



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar Thelidji- Laghouat

Faculté d'architecture et Génie civil

Département de Génie civil

**MÉMOIRE**

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en génie civil

*Option* : sciences et techniques topographique

***Thème***

**Etude des changement de l'aléa inondation sur le bassin versant d'ISSER  
entre 2000 et 2017**

**Présenté Par :**

**NOUARET AHMED**

**KALEM SIDAHMED**

**Devant le jury :**

**Mr HAMLAT Abdelkader**

**Mr GUIDOUM Azzedine**

**Mr DJABALLAH Ahmed**

**Président**

**Examineur**

**promoteur**

**M.C.A**

**M.C.A**

**M.A.A**

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2017 - 2018**

## *Dédicaces*

*A celle qui a inséré le gout de la vie et le sens de la  
Responsabilité qui m'a toujours apporté  
Son amour et son affection . . . . Merci ma MERE  
A celui qui a été toujours la source  
Du courage . . . . Merci mon PERE  
A mes très chères sœurs « FOUZIA », « SIHAM » et  
« IMENE » et mon frère « RAFIK » et toutes la famille  
NOUARET.  
Ainsi que tous mes chères amis.*

*NOUARET AHMED*

*A celle qui a inséré le gout de la vie et le sens de la  
Responsabilité qui m'a toujours apporté  
Son amour et son affection . . . . Merci ma MERE  
A celui qui a été toujours la source  
Du courage . . . . Merci mon PERE  
A mes très chères sœurs et mon frère « Abdelghani » et  
toutes la famille KALEM.  
Ainsi que tous mes chères amis.*

*KALEM SID AHMED*

## ***REMRCIEMENT***

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide  
Et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères  
Aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration  
De ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral  
Et administratif de la Faculté d'Architecture et génie civil  
Pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient  
De grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement notre encadreur  
Mr **DJABELLAH Ahmed** qui a été toujours à l'écoute  
Et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire  
Et jury Mr **HAMLAT Abdelkader**, qui, en tant que président  
Et Mr **GUIDOUM Azeddine** en tant que examinateur.

On n'oublie pas nos chers parents pour leur contribution  
Leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements  
À tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées  
Au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

## *Résumé*

L'eau peut être une aubaine comme elle peut être une source de problèmes, ainsi la problématique du risque d'inondation est un sujet d'actualité en Algérie et dans le monde entier, notamment au regard des dernières grandes crues catastrophiques. En effet, la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles.

Dans ce travail, on a exposé et étudié la cartographie du changement de l'aléa inondation sur le bassin versant d'ISSER (entre 2000 et 2017), à la base de données du milieu physique morpho-métrique et climatique, et en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) et le système d'information géographique ARC GIS.

## *ملخص*

الماء يعتبر نعمة ولكن قد يكون مصدر للمشاكل ، وحيث فان الفيضانات تعتبر من بين المواضيع الاكثر انتشارا والتي سجلت أثرا بالغا في ذاكرة شعوب العالم عموما والجزائر بصفة خاصة ، لاسيما من خلال وقائع الفيضانات المسجلة في الأونة الاخيرة. من أجل ذلك أصبح تسيير هذه الأخطار ضرورة حتمية تعني كل الاطراف و تقود الى استعمال جميع الوسائل المتوفرة.

قمنا بتعريف ودراسة و رسم خرائط تتعلق بمخاطر الفيضان داخل حوض التدفق " يسر " ( مابين الفترة في هذا العمل 2000 و 2017 ) على أساس بيانات الابعاد الشكلية ، التضاريس و المناخ ، وهذا باستعمال طريقة AHP وبالاستعانة بنظام المعلومات الجغرافي (ARCGIS) .

## *SUMMARY*

Water can be a boon as it can be a source of problems, so the problem of flood risk was a hot topic in Algeria and around the world, especially in light of the latest catastrophic floods. Indeed, the management of this risk is becoming more and more then necessity which must includes all the actors and all the available means.

In this work, we exposed and studied the mapped the changes of the flood hazard on the ISSER watershed (between 2000 and 2017), on the basis of the physical morpho-metrical climatic and environment data, using the AHP (Analytic Hierarchy Process ) method and the ARCGIS (Geographic Information System).

Dédicaces	I
Remerciement	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des équations	VI
Liste des figures	VII
Liste d'abréviation	IX
Introduction général	1

## **Chapitre I : Notions sur l'aléa inondation**

1-Introduction.....	2
2- risques majeurs .....	2
3-Inondation .....	3
3-1-Définition.....	3
3-2-Connaissance de l'aléa « inondation ».....	3
3-3-Principaux paramètres caractérisant l'aléa inondation .....	3
3-3-1-Période de retour.....	3
3-3-2- Hauteur et durée submersion.....	4
3-3-3-Vitesse du courant.....	4
3-4-Les bassins versant.....	4
3-4-1- c'est quoi un bassin versant ?.....	4
3-4-2- les bassins versant en Algérie.....	5
3-5-Paramètres fondamentaux d'un cours d'eau.....	6
3-5-1- Lits du cours d'eau .....	6
3-5--2-Crue.....	7
4-Les Inondations en Algérie.....	7
5-conclusion.....	10

## **Chapitre II : Données et Méthodes**

1-Introduction.....	12
2- L'aide multicritère à la décision.....	12
2-1- Définition .....	12
2-2-Principes.....	12
2-3- Concepts et terminologie.....	12
2-3-1- Les actions.....	12
2-3-2- Les attributs .....	12
2-3-3- Le critère .....	12
2-3-4- La pondération .....	13
2-4- Familles de méthodes multicritères.....	13
2-5- Les différents problématiques multicritères.....	13
2-6-les problématiques décisionnelles.....	13
2-6-1-Problématique de choix alpha .....	13
2-6-2-Problématique de trier bêta.....	13
2-6-3-Problématique de classement gamma .....	14
2-7- La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process).....	14
2-7-1- Description de la méthode AHP .....	14
2-7-2- Avantage de la méthode AHP : .....	14

2-7-3- Fondement de la méthode :.....	14
2-7-4-Exemple sur la méthode.....	16
<b>3-Système d'information géographique.....</b>	<b>16</b>
3-1-Définition du SIG.....	16
3-2-Composants du SIG.....	17
3-3-Structure du SIG.....	17
3-4-Fonctionnalités d'un SIG.....	18
3-5-Les domaines d'application des SIG.....	18
3-6-Les avantages des SI G.....	19
3-7-Les contraintes des SIG.....	19
<b>4- La télédétection.....</b>	<b>19</b>
4-1-Définition.....	19
4-2-Historique la télédétection.....	19
4-3-Principe de télédétection.....	20
4-4-Domainses d'application.....	20
4-4-1-Hydrologie(inondations).....	20
4-5-processus d'acquisition d'images.....	21
<b>5-conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre III :La méthodologie de travail</b>	
1-Présentation géographique de la zone d'étude.....	25
2- Données et méthodes.....	26
2.1-Carte des pentes.....	26
2.2- Carte de précipitation.....	25
2.3- Carte D'occupation du sol.....	28
2.4- Carte de la Densité Du Réseau hydrographique.....	29
2.5-Carte de lithologie.....	30
3- L'évaluation de chaque paramètre selon la méthode AHP.....	31
3.1- Carte d'occupation du sol.....	31
3.2- Carte des pentes.....	33
3.3 Carte densité de drainage.....	35
3.4 Carte de précipitation.....	37
3.5 Carte de lithologie.....	39
3.6-Carte finale.....	41
4-Conclusion.....	45
<b>Conclusions et perspectives.....</b>	<b>46</b>
Liste des références.....	47

## Liste des tableaux

Tableau II.1	: Tableau Echelle de Saaty.....	14
Tableau II.2	: Tableau Indice de cohérence moyen.....	15
Tableau II.3	: Tableau matrice de comparaison.....	16
Tableau III.1	: Tableau des données.....	26
Tableau III.2	: Tableau de la matrice de comparaison (C. d'occupation du sol).....	31
Tableau III.3	: Tableau de normalisation de la matrice (C. d'occupation du sol).....	31
Tableau III.4	: Tableau de la matrice de comparaison (C. pente).....	33
Tableau III.5	: Tableau de normalisation de la matrice (C. pente).....	33
Tableau III.6	: Tableau de la matrice de comparaison (C. densité).....	35
Tableau III.7	: Tableau de normalisation de la matrice (C. densité).....	36
Tableau III.8	: Tableau de la matrice de comparaison C. précipitation).....	37
Tableau III.9	: Tableau de normalisation de la matrice (C. précipitation).....	37
Tableau III.10	: Tableau de la matrice de comparaison (C. lithologie).....	39
Tableau III.11	: Tableau de normalisation de la matrice (C. lithologie).....	39
Tableau III.12	: Tableau de la matrice de comparaison (C. finale).....	41
Tableau III.13	: Tableau de normalisation de la matrice (C. finale).....	41

## Liste des équations

Équation I.1	: calcule de temps de concentration.....	7
Équation II.1	: construire des matrices de comparaisons.....	14
Équation II.2	: l'indice de cohérence.....	15
Équation II.3	: le ratio de cohérence.....	15
Équation II.4	: la performance relative.....	15
Équation III.1	: l'alea inondation 2000.....	41
Équation III.2	: l'alea inondation 2017.....	41

## *Liste des figures*

Figure I.1	: La gestion d'un bassin versant.....	4
Figure I.2	: Le réseau des bassins versants en Algérie .....	5
Figure I.3	: Lit mineur d'un cours d'eau .....	6
Figure I.4	: Lit moyen d'un cours d'eau .....	6
Figure I.5	: Lit majeur d'un cours d'eau .....	6
Figure I.6	: quelques cas des inondations survenues en Algérie .....	8
Figure I.7	: Inondation Beb el Ouad 2001 .....	9
Figure I.8	: Inondation beb el ouad 2001.....	9
Figure I.9	: Inondation chlef 1993.....	9
Figure I.10	: Inondation Ghardaïa 20082018.....	9
Figure I.11	: Inondation Ain Defla 2008 .....	9
Figure I.12	: Inondation Nord Algérie 2018 .....	9
Figure II.1	: structure héirarchique d'un problème selon la AHP.....	14
Figure II.2	: Composantes d'un SIG.....	17
Figure II.3	: couches d'information dans le SIG.....	17
Figure II.4	: Structure d'un SIG. ....	18
Figure II.5	: Historique de la télédétection. ....	20
Figure II.6	: Le spectre électromagnétique .....	20
Figure II.7	: modélisation-observation des ressources en eaux .....	21
Figure II.8	: processus de la télédétection .....	22
Figure III.1	: plan de situation du BV d'isser.....	25
Figure III.2	: carte des pentes.....	26
Figure III.3	: carte de précipitation.....	27
Figure III.4	: carte d'occupation du sol.....	28
Figure III.5	: carte densité de drainage.....	29
Figure III.6	: triangle textural.....	30
Figure III.7	: Carte de lithologie.....	30
Figure III.8	: Carte d'occupation du sol selon AHP.....	32
Figure III.9	: Carte des pentes selon AHP.....	34
Figure III.10	: Carte densité de drainage selon AHP.....	36
Figure III.11	: Carte de précipitation selon AHP.....	38
Figure III.12	: Carte de lithologie selon AHP.....	40
Figure III.13	: Carte de l'aléa inondation en 2000.....	42
Figure III.14	: Carte de l'aléa inondation en 2017 .....	43
Figure III.15	:carte de changement de l'alea inondation entre 2000 et 2017.....	44

## Liste d'abréviation

**AHP** : Analytic Hierarchy Process.

**SIG** : system d'information géographique.

**SRTM** : shuttle radar topography mission.

**FAO** : organisation des nations unies pour l'éducation la science et la culture.

**MNT**: model numérique de terrain.

**ANRH**: l'Agence national de la ressource hydraulique.

**POS**: plan d'occupation des sols.

**VRD**: voire réseaux et divers.

**USGS**: United States geological survey.

**HWSD**: harmonized world soil database.

**MFI**: Melt flow index.

## Introduction générale

La problématique des risques naturels, les inondations en particulier, est un sujet d'actualité qui marque une action mémorable dans le monde. En effet, regardant les dernières grandes crues catastrophiques, les inondations sont à l'origine de plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrés dans le monde. Elles font environ 20 000 victimes par an et des milliards de dollars des pertes économiques.

L'étude des inondations est basée essentiellement sur deux grandeurs, l'aléa et la vulnérabilité. L'évaluation de ces grandeurs passe par une étude du régime de crue du bassin versant, qui est caractérisé par deux attribues essentielles, à savoir le quantile du débit instantané et la durée de la crue caractéristique du bassin versant.

Dans un pays en voie de développement comme l'Algérie, les inondations ont marqué comme l'une des catastrophes naturelles les plus survenues.

L'Algérie a connue récemment plusieurs inondations, tel que celle du Bab El –Oued, d'Alger (novembre 2001, « 733 décès et 3000 sans abri »), l'inondation de Ghardaïa (octobre 2008, « 31 morts, 50 blessés et des dégâts considérables ») et plusieurs autres inondation (octobre 1994) dans plusieurs régions de pays (bilan de « 60 décès et des dizaines de disparus »).

Malgré son grand intérêt, l'étude des inondations n'ont pas réussi à donner des évaluations suffisante de ce phénomène a nos jour. De ce fait, l'objectif principal de cette thèse est d'étudier le changement de l'alea d'inondation sur un bassin versant ; Pour cela, le bassin d'ISSER a été sélectionné comme la zone d'étude pour laquelle l'approche développée est évaluée. Le système d'information géographique ARC GIS et le logiciel ENVI ont été utilisés pour réaliser cinq cartes : la carte des pentes, la carte d'occupation des sols, la carte de densité de drainage, la carte de l'éthologique et la carte d'indice de précipitation. Finalement, la méthode dite AHP (L'analyse hiérarchique des procédés), a été utilisée pour évaluer l'impact de ces cartes sur l'inondation.

Notre étude s'articulera autour sur chapitres :

**Premier chapitre :** Généralité sur les inondations, en distinguant la présentation des notions et concepts fondamentaux liés au risque d'inondation, le phénomène naturel générateur de ce risque, ces types et ces causes ainsi que les enjeux et leur vulnérabilité ;

**Deuxième chapitre :** consiste à présenté la méthodologie de travail, incluant les méthodes multicritères (la méthode AHP), le system d'information géographique (SIG) et finalement la télédétection.

**Troisième chapitre :** est consacré entièrement à l'application et il présente les cartes développés ainsi que l'étude comparative des résultats des cartes.

**Chapitre I :**  
**Notions sur l'aléa inondation**

### 1-Introduction :

Les zones inondables sont soumises à différents types d'inondation, dont les caractéristiques influencent le déroulement des crises et l'ampleur des impacts humains et économiques. Le risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins plats alors qu'elles se produisent de manière extrêmement rapide et brutale sur les bassins pentus . Aussi les inondations ne provoquaient pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme.

Aussi les inondations ne provoquaient pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits, si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. Le but principal de ce chapitre est la présentation des notions et concepts Fondamentaux de l'aléa inondation.

### 2-Risques majeurs :

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

- ❖ **Risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête ,séisme et éruption volcanique.
- ❖ **Risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaire, biologique, rupture de barrage...
- ❖ **Risques de transports collectifs** (personnes, matières dangereuses) : sont des risques technologiques, on en fait un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident.
- ❖ **Risques de la vie quotidienne** (accidents domestiques, accidents de la route...)
- ❖ **Risques liés aux conflits.** [1]

Le risque majeur peut être défini comme la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassé par l'immensité du désastre. Alors seules les trois premières catégories font partie de ce risque majeur qui est caractérisé :

- **Une faible fréquence** : L'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes.
- **Une énorme gravité** : Nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.[2]

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités d'occurrence des phénomènes naturels sont appelés des aléas ; étudier les aléas c'est chercher à caractériser ces phénomènes selon les principaux paramètres suivants : leur fréquence de survenance, intensité destructrice et leur étendue.

### **3- Inondation :**

Le mot inondation vient du latin: « inundatio » qui signifie submersion.

#### **3-1- Définition :**

Une inondation est une submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace par des eaux douces ou salées d'une zone généralement émergée. Cette submersion peut se faire lentement ou brutalement et se répéter de manière régulière ou bien être plus rare.[3]

Le terme inondation est d'acceptation plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. Ce type d'inondations pluviales se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau. Ces paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces.[3]

#### **3-2-Connnaissance de l'alea « inondation » :**

L'aléa semble le terme le plus adéquat pour définir le phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité donnée [4]. Cette définition révèle le caractère hasardeux du risque et le faire différencier de sa définition linguistique qui le présente comme un risque et non pas un de ses composantes [2].

En matière d'inondation, leur intensité s'exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec une précision plus ou moins grande, pour l'ensemble de la zone inondable par une crue de fréquence donnée.

Pour mieux comprendre l'aléa inondation, on commentera les notions élémentaires suivantes : Les principaux paramètres caractérisant l'aléa inondation, les bassins versants, les paramètres fondamentaux du cours d'eau, et la crue d'inondation.

#### **3-3-Principaux paramètres caractérisant l'alea inondation :**

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation :

##### **3-3-1-Période de retour :**

La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène ;  $T=1/P$ . Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. [3]

### 3-3-2-Hauteur et durée de submersion :

La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. [3]

### 3-3-3-vitesse du courant :

La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/ vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure. [3]

## 3-4 - Les bassins versant :

### 3-4-1- c'est quoi un bassin versant :

Un bassin versant est un territoire qui draine l'ensemble de ses eaux vers un exutoire commun, cours d'eau ou mer, Le bassin versant est limité par une ligne de partage des eaux qui correspond souvent aux lignes de crête mais pas toujours. Généralement un bassin versant se développe au-delà des lignes de crête (Figure I.1).

Une ligne de partage des eaux est une ligne de divergence de pentes. Les eaux de pluies de part et d'autre de cette ligne s'écoulent dans deux directions différentes en emportant avec elles les éléments dissous ou en suspension tels que les sédiments et les pollutions. [5]

Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (parfois appelés « sous-bassin versant ») correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.[6]

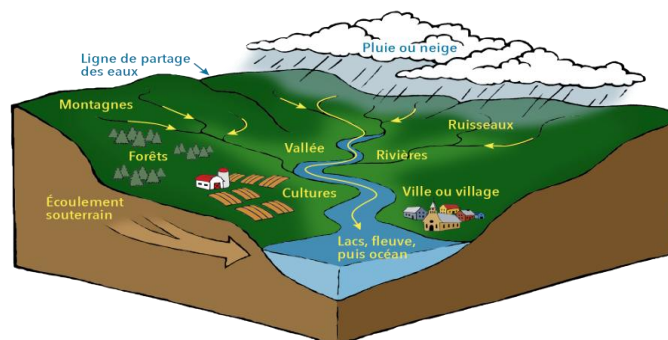


Figure I.1 : un bassin versant.[6]

### 3-4-2- les bassins versant en Algérie :

L'Algérie compte 17 bassins versants (Figure I.2). L'agence nationale des ressources hydrologique (ANRH), qui est un établissement public à caractère administratif et à vocation scientifique et technique, est l'organisme responsable de la prospection et l'évaluation des ressources en eau et en sol du pays. Elle assure la collecte, le traitement et la mise à jour des informations relatives aux ressources en eau, le suivie des ressources au plan quantitatif et qualitatif, la préservation et la protection de ces ressources. Selon cet organisme ces bassins sont regroupés en trois zones :

- Les bassins tributaires de la Méditerranée situés au nord de l'Algérie, à savoir les bassins numéro (1,2,3,4,9,10,11,14,15,16). Ils ont un apport moyen annuel estimé à 11 milliards de m<sup>3</sup>.
- Les bassins endoréiques occupant les Hautes Plaines, à savoir les bassins numéro (5,6,7,8,12,17) dont les eaux se perdent en grande partie par évaporation dans les Chotts. L'écoulement annuel moyen est estimé à 700 hm<sup>3</sup>.
- Le bassin saharien (numéro 13) apportent en moyenne 650 hm<sup>3</sup> par an.

Ces bassins sont équipés d'un réseau d'observation hydroclimatologique et de suivi de la qualité des eaux, réparti à travers le territoire national, constitué de 220 stations hydrométriques, 860 stations climatiques, 36 pluviographes, et 56 stations climatologiques complètes. [7]

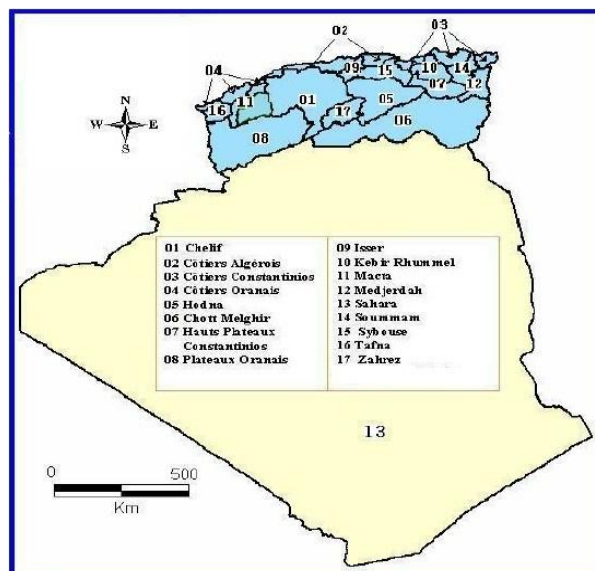


Figure I.2 : les bassins versants en Algérie [7]

### 3-5- Paramètres fondamentaux du cours d'eau :

#### 3-5-1-Lits du cours d'eau :

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques, et on a 3 types :

➤ **Lit mineur :**

Qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes(Figure I.3). [8]



**Figure I.3:** Lit mineur d'un cours d'eau[2].

➤ **Lit moyen :**

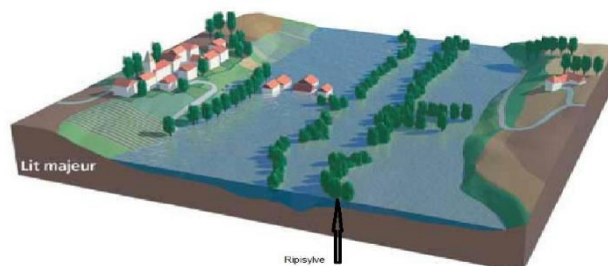
Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la forêt de la rivière (Figure I.4).[8]



**Figure I.4:** Lit moyen d'un cours d'eau [2].

➤ **Lit majeur :**

Comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles. [8]



**Figure I.5:** Lit majeur d'un cours d'eau [2].

### 3-5-2- CRUE :

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau, qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

Une crue se caractérise par son hydro-gramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydro-gramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ».

Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume. [2].

#### ❖ Le temps de concentration

Le temps de concentration  $t_c$  des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Il est composé de trois termes différents :

- $t_h$  : Temps d'*humectation*. Temps nécessaire à l'imbibition du l'eau par sol qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.
- $t_r$  : Temps de *ruissellement* ou *d'écoulement*. Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- $t_a$  : Temps d'*acheminement*. Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration  $t_c$  est donc égal au maximum de la somme de ces trois termes, soit :

$$t_c = \max (\sum(t_h + t_r + t_a)) \quad \text{Éq I.1}$$

### 4-Les inondations en Algérie :

L'Algérie est l'un des pays les plus confrontés aux phénomènes de crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophiques [10] . D'une manière générale, les causes de formation des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en deux types:

#### ➤ causes naturelles (météorologique) :

Liées aux aléas climatiques et phénomènes météorologiques attendus ou à un événement naturel (glissement de terrain) qui empêchent l'écoulement habituel de l'eau.





**Figure I.7 :** Bebel Oued 2001



**Figure I.8 :** Bebel Oued 2001



**Figure I.9:** Chlef 1993



**Figure I.10 :** Ghardaïa 2008



**Figure I.11 :** Ain Defla 2008



**Figure I.12 :** Nord Algérie 2018

**5-Conclusion :**

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national et sont Risque n'est pas le même sur les différents territoires exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les même ; et suit à la difficulté de recensement des informations sur la vulnérabilité notre travail sera concentré sur l'aléa qui est influencé par : la pente, la précipitation, la densité de drainage , la nature de sol ...

Afin d'étudier le changement de l'aléa inondation dans le temps sur le bassin versant d'ISSER, l'étude et la concrétisation des différentes facteurs contribuant à l'aléa est faisable à l'aide des SIG et des méthodes d'analyse multicritères qui seront détaillés dans le chapitre suivant.

# **Chapitre II :**

## **Données et Méthodes**

## **1-Introduction :**

L'approche classique des problèmes de décision, c'est-à-dire l'optimisation d'une fonction économique unique, montre certaines faiblesses que les méthodes multicritères semblent pallier. L'objectif de ce point est alors de montrer aux lecteurs non initiés l'intérêt de ces méthodes et d'en présenter les fondements méthodologiques. La diversité de ces méthodes réside dans la manière de synthétiser les informations conservées dans chaque critère.

Dans cette section, nous présentons AHP et définissons les différentes mesures de performance utilisées pour sélectionner le bon choix approprié en fonction des préférences des décideurs. Un exemple est expliqué et illustre comment appliquer cette technique.

La contribution de la méthode AHP sur les problématiques géo-spatiales font appel à l'utilisation des SIG avec ses fonctionnalités, qui offre une plate forme très fort pour la cartographie de tels phénomène.

## **2- L'aide multicritère a la décision :**

### **2-1- Définition :**

L'analyse multicritère est une technique d'analyse qui vise à évaluer une famille cohérente de critères pour éclairer un processus de décision. Le caractère multicritère tient à la prise en compte de plusieurs objectif, variés et éventuellement contradictoires. Elle permet donc de regrouper des problématiques incluant plusieurs dimensions, caractérisées par des indicateurs mesurables ou qualitatifs. Grâce à un résultat unique et structuré, différents scénarios peuvent donc être évalués sur la même base, permettant une comparaison entre eux [10].

### **2-2-Principes :**

L'AMC est un processus participatif qui se déroule en incluant différents acteurs concernés par la problématique. L'évaluation des différents critères doit être effectuée par un panel d'experts représentant des intérêts différents, afin d'avoir un jugement le plus objectif possible. Chaque acteur doit donc répondre à la problématique en gardant ses propres intérêts à l'esprit [10].

### **2-3- Concepts et terminologie :**

#### **2-3-1- Les actions :**

Une action est une représentation de l'élément de solution qui contribue à la décision (par exemple, une région, un site, un investissement, une offre....., etc. ; constituent des actions) ; quand les actions sont exclusives, on pourra utiliser le terme variantes en anglais alternatives [11]

#### **2-3-2- Les attributs :**

Les attributs correspondent à des caractéristiques des alternatives [11].

### **2-3-3- Le critère :**

Un critère est constitué de quelque base de décision qui peut être mesurées et évaluées.

C'est l'indication sur laquelle une décision est fondée. Les critères peuvent être de deux sortes : facteurs et contraintes [12].

### **2-3-4- La pondération :**

La Pondération représente l'importance relative accordée à chaque critère par rapport à l'ensemble des critères. Elle peut donc s'exprimer sous forme de coefficient (par exemple : 0.7), pourcentage (par exemple : 70 %), nombre de points (par exemple : 70 points sur 100) ou par système équivalent [12], Ainsi, un des avantages de la comparaison par paires revient à la relative facilité d'estimer l'importance d'un poids par rapport à un autre [13].

## **2-4- Familles de méthodes multicritères :**

### **2-4-1- Méthodes élémentaires :**

- Somme pondérée, méthode lexicographique, Maxi-min, ...

### **2-4-2-Méthodes a critère unique de synthèse :**

- Agrègent plusieurs critères en un seul servant à prendre la décision

- Exemples TOPSIS, AHP, MAUT, MAVT, UTA, SMART, ...

### **2-4-3-Méthodes de sur classement :**

- Comparent les alternatives paires par paire

- Exemples ELECTRE, PRO METHEE, ...

### **2-4-4-Méthodes interactives ou hybrides :**

- Méthodes itératives avec intervention du décideur à plusieurs reprises

- Recherches Locales, essais et erreurs [14].

## **2-5- Les différents problématiques multicritères :**

La problématique peut être perçue comme étant une orientation de l'investigation qu'on adopte pour un problème de décision donné. Elle exprime les termes dans lesquels le décideur ou l'homme d'étude pose le problème et traduit le type de la prescription qu'il souhaite obtenir [11].

## **2-6-Les problématiques décisionnelles :**

### **2-6-1-Problématique de choix alpha :**

La problématique de choix, désignée par Bernard Roy sous la lettre grecque alpha, est celle qui consiste à rechercher un sous-ensemble de A, bien sur aussi restreint que possible, contenant les « meilleures » actions ou a défaut les actions « les plus satisfaisantes ».[15]

### **2-6-2-Problématique de trier bêta :**

La problématique de tri, dite aussi problématique bêta, est celle qui cherche à affecter chacune des actions potentielles à une catégorie, étant entendu que les catégories sont définies à partir de la valeur des actions qu'elles sont destinées. [15]

### **2-6-3-Problématique de classement gamma :**

La problématique de rangement, dite aussi problématique gamma, consiste à regrouper les actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées conformément aux préférences de ceux qui participent à la décision.[15]

## **2-7-La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) :**

C'est une méthode développée par Thomas Saaty en 1970 et permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique[16].

### **2-7-1-Description de la méthode AHP :**

C'est une Méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise.[17]

La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, à procéder ensuite des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions [18].

### **2-7-2- Avantage de la méthode AHP :**

- ✓ sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique.
- ✓ la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères).
- ✓ et la facilité de son support informatique. [17]

### **2-7-3-Fondement de la méthode :**

- **Etape 01 :** Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-relié. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions (Figure II .1) .

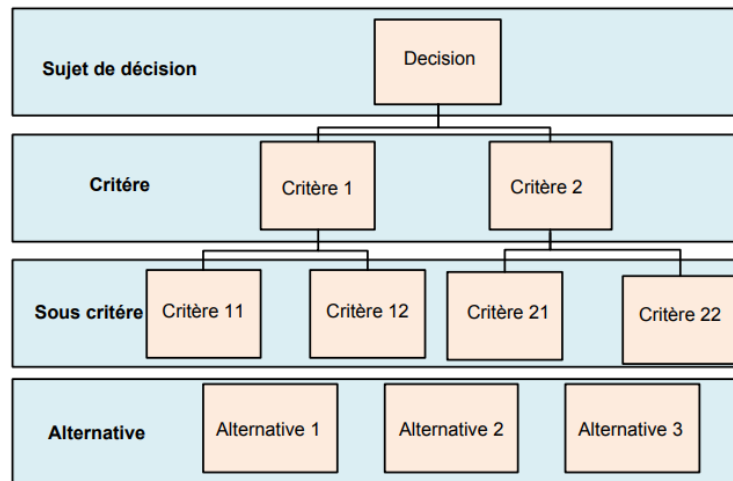


Figure II .1 : structure hiérarchique d'un problème selon la AHP[19].

- **Etape 2 :** procéder à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numérique selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaisons binaires), tout en respectant le principe de réciprocité :

$$p_c (EA ,EB ) = \frac{1}{p_c (EA ,EB )} \quad \text{éq II.1}$$

Tableau II.1: Echelle de Saaty [19].

Expression d'un critère par rapport a un autre	Note
Même importance	1
Modérément plus important	3
Fortement plus importance	5
Très importance	7
Extrêmement plus important	9
Modérément moins important	1/3
Fortement moins important	1/5
Très moins important	1/7
Extrêmement moins important	1/9

Réciprocité : si l'élément **A** se voit attribuer l'un des chiffres précédents lorsqu'il est comparé à l'élément **B**, **B** aura donc la valeur inverse lorsqu'on compare à **A**.

*N.B :* a chaque nœud éclaté en n éléments, il faut réaliser n (n-1)/2 comparaison par paire [18].

- **Etape 3 :** déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondants aux valeurs propres maximales des matrices de comparaisons.

- **Etape 4** : Vérifier la cohérence des jugements.
  - on calcule d'abord, l'indice de cohérence IC.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{ÉqII.2}$$

Ou :  $\lambda_{\max}$  est la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paire et n est le nombre d'éléments comparés.

- On calcule le ratio de cohérence (RC) définit par :

$$RC = 100 \frac{IC}{ACI} \quad \text{ÉqII.3}$$

Ou : ACI est l'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille.

**Tableau II.2** : Indice de cohérence moyen [20].

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ACI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53

Une valeur de RC inférieure à 10% est généralement acceptable, sinon , les comparaison par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences .

- **Etape 5** : Etablir la performance relative de chacune des actions.

$$Pk(e_i^k) = \frac{\sum_{j=1}^{n_{k-1}} Pk - 1(e_j^{k-1}) \cdot Pk(e_i^k / e_j^{k-1})}{\sum_{j=1}^{n_{k-1}} Pk(e_j^k)} \quad (\text{Éq II.4})$$

Avec  $\sum_{j=1}^{n_{k-1}} Pk(e_j^k)$

Ou :  $n_{k-1}$  est le nombre d'éléments du niveau hiérarchique k-1 , et  $Pk(e_i^k)$  est la priorité accordée à l'élément  $e_i$  au niveau hiérarchique k [20].

2-7-4-Exemple sur la méthode :

1<sup>er</sup>A>2emeB>3emeC

Tableau II.3 : matrice de comparaison

Critères	A	B	C	Éco.	Tech.	Soc.	Σ =	Σ / 3
A	1	2	3	0.55	0.57	0.50	1.62	0.54
B	1/2	1	2	0.27	0.29	0.33	0.89	0.30
C	1/3	1/2	1	0.18	0.14	0.17	0.49	0.16
Σ =	1.83	3.5	6	1.00	1.00	1.00		

IC= 0.003

RC = IC/0.58=0.0052 donc RC < 10%

- La valeur propre (poids) des différents éléments s'obtient par la normalisation de la matrice réciproque.

$$\begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & w_1 / w_3 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & w_2 / w_3 & \dots & w_2 / w_n \\ w_3 / w_1 & w_3 / w_2 & w_3 / w_3 & \dots & w_3 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & w_n / w_3 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

- Le poids total des alternatives est obtenu par l'addition des différents poids de chacun des critères et sous-critères.[ 17]

Trois calculs sont nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités :

- ❖ additionner les colonnes de la matrice: tous les éléments d'une même colonne sont additionnés.
- ❖ normaliser la matrice: chaque entrée de la matrice est divisé par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entre les éléments.
- ❖ et calculer la moyenne des lignes: tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée sont additionnés et ensuite divisé par le nombre d'entrées qu'elle comporte.

« Le résultat des étapes précédentes fournit les pourcentages des priorités globales relatives.

3-Système d'information géographique SIG :

3-1-Définition du SIG :

Un Système d'Information Géographique « SIG » est la traduction de l'abréviation anglais GIS qui désigne « *Geographic Information Systems* ». C'est un ensemble de données numérique localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre, à partir des diverses sources, de rassembler et de construire, de combiner et d'analyser, de modeler et de gérer, d'élaborer et de représenter cartographique ment la base de données selon des critères sémantique et spatiaux afin de résoudre les problèmes complexes. Il représente un ensemble de documents cartographiques en format numérique auxquels est associée une base

de données que l'on peut exploiter à l'aide de requêtes et analyser à l'aide d'opérations pour produire des cartes thématiques. Il a donné naissance à une discipline récente ; la géomatique qui combine la géographie et l'informatique. [8]

### 3-2- Composants du SIG :

Un SIG peut être constitué d'un ensemble de matériels (ordinateurs), de logiciels d'applications, de données géographiques et tabulaires, d'utilisateurs ou exploitants de l'outil et des méthodes qui se traduisent par le respect des règles et procédures propre à chaque organisation (**Figure II.2**).

Un SIG contient plusieurs couches ; chaque couche contient des objets de même type (*point* ; puits, regard, *ligne* ; routes, cours d'eau, *polygone* ; bâtiments, limites de communes) et chaque objet est constitué d'une forme (géométrie de l'objet) et d'une description. La figure (**Figure II.3**) montre un exemple d'organisation du SIG en couches d'information : les villages, les routes et les cultures. [8]

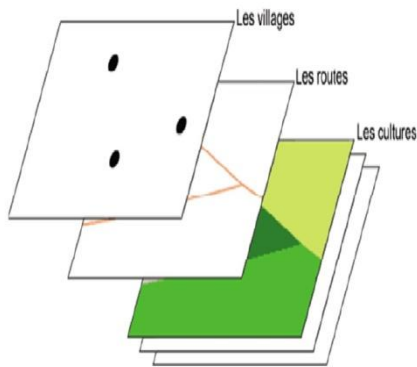


Figure II.3: couches d'information dans le SIG. [21]



Figure II.2: Composantes d'un SIG [22]

### Un SIG comporte au moins:

1. Une base de données à caractère spatial et thématique.
2. Un système de représentation cartographique.
3. Un système de saisie numérique.
4. Un système de la base de données géographique.
5. Un système d'analyse spatiale.
6. Un Système de traitement d'images. [22]

### 3-3-Structure du SIG :

La structure d'un SIG peut être représentée en quatre groupes (figure II.4) , l'acquisition des données géographiques d'origines diverses , la gestion de la base de données, l'analyse spatiale (traitement et exploitation) et la présentation des résultats sous forme cartographique. [8]

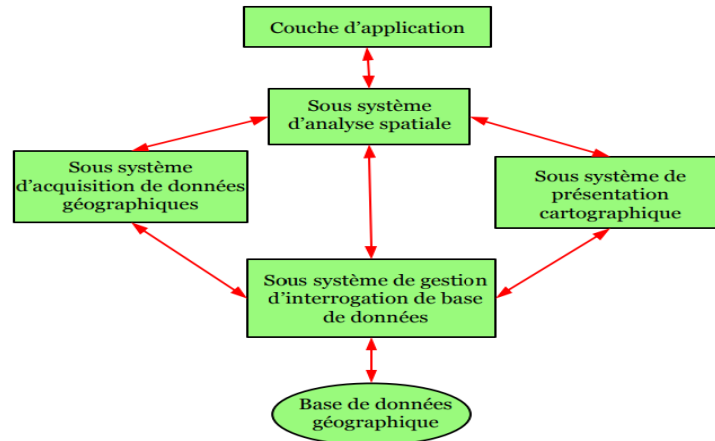


Figure II.4: Structure d'un SIG.

### 3-4-Fonctionnalités d'un SIG :

Les systèmes d'information géographique peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas. Il faut les adapter selon les objectifs fixés. Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités que Ton retrouve dans chaque système regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A » . [22]

- ✓ **Abstraire** : Concevoir un modèle qui organise les données par composants géométriques et par attributs descriptifs ainsi qu'à établir des relations entre les objets.
- ✓ **Acquérir** : Fonctions de numérisation et d'importation de données.
- ✓ **Archiver** : Transfert de données de l'espace de travail (en cours d'utilisation) vers l'espace d'archivage (stock).
- ✓ **Analyser** : Analyse des données (méthodes quantitatives et statistiques) et analyse spatiale (opérateurs topologiques).
- ✓ **Afficher** : Visualiser l'information géographique (cartes, tables, documents textes ....).

### 3-5-Les domaines d'application des SIG :

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés.

Citons cependant :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques).
- Marketing (localisation des clients, analyse du site).
- Planification urbaine (cadastre, POS, VRD..).
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes).
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires).
- Hydrologie (cartographie de précipitation..).
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture).

- Géologie (prospection minière).
- Biologie (études du déplacement des populations animales).
- Télécommunications (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles). [23]

### **3-6-Les avantages des SI G :**

- Capacité et fiabilité de stockage.
- Rapidité de restitution des données (gain de temps).
- Intégration et combinaison de données de sources différentes.
- Précision des processus cartographiques.
- Facilité de mise à jour (Outils de suivi).
- Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de cartes).
- Production de cartes (bon rapport qualité / prix ). [22]

### **3-7-Les contraintes des SIG :**

- Le manque du personnel spécialisé et compétant
- Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables.
- Nécessité d'une mobilisation continue des acteurs. [22]

## **4-LA Télédétection :**

### **4-1. Définition :**

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.[24]

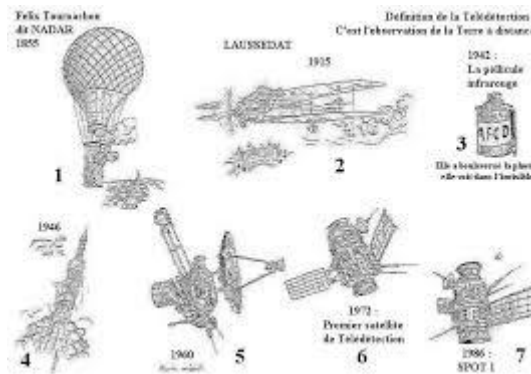
« Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. »[25]

### **4-2-Historique de la télédétection :**

De 1856, date à laquelle, pour la première fois, un appareil photographique a été installé de façon fixe à bord d'un ballon, à la première guerre mondiale, se déroule l'époque des pionniers, pendant laquelle sont explorées les possibilités de la photographie aérienne verticale pour la cartographie ; les lois fondamentales de la stéréoscopie et de la photogrammétrie sont découvertes à la fin du XIXe siècle.

La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent de façon continue à promouvoir de nouvelles méthodes d'utilisation des données toujours plus abondantes que fournit la télédétection spatiale. Les données des satellites météorologiques et océanographiques sont aujourd'hui un auxiliaire indispensable de la prévision numérique du temps et du climat et font l'objet d'une assimilation directe par les modèles numériques. Les

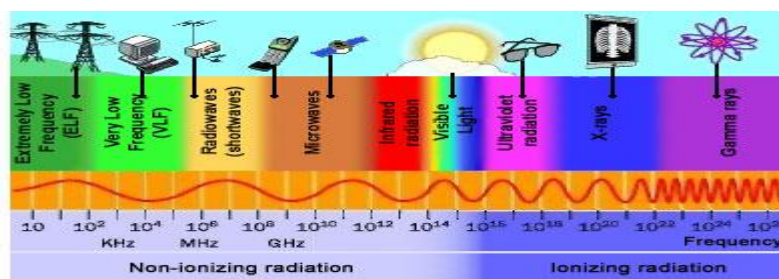
images de télédétection destinées à l'observation fine de la surface terrestre, y compris les photographies aériennes traditionnelles, sont, sous forme numérique, intégrées aux Systèmes d'Information Géographique( **Figure II.5** ).[ 24]



**Figure II.5:** Historique de la télédétection

#### 4-3-Principe de télédétection :

Ce type de méthode d'acquisition utilise normalement la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis des objets étudiés dans un certain domaine de fréquences (infrarouge, visible, micro-ondes)(**Figure II.6** ). Ceci est rendu possible par le fait que les objets étudiés (plantes, maisons, surfaces d'eau ou masses d'air) émettent ou réfléchissent du rayonnement à différentes longueurs d'onde et intensités selon leur état. Certains instruments de télédétection utilisent des ondes sonores de façon similaire, et d'autres mesurent des variations dans des champs magnétiques ou gravitaires. Alors le terme télédétection est généralement réservé aux observations terrestres.[26]



**Figure II.6 :** Le spectre électromagnétique [27]

#### 4-4- Domaines d'application :

##### ✓ Hydrologie (inondations) :

Les cartes topographiques sont souvent produites à l'aide de paires stéréographiques de photos aériennes permettant de recréer une image en trois dimensions.

Les techniques de télédétection sont utilisées pour mesurer et effectuer le suivi de la superficie de l'inondation, pour orienter les secours de façon efficace et pour fournir des évaluations quantifiables sur l'étendue des terres et des infrastructures touchées. L'incorporation des données de télédétection dans un SIG permet le calcul et l'évaluation rapides des niveaux d'eau (Figure II.7), des dommages et des régions en danger d'inondation. Les agences de prévision d'inondations, les compagnies hydroélectriques, les organismes de conservation, les urbanistes, les organismes de secours d'urgence et les compagnies d'assurance utilisent tous ce type de données. L'identification et la cartographie des plaines alluviales, des chenaux de rivières abandonnés et des méandres sont importantes pour la planification des réseaux de transports.[ 28]

Autre domaines d'application :

- ✓ **Agriculture** : Type de récoltes, Surveillance des récoltes.
- ✓ **Foresterie** : Coupes à blanc , Espèces.
- ✓ **Géologie** : Formes de terrain , Unités géologiques.
- ✓ **Couverture du sol** : Changements rural/urbain , Biomasse.
- ✓ **Cartographie** : Planimétrie , Modèle numérique d'altitude , Thématique.

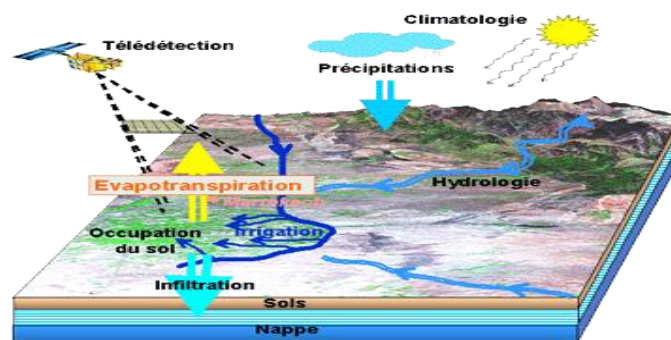
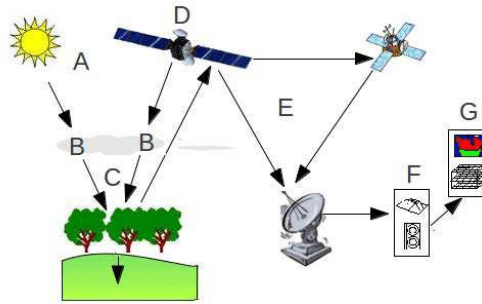


Figure II.7 : modélisation-observation des ressources en eau [29]

#### 4-5-Processus de la teledetection (Figure II.8) :

1. Source d'énergie ou d'illumination (A).
2. Rayonnement et atmosphère (B).
3. Interaction avec la cible c.
4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D).
5. Transmission, réception et traitement c.
6. Interprétation et analyse (F).
7. Application (G).



**Figure II.8** : processus de la télédétection.

## 6-Conclusion :

Afin de cartographie et d'étudier l'aléa inondation et ses changements spatio-temporels, et avec l'intervention de plusieurs paramètres parfois contradictoires, provenant des données en variété de format et multi-source, l'utilisation d'une analyse multicritère (AHP) semble indispensable, cette modélisation sera concrétisée sous un SIG qui est la composition la plus répondante à ces types d'analyse.

- AHP est une méthode de la famille multicritères qui permet à nous d'arriver à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié.
- Le SIG est un ensemble de documents cartographiques en format numérique auxquels est associée une base de données, pour produire des cartes thématiques.
- La télédétection c'est une technique qui nous donne des informations sur la terre sans contact direct avec celle-ci.

# **Chapitre III :**

## **La méthodologie de travail**

## 1-Présentation géographique de la zone d'étude :

Le bassin de l'Isser est situé au Centre - Nord de l'Algérie, avec une superficie totale de 4 149 Km<sup>2</sup>, ce qui vaut à 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois - Hodna - Soummam avec une population totale estimée en 2030 à 812 291 habitants.

Il est limité comme suit:

- A l'Est par le bassin de la Soummam.
- Au Sud par le bassin du Hodna.
- A l'Ouest et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Le bassin versant de l'oued Isser au droit du barrage de Beni Amrane draine une superficie de 4126 km<sup>2</sup>, il est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud –Ouest /Nord-Est.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Ariba d'altitude 550 m.

Le bassin versant de l'Oued Isser dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m à une altitude moyenne de 710 m Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2 km. En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité comme suit:

- Au Nord par la mer Méditerranée;
- Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- Au Nord-Est par le Massif de Cap Djinnet;
- A l'Est par les Massifs Raicha et Chender;
- A l'Ouest par les Massifs de Thénia.

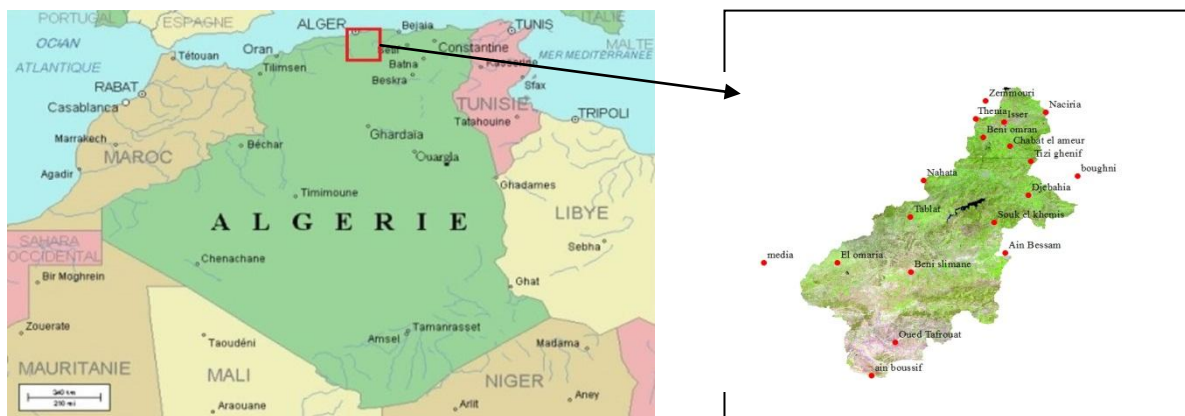


Fig III.1 : plan de situation du BV d'Isser.

## 2- Données et méthodes :

Les données utilisées pour la cartographie de changement de l'aléa inondation sur le bassin versant ISSER sont regroupés dans le tableau suivant :

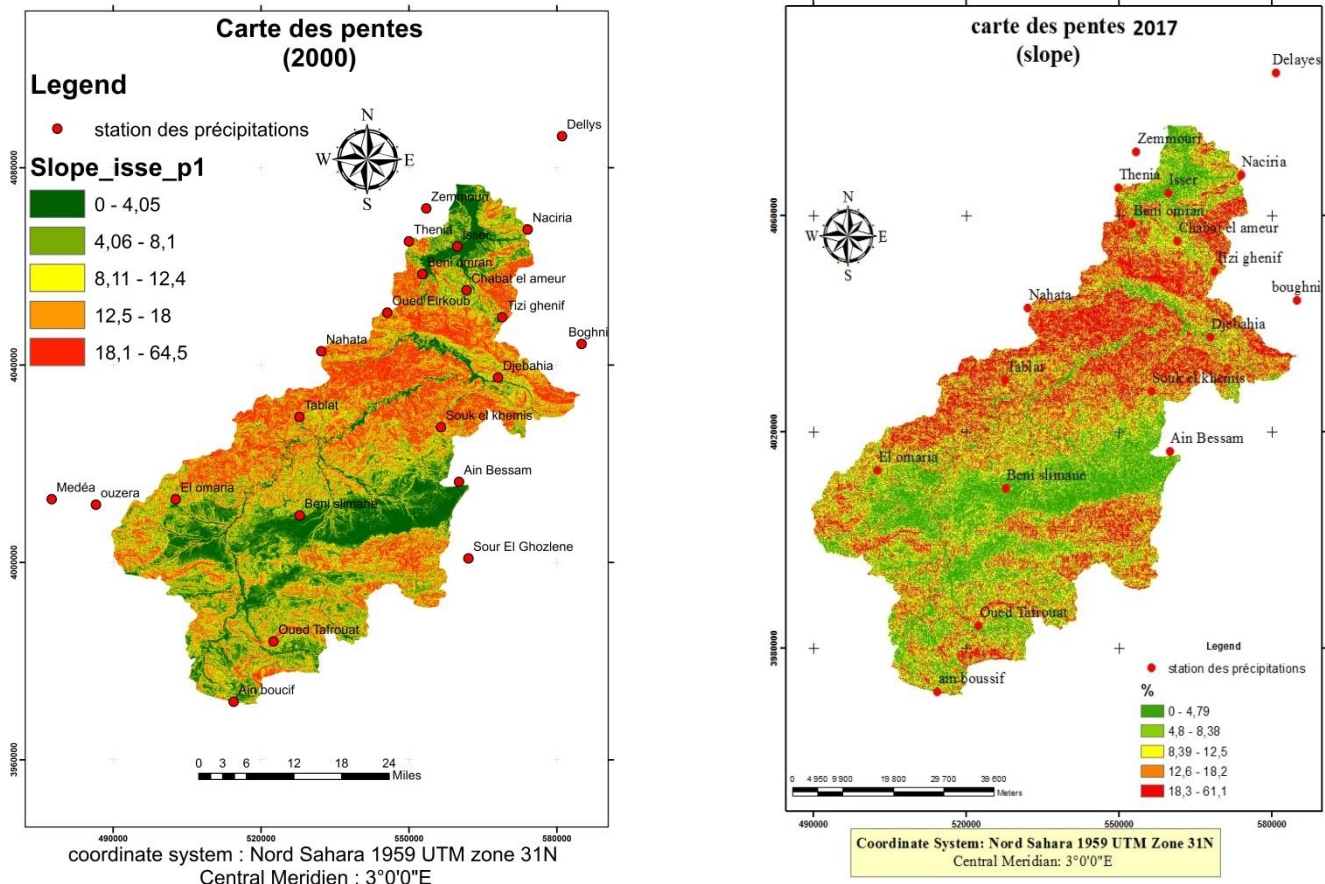
**Tab.III.1** : tableau des données.

Données	Type	Source	Date
<b>SRTM 2000</b>	Raster 30x30	<a href="https://www.usgs.gov">https://www.usgs.gov</a>	2000
<b>SRTM 2011</b>	Raster 30x30	<a href="https://www.usgs.gov">https://www.usgs.gov</a>	2011
<b>Hwsd</b>	Vecteur	<a href="http://www.fao.org">www.fao.org</a>	2017
<b>Précipitation</b>	Vecteur	Free météo.com	1993-2016
<b>Image sentinel</b>	Raster GSD 30 x30	hlta.cr.usgs.gov	Avril 2016

### 2.1-Carte des pentes

Cette carte a été créée à la base du modèle numérique d'élévation DEM (SRTM).Après la pré préparation et nettoyage des données (mosaïque et clip des images) les pentes sont déterminés sous arcgis avec le commande *de toolbox spatial analyst surface slope*.

Les résultats des pentes sur le bassin versant d'ISSER pour les deux dates (2000 et 2017) sont présentés ci-dessous (**Fig.III.2**) :



**Fig.III.2** : carte des pentes.

## 2.2- Carte de précipitation :

On a calculé la moyenne des valeurs de précipitation pendant les deux périodes qui seront étudiée, ensuite on a passé au traitement par interpolation sous arcgis suivant la méthode spline, les cartes de précipitations de deux dates sont présentés dans la figure Fig.III.3.

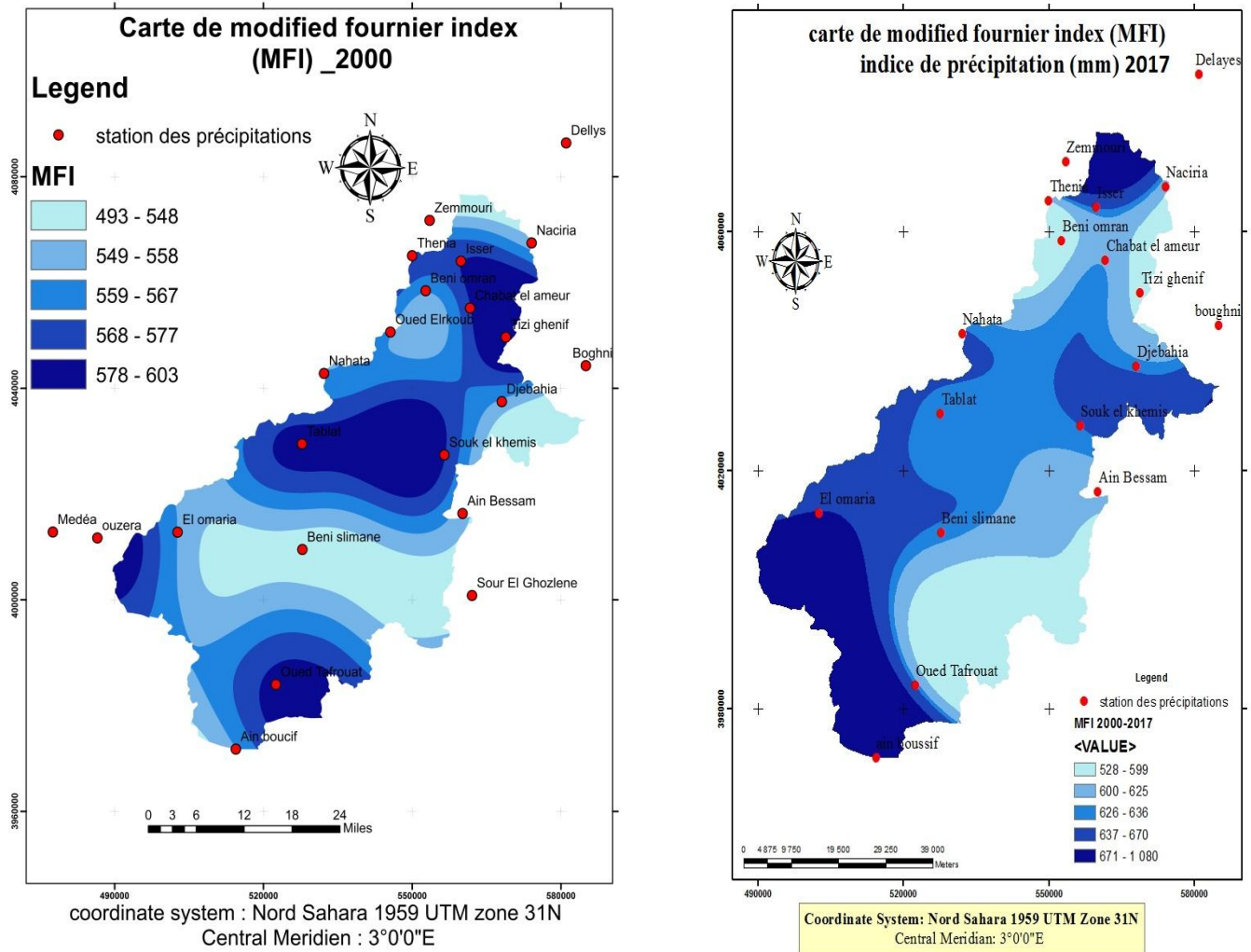
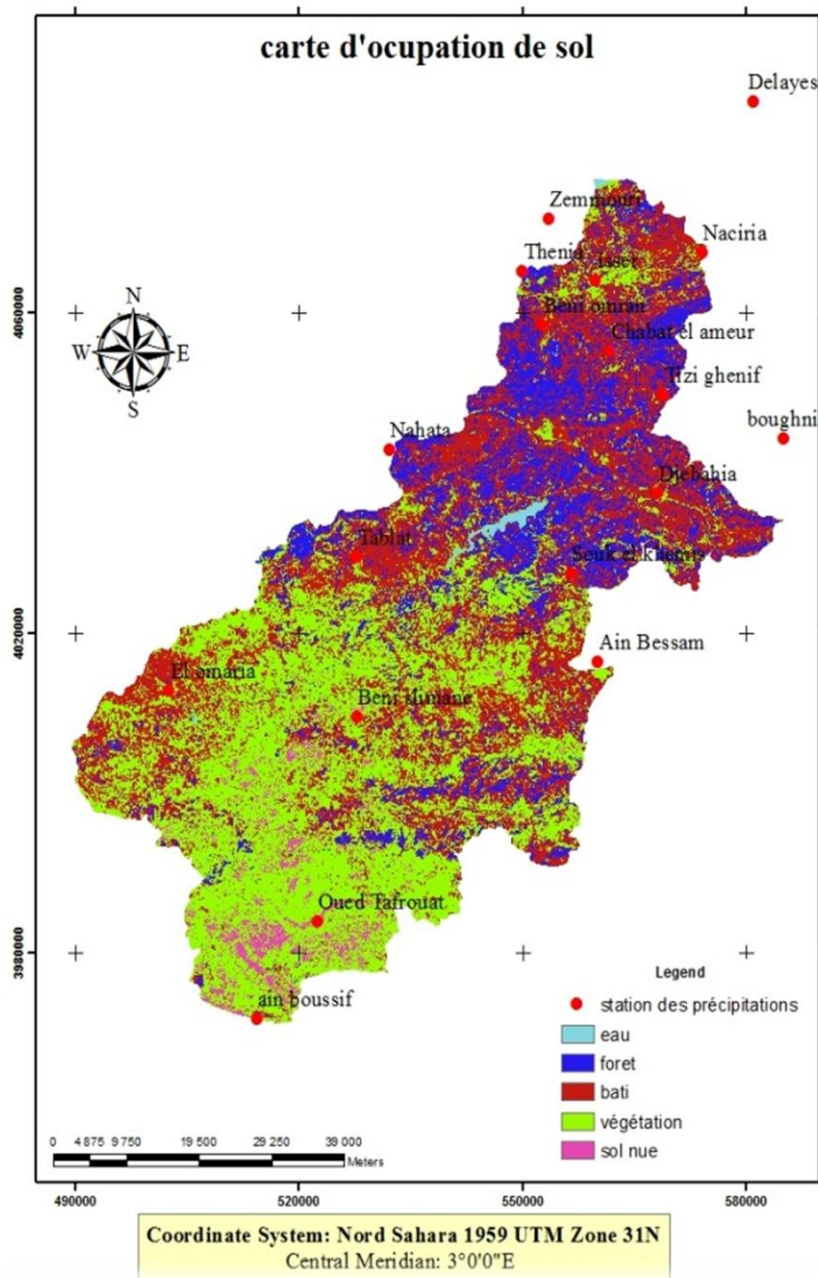


Fig.III.3 : carte de précipitation.

### 2.3- Carte D'occupation du sol :

Pour la carte lithologique, on a utilisé une seule carte pour les deux périodes 2000 et 2017

On a téléchargé une image «sentinel » pour classifié notre zone d'étude en cinq classe (végétation, forêt, bâtis, eau, sol nue) par une classification supervisée a la base de la méthode likelihood sous le logiciel ENVI, la carte d'occupation du sol est représenté dans la figure **Fig.III.4.**



**Fig.III.4 :** carte d'occupation du sol.

## 2.4- Carte de la Densité Du Réseau hydrographique :

La création de la carte de densité ce base sur les réseaux hydrographiques, ces réseaux sont explorer à partir de la carte SRTM D'après une série des traitements sur arcgis des fonctions ci-jointe : flow direction, flow accumulation, con, line densité et stream order.

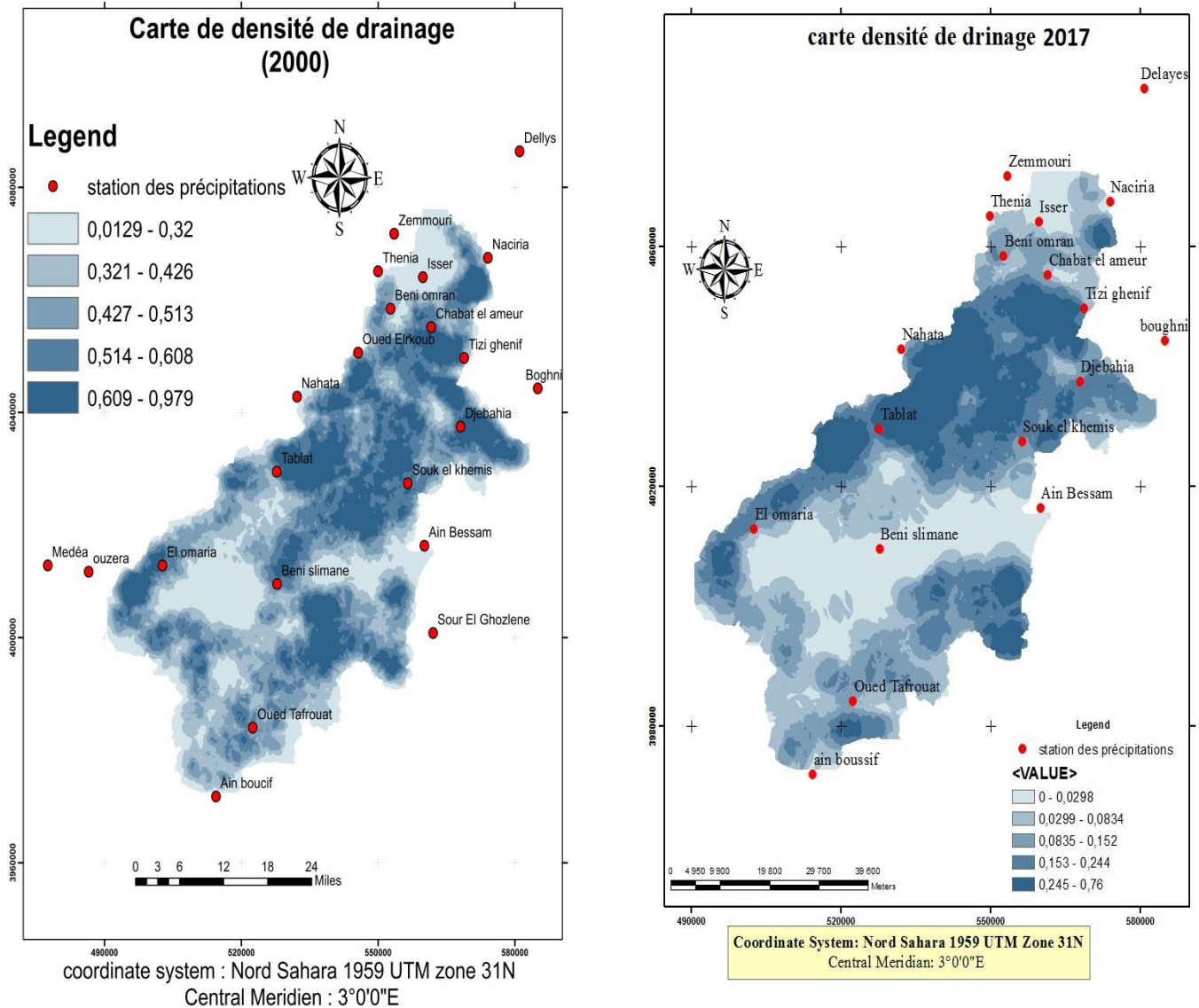


Fig.III.5 : carte densité de drainage.

## 2.5-Carte de lithologie

On a utilisé carte mondiale normalisé publié par la FAO (l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) accompagné par une base de données Access,

après CLIP sur la limite du bassin versant ISSER pour identifier les sols continue dans la zone d'étude les informations sur la texture du sol sont déterminés et par la méthode du triangle textural on arrivé à établir la carte lithologique de bassin versant.

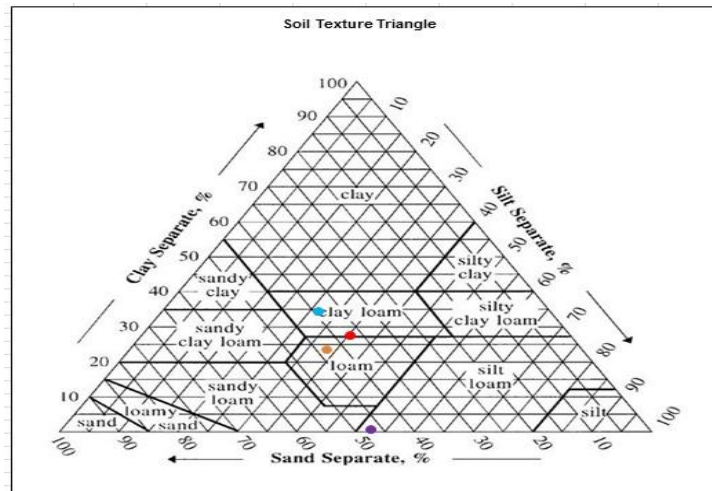


Fig.III.6 : triangle textural.

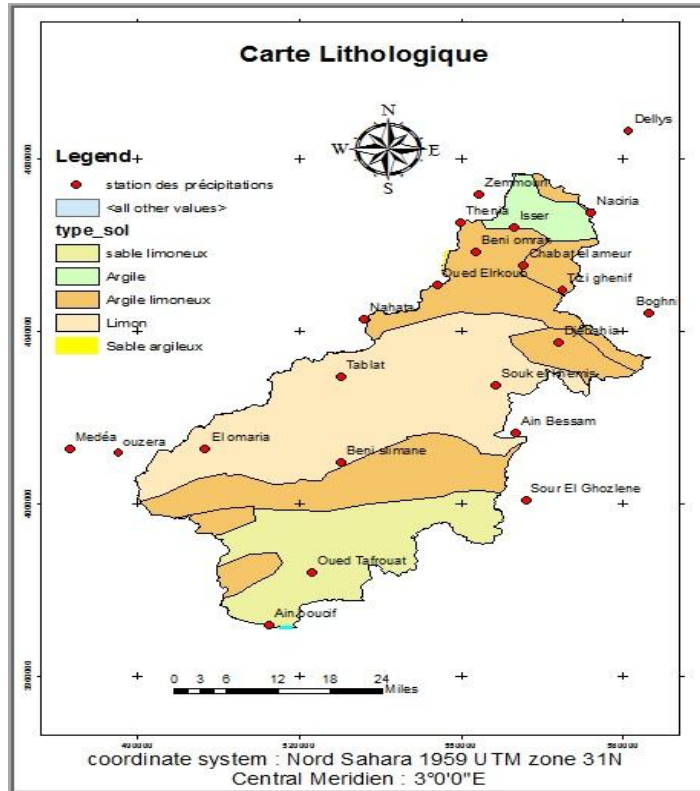


Fig.III.7 : Carte de lithologie.

### 3- L'évaluation de chaque paramètre selon la méthode AHP :

#### 3.1- Carte d'occupation du sol :

**Tab.III.2 :** Tableau de la matrice de comparaison.

OCS	Végétation	Forêt	Bâtis	Eau	sol nue
<b>végétation</b>	1	0,5	2	0,2	0,25
<b>Forêt</b>	2	1	3	0,25	0,33
<b>bâtis</b>	0,5	0,333333333	1	0,14285714	0,2
<b>Eau</b>	5	4	7	1	3
<b>sol nue</b>	4	3	5	0,33333333	1
	<b>12,5</b>	<b>8,83333333</b>	<b>18</b>	<b>1,9261905</b>	<b>4,7833333</b>

Après l'évaluation selon l'échelle de SAATY, la normalisation de cette évaluation selon les formules détaillées en chapitre 2 (méthode AHP) est présenté ci-dessous (**Tab III.3**).

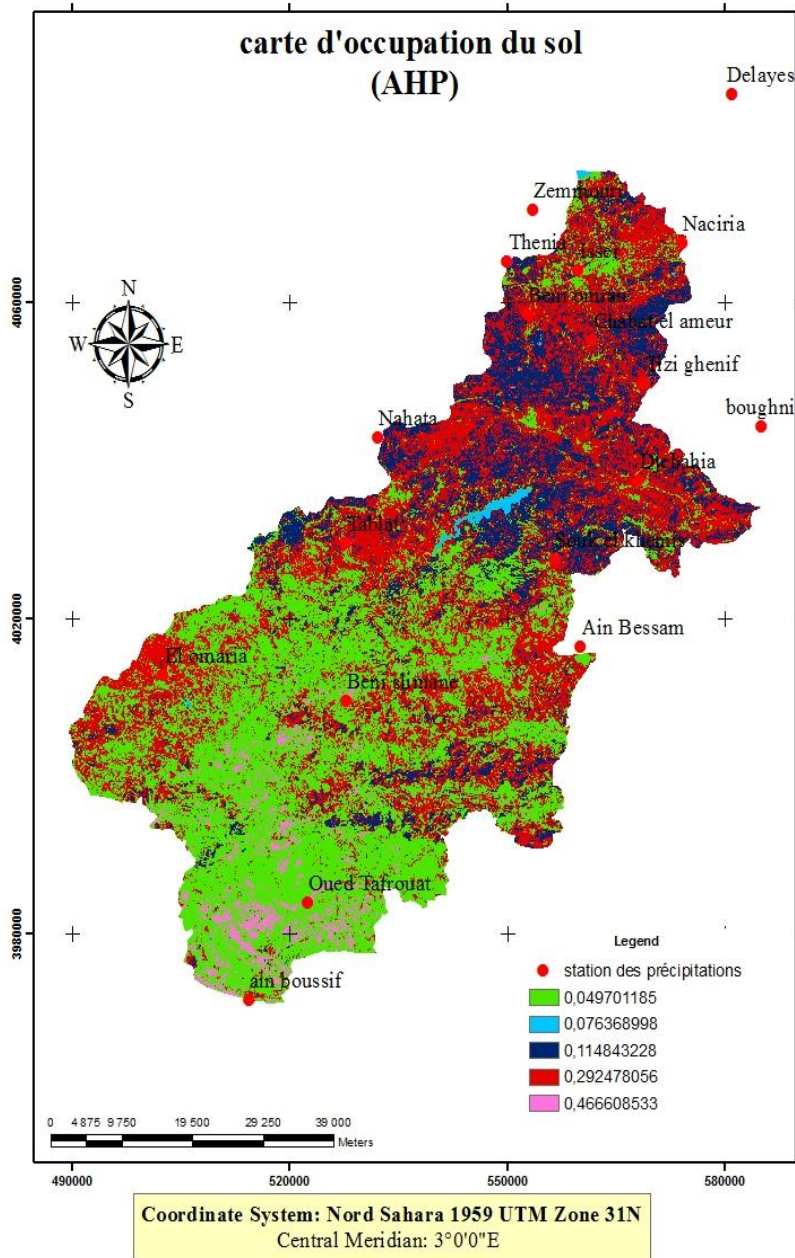
**Tab.III.3 :** Tableau de normalisation de la matrice.

<b>0,08</b>	<b>0,05660377</b>	<b>0,11111111</b>	<b>0,103831891</b>	<b>0,052264808</b>	<b>0,08076232</b>
<b>0,16</b>	0,11320755	0,16666667	0,129789864	0,069686411	<b>0,1278701</b>
<b>0,04</b>	0,03773585	0,05555556	0,074165637	0,041811847	<b>0,04985378</b>
<b>0,4</b>	0,45283019	0,38888889	0,519159456	0,6271777	<b>0,47761125</b>
<b>0,32</b>	0,33962264	0,27777778	0,173053152	0,209059233	<b>0,26390256</b>

IC= 0,02551053

RC= 0,07625628 < 10%

Donc la cohérence entre les valeurs attribuées pour chaque paire sont vérifiées, après la détermination des évaluations pour la carte d'occupation du sol, ces valeurs sont introduire sous arcgis et une reclassification selon les valeurs d'AHP est effectué et présenté dans la figure ci-dessous **Fig.III.8**.



**Fig.III.8** : Carte d’occupation du sol selon AHP.

- Pour la création de la carte d’occupation du sol selon AHP on a fait la conversion sous arcgis (conversion Tools - From raster – raster to polygon), et on a introduit les valeurs de la carte d’occupation du sol de l’évaluation selon AHP, ensuite on a fait une deuxième conversion (conversion Tools – To raster –polygon to raster)
- Voilà les résultats (**Fig.III.10**) il y’a 05 classes de reclassification qu’on a observé un petit changement dans certaines régions du bassin versant d’ISSER, ce changement à cause de l’influence de ces types des classes (bâtis-végétation-foret-sol nue-eau)

### 3.2- Carte des pentes :

On a utilisé 5 classes des pentes qui varient entre 0 et 61.1%, les valeurs de l'évaluation selon AHP sont citées dans le tableau (Tab III.4).

**Tab III.4 :** Tableau de la matrice de comparaison.

<b>PENTE</b>	<b>0-4,79</b>	<b>4,8-8,38</b>	<b>8,39-12,5</b>	<b>12,6-18,2</b>	<b>18,3-61,1</b>
<b>0-4,79</b>	1	0,5	0,33333333	0,2	0,125
<b>4,8-8,38</b>	2	1	0,5	0,33333333	0,2
<b>8,39-12,5</b>	3	2	1	0,5	0,33333333
<b>12,6-18,2</b>	5	3	2	1	0,5
<b>18,3-61,1</b>	8	5	3	2	1

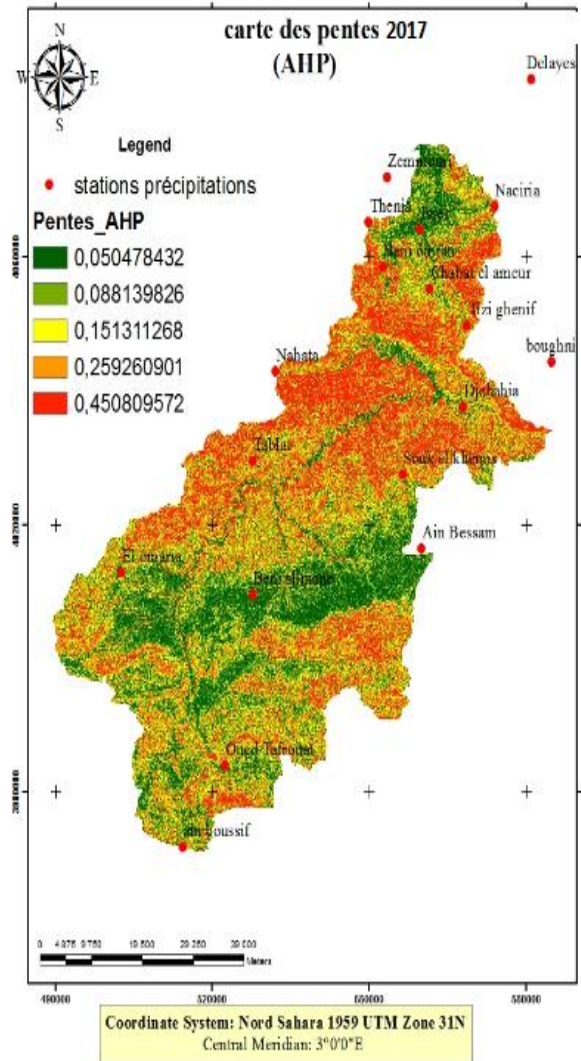
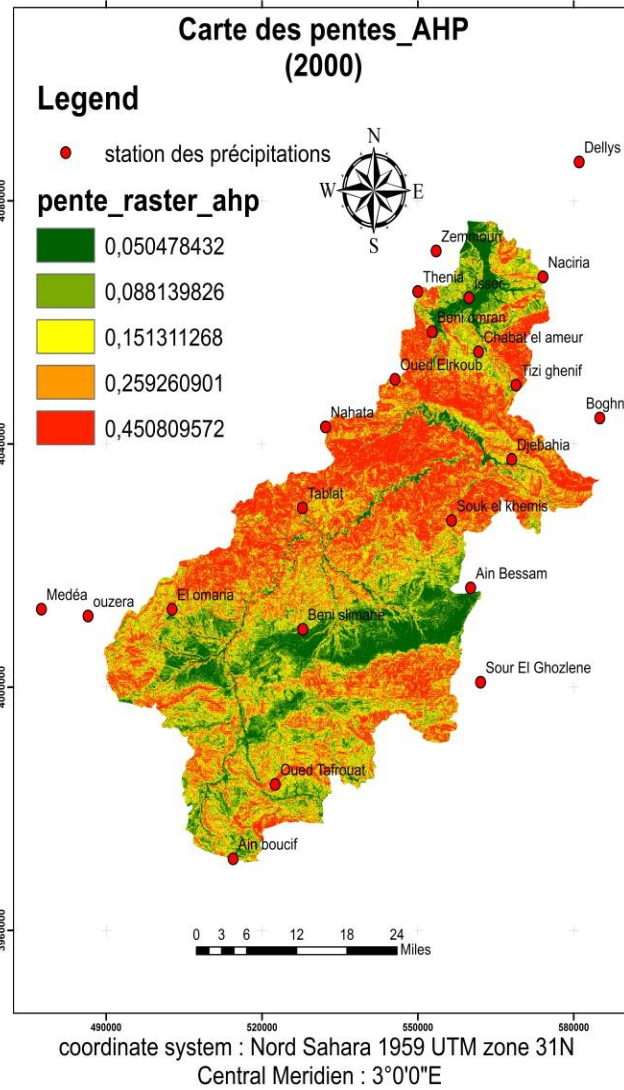
**Tab III.5 :** Tableau de normalisation de la matrice.

<b>0,05263158</b>	<b>0,04347826</b>	<b>0,04878049</b>	<b>0,049586777</b>	<b>0,057915058</b>	<b>0,05047843</b>
<b>0,10526316</b>	0,08695652	0,07317073	0,082644628	0,092664093	<b>0,08813983</b>
<b>0,15789474</b>	0,17391304	0,14634146	0,123966942	0,154440154	<b>0,15131127</b>
<b>0,26315789</b>	0,26086957	0,29268293	0,247933884	0,231660232	<b>0,2592609</b>
<b>0,42105263</b>	0,43478261	0,43902439	0,495867769	0,463320463	<b>0,45080957</b>

IC= 0,00396841

RC= 0,00354322 <10%

Donc la méthode saaty a été vérifiée.



**Fig.III.9** : Carte des pentes selon AHP.

- Pour la création de la carte des pentes selon AHP on a fait la conversion sous arcgis (conversion Tools - From raster – raster to point), et on a introduit les valeurs de la carte des pentes de l'évaluation selon AHP, ensuite on a fait une deuxième conversion (conversion Tools – To raster –point to raster)
- Voilà les résultats (**Fig.III.9**) il y'a 05 classes de reclassification et qu'on a observé un petit changement dans certaines régions du bassin versant d'ISSER, ce changement est basé sur les différentes d'SRTM pour les deux années 2000 et 2016.

### 3.3 Carte densité de drainage :

**Tab III.6 :** Tableau de la matrice de comparaison.

Densité	0-0,0298	0,0299-0,0834	0,0835-0,152	0,153-0,244	0,245-0,76
0-0,0298	1	0,333333333	0,2	0,14285714	0,125
0,0299-0,0834	3	1	0,333333333	0,25	0,14285714
0,0835-0,152	5	3	1	0,333333333	0,2
0,153-0,244	7	4	3	1	0,333333333
0,245-0,76	8	7	5	3	1
Somme	24	15,33333333	9,53333333	4,7261905	1,8011905

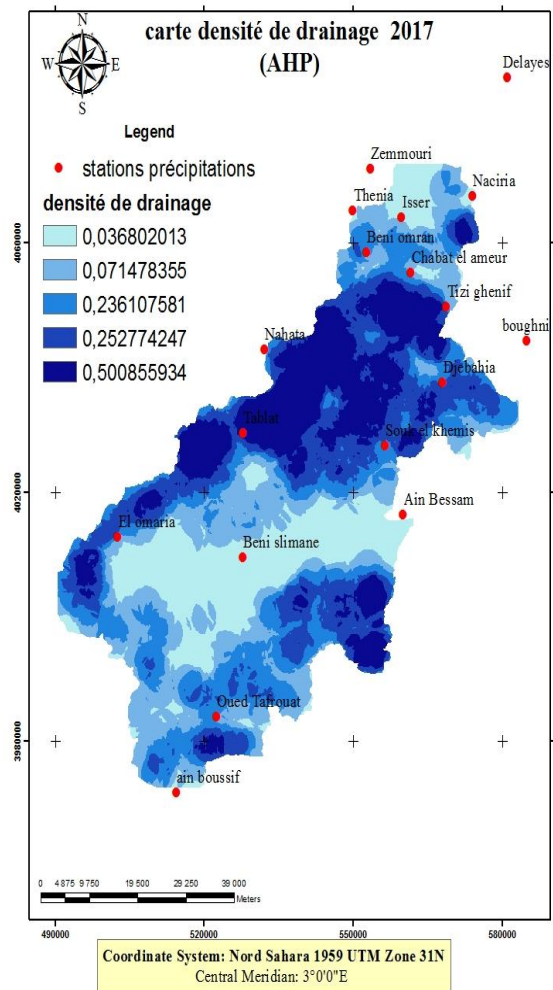
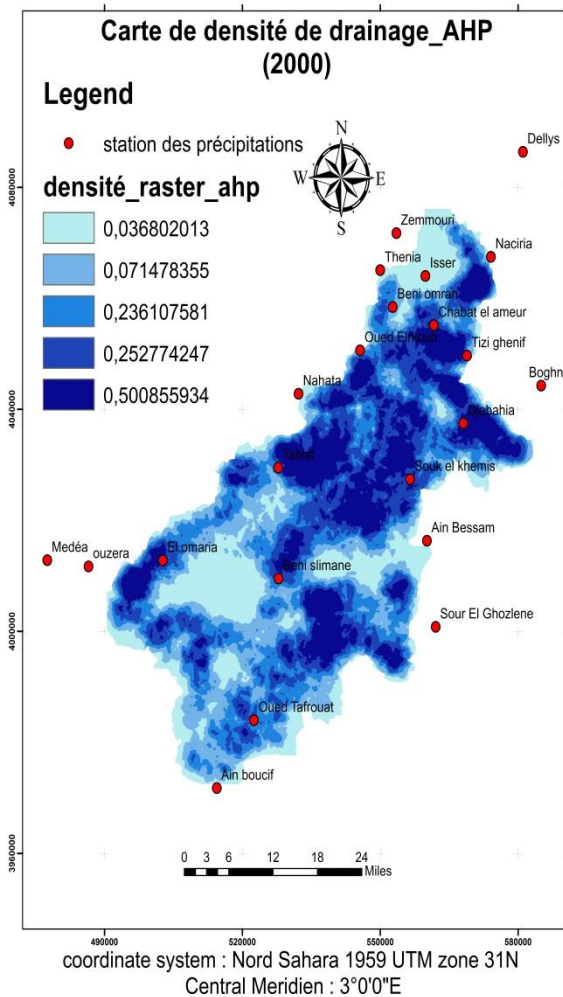
**Tab III.7 :** Tableau de normalisation de la matrice.

0,04166667	0,02173913	0,02097902	0,0302267	0,069398546	0,036802013
0,125	0,06521739	0,03496503	0,052896725	0,079312624	0,071478355
0,20833333	0,26086957	0,31468531	0,211586902	0,185062789	0,236107581
0,29166667	0,26086957	0,31468531	0,211586902	0,185062789	0,252774247
0,33333333	0,45652174	0,52447552	0,634760705	0,555188367	0,500855934

IC= 0,10732913

RC= 0,09582958 <10%

Donc la méthode saaty a été vérifiée



**Fig.III.10** : Carte densité de drainage selon AHP.

- Pour la création de la carte densité de drainage selon AHP on a fait la conversion sous arcgis (conversion Tools - From raster – raster to point), et on a introduit les valeurs de la carte densité de drainage de l'évaluation selon AHP, ensuite on a fait une deuxième conversion (conversion Tools – To raster –point to raster)
- Voilà les résultats (**Fig.III.10**) il y'a 05 classes de reclassification et qu'on a observé un petit changement dans certaines régions (beni Slimane) du bassin versant d'ISSER, ce changement est basé sur les différentes d'SRTM et de réseaux hydrologique pour les deux années 2000 et 2016.

### 3.4 Carte de précipitation

L'évaluation de la précipitation est effectuée sur 5 classes comme suite :

**Tab III.8** : Tableau de la matrice de comparaison.

MFI	528-599	600-625	626-636	637-670	671-1080
528-599	1	0,5	0,33333333	0,2	0,125
600-625	2	1	0,5	0,25	0,16666667
626-636	3	2	1	0,33333333	0,2
637-670	5	4	3	1	0,25
671-1080	8	6	5	4	1
Somme	19	13,5	9,83333333	5,78333333	1,74166667

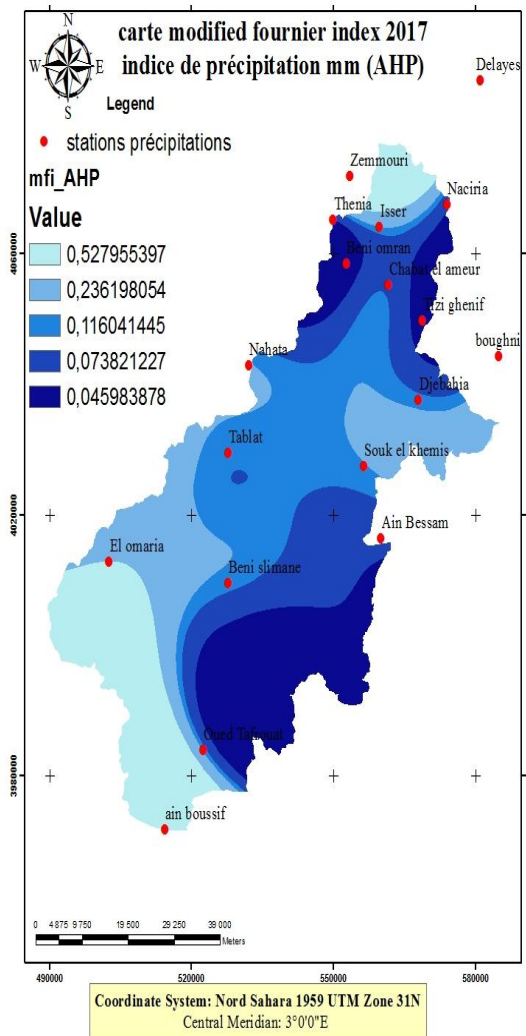
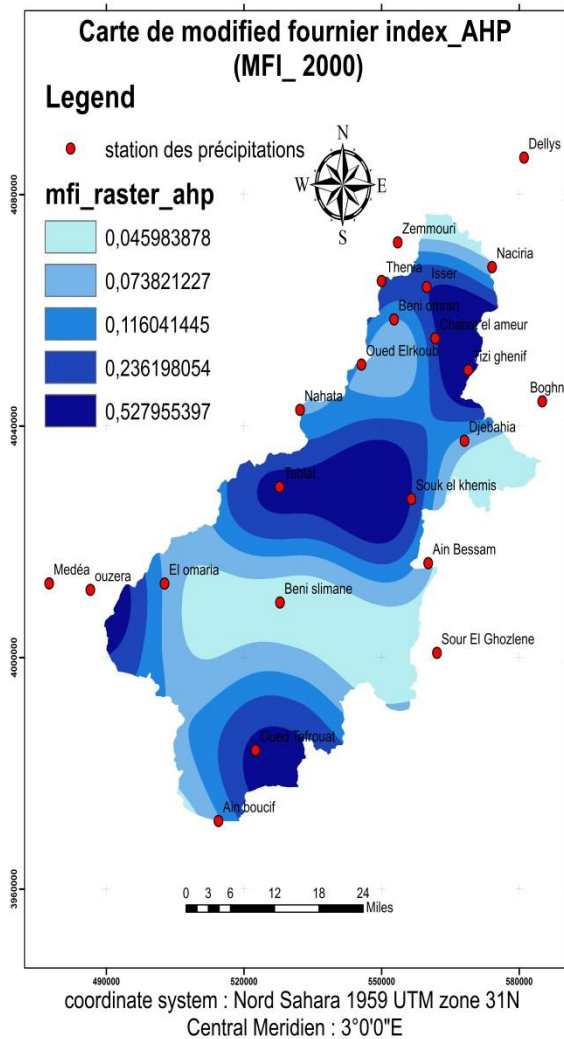
**Tab III.9** : Tableau de normalisation de la matrice.

0,05263158	0,03703704	0,03389831	0,034582133	0,071770335	0,04598388
0,10526316	0,07407407	0,05084746	0,043227666	0,09569378	0,07382123
0,15789474	0,14814815	0,10169492	0,057636888	0,114832536	0,11604144
0,26315789	0,2962963	0,30508475	0,172910663	0,14354067	0,23619805
0,42105263	0,44444444	0,50847458	0,691642651	0,574162679	0,5279554

IC= 0,03440123

RC= 0,03071538 <10%

Donc la méthode saaty a été vérifiée



**Fig.III.11** : Carte de précipitation selon AHP.

- Pour la création de la carte de précipitation selon AHP on a fait la conversion sous arcgis (conversion Tools - From raster – raster to point), et on a introduit les valeurs de la carte de précipitation de l'évaluation selon AHP, ensuite on a fait une deuxième conversion (conversion Tools – To raster –point to raster)
- Voilà les résultats (**Fig.III.10**) il y'a 05 classes de reclassification et qu'on a observé un petit changement dans certaines régions (beni Slimane, Ain boucif) du bassin versant d'ISSER, ce changement est basé sur les différents pourcentages de précipitation pour les deux années 2000 et 2016.

### 3.5 Carte de lithologie

Pour la carte lithologique, on a utilisé une seule carte pour les deux périodes 2000 et 2017, l'évaluation selon l'échelle de SAATY est présentée dans le tableau **Tab III.2.9**

**Tab III.10** : Tableau de la matrice de comparaison.

C-LITHO	sable lim	Argile	argile lim	limon	sable argi
sable lim	1	0,13	0,20	0,50	0,33
Argile	4	1	0,50	0,17	0,25
argile lim	4	2	1	0,50	0,20
Limon	2	4	2	1	0,33
sable argi	3	3	4	3	1
Somme	14	10,13	7,70	5,17	2,12

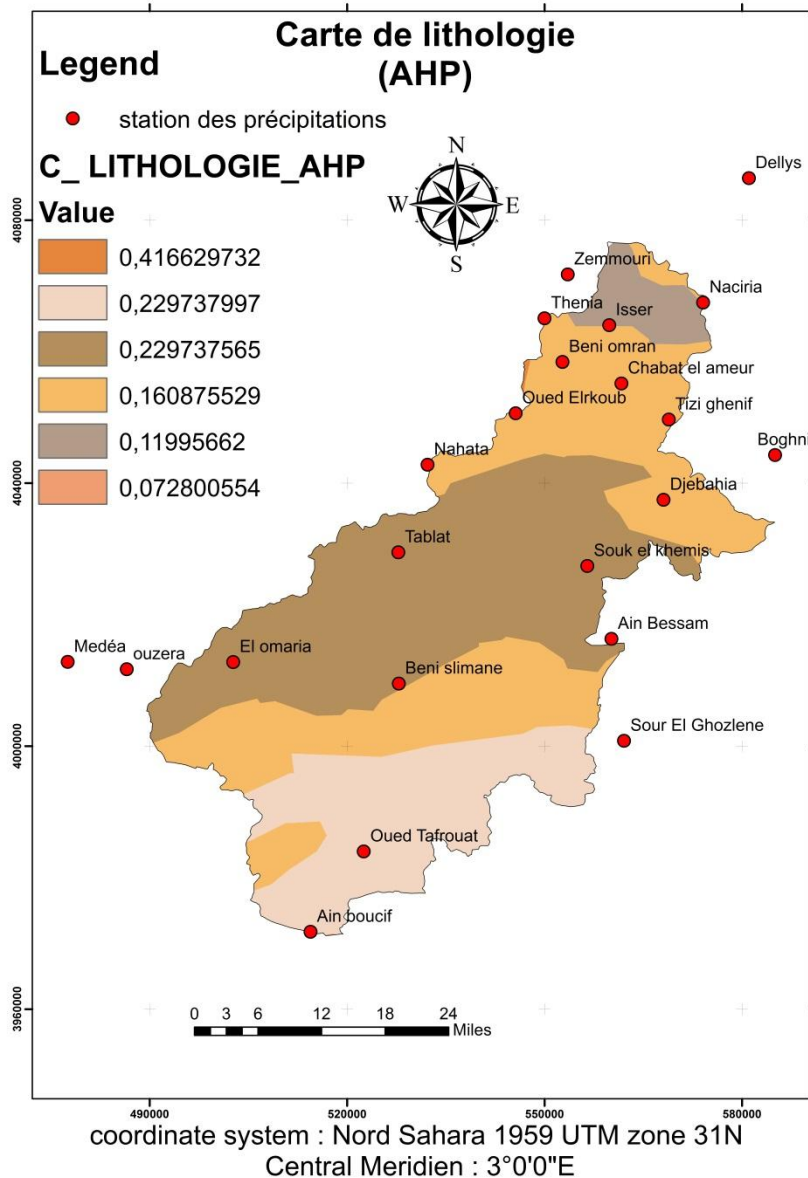
**Tab III.11** : Tableau de normalisation de la matrice.

0,0714286	0,0123457	0,025974	0,09677419	0,15748031	0,07280056
0,2857143	0,0987654	0,0649351	0,03225806	0,11811024	0,11995662
0,2857143	0,1975309	0,1298701	0,09677419	0,09448819	0,16087553
0,1428571	0,3950617	0,2597403	0,19354839	0,15748031	0,22973757
0,2142857	0,2962963	0,5194805	0,58064516	0,47244094	0,41662973

IC= 0,09066214

RC= 0,08094834= 8,09% <10%

Donc la méthode saaty a été vérifiée



**Fig.III.12** : Carte de lithologie selon AHP.

- Pour la création de la carte de lithologie selon AHP on a fait la conversion sous arcgis (conversion Tools - From raster – raster to polygon), et on a introduit les valeurs de la carte de lithologie de l'évaluation selon AHP, ensuite on a fait une deuxième conversion (conversion Tools – To raster –polygon to raster)
- Voilà les résultats (**Fig.III.10**) on a observé un petit changement dans certaines régions du bassin versant d'ISSER, ce changement est basé sur les différents types du sol.

### 3.6-Carte finale :

Pour l'agrégation de ces paramètres on respectant la méthode AHP, une évaluation des différents critères est nécessaire afin de déterminer le coefficient (poids) de chaque critère.

**Tab III.12** : Tableau de la matrice de comparaison.

	Mfi	C_Pente	C_Litho	C_Occupation_Sol	C_Hydro
<b>MFI</b>	1	2	8	7	4
<b>C,Pente</b>	0,5	1	7	5	6
<b>C,Litho</b>	0,125	0,142857143	1	0,5	0,5
<b>Occupation du Sol</b>	0,14285714	0,2	2	1	4
<b>C.Hydro</b>	0,25	0,166666667	2	0,25	1
	<b>2,01785714</b>	<b>3,50952381</b>	<b>20</b>	<b>13,75</b>	<b>15,5</b>

Après normalisation et vérification de cohérence entre les critères et leurs valeurs

Le poids de chaque critère est mentionné dans la dernière colonne du tableau ci-dessous **Tab III.10**

**Tab III.13** : Tableau de normalisation de la matrice.

<b>0,49557522</b>	<b>0,56987788</b>	<b>0,4</b>	<b>0,50909091</b>	<b>0,25806452</b>	<b>0,44652171</b>
<b>0,24778761</b>	0,28493894	0,35	0,36363636	0,38709677	<b>0,32669194</b>
<b>0,0619469</b>	0,04070556	0,05	0,03636364	0,03225806	<b>0,04425483</b>
<b>0,07079646</b>	0,05698779	0,1	0,07272727	0,25806452	<b>0,11171521</b>
<b>0,12389381</b>	0,04748982	0,1	0,01818182	0,06451613	<b>0,07081632</b>

IC= 0,08540704

RC= 0,07625628 <10%

Donc la méthode saaty a été vérifiée

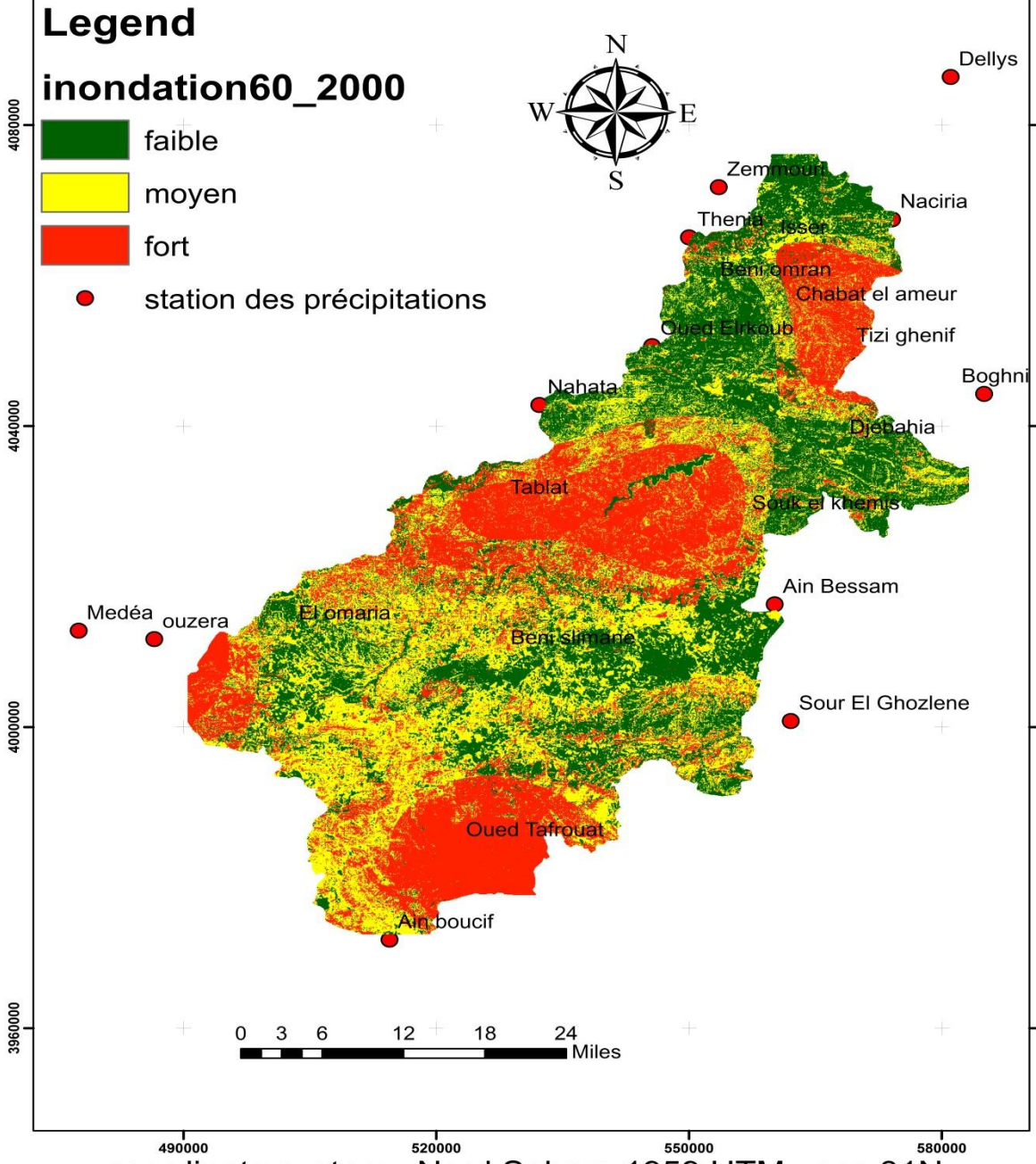
La détermination l'expansion de l'aléa inondation est effectuée par le biais de la commande raster calculator sous arcgis avec la formule suivante :

$$\text{Inondation}_{2000} = C_{P(2000)} * P + \text{COS} * P + C_{\text{Litho}} * P + C_{\text{Pré}(2000)} * P + C_{\text{Den}(2000)} \quad \text{éq III.1}$$

$$\text{Inondation}_{2017} = C_{P(2017)} * P + \text{COS} * P + C_{\text{Litho}} * P + C_{\text{Pré}(2017)} * P + C_{\text{Den}(2017)} \quad \text{éq III.2}$$

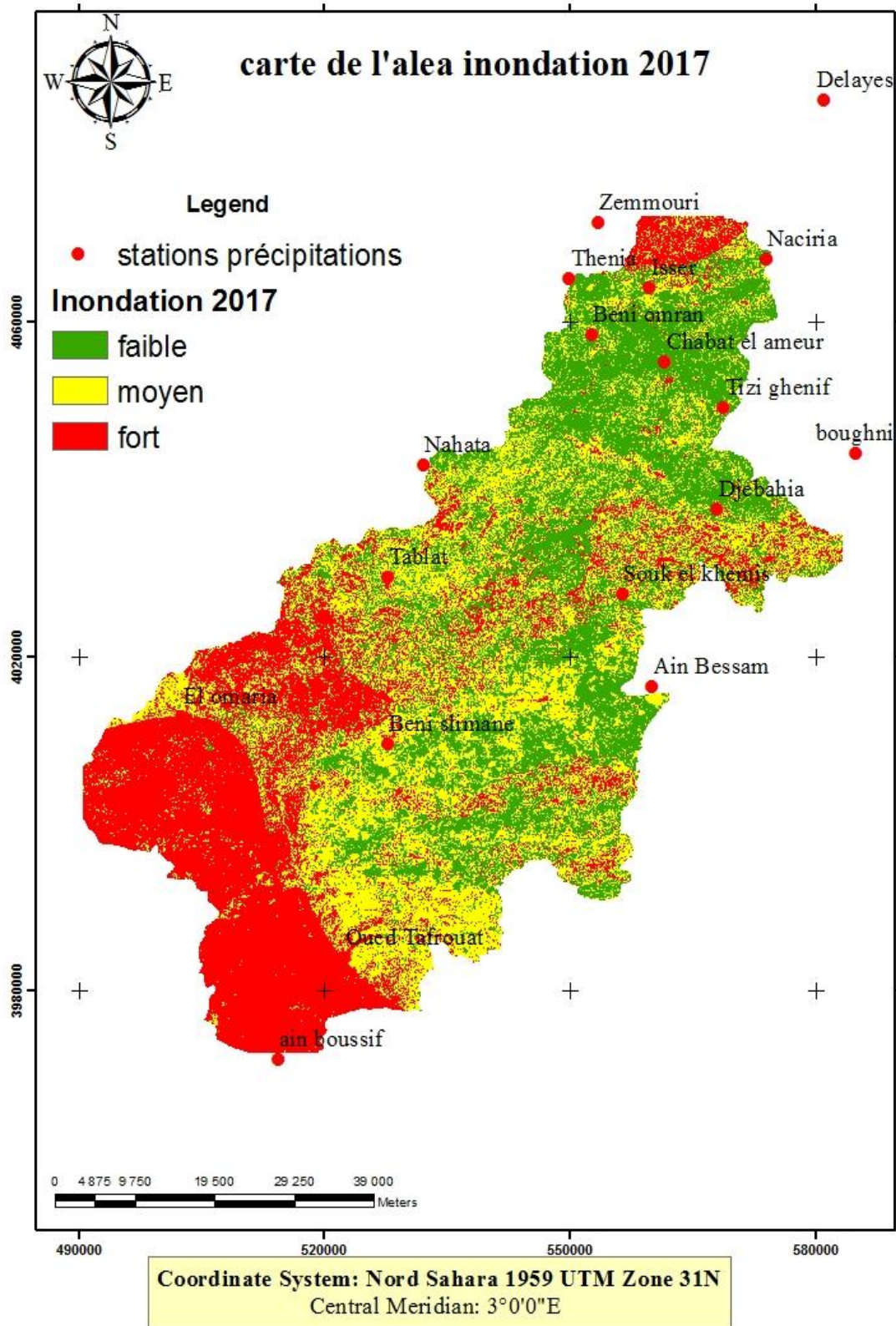
Les résultats sont présentés dans les figures suivantes :

# Carte de l'aléa inondation 2000



coordinate system : Nord Sahara 1959 UTM zone 31N  
Central Meridien : 3°0'0"E

Fig.III.12 : Carte de l'aléa inondation en 2000.



**Fig.III.12 :** Carte de l'aléa inondation en 2017 .

#### **4-Conclusion**

pour déterminer le changement de cet Aléa (aléa inondation entre 2000 et 2017) une comparaison entre ces deux dernières cartes sous ArcGIS nous permet de conclure qu'il y a des changements par région, et sur le plan global de bassin versant on note qu'il y a une réduction notable de l'aléa inondation.

La réduction de remarqué est due à notre avis au changement climatique (réduction des quantités des pluies), et au changement de pente (changement constaté entre les deux MNT utilisés).

## Conclusion générale

L'étude de l'aléa inondation sur le BV issuer , nous permettre de manipuler et de contribuer à l'élaboration de plusieurs types de carte et données depuis les données de type caractères au données de type raster, cette contribution nous donne l'occasion de bien familiarisé avec les logiciels ARCGIS et ENVI et de bien comprendre la problématique d'inondation et ses facteurs provoquant , qui peuvent être par la suite utilisé comme de facteur de réduction de l'aléa surtout cels maitrisable tel que la pente et l'occupation de sol.

Comme tout type du projet durant l'étude de changement de l'aléa inondation entre 2000 et 2017, on a rencontré plusieurs contraintes et problèmes on les résume sur :

-le manque des données (différentes type de sols)

-l'étendue de la zone d'étude et l'insuffisance des capacités de PC utilisé lors le traitement des cartes (5000000 pixel par carte), rendre le traitement des cartes surtout les opérations de conversion trop lourd.

-la difficulté et le manque de maitrise du logiciel et du phénomène (inondation et l'effet de chaque paramètres) rendre l'évaluation avec AHP un peu difficile.

D'après les résultats obtenues on conclure que l'aléa inondation entre 2000 et 2017 a connue une réduction remarquable sur la plus part des zones du BV, cette réduction est due au changement de la précipitation ( $P_{2000} > P_{2017}$ ) et au MNT sauf quelques zones montagneuses rencontrent des augmentations notables.

Et comme perspectives :

- L'étude de l'effet des pentes sur le changement de l'aléa.
- L'études du changement des pentes sur le bassin versant afin de déterminer le paramètre réel qui influe sur ce changement, qui peut être un autre aléa .
- L'étude de la carte du vulnérabilité à l'aléa inondation afin de cartographie le risque d'inondation sur le BV.
- ...etc.

## Liste des références

- [1] : H. NIANDOU auteurs : F. MASROURI, a. pantet février 2009.
- [2] : MR AISSA MADAOUI OUSSAMA & AISSA MADAOUI RABIE « protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain Fezza Tlemcen » master en hydraulique option : eau, sol et aménagement université ABOU BEKR BELKAID.
- [4] : ministère de l'environnement et de développement durable algérienne.
- [7] : HEDJIRA LYES et ANOUNE NOREDDINE « la gestion des ressources hydriques en Algérie par les systèmes d'informations géographiques » département des sciences de la terre – université el hadj lakhdar – Batna.
- [8] : BACHI MOHAMED « problématique du risque inondation en milieu urbain cas de l'agglomération de sidi bel Abbas » magister en hydraulique option : écoulement et transport solide. Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen –
- [11] : T. BOUMEDYEN, l'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision : application de la méthode promethee, tlemcen: universite abou-bekr-belkaid tlemcen, 2009/2010.
- [14] : S. V. KARIM LIDOUH, stage sig : introduction à l'analyse multicritère, bruxelles: université libre de bruxelles.
- [15] : livre « décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritère page 66 »
- [17] : faculté des sciences et de génie université Laval.
- [18] : M. S. BELLAJ, l'adaptation aux risques liés aux stratégies d'externalisation : cas des entreprises industrielles tunisiennes, paris, france: ecole doctorale cognition, langage, interaction - universite de paris 8 – vincennes-saint -denis, 18 decembre 2009.
- [20] : A. HAMMAMI, modelisation technico-economique d'une chaine logistique dans une entreprise reseau, saint-etienne, france: université jean monnet, , 26 septembre 2003.
- [23] : laboratoire de cartographie appliquée - élisabeth habert - ird – 2000.
- [24] : site web du centre canadien de télédétection.
- [25] : commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988.
- [26] : colliard claud- albert. les principes régissant la télédétection spatiale. in: *annuaire français de droit international*, volume 32, 1986. pp. 697-714.
- [28] : centre canadien de télédétection.

## *Les cite*

[3] : [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com).

[5] : [www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-bassin-versant-6628](http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-bassin-versant-6628)

[6] : [www.obvfleuvestjean.com/gestion-integree-par-bassin-versant](http://www.obvfleuvestjean.com/gestion-integree-par-bassin-versant).

[9] : [www.algeria.com/forums/open-board-forum-libre/24029-des-inondations](http://www.algeria.com/forums/open-board-forum-libre/24029-des-inondations)

[10] : [www.Sofies.com](http://www.Sofies.com), plan-les-ouates, genève, france, juillet 2009.

[12] : [www.marchés publics / choix des offres / pondération](http://www.marchés-publics.com/choix-des-offres/pondération),» 10 mars 2010. [en ligne]. available: <http://sanseffetspeciaux.blogspot.com/2007/03/marchs-publics-choix-des-offres.html?m=1>. [accès le 05 mai 2016].

[16] : [www.e-marketing.fr/definitions-glossaire/ahp-methode-240454.htm#glmtwlumkrft1shc.97](http://www.e-marketing.fr/definitions-glossaire/ahp-methode-240454.htm#glmtwlumkrft1shc.97)

[13] : [www.france: ecole doctorale sciences sociales](http://www.france.ecole-doctorale-sciences-sociales.com), novembre 2011.

[19] : [www.esrifrance.fr/sig2007/cocody\\_kouame.htm](http://www.esrifrance.fr/sig2007/cocody_kouame.htm)

=1&rphp=&rco=&rch=&rf=&rpf=

[21] : [www.seig.ensg.ign.fr/fichchem.php?nofiche=fp15&nocont=cont4&nochem=chemq003&noliste](http://www.seig.ensg.ign.fr/fichchem.php?nofiche=fp15&nocont=cont4&nochem=chemq003&noliste)

[22] : [www.agro-pastoralisme](http://www.agro-pastoralisme.com) <https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/initiation-au-systeme-d-information-geographique/definitions-des-s-i-g>

[27] : [www.astronoo.com/fr/articles/spectre-electromagnetique.html](http://www.astronoo.com/fr/articles/spectre-electromagnetique.html)

[29] : [www.cesbio.ups-tlse.fr/fr/sudmed/sud\\_med\\_axe1.html](http://www.cesbio.ups-tlse.fr/fr/sudmed/sud_med_axe1.html)