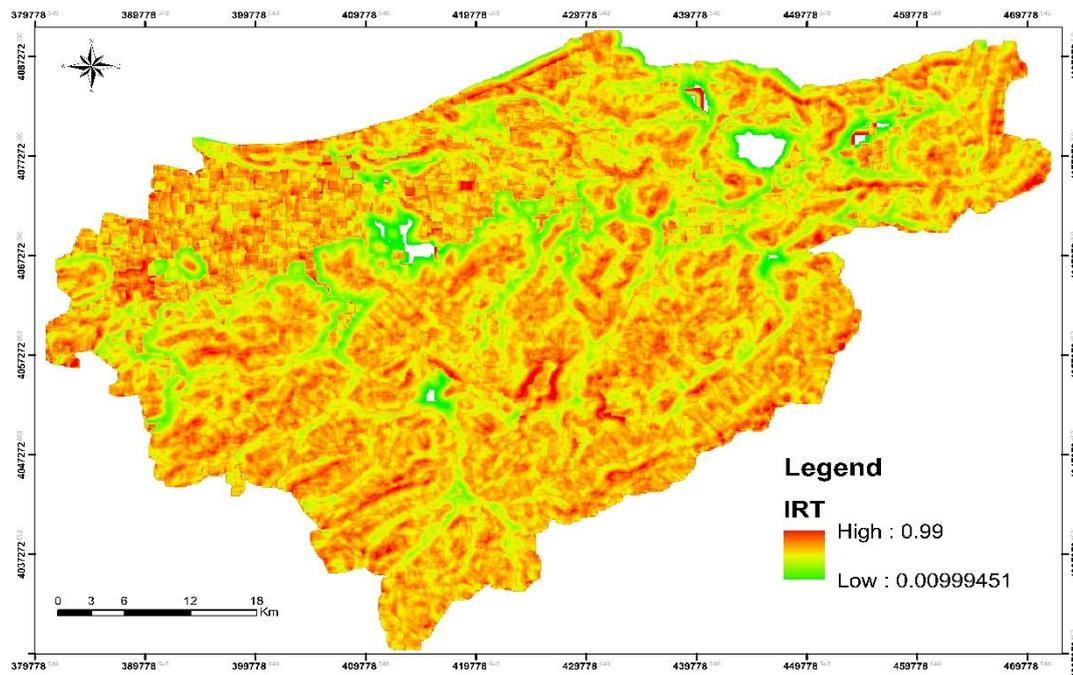


Figure 29 Carte de IRT de la wilaya d'El Tarf

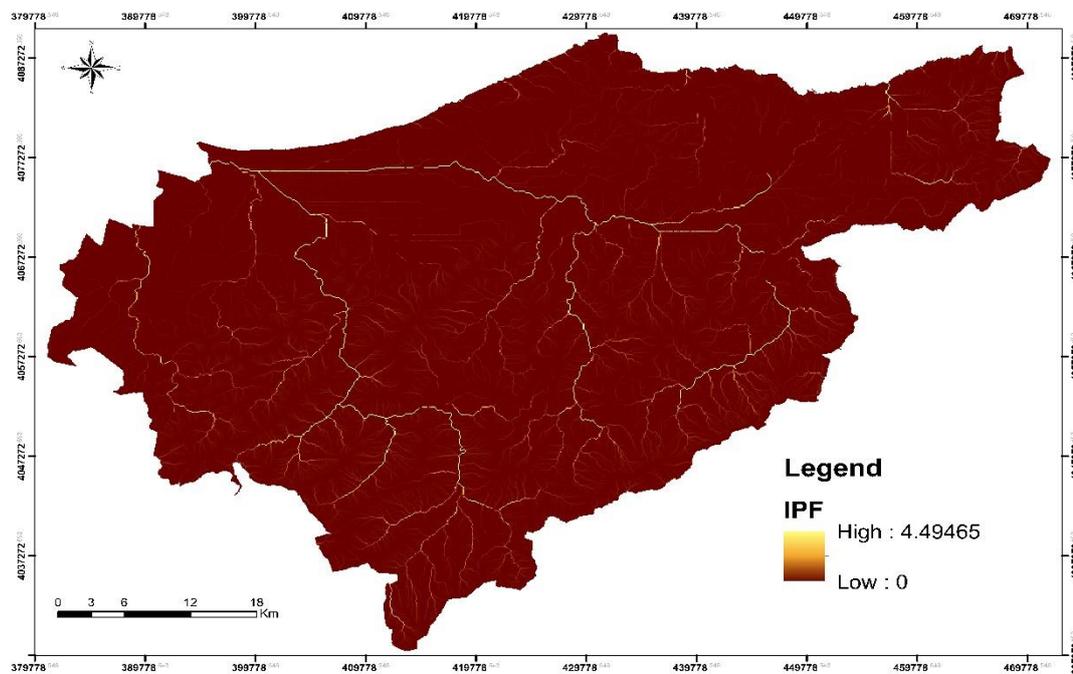


Figure 30 Carte de IPF de la wilaya d'El Tarf

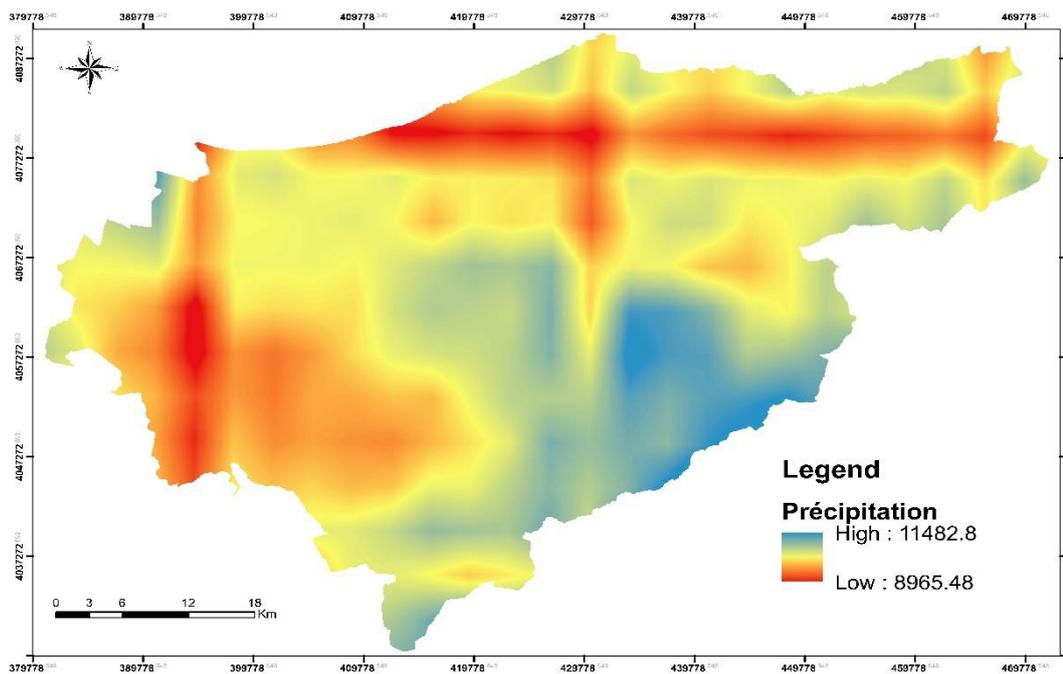


Figure 31 Carte de Précipitation de la wilaya d’El Tarf

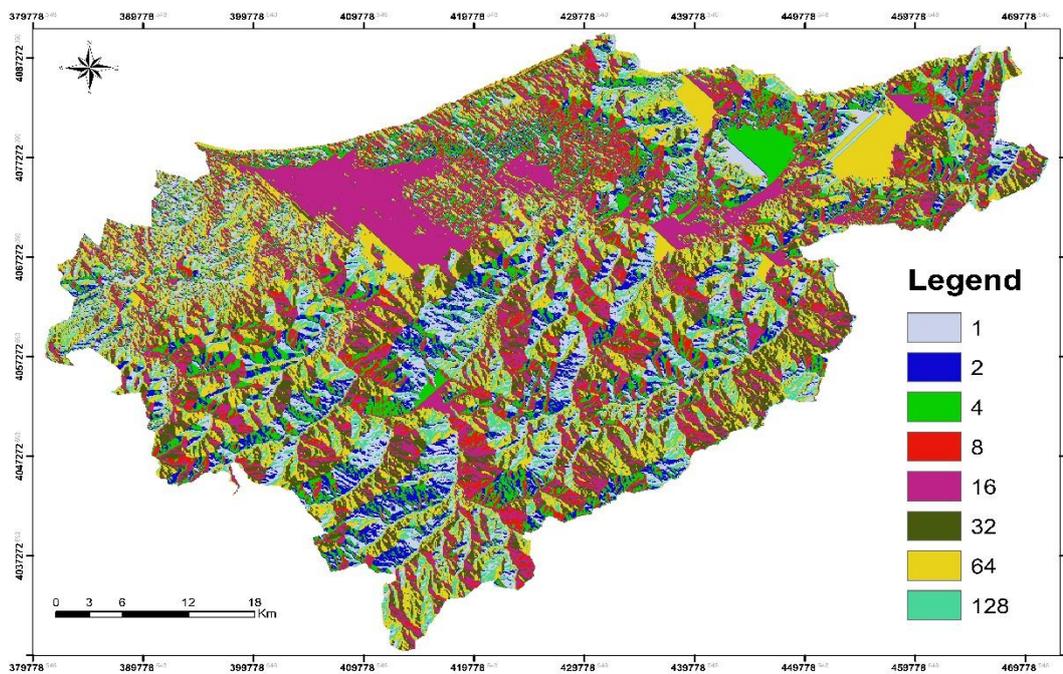


Figure 32 Carte de Sens d’écoulement de la wilaya d’El Tarf

**IV.6 Facteurs de forme géologique et terrestre****IV.6.1 Utilisation des terres et Occupation du sol (UT/OS)**

Occupation du sol est un facteur important dans l'étude de l'aléa inondation. Cette paramètre influence les composants des processus hydrologiques tels que le ruissellement, l'infiltration, l'évaporation et l'évapotranspiration (Alexakis et al. 2014). Il comprend les dépôts de sol, distribution des bâtiments, cours d'eau, couvert végétal, terres nues et routes (Shaban et al. 2006). La carte d'occupation des sols/occupation des sols de la région d'étude a été préparée à l'aide du traitement des données satellitaires. Images du capteur Landsat 8 à l'échelle 1/500000 (Géo-codé, avec projection UTM, sphéroïde et datum WGS 1984, zone 32N). L'image sélectionnée était celle du moins de nuages et de neige principalement de 2011 2019. Cette image a été traitée par ERDAS Imagine version 9.1 et classé par ENVI 5.1 puis converti au format raster (résolution 30m) avant qu'ils ne soient intégrés à la plate-forme SIG (Sun et al. 2015). La forêt et la végétation favorisent le taux d'infiltration et diminuer le taux de ruissellement. Ils sont donc considérés comme ayant un faible potentiel sur les inondations. D'autre part, les routes, les terrains nus, les rivières et les bâtiments augmentent le taux de ruissellement (Tehrany et al. 2013c) car ils sont caractérisés par des surfaces imperméables (Figure 33). La zone compte environ 21 classes. Terres cultivées irriguées, Cultures pluviales, Terres cultivées, Terres cultivées en mosaïque / Végétation, Végétation en mosaïque / Terres cultivées, Forêt fermée à ouverte décidue ou semi-décidue, Forêt fermée décidue, Forêt ouverte feuillue décidue, Forêt fermée décidue, Forêt fermée décidue ou mixte sempervirente, Forêt décidue , Forêt mosaïque-Arbustes / Prairies, Prairies mosaïques / Forêt-arbustes, Arbustes fermés à ouverts, Prairies fermées à ouvertes, Végétation clairsemée, Forêts décidues fermées ouvertes régulièrement inondées (eau saumâtre-douce), forêt fermée décidue inondée en permanence (salin-saumâtre l'eau), les zones artificielles, les zones nues, les plans d'eau, il y a compris urbaines.

**IV.6.2 Lithologie**

La lithologie est l'un des facteurs majeurs dans l'identification des zones inondables. C'est principalement considéré comme un facteur critique des variations spatio-temporelles des processus hydrologiques (Miller et al. 1990). Ce facteur est lié à la perméabilité des sols qui varie selon types de roches (Oikonomidis et al. 2015). Les formations perméables (sable grossier, conglomérats...), favorisent l'infiltration des eaux de pluie et diminuent par conséquent le risque d'inondation. Au d'autre part, les formations imperméables (marneux, argileux, gypse...) augmentent le taux de ruissellement, qui amplifient le risque d'inondation (Çelik et al. 2012). La lithologie a été extraite de la carte géologique de l'Afrique, la source des données est le ministère de l'Industrie et des Ressources minérales, Commission géologique et Autorité des Mines. Il a été classé en 5 types géologiques, dont le Trias, le Tertiaire et le Crétacé, le Quaternaire (non divisé), l'Holocène et le Tertiaire. (Figure 34).

**IV.6.3 IVDN**

A été extrait des données Modis6, les données du fichier AF\_eMAH\_IVDN.2020, il a été téléchargé depuis (Earth Explorer, 2020 NDVI map). La collection EROS de spectre radiomètre imageur à résolution modérée (eMODIS6) est basée sur les données du spectre radiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS) acquises par le système d'observation de la Terre (EOS) de la (National Aeronautics and Space Administration) (NASA). Chaque ensemble de données fournit des informations d'acquisition, de qualité et d'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) à une résolution spatiale de 250 mètres (m). La source de données est accessible à partir de l'USGS : [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-vegetation-monitoring-eros-moderate-resolution-imaging?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-vegetation-monitoring-eros-moderate-resolution-imaging?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects).

Le IVDN varie dans cette étude de -0,25 à 0,65. (Figure 35).

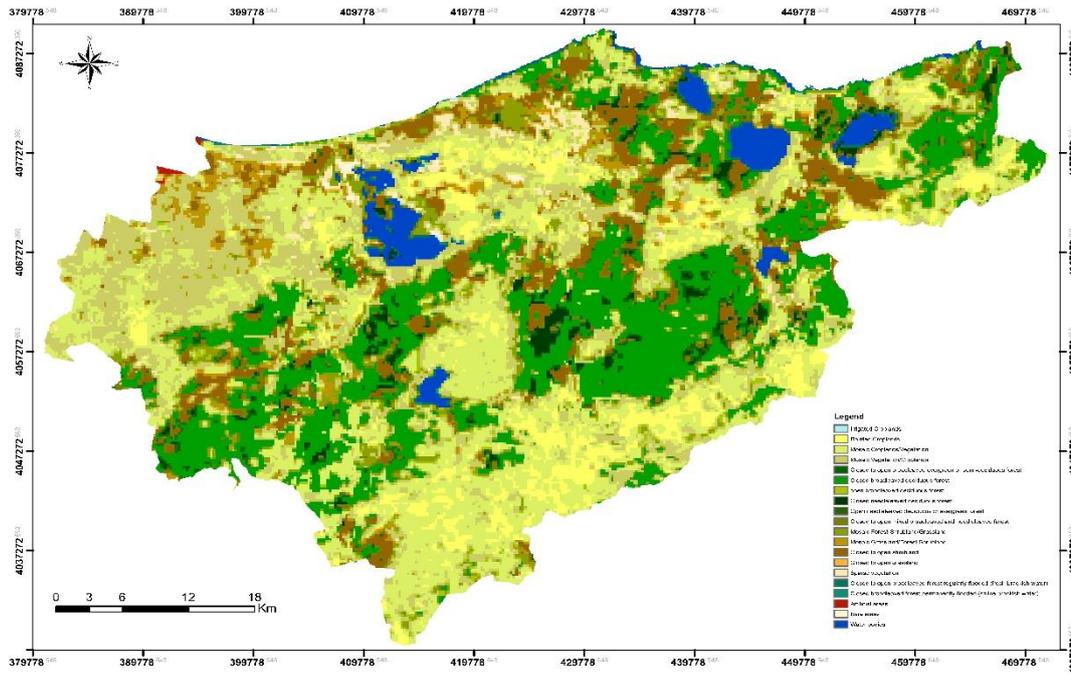


Figure 33 Carte de UT / OS de la wilaya d'El Tarf

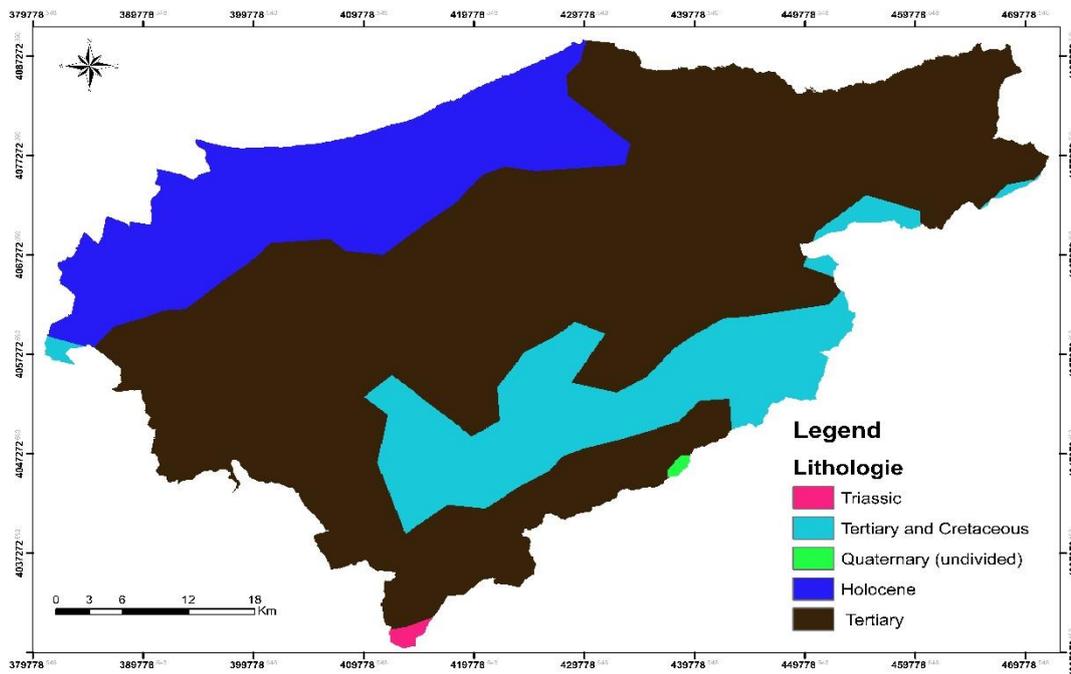
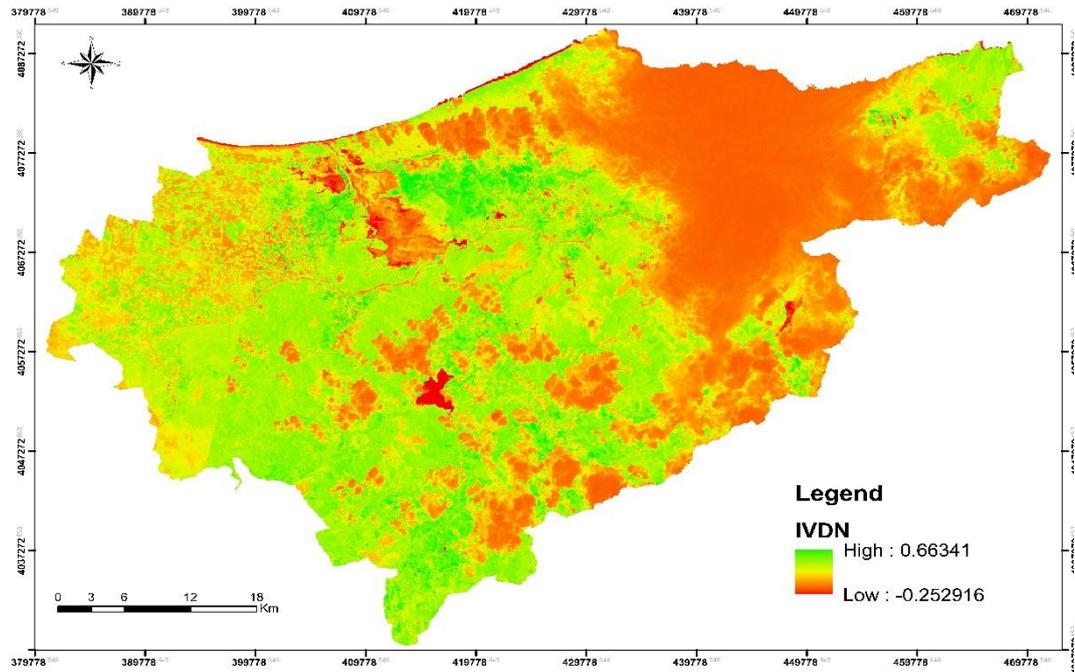


Figure 34 Carte de Lithologie de la wilaya d'El Tarf



**Figure 35** Carte de IVDN de la wilaya d'El Tarf

## IV.7 CONCLUSION

Les effets de l'exposition aux inondations sont essentiels au risque d'inondations. Un total de 900 points d'inondation et de non-inondation ont été sélectionnés. Un total de 15 influenceurs d'inondation ont été préparés sur la base d'une revue de la littérature et de la disponibilité des données, telles que l'élévation, la pente, la courbure, l'aspect, le IST, IRT, le IPF, UT/OS, les précipitations, le IHT et les types de sol qui influencent les inondations.

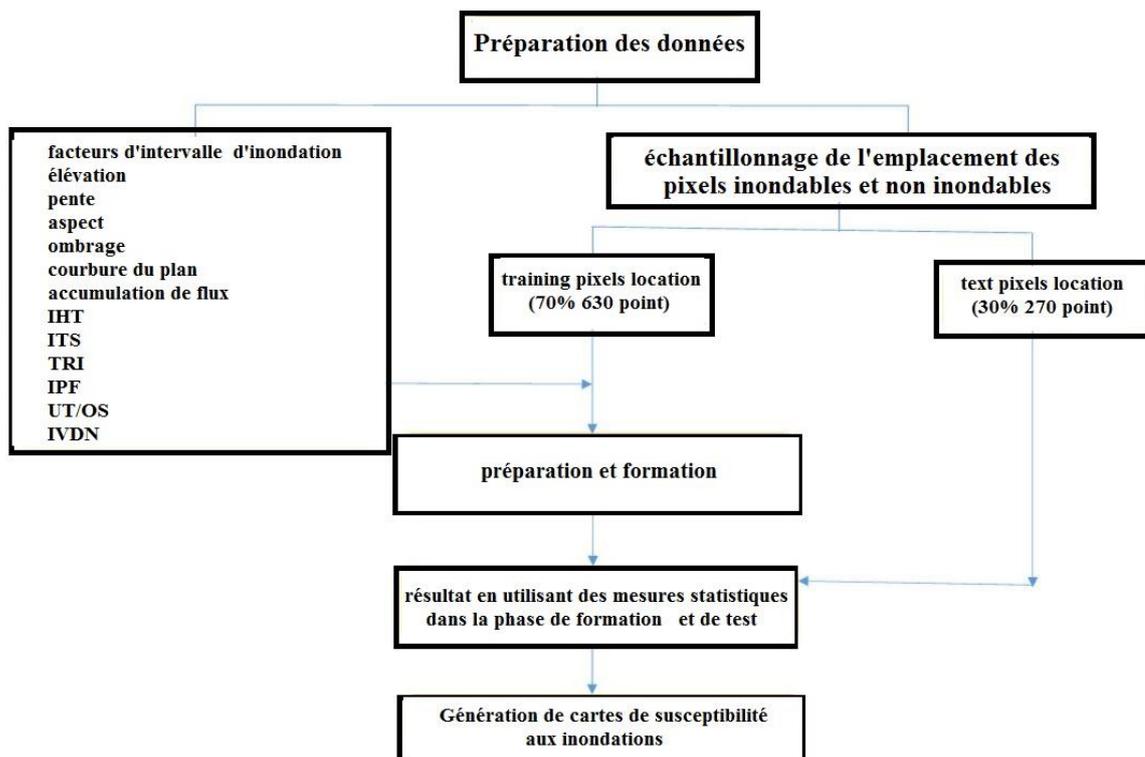
# **CHAPITRE V**

*Résultat et discussion*

**V.1 Introduction**

Les cartes de zone de susceptibilité aux inondations sont considérées comme une exportation finale qui serait bénéfique pour la planification future des projets de développement urbain et des terres durables la gestion des usages et aussi ces exportations sont la première étape significative dans le risque d'inondation et évaluations des risques (Pradhan et Youssef 2011 ; Tehrani et al. 2014a, b). Donc c'est nécessaire pour reconnaître avec précision les zones sujettes aux inondations avec une haute compétence basée sur plusieurs techniques et les crues passées. Parce que la précision des différentes approches proposées pour analyser la susceptibilité aux inondations est encore débattue (Rahmati et al. 2015a).

La méthodologie adoptée dans cette étude est résumée à la (Figure 36). Préparation des ensembles de données d'apprentissage et de test La première étape du développement d'un modèle d'assemblage de machine approprié est la sélection des ensembles de données d'apprentissage et de test. Aux fins de cette étude, la plus grande crue qui a frappé la région le 23 février 2012 a servi de guide pour définir ces ensembles de données. L'étendue spatiale de cette inondation a été déterminée par traitement d'images de télédétection, un polygone a été créé pour représenter l'étendue de cette inondation. Ensuite, le polygone et le masque de la zone d'étude ont été convertis au format raster avec une résolution spatiale de 90 x 90 m dans ArcGIS™ 10.3. À partir de ces données raster, un nombre suffisant de pixels inondables et non inondables (900 points de localisation) ont été sélectionnés et randomisés en deux jeux de données dans un rapport de 70/30. Étant donné que le problème d'exposition aux inondations est considéré comme une tâche de classification binaire dans les modèles d'apprentissage automatique, nécessitant des états positifs (zone inondée) et des états négatifs (zone non inondée), une technique de sous-échantillonnage (Pradan 2013) a été utilisée lorsque le même nombre a été utilisé. Les pixels non inondés et inondés ont été échantillonnés à la fois dans des zones inondées et non inondées. Les pixels d'inondation se voient attribuer une valeur de 1, tandis que les pixels non inondables sont définis sur une valeur de 0. Enfin, les valeurs du facteur d'influence d'inondation ont été extraites de ces pixels et organisées dans un fichier texte. Le fichier texte a été exporté vers le progiciel statistique gratuit pour effectuer l'analyse requise.



**Figure 36** Organigramme méthodologique pour la susceptibilité aux inondations.

## V.2 Sélection des facteurs de conditionnement des crues

Dans le but d'une sélection et préparation des facteurs d'inondation influents pour effectuer la délimitation spatiale de la susceptibilité aux inondations dans cette étude, une base de données spatiale qui contient les inondations influentes facteurs a été préparé. Aux fins de cette étude, 15 facteurs ont été sélectionnés et préparés sur la base de revues de la littérature. La sélection des fonctionnalités est une étape importante dans la modélisation de l'apprentissage automatique. La suppression des fonctionnalités redondantes peut éviter la diminution de la vitesse du processus d'apprentissage (Öztürk et Akdeniz 2000). Ce dernier se produit lorsque des caractéristiques fortement corrélées existent dans l'ensemble de données d'apprentissage. Par conséquent, un mauvais choix des facteurs d'entrées peut affecter la capacité d'estimation du modèle. Le processus de sélection des caractéristiques s'est basé sur deux analyses pour détecter les facteurs non pertinents : la corrélation de rang de Spearman et le test de multicollinéarité.

V.2.1 Coefficient de corrélation de rang de Spearman :

La corrélation de Spearman est étudiée lorsque deux variables statistiques semblent corrélées sans que la relation entre les deux variables soit de type affine. Elle consiste à trouver un coefficient de corrélation, non pas entre les valeurs prises par les deux variables mais entre les rangs de ces valeurs. Elle estime à quel point la relation entre deux variables peut être décrite par une fonction monotone. S'il n'y a pas de données répétées, une corrélation de Spearman parfaite de +1 ou -1 est obtenue quand l'une des variables est une fonction monotone parfaite de l'autre (Eq 5).

$$r(X,Y) = 1 - \frac{6 \sum (X_i - Y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \tag{5}$$

r est le coefficient de corrélation,

X et Y sont deux variables

n est la longueur de chaque variable.

Un coefficient de corrélation de Spearman de 1 est obtenu quand les deux variables comparées ont une relation parfaitement monotone, même si cette relation n'est pas linéaire. En revanche, la corrélation de Pearson (linéaire) n'est pas parfaite.

Tableau 1 coefficient de corrélation entre les facteurs influençant

	Ombra ge	Altitu de	Pente	Aspect	Sens Ecoulem ent	Accumul ation de flux	Courbur e de Plan	IPF	IHT	IST	IRT	UT/OS	Lithologi e	Précipita tion	IVDN
Ombra ge	1.000	0.061	0.042	0.463	0.278	-0.004	-0.009	-0.001	-0.009	-0.004	0.064	0.013	-0.008	0.049	-0.024
Altitu de	0.061	1.000	0.629	0.109	0.000	-0.054	0.056	-0.030	-0.324	-0.064	0.360	-0.194	-0.388	0.381	0.180
Pente	0.042	0.629	1.000	0.139	-0.017	-0.070	0.071	-0.036	-0.440	-0.095	0.298	-0.094	-0.314	0.157	0.139
Aspect	0.463	0.109	0.139	1.000	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186	-0.186
Sens Ecoulem ent	0.278	0.000	-0.017	-0.186	1.000	0.014	-0.007	0.018	0.064	0.026	0.010	-0.022	0.008	0.052	0.042
Accumul ation de flux	-0.004	-0.054	-0.070	-0.016	0.014	1.000	-0.024	0.612	0.273	0.711	-0.041	0.004	0.021	-0.013	0.013
Courbur e de Plan	-0.009	0.056	0.071	-0.002	-0.007	-0.024	1.000	-0.048	-0.374	-0.065	0.015	-0.002	-0.013	-0.001	-0.007
IPF	-0.001	-0.030	-0.036	-0.003	0.018	0.612	-0.048	1.000	0.207	0.618	-0.040	-0.003	-0.011	-0.008	0.005
IHT	-0.009	-0.324	-0.440	-0.105	0.064	0.273	-0.374	0.207	1.000	0.343	-0.301	0.159	0.152	-0.078	-0.068
IST	-0.004	-0.064	-0.095	-0.008	0.026	0.711	-0.065	0.618	0.343	1.000	-0.074	-0.006	0.004	-0.010	0.005
IRT	0.064	0.360	0.298	0.144	0.010	-0.041	0.015	-0.040	-0.301	-0.074	1.000	-0.240	-0.054	0.141	0.160
UT/OS	0.013	-0.194	-0.094	-0.093	-0.022	0.004	-0.002	-0.003	0.159	-0.006	-0.240	1.000	0.127	-0.200	-0.223
Lithologi e	-0.008	-0.388	-0.314	-0.062	0.008	0.021	-0.013	-0.011	0.152	0.004	-0.054	0.127	1.000	-0.356	0.001
Précipita tion	0.049	0.381	0.157	0.036	0.052	-0.013	-0.001	-0.008	-0.078	-0.010	0.141	-0.200	-0.356	1.000	0.005
IVDN	-0.024	0.180	0.139	0.004	0.042	0.013	-0.007	0.005	-0.068	0.005	0.160	-0.223	0.001	0.005	1.000

Les chiffres soulignés représentent l'existence d'une corrélation linéaire.

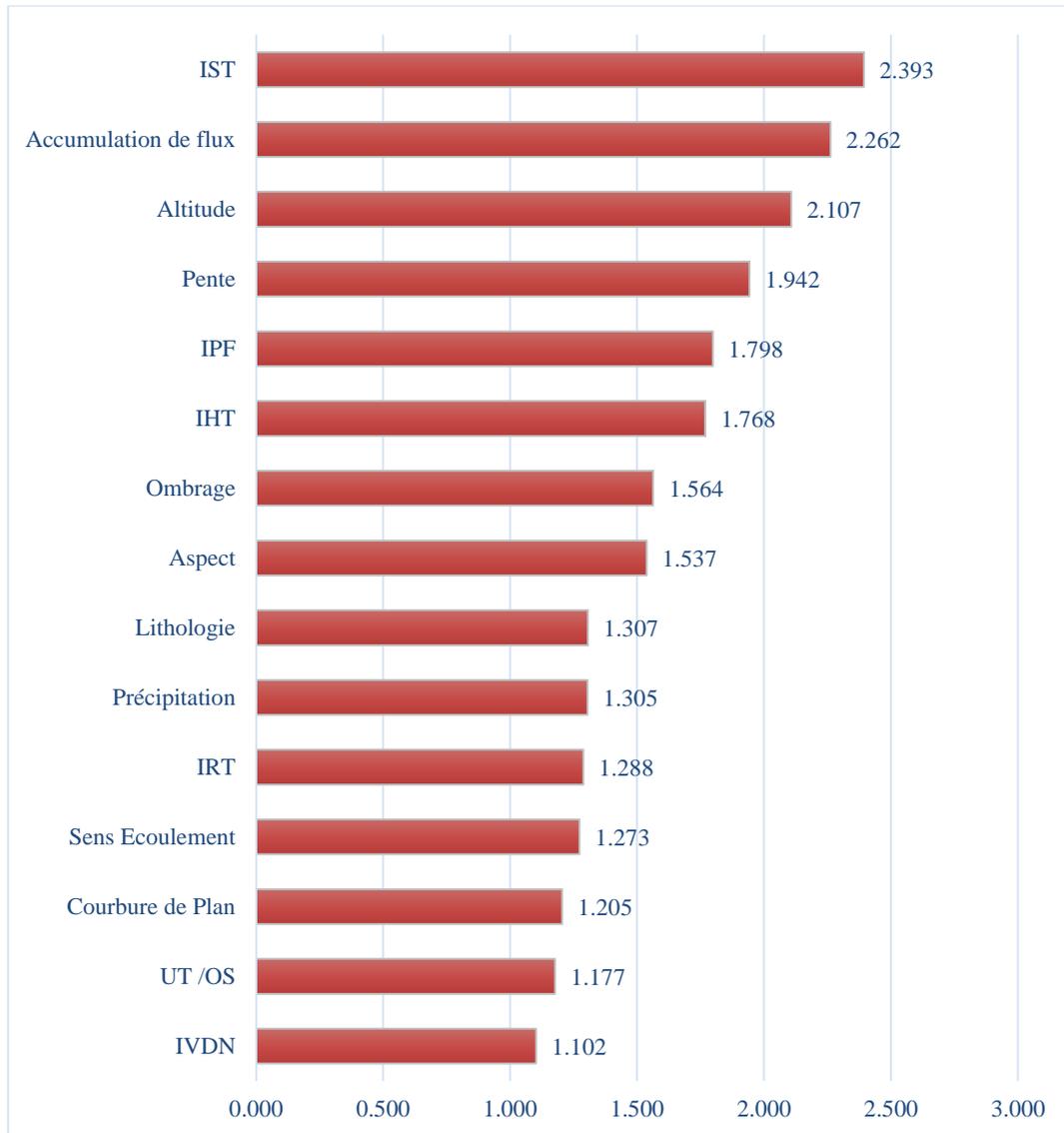
L'analyse de la corrélation de Spearman entre les facteurs (Tableau 1) était basée sur un seuil supérieur à 0,7 pour indiquer une existence de corrélation selon (Chen et al. 2018). Deux facteurs de conditionnement ont été identifiés comme corrélés qui sont l'accumulation de flux d'IST (Tableau 1).

**V.2.2 Test de multicollinéarité :**

Il existe différentes échelles de multicollinéarité. L'extension multicollinéarité test en fournit plusieurs, mais ne peut être utilisée que si toutes les variables explicatives sont de type numérique. L'approche la plus classique est de regarder le facteur d'amplification de la variance (VIF). La VIF estime de combien la variance du coefficient est "augmentée" en raison de la relation linéaire avec les autres prédicteurs. Ainsi, un VIF de 1,8 nous indique que la variance de ce paramètre spécifique est de 80% supérieure à la variance que nous aimerions observer si ce facteur n'était pas du tout corrélé avec les autres prédicteurs. Si toute la VIF est 1, alors il n'y a pas de relation colinéaire multiple, mais si une VIF est supérieure à 1, les prédicteurs sont liés. Il n'y a pas de consensus sur la valeur au-delà de laquelle il faut considérer qu'il existe une relation linéaire multiple. Certains auteurs, comme (Paul Allison 2011), supposent qu'ils examinent plus en détail les variantes avec une VIF supérieure à 2,5, alors que d'autres préfèrent une valeur de 5. Il n'y a pas de test statistique qui nous dira s'il y a ou non colinéarité. En plus des corrélations entre deux caractéristiques réalisées à l'aide du coefficient de Spearman, la multi colinéarité est vérifiée dans cette étude entre tous les facteurs d'influence utilisés. L'analyse de multi colinéarité vise à détecter l'interdépendance existante entre les variables et a été réalisée (dans cette étude) en utilisant le facteur d'inflation de la variance (VIF). Ce facteur est couramment utilisé dans les études d'évaluation de la susceptibilité aux inondations (Bui et al. 2019, Khosravi et al. 2019, Rahman et al. 2019) qui suggèrent un seuil > 5 pour considérer un problème de multicollinéarité

**Tableau 2** Test de multicollinéarité

IST	Accumulation de flux	Altitude	Pente	IPF	IHT	Ombrage	Aspect	Lithologie	Précipitation	IRT	Sens Ecoulement	Courbure de Plan	UT /OS	IVDN
2.393	2.262	2.107	1.942	1.798	1.768	1.564	1.537	1.307	1.305	1.288	1.273	1.205	1.177	1.102



**Figure 37** Analyse de multicollinéarité des facteurs d'influence

L'analyse de multicollinéarité des facteurs de contrôle a été réalisée à l'aide du VIF. La plage de VIF varie de 1,10 à 2,39 et les valeurs les plus élevées et les plus faibles de VIF ont été observées pour l'ITS et l'accumulation de flux, respectivement (Figure 37).

### V.2.3 Évaluation de modèle RF :

Dans cette section, l'ensemble d'apprentissage est divisé en deux ensembles d'apprentissage pour mettre à jour les poids du modèle et réduire les erreurs de classification et les données de validation sont utilisées pour sélectionner les hyperparamètres. Les hyperparamètres optimaux de chaque modèle de classification sont déterminés dans les données d'apprentissage à l'aide de la méthodologie de recherche de réseau. Une large gamme de valeurs d'hyperparamètres

est étudiée dans ce processus. Pour chaque classificateur, la meilleure structure est donnée dans le tableau.

**Tableau 3** la meilleure structure est donnée

Méthode	Hyper paramètres	Valeurs de recherche de grille	Valeur sélectionnée
RF	Max profondeur	[1:1:20]	14
	Valeur sélectionnée	[100:100:2000]	1000

#### V.2.4 Évaluation de la validation des performances du modèle :

La courbe ROC est une technique largement utilisée et acceptée dans l'analyse géospatiale pour déterminer la validation du modèle (Tehrany et al., 2013 ; Chen et al., 2018a). Il a été indiqué que la précision et le taux de réussite utilisés pour valider les modèles de susceptibilité aux inondations (Tien Bui et al. (2012)). La courbe de fonctionnement du récepteur (ROC) est l'approche appliquée la plus courante pour la vérification des modèles de susceptibilité aux inondations et aux glissements de terrain. La précision de la prédiction des modèles examinés est évaluée à l'aide de l'aire sous la courbe (AUC) (par exemple, Lee et Pradhan 2007 ; Chauhan et al. 2010 ; Akgun et al. 2012 ; Tien Bui et al. 2012; Pourghasemi et al. 2012 ; Schumann et al. 2014 ; Youssef et al. 2016a, b ; Youssef et Hegab 2019). Les performances acceptables des modèles doivent avoir une valeur AUC-ROC comprise entre 0,5 et 1, et la qualité du modèle est augmentée en augmentant la Valeur AUC-ROC. Les modèles de sensibilité peuvent produire la plus grande précision et fiabilité lorsque la valeur AUC-ROC est égale ou proche de 1,0. Lorsque  $ROC \leq 0,5$  et 1 indiquent respectivement inexact et très précis du modèle de prédiction (Chen et al. , 2020) qui montre la capacité du mode l pour prédire l'occurrence des catastrophes sans aucun biais (Pradhan et al. 2010 ; Tien Bui et al. 2012).

D'autres critères statistiques (Exactitude, Précision, Rappel, F1\_score) ont été utilisés pour évaluer les performances des modèles et également pour comparer leur robustesse par rapport à d'autres modèles de la littérature. L'exactitude est le rapport entre les observations correctement classées et le total des observations (Eq. 6), la précision est le rapport entre les

observations positives correctement classées et le total des observations positives classées (Eq. 7), le rappel (également connu sous le nom de sensibilité) est le rapport de correctement classées des observations positives au total des observations (Eq. 8), le score F1 considère à la fois la précision et le rappel avec une moyenne pondérée (Eq. 9).

$$\text{Exactitude} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{6}$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \tag{7}$$

$$\text{Rappel} = \frac{TP}{TP + FN} \tag{8}$$

$$\text{F1 score} = \frac{2 (\text{Recall} * \text{Precision})}{\text{Recall} * \text{Precision}} \tag{9}$$

La (Figure 38) montre les performances du modèle de Random Forest selon cinq critères. Le modèle a fourni simulation dans la période test assez bonne montré par les critères exactitude, précision, rappel et F1 score égaient à 79.05, 89.31, 83.33, 83.87 et 84.81 % respectivement.

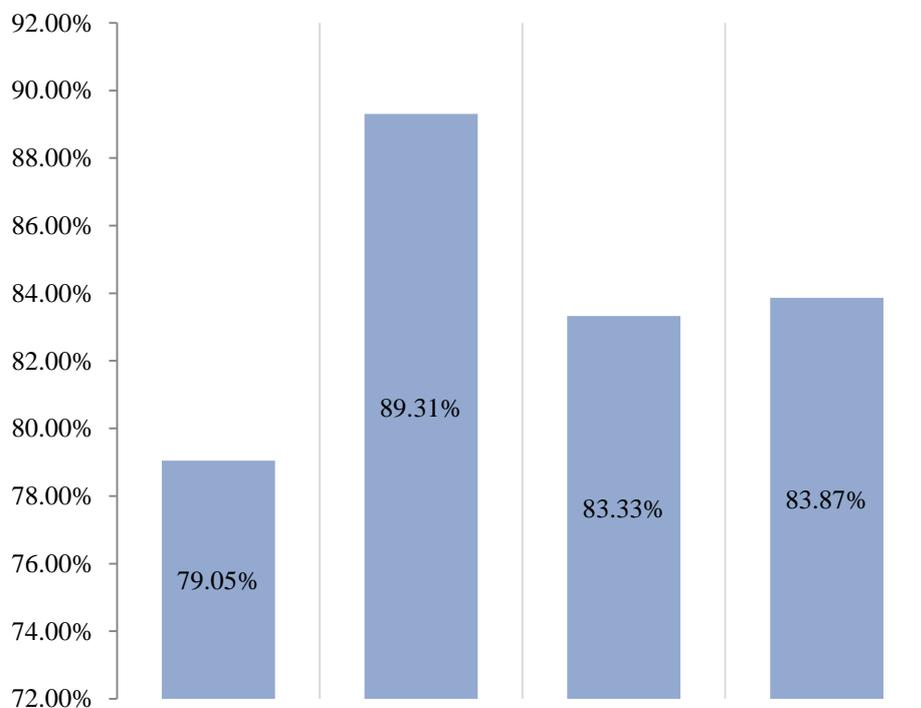


Figure 38 Évaluation de la validation des performances du modèle

Afin d'évaluer l'influence du hyperparamètre « max depth » sur la performance du modèle, on a l'a varié de 1 jusqu'à 20 et on a lancé l'apprentissage à chaque fois, et calculer l'AUC. Selon la (Figure 39), on peut constater que l'augmentation de cet hyperparamètre influe positivement sur la performance du modèle Random Forest allant d'une valeur AUC de 91.53% (max depth égale à 1) jusqu'à 93.53% (max depth égale à 14). Arrivé à une certaine valeur, la performance devient stable et varie d'une manière non significative.

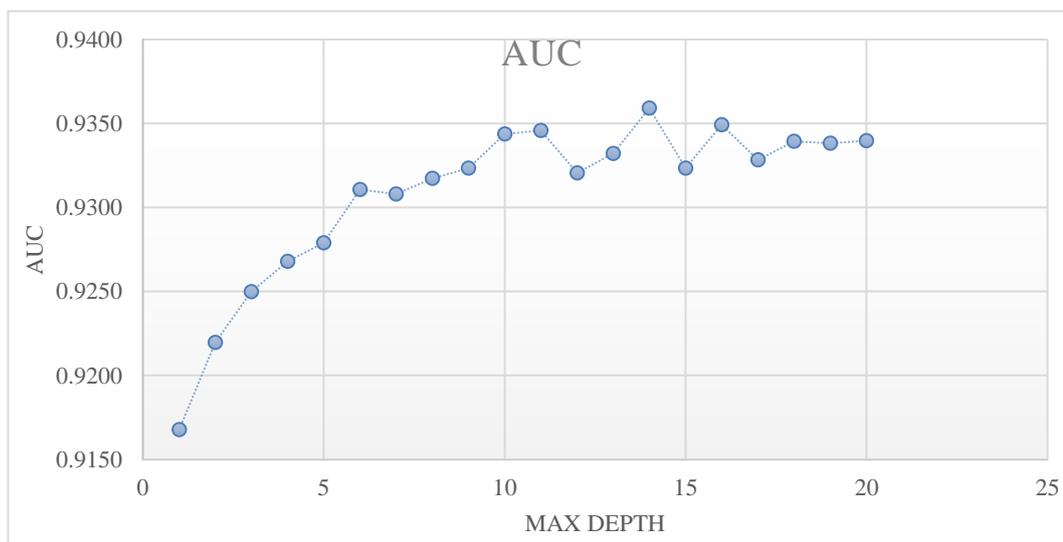


Figure 39 La courbe AUC

### V.2.5 Matrice de confusion

Dans le domaine de l'apprentissage automatique et plus précisément du problème de la classification statistique, une matrice de confusion, également appelée matrice d'erreur, est une disposition de tableau spécifique qui permet de visualiser les performances d'un algorithme, typiquement un apprentissage supervisé (en apprentissage non supervisé, il est généralement appelée matrice d'appariement). Chaque ligne de la matrice représente les instances d'une classe réelle tandis que chaque colonne représente les instances d'une classe prédite, ou vice versa – les deux variantes se trouvent dans la littérature. Le nom vient du fait qu'il permet de voir facilement si le système confond deux classes (c'est-à-dire qu'il étiquette généralement à tort l'une comme l'autre).

Tableau 4 Matrice de confusion de la simulation en période test

class	VRAI	FAUX
VRAI	<b>108</b>	31
FAUX	14	<b>117</b>

Dans cette matrice de confusion, sur les 270 points, le système a jugé que 108 étaient inondables, il a prédit que 14 n'étaient pas inondables le système a jugé que 117 étaient non inondables, il a prédit que 31 n'étaient pas inondables. Toutes les prédictions correctes sont situées dans le tableau (Tableau 6) (surlignées en gras), il est donc facile d'inspecter visuellement le tableau pour les erreurs de prédiction, car elles seront représentées par des autres valeurs.

### V.3 Modélisation de la susceptibilité aux inondations

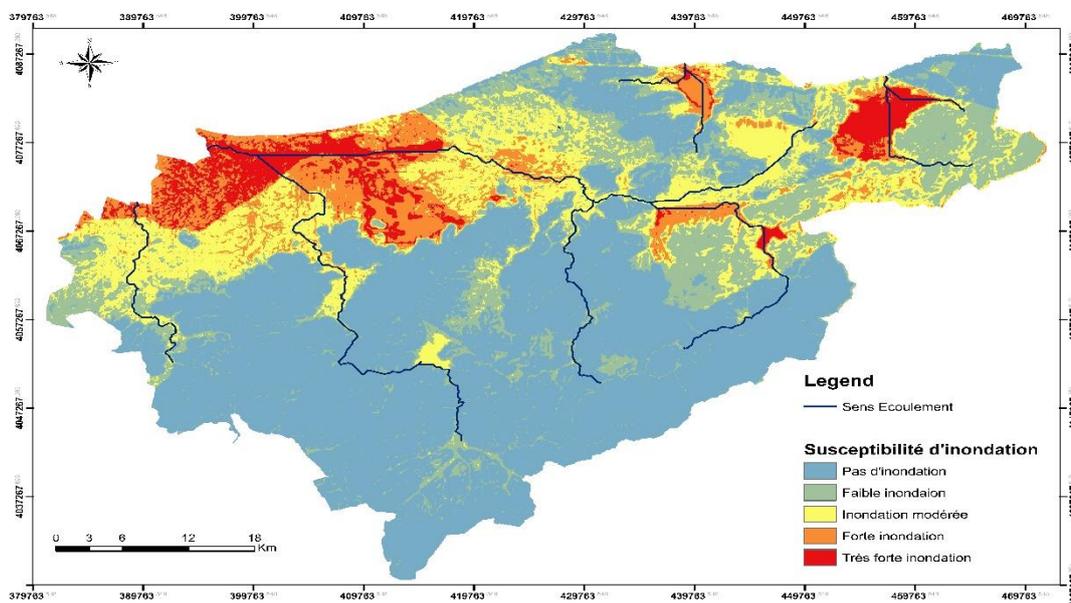
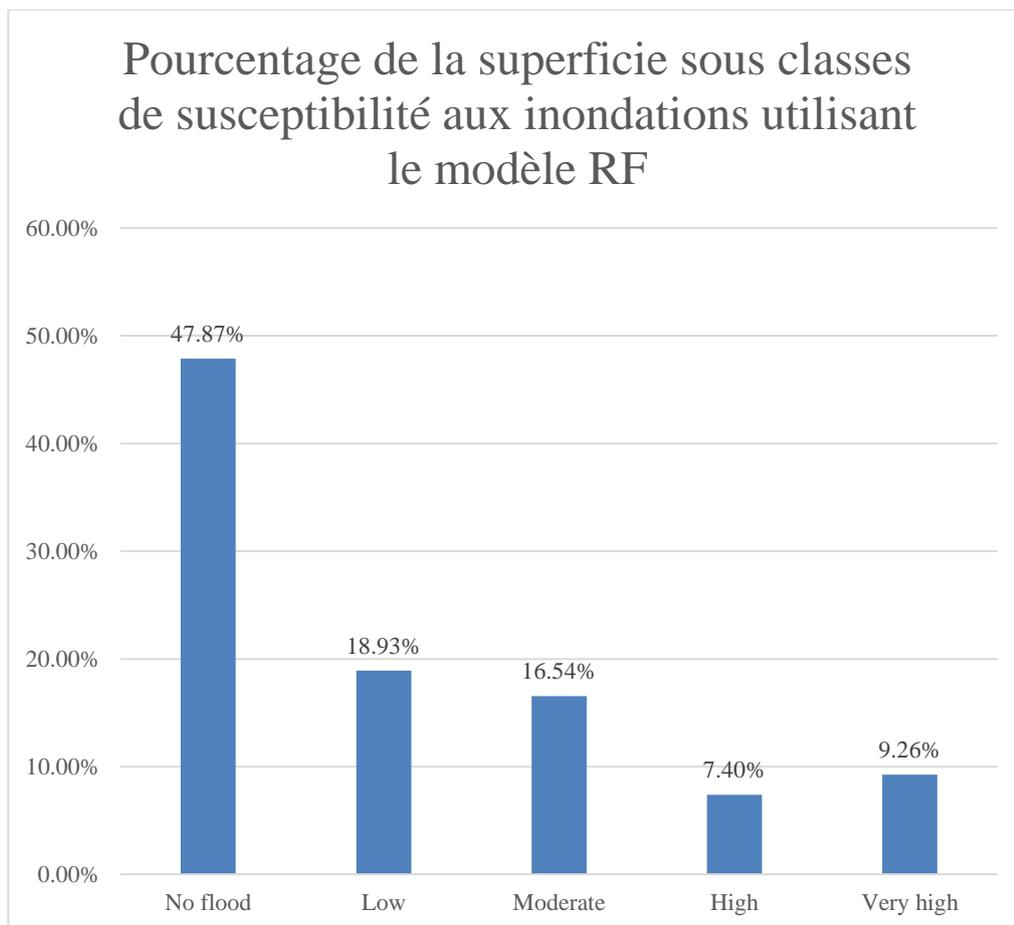


Figure 40 Carte de susceptibilité aux inondations par RF

Tableau 5 Pourcentage de la superficie sous classes de susceptibilité aux inondations utilisant le modèle RF

class	pas inondation	Faible inondation	Inondation modérée	Fort inondation	Très fort inondation
<b>RF</b>	47.87%	18.93%	16.54%	7.40%	9.26%



**Figure 41** Pourcentage de la superficie sous classes de susceptibilité aux inondations utilisant le modèle RF

Selon la carte générée des zones inondables dans la wilaya de Eltarf, cinq classes ont été définie selon l'ampleur de l'inondation : très forte inondation, forte inondation, inondation modérée, faible inondation et pas d'inondation.

Zone Très forte inondation : Elle couvre environ 9.26 % de la zone d'étude Il est distribué principalement dans les bassins versants, Autour des principaux lacs et plaines Zone de danger d'inondation de large impact, les zones d'urbanisation subiront de lourdes pertes. Afin qu'ils Il a le niveau de risque le plus élevé. Basé sur les statistiques des inondations Données de 2012, tous ces domaines mentionnés Au-dessus, il y avait des inondations graves ou relativement graves.

Zone forte inondation : Elle couvre environ 7.40 % de l'étude Il est réparti principalement dans l'Oued Bougous au sud-est de l'État et l'Oued El Kebir au nord. En raison de

l'insuffisance des infrastructures de drainage des crues, les inondations se produisent facilement dans les zones urbaines.

Zone à Inondation modérée : couvre environ 16.54 % de la zone d'étude La population de ces régions est relativement Développement économique sporadique au niveau moyen. La crue entraîne donc une diminution relative pertes.

Zone faible Inondation : couvre environ 18.93 % de la zone d'étude La population de ces régions est relativement Développement économique sporadique au niveau moyen. La crue entraîne donc une diminution relative pertes.

Zone pas Inondation : couvre environ 47.87 % de la zone d'étude La population de ces régions est relativement Développement économique sporadique au niveau moyen. La crue entraîne donc une diminution relative pertes.

#### **V.4 CONCLUSION**

Les résultats du modèle RF indiquent que l'état d'El Tarf en termes d'inondation a une distribution spatiale complexe et inégale. Les zones à haut risque sont concentrées dans les zones côtières, les bassins, les zones autour des lacs et divers bassins versants. La carte des zones inondables a montré qu'il y a un risque dans plusieurs zones urbaines mais surtout dans la région agricole de la wilaya.

## *Conclusion Générale*

## **CONCLUSION GENERALE**

Objectif principal de cette recherche, la carte des niveaux de risque a finalement été réalisée sur la base des indicateurs de risque et de vulnérabilité. La crédibilité des résultats obtenus à partir de cette étude a également été vérifiée sur le terrain. D'après les données sur les inondations dans l'État d'El Tarf Inondations le 23 février 2012 au niveau de l'État et au niveau de base Informations naturelles, sociales et liées aux risques, dans cette étude Nous avons utilisé un modèle d'évaluation des risques basé sur la télédétection et sommes arrivés aux conclusions suivantes La carte de sensibilité aux crues est tracée comme suit : Les effets combinés de plusieurs indicateurs conduisent à des variables explicatives pour la télédétection L'emplacement géographique a la plus grande influence sur le risque d'inondation, et les inondations ont de grandes fluctuations spatiales. Nous avons 15 variantes disponibles, élévation, pentes, aspect, ombrage, la courbure du plan, accumulation de flux, l'indice d'humidité topographique (IHT), l'indice de transfert de sédiments (ITS), l'indice de rugosité de terrain (IRT), l'indice de puissance de flux (IPF). Précipitation, Sens d'écoulement, l'utilisation des terres/occupation du sol (UT/OS), lithologie, et l'indice de végétation par différence normalisé (IVDN). Les précipitations maximales ont des impacts significatifs sur la création de catastrophes. De plus, les précipitations L'agent causal de la catastrophe. De fortes précipitations et plus leur contraste est élevé, plus la probabilité de catastrophe. Dans les zones dominées principalement par l'agriculture, les dommages aux terres agricoles sont une grande perte. Dans les zones d'industries relativement développées, les dommages matériels sur la base de la densité de population, du réseau routier et de la répartition des actifs sont graves. Le modèle RF décrit la relation entre Le nombre d'inondations et les facteurs d'évaluation, et Il a une précision de classification relativement élevée. Deux méthodes d'échantillonnage aléatoire, basées sur un échantillonnage aléatoire Les échantillons et les caractéristiques sont présentés en RF Forme. Cela améliore la précision et la stabilité Modèle qui réduit la sensibilité au bruit et aux anomalies valeur et évite efficacement le sur-traitement. avec plus Indicateurs d'évaluation inclus dans l'erreur OOB en général Une tendance baissière apparaît. Compte tenu de facteurs plus explicatifs, l'efficacité des étapes du modèle RF et a finalement atteint une précision de simulation moyenne de 83,81 %. Toutes les analyses d'indicateurs le montrent Les risques d'inondation sont le résultat global de ses menaces et Vulnérabilité sociale et économique. Outre la taille Le degré de pertes dues aux catastrophes dépend de nombreux aspects, Tels que les facteurs de risque, la densité catastrophique, le développement économique, la densité de population de La zone touchée.

## *Conclusion Générale*

Les résultats du modèle RF indiquent que l'état Tarf a une distribution spatiale complexe et inégale. Les zones à haut risque sont concentrées dans la région nord-ouest de l'État Principales vallées et zones autour des lacs. Des bassins versants différents ont des caractéristiques différentes. La méthode d'agrégation FR peut être utilisée efficacement dans les études de risque d'inondation En raison de sa structure simple et de ses performances puissantes. De plus, le modèle FR est excellent Une approche pour classer différentes classes de paramètres de conditionnement. Par conséquent, chaque carte d'index Dérivé de cette étude peut être utile aux planificateurs et aux décideurs pour la gestion des inondations et Planification dans la zone d'étude.

# Bibliographie

(Pulvirenti et al, 2011) : L. Pulvirenti<sup>1</sup>, N. Pierdicca<sup>1</sup>, M. Chini<sup>2</sup>, and L. Guerriero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Information Engineering, Electronics and Telecommunications, Sapienza University of Rome, Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy

<sup>2</sup>Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata 605, 00143 Rome, Italy

<sup>3</sup>Department of Computer Science, Systems and Production, Tor Vergata University of Rome, Via del Politecnico 1, 00133 Rome, Italy

Received: 13 Jul 2010 – Revised: 09 Dec 2010 – Accepted: 04 Jan 2011 – Published: 18 Feb 2011

(James, 2008). James, R.K. ( 2008). Crisis intervention strategies (6th ed.). Belmont, CA: Thomson Brooks-Cole /Cengage.

[Google Scholar](#)

(Fenicia et al., 2008) : [Fabrizio Fenicia](#), [Hubert H. G. Savenije](#), [Patrick Matgen](#), [Laurent Pfister](#)

First published: 03 January 2008

<https://doi.org/10.1029/2006WR005563>

- Centre canadien de télédétection, *Notions fondamentales de télédétection*, 1998, 266 p. ([lire en ligne](#) [[archive](#)]) — Tutoriel canadien
- Francisco Eugenio González, JavierMarcello Ruiz et Ferran Marqués Acosta, *Manuel de télédétection spatiale TELECAN*, l'Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2014, 337 p. ([ISBN 978-0-387-98190-1](#), [lire en ligne](#) [[archive](#)]) — Manuel rédigé avec l'appui de l'Union Européenne
- Collectif CNES ONERA, *Imagerie spatiale : des principes d'acquisition au traitement des images optiques pour l'observation de la Terre*, Cépaduès, 2008 ([ISBN 978-2-854-28844-5](#))
- Stéphane Jacquemoud, *Télédétection et géophysique spatiale*, 2008, 36 p. ([lire en ligne](#) [[archive](#)]) — Support de cours troisième année de licence Sciences de la Terre.
- Marc Leroy, *Télédétection spatiale : principes physiques de mesure. Partie I : Capteurs, atmosphère, surfaces continentales*, 2004, 173 p. ([lire en ligne](#) [[archive](#)]) — Support de cours DEA Océan/atmosphère à l'université Paul Sabatier
- en) [Trevor Hastie](#), [Robert Tibshirani](#) et Jerome Friedman, *The Elements of Statistical Learning : Data Mining, Inference, and Prediction*, 2009, 2<sup>e</sup> éd.
- (en) Bishop, C. M. (1995). *Neural Networks for Pattern Recognition*, [Oxford University Press](#). ([ISBN 0-19853-864-2](#))

- (en) Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stork, Pattern Classification, Wiley-interscience, 2001 ([ISBN 0-471-05669-3](#)) [[détail des éditions](#)]
- Antoine Cornuéjols, Laurent Miclet, Yves Kodratoff, Apprentissage Artificiel : Concepts et algorithmes, Eyrolles, 2002 ([ISBN 2-212-11020-0](#)) [[détail des éditions](#)]
- (en) David MacKay, [Information Theory, Inference, and Learning Algorithms](#) [[archive](#)], [Cambridge University Press](#), 2003 ([ISBN 0-521-64298-1](#)) [[détail des éditions](#)]
- (en) Tom M. Mitchell, Machine Learning, 1997 [[détail des éditions](#)]
- (en) Christopher M. Bishop, Pattern Recognition And Machine Learning, Springer, 2006 ([ISBN 0-387-31073-8](#)) [[détail des éditions](#)]
- (en) Huang T.-M., Kecman V., Kopriva I. (2006), Kernel Based Algorithms for Mining Huge Data Sets, Supervised, Semi-supervised, and Unsupervised Learning, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 260 p. 96 illus., Hardcover, ([ISBN 3-54031-681-7](#)) ([learning-from-data.com](#) [[archive](#)])
- (en) KECCMAN Vojislav (2001), LEARNING AND SOFT COMPUTING, Support Vector Machines, Neural Networks and Fuzzy Logic Models, The MIT Press, Cambridge, MA, 608 pp., 268 illus., ([ISBN 0-26211-255-8](#)) ([support-vector.ws](#) [[archive](#)])
- (en) Sholom Weiss and Casimir Kulikowski (1991). Computer Systems That Learn, Morgan Kaufmann. ([ISBN 1-55860-065-5](#))
- (en) Krzysztof Wołk, Machine learning in translation corpora processing, Boca Raton, FL, Taylor & Francis, 2019, 264 p. ([ISBN 978-0-367-18673-9](#))

(Obl et Tapsell 2000). ObI,C.A.et  
Tapsell,S.(2000)Floodingandhumanhealth.The dangersposedarenot alwaysobvious.BMJ,no.321,p.1167-68

(Jonkman 2005) [Jonkman](#) et Kelman, 2005; Santé Canada, 2005.

(Hirabayashi et Kanae 2009), Hirabayashi, Y., & Kanae, S. (2009). First estimate of the future global population at risk of flooding. Hydrological research letters, 3, 6-9.

(Ghoneim et Foody 2013). GHONEIM, Eman; FOODY, Giles M. Assessing flash flood hazard in an arid mountainous region. Arabian journal of Geosciences, 2013, 6.4: 1191-1202.

(Tien Bui et al. 2016) BUI, Dieu Tien, et al. Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree. Landslides, 2016, 13.2: 361-378.

(Srinivas eal. 2008). SARMA, K. V., et al. Derivation of Sines. In: Gaṇita-Yukti-Bhāṣā (Rationales in Mathematical Astronomy) of Jyēṣṭhadeva. Hindustan Book Agency, Gurgaon, 2008. p. 83-145.

(Tehrany et al., 2014). TEHRANY, Mahyat Shafapour; PRADHAN, Biswajeet; JEBUR, Mustafa Neamah. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of hydrology, 2014, 512: 332-343.

(Devkota et al., 2013 ; Tehrany et Kumar, 2018) TEHRANY, Mahyat Shafapour; KUMAR, Lalit. The application of a Dempster–Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods.

Environmental Earth Sciences, 2018, 77.13: 1-24.

(Masood et Takeuchi, 2012) Masood, M., & Takeuchi, K. (2012). Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model. *Natural hazards*, 61(2), 757-770.

(Bellu et al., 2016) Colli, A., Manzan, E., Zucchetta, F., Bizzotto, E., Besola, L., Bagozzi, L., ... & Gerosa, G. (2016). Transapical off-pump mitral valve repair with Neochord implantation: early clinical results. *International journal of cardiology*, 204, 23-28.

(Cloke et Pappenberger, 2009 ; Pradhan et al., 2016) Bui, D. T., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q. T., Tran, Q. A., & Nguyen, Q. P. (2016). Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS. *Journal of Hydrology*, 540, 317-330.

(Arora et al., 2019 ; Tehrany et al., 2013) Arora, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Hong, H., & Mishra, V. N. (2019). Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of frequency ratio and Shannon's entropy models. *Geocarto International*, 1-32.

((Saber et al. 2020, et Abdrabo et al. 2020) Saber, M., Abdrabo, K. I., Habiba, O. M., Kantosh, S. A., & Sumi, T. (2020). Impacts of triple factors on flash flood vulnerability in Egypt: Urban growth, extreme climate, and mismanagement. *Geosciences*, 10(1), 24.

(Kia et al., 2012). Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A., & Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 67(1), 251-264.

(Hölting et Coldewey (2019) Hölting, B., & Coldewey, W. G. (2019). *Hydrogeology* (pp. 33-37). Springer.

(Yamazaki et al 2017). Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., ... & Bates, P. D. (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844-5853.

(Tehrany et al., 2014 ; Choubin et al., 2019b). Hosseini, F. S., Choubin, B., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Darabi, H., & Haghighi, A. T. (2020). Flash-flood hazard assessment using ensembles and Bayesian-based machine learning models: Application of the simulated annealing feature selection method. *Science of the total environment*, 711, 135161.

(Rahmati et al., 2018) Eykholt, K., Evtimov, I., Fernandes, E., Li, B., Rahmati, A., Xiao, C., ... & Song, D. (2018). Robust physical-world attacks on deep learning visual classification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1625-1634).

(Khosravi et al., 2016b ; Tien Bui et al., 2018a). Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., ... & Bui, D. T. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744-755.

(Tehrany et al., 2015a) Tehrany, M. S., Pradhan, B., Mansor, S., & Ahmad, N. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91-101

- (Choubin et al., 2019b). Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Haghghi, A. T., Pradhan, B., & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of hydrology*, 569, 142-154.
- (Yates et al. 2002) MacCoss, M. J., McDonald, W. H., Saraf, A., Sadygov, R., Clark, J. M., Tasto, J. J., ... & Yates, J. R. (2002). Shotgun identification of protein modifications from protein complexes and lens tissue. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7900-7905.
- Rahmati et al. (2016) Rahmati, O., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R., & Noormohamadi, F. (2016). Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. *Natural Hazards*, 82(2), 1231-1258.
- (Lee et al. 2012, Ahmadlou et al., 2019 ; Hong et al., 2018) Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., ... & Costache, R. (2019). Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography based optimization and imperialistic competitive algorithm. *Journal of environmental management*, 247, 712-729.
- (Cardenas et al., 2004). Ginès, P., Cárdenas, A., Arroyo, V., & Rodés, J. (2004). Management of cirrhosis and ascites. *New England Journal of Medicine*, 350(16), 1646-1654.
- (Shahabi et al. (2020), (Tehrany et al., 2014, 2015a) ), (Shahabi et al. (2020), (Tehrany et al., 2014, 2015a) )),
- (Young et Mutchler, 1969) Young, R. A., & Mutchler, C. K. (1969). Soil movement on irregular slopes. *Water Resources Research*, 5(5), 1084-1089.
- (Cao et al., 2016). Wang, Y., Cao, Z., & Li, D. (2016). Bayesian perspective on geotechnical variability and site characterization. *Engineering Geology*, 203, 117-125.
- (Aryal et al., 2003). Mosley, A. L., Lakshmanan, J., Aryal, B. K., & Özcan, S. (2003). Glucose-mediated phosphorylation converts the transcription factor Rgt1 from a repressor to an activator. *Journal of Biological Chemistry*, 278(12), 10322-10327.
- Beven et Kirkby (1979) Beven, K. J., Kirkby, M. J., Schofield, N., & Tagg, A. F. (1984). Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three UK catchments. *Journal of hydrology*, 69(1-4), 119-143.
- Moore et Burch (1986). Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624-1630.
- Riley et al. (1999) Riley et al. (1999)
- Fernandez et Lutz en 2010 Fernandez, D. S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1-4), 90-98.
- (Glenn et al., 2012 Oliver, S. J., Bock, J., Altieri, B., Amblard, A., Arumugam, V., Aussel, H., ... & Zemcov, M. (2012). The Herschel multi-tiered extragalactic survey: HerMES. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 424(3), 1614-1635.
- ((Butler et al., 2006; Chapi et al., 2017) Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental modelling & software*, 95, 229-245.
- (Predick et Turner (2008) Predick, K. I., & Turner, M. G. (2008). Landscape configuration and flood frequency influence invasive shrubs in floodplain forests of the Wisconsin River (USA). *Journal of Ecology*, 96(1), 91-102.

