

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمّار تليجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الهندسة المدنية

DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL

Mémoire de projet de fin d'étude en vue de l'obtention

*Du diplôme Master 2 : Sciences et techniques
topographiques*

Présenté par:

BOUAKKAZ TAREK

Intitulé

**Etude de changements des paramètres
d'inondation dans le temps**

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Mr. DJABALLAH Ahmed

Maitre-Assistant -A-

Président

Mr. NAFTI Redouane

Maitre-Assistant -A-

Examineur

Mr. SEDDIKI Mohamed Akram

Attaché de recherche (CTS)

Co- encadreur

Mr. GUERROUDJ Abdelhalim

Maitre-Assistant -B-

Encadreur

Année Universitaire 2013/ 2014

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la patience et la force pour terminer ce modeste travail, et nous tenons expressément à remercier nos parents pour leur soutien, leur confiance et leurs encouragements tout au long de nos études.

Nous tenons à remercier celui qui a suivi ce travail de près. Nous avons eu la chance d'avoir un encadreur avec lequel nous avons pris énormément de plaisir à travailler avec lui,

Nous remercions notre Co-encadreur Monsieur SEDDIKI Mohamed Akram, Attaché de recherche au niveau de CTS.

A monsieur : GUERROUDJ Abdelhalim, Maître Assistant B au niveau de département génie civil au niveau de l'Université Amar Telidji Laghouat.

En guise de reconnaissance, nous exprimons les plus sincères remerciements à Mr. DJABALLAH Ahmed, Maître Assistant A, nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude de nous avoir honoré et accepté de venir présider le jury et juger notre travail à sa vraie valeur.

Nous tenons également à adresser nos plus chers remerciements au membre de jury, Monsieur Mr. NAFTI Redouane, Maître Assistant A, pour l'honneur qu'ils nous ont fait et l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en répondant aimablement afin d'examiner et de juger notre mémoire de fin d'études.

Sans oublier bien sûr monsieur : SAHIRI Nacer, ingénieur d'état en sciences géodésiques et travaux topographiques, pour son aide gracieuse.

Finalement, nous avons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation depuis l'école primaire, passant par l'école fondamentale, puis le lycée et enfin les études supérieures.

Dédicaces

**Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers, et
principalement:**

**A ma très chère mère, la femme que j'aime et qui je ne cesserai
jamais d'aimer.**

**A mon cher père le guide affectueux et attentif en reconnaissance
pour son soutien moral et pour toutes les charges assurées au cours
de ces longues années.**

A mes sœurs et frères.

A toute ma famille.

A ma future femme.

Et à tous mes amis et spécialement Moussa.

Et à mes professeurs sans exception.

A tous ceux qui m'ont, de près ou de loin, aidé à élaborer ce travail

A tous ceux que j'aime et ceux qui pensent à moi,

..... Je dédie ce mémoire.



BOUAKKAZ Tarek

RESUME

Dans ces dernières décennies, les Hautes Plaines steppiques d'Algérie ont été marquées par une dégradation intense affectant les sols, à cause de plusieurs facteurs tels que les inondations. Les solutions proposées pour lutter contre ces phénomènes et conserver la nature de ces zones restent insuffisantes en raison de l'absence d'un modèle d'identification, de suivi et de prévisions de ces inondations.

Cependant les paramètres définissant ces phénomènes naturels peuvent changer dans le temps, l'idée de cette recherche se base sur le suivi spatiotemporel de ces variations et leurs effets sur la variation du risque. L'intégration de données spatiales et cartographiques dans un SIG va permettre de mettre en place un modèle prévisionnel permettant la protection de l'espace urbain et d'anticiper l'intervention des autorités locales.

Mots Clés : Inondations, spatiotemporel, SIG, AMC, détection de changements.

ABSTRACT

In the recent decades, the High Plains steppe in Algeria was marked by intense degradation of the soils, due to several factors such as flooding. The proposed solutions to fight against these phenomena and conserve nature of these areas remain weak due to the absence of a model for identifying, monitoring and forecasting of floods. However, the parameters define these natural phenomena can change over time, the idea of this research is based on the spatiotemporal monitoring of these variations and their effects on the risk change. The integration of spatial and cartographic data in a SIG will be allowed to establish a predictive model for the protection of the urban environment and anticipate the intervention of local authorities.

Keywords: Floods, spatiotemporal, SIG, AMC, detecting changes.

Table de matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des tableaux.....	VI
Liste des Figures.....	VII
Sigles et acronymes.....	IX
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les inondations	
I.1. Introduction	3
I.2. Risques majeurs – inondations.....	3
I.3. Connaissance de l’alea « inondation ».....	4
I.3.1 Paramètres fondamentaux du cours d’eau.....	4
I.3.2 Crue	6
I.3.3 Inondation.....	7
I.3.4 Principaux paramètres spécifiant l’alea « inondation »	7
I.3.5 Types d’inondations.....	8
I.3.6 Causes de formation des crues et des inondations.....	11
I.3.7 L’homme et l’inondation.....	14
I.3.8 Causes et types d’inondations catastrophiques en Algérie.....	14
I.4. Connaissance des enjeux et de vulnérabilité.	16
I.5. La protection contre les inondations	16
I.5.1 Différents types de protection	17
Chapitre II : Collecte, prétraitements et combinaison des données image pour la détection des changements	
II.1. Introduction.....	19
II.2. Détection des changements par imagerie spatiale: état de l’art.....	19
II.2.1 Les méthodes bi-temporelles.....	19
II.2.2 détection de changements par imagerie spatiale.....	21
II.3. Présentation de la zone d’étude.....	22
II.4. Typologie des données utilisées	24
II.4.1 Données spatiales	24
II.4.2 Données statistiques.....	24

II.4.3 Données cartographiques	25
II.5. Prétraitements des données collectées	25
II.5.1 Réalisation de la carte d'occupation des sols	25
II.5.2 Modèle numérique de terrain : amélioration et produit dérivé.....	27
II.5.3 Carte géologique	30
II.5.4 Données météorologiques.....	31
II.6. Méthodes de détection de changements par imagerie spatiale	34
II.6.1 Méthode par fusion d'indices	34
II.6.2 Méthode par comparaison poste_classification	35

Chapitre III: Cartographie de l'inondation : approche d'élaboration et résultats d'analyse

III-1 Introduction.....	38
III-2 Prétraitements des données collectées : premier niveau	40
III-3 Prétraitements des données collectées : niveau avancé	41
III.3.1 Cartographie du risque inondation.....	41
III.3.2 Choix de l'unité spatiale d'intégration.....	44
III.3.3 Etude comparative et analyse des résultats.....	46
Conclusion générale.....	49
Bibliographie.....	51

Liste des Tableaux

Tableau II.1. Travaux de recherches sur la détection des changements par approche bi-temporelle	21
Tableau II.2. Sources de données collectées	24
Tableau II.3. Données spatiales utilisées	24
Tableau II.4. Données littérales et statistiques utilisées	24
Tableau II.5. Données cartographiques utilisées	25
Tableau III.1. Paramètres et principe de création de risque inondation	42

Liste des Figures

Figure I.1. Lit mineur d'un cours d'eau	05
Figure I.2. Lit moyen d'un cours d'eau	05
Figure I.3. Lit majeur d'un cours d'eau	05
Figure I.4. Inondation de Plaine	09
Figure I.5. Inondation par remontées des nappes phréatiques	09
Figure I.6. Inondation par crues torrentielles	10
Figure I.7. Inondation par ruissellement en secteur urbain	10
Figure II.1. Méthodes de détection de changements	21
Figure II.2. Présentation de la zone d'étude d'El-Bayadh	23
Figure II.3. Composition colorée, extraction et amélioration de la radiométrie.....	25
Figure II.4. Etapes de classification supervisée	26
Figure II.5. Carte d'occupation des sols de la commune d'El-Bayadh (2001).....	26
Figure II.6. Etapes d'amélioration du MNT	27
Figure II.7. MNT TIN amélioré	27
Figure II.8. carte des pentes de la commune d'El-Bayadh	28
Figure II.9. Etapes de délimitation des bassins versants	29
Figure II.10. Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh (2001).....	30
Figure II.11. Extrait de la carte géologique de la commune d'El-Bayadh	31
Figure II.12. Génération de la carte de pluviométrie et extraction à l'échelle de la wilaya....	32

Figure II.13. Carte pluviométrique de la commune d'El-Bayadh	33
Figure II.14. Les indices NDVI 2001 et NDVI 2014.....	34
Figure II.15. Fusion des indices NDVI 2001 et NDVI 2014.....	35
Figure II.16. Résultat de la classification de l'image TM 2001.....	36
Figure II.17. Résultat de la classification de l'image TM 2014.....	36
Figure II.18. Résultat de la comparaison post classification	37
Figure III.1. Organigramme de l'approche méthodologique développée	39
Figure III.2. Organigramme d'élaboration de la carte de risque d'inondation	40
Figure III.3. Organigramme des poids des macro-critères et des alternatives	43
Figure III.4. Carte du risque d'inondation	44
Figure III.5. Principe d'intégration des valeurs par bassins versants	45
Figure III.6. Carte du risque d'inondation par bassins versants (2001).....	45
Figure III.7. Carte du risque d'inondation par bassins versants (2014).....	46
Figure III.8. Première échantillon de teste	47
Figure III.9. Deuxième échantillon de teste.....	48

Sigles et acronymes

AHP : Processus d'Analyse Hiérarchique

AMC : Analyse Multi-Critère

CTS : Centre des Techniques Spatiales

IDW : Inverse Distance Weighted

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NDVI : Indice de Végétation Normalisé

SIG : Système d'Information Géographique

TIN: Triangulated Irregular Network.

TM : Thematic Mapper

UTM : Universel Transvers Mercator

WGS84 : World Geodetic System 1984

1. Contexte/problématique

Dans ces dernières décennies, les hautes plaines steppiques d'Algérie ont été marquées par une dégradation intense affectant les sols, à cause de plusieurs facteurs tels que l'inondation. Les solutions proposées pour lutter contre ce phénomène et conserver la nature de ces zones restent insuffisantes en raison de l'absence d'un modèle d'identification, et suivi et de prévision de l'inondation.

L'utilisation de l'imagerie satellitaire multi-date permet de dériver des cartes de risque d'inondation dynamiques pour suivre géographiquement l'aléa risque afin d'étudier pratiquement les possibilités d'atténuer ce risque.

Cependant les paramètres définissant ce phénomène naturel peuvent changer dans le temps, l'idée de cette étude est basée sur le suivi spatiotemporel de ces variations et leurs effets sur la variation du risque.

Le recours à la classification des images spatiales est indispensable, les techniques d'analyse poste classification des images thématiques résultantes permettent de constater le changement en chaque paramètre définissant le risque.

Grâce à l'analyse multicritère et la fusion des données multisources, des cartes de changement vont être élaborées ce qui permet de faire une étude comparative en tenant compte de tous les résultats pour que la prise de décision soit correcte et précise.

2. Objectif assigné au PFE

L'objectif principal de cette recherche porte sur le développement et l'application de techniques de caractérisation et de suivi de la dynamique spatio-temporelle des systèmes environnementaux à l'échelle d'un bassin versant « oued elbiodh », l'utilisation de la combinaison SIG, l'Analyse multicritère AMC, permettant la prise de décision en matière de délimitation des zones de risques dans des classes selon différents degrés en fonction des paramètres favorisant.

3. Déroulement du projet

Les travaux du PFE sont effectués selon les phases suivantes :

- Recherche bibliographique : synthèse des documents abordant des problématiques similaires afin de recenser les solutions possibles et les algorithmes utilisés.
- Développement d'un déroulement technique qui constitue un schéma général de notre approche SIG/AMC,

- Collecte des données et visites des organismes étatiques. Nous signalons que nous avons rencontré des problèmes pendant la phase de collecte des données en ce qui concerne leur disponibilité, leur qualité ou le manque d'information. Par conséquent un temps considérable a été consacré.
- Analyse et prétraitement des données.

4. Structuration du document

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres, dont le premier résume les concepts liés au risque inondation et sa caractérisation.

La multiplicité des données, leurs hétérogénéité, font l'objet du second chapitre pour la présentation des prétraitements nécessaires liés aux produits dérivés utilisés dans l'étude de détection de changements des paramètres d'inondation (cas du couvert végétal), l'approche méthodologique et les résultats obtenus sont décrites aussi dans ce chapitre.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de l'approche utilisée pour l'établissement des cartes d'inondation et la confirmation des résultats du deuxième chapitre.

Généralités sur les inondations

I.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 provoquent pas de catastrophes susceptibles de marquer les esprits si les zones inondables n'étaient pas ou peu occupées par l'homme. [7]

La réaction face à ce risque d'inondation a consisté pendant plusieurs décennies à lutter contre les crues qui signifiait d'abord que l'on cherchait à agir sur le phénomène naturel - la crue - et uniquement sur lui, c'est-à-dire sur une seule composante du risque - l'aléa - et non sur les enjeux ou leur vulnérabilité. [7]

Le but principal de ce chapitre est de développer la connaissance du risque inondation le phénomène naturel générateur de ce risque, ses causes, ses modalités de survenance et de déroulement ainsi que les enjeux et leur vulnérabilité. Il clarifie le désordre de cette notion en montrant que le risque d'inondation est un concept complexe bien souvent associé à l'unique dimension physique liée à l'aléa, alors que l'aléa n'est pas nécessairement le moteur du risque, la vulnérabilité aussi.

I.2. Risques majeurs - inondations

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.** [8]

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 dépassée par l'immensité du désastre. Alors **seules les trois premières catégories font partie de ce risque majeur** qui est caractérisé par :

- 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 [8, 10]

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. 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. [7]

Pour faire une meilleure connaissance du risque inondation, on expliquera :

- L'aléa « inondation ».
- Les enjeux exposés.
- La vulnérabilité des enjeux exposés.

I.3. Connaissance de l'aléa « inondation »

L'aléa interpelle deux disciplines principales ; l'hydrologie et l'hydraulique fluviale. Dans le cas des inondations, l'hydrologie est la discipline qui permet d'obtenir les débits et leurs périodes moyennes de retour. Tandis que l'hydraulique est la discipline qui permet d'obtenir les niveaux d'eau et accessoirement les vitesses correspondant à ces débits. La combinaison de ces deux disciplines permet donc d'associer des périodes de retour à des niveaux et vitesses d'écoulement en divers points d'un cours d'eau. [2]

Pour mieux comprendre l'aléa inondation, on commentera les notions élémentaires suivantes ; les paramètres fondamentaux du cours d'eau, la crue, l'inondation, les principaux paramètres caractérisant l'aléa inondation, les types d'inondations et les causes de formation des crues et des inondations.

I.3.1. Paramètres fondamentaux du cours d'eau

I. 3.1.1. 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.

Lit mineur : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles). [8]



Figure I.1 : Lit mineur d'un cours d'eau. [8]

Lit moyen : Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve.



Figure I.2 : Lit moyen d'un cours d'eau. [8]

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]

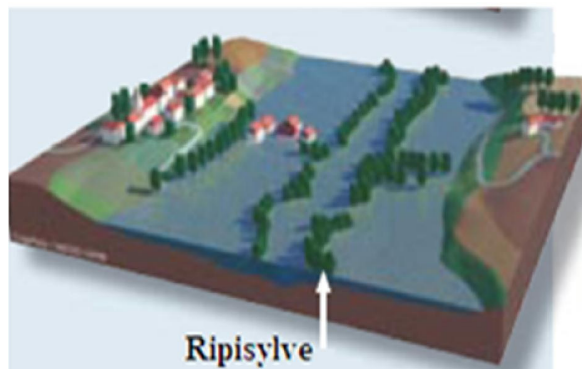


Figure I.3 : Lit majeur d'un cours d'eau. [8]

Le lit majeur alors fait partie intégrante de la rivière ; si en s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un cours d'eau lors d'une inondation peut-être partagé en deux zones :

- Une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur, où le courant a une forte vitesse.
- Une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval. [8]

I.3.1.2. Rive, Berge

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique. [8]

I.3.1.3. Ripisylve

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- ❖ Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant.
- ❖ Un écrêtement des crues pour l'aval. [8]

I.3.1.4. Alluvions et substratum

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...). [8]

I.3.2. 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. [11]

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydrogramme 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. [11]

I.3.3. Inondation

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

Définition : Tout d'abord, le **risque** est un croisement de l'**aléa** et de la **vulnérabilité**.

L'aléa peut être défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène physique par exemple, le débit de la crue centennale est défini comme le débit qui a une chance sur cent d'être dépassé au cours d'une année, il est caractérisé par son intensité, son étendue, sa fréquence, sa durée. Tandis que la vulnérabilité étant les personnes, les biens et les activités susceptibles de subir des dommages lorsque survient l'aléa.

On peut alors dire qu'une **inondation** est une submersion rapide ou lente d'une zone habitée ordinairement hors d'eau. Ainsi, le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut déborder de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial. L'importance de l'inondation dépend de la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par la précipitation, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur, etc.). Ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines. [5,8]

I.3.4. Principaux paramètres spécifiant l'aléa « inondation »

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

a) 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 centennial) 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. [8]

b) 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. [8]

c) 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 [8]

d) Volume de matière transportée

Ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide. [8]

I.3.5. Types d'inondations

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, On peut distinguer plusieurs types d'inondation, inondations de plaine, par remonte de nappe, par crues torrentielles, par ruissellement en secteur urbain ou rural, inondation par rupture d'une digue et inondations marines.

Dans les quatre premiers cas, le phénomène générateur est la pluie et l'inondation engagera à partir des fleuves et des rivières ; la classification consiste donc à distinguer les inondations provoquées par des crues à cinématique lente (inondations de plaine, remontée de nappe) de celles générées par des crues à cinématique rapide (crues torrentielles, ruissellement). Tandis que dans les deux derniers cas ; le premier c'est les circonstances locales qui jouent pour faire d'une inondation sur un secteur donné un événement particulier et le deuxième c'est l'action de la mer qui est le facteur principal déterminant la survenance des désordres. [7]

I.3.5.1. Inondations de plaines

Les inondations de plaine se produisent à la suite d'épisodes pluvieux océaniques prolongés mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km²). Le cours d'eau sort lentement de son lit ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder la plaine pendant une période relativement longue. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines.

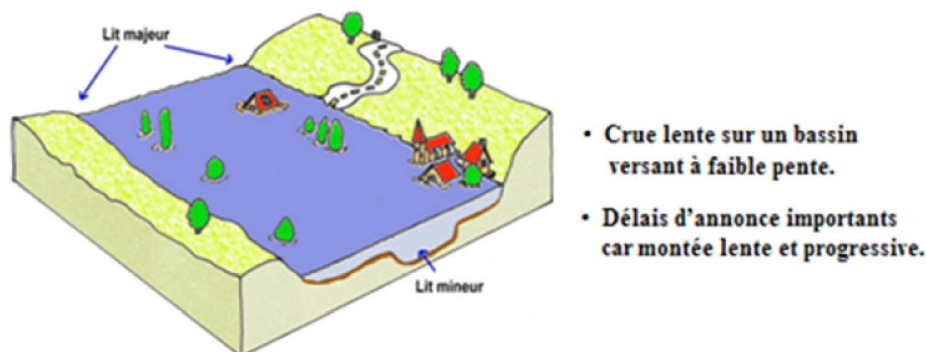


Figure I.4 : Inondation de Plaine. [8]

Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion. [8]

I.3.5.2. Inondations par remontées des nappes phréatiques

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. [8]

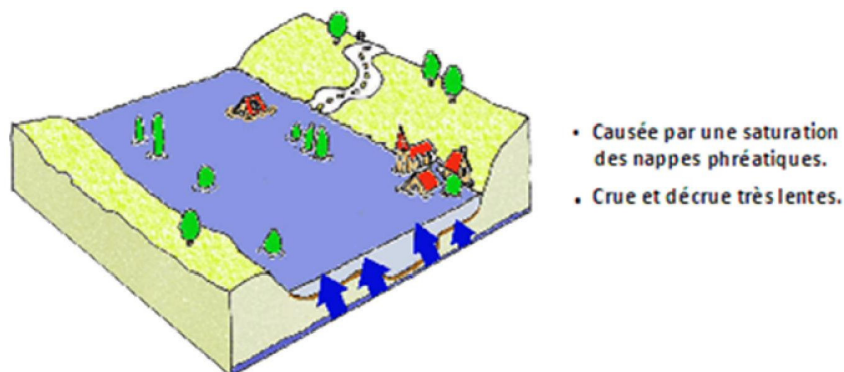


Figure I.5 : Inondation par remontées des nappes phréatiques. [8]

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, la déstabilisation des pentes, de tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux publics, des pressions sous les constructions, etc. [3]

I.3.5.3. Inondations par crues torrentielles

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type orages convectifs. De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point « hydrologiquement » le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24 h pour certains auteurs). Les spécialistes retiennent cinq critères pour définir la crue torrentielle : la rapidité de la réponse du cours d'eau, sa pente, le nombre de Froude, le transport solide, les effets

de ces crues. Ces crues touchent principalement les zones de montagne et les cours d'eau du pourtour méditerranéen, elles ont des vitesses d'écoulement importantes, même dans le lit majeur. Les bassins versants qui peuvent être affectés par ces phénomènes sont celles qui ont de petite à moyenne superficie et une forte pente moyenne.

Les crues torrentielles se caractérisent par un très fort transport solide et une profonde modification du lit à l'occasion de l'événement. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues. [7]

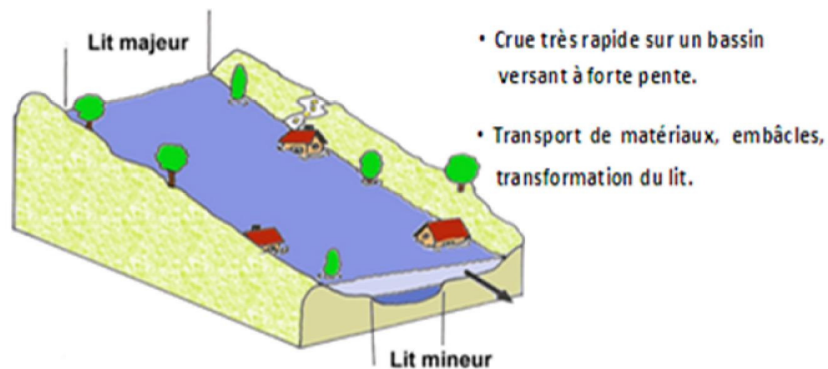


Figure I.6 : Inondation par crues torrentielles. [8]

I.3.5.4. Inondations par ruissellement en secteur urbain

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents selon qu'elles se produisent en milieu rural, périurbain ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise. Il s'agit de phénomènes très locaux, intéressant les petits bassins versants. [7]



Figure I.7 : Inondation par ruissellement en secteur urbain. [8]

Le ruissellement pluvial urbain provoque d'importantes inondations lorsque les terrains sont plus

imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes et il demeure un phénomène naturel que l'on ne peut pas empêcher. Malheureusement, l'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène. [8, 6]

I.3.5.5. Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle

Dans le cas de rivières endiguées, l'inondation survient brutalement soit par débordement au-dessus de la digue, soit par rupture de la digue. Le phénomène peut être très brutal et d'autant plus dommageable que le site est proche de la digue. Le fait d'être derrière un ouvrage de protection dimensionné pour un certain niveau de crue peut donc rehausser le seuil de risque en cas de rupture ou dépassement de ce dernier. Des secteurs habituellement hors de l'eau peuvent se trouver brutalement inondés.

Un embâcle consiste en l'obturation d'un cours d'eau par la constitution d'une digue naturelle entraînant une retenue d'eau importante. La digue peut être constituée par des éléments solides arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau ou par un glissement de terrain. La rupture d'embâcle peut se produire plusieurs jours après une période de pluies exceptionnelles ou l'apparition d'un mouvement de terrain. [3, 7, 12]

I.3.5.6. Inondations marines

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée. Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques se concentrent le long du boulevard de littoral dans les secteurs dépressionnaires). [12]

I.3.6. Causes de formation des crues et des inondations

Il est important de connaître les manières de formation des crues et des inondations ; un même territoire peut être inondé dans des proportions identiques par des crues différentes, leur hydrogramme respectif traduisant des modalités de déroulement différentes. Les causes de formation peuvent fractionner en deux styles ; causes directes et phénomènes aggravant l'aléa.

I.3.6.1. Causes directes

a. Abondance des précipitations :

C'est le principal facteur explicatif des crues et des inondations. On peut distinguer plusieurs types :

- ❖ **Les averses brutales de type orageux** où les orages porteurs de précipitations ont des lames d'eau de 200 à 300 mm en quelques heures. On peut citer comme exemples

l'intensité pluviométrique de 10 mm/min en Espagne. Si l'on observe qu'une intensité de 01 mm/min représente un débit d'eau météorique de 16,6 m³/s/km, il n'est pas surprenant que certains petits bassins versants puissent fournir des débits spécifiques record, parfois supérieurs à 30 m³/s/km pendant quelque temps, avec les conséquences catastrophiques que l'on suppose !

- ❖ **Les averses durables** qui sont moins brutales car elles comportent en fait des séries d'averses successives entrecoupées de périodes de tranquillité, mais elles sont tout aussi dévastatrices. L'exemple de la crue la plus représentative est celui de la Saintes en 1994 qui fut inondée plusieurs semaines.
- ❖ **Les pluies de type orographique et cyclonique** ; à titre d'exemple une pluie de 1136 mm en 24 heures au Philippines.

En règle générale, la puissance de la crue et les dégâts qu'elle occasionne sont d'autant plus forts que les précipitations sur le bassin versant ont été fortes, intenses et durables, que les quotients d'écoulement sont plus élevés et que la morphologie et la nature des matériaux se prêtent à l'érosion. [11]

b. Fusion brutale des neiges :

Elle est fréquente en Europe à la fin du printemps et au début de l'été. En effet, en fin d'hiver l'arrivée de front chaud (avec vent et pluie) va fusionner rapidement la neige qui couvre les bassins versants montagneux (Alpes, Pyrénées en France par exemple) ce qui provoque de grandes crues particulièrement importantes sur un sol parfois gelé et sans végétation. Mais le plus souvent l'alimentation d'origine neigeuse se combine à celle des averses. [11]

c. Débâcle des glaces fluviales :

Celle-ci intervient à la suite de la rupture de barrages naturels de glace que ce soit en haute montagne (Alpes) ou dans les pays des hautes latitudes (cas de grands fleuves sibériens ou canadiens). Dans le dernier cas le phénomène est saisonnier ; chaque hiver les températures glaciales gèlent les eaux des fleuves d'abord en surface, puis progressivement en profondeur. De grands embâcles se produisent interdisant peu à peu tout écoulement superficiel. Cependant dans les parties amont des cours d'eaux, la prise par les fleuves est moins effective du fait d'une position plus méridionale (donc relativement plus chaudes), si bien que l'eau restée à l'état liquide s'accumule en de grands lacs temporaires. Dès l'arrivée du printemps, la conjonction du réchauffement des températures et de la poussée fantastique des eaux accumulées en arrière des barrages de glace, amène tôt ou tard à la rupture de ces derniers. A ce moment-là, s'effectuent les vastes débâcles qui emportent tout sur leur passage.

Ces crues catastrophiques et heureusement très rares, ne sont pas gérables une fois déclenchées. Seule la prévention est possible, par exemple par un dynamitage préalable des embâcles dès que ceux-ci atteignent un certain seuil. [11]

d. Accidents : ex : rupture accidentel de barrage naturel ou artificiel. Parfois cet accident est lui même lié à un autre phénomène exceptionnel (glissement de terrain, lié à des précipitations importantes, volcanisme, séisme...). [8]

I.3.6.2. Phénomènes aggravant l'alea

Un grand nombre de facteurs autres que celles dictés précédemment intervient, souvent de façon aggravante, dans les dégâts occasionnés par les inondations. Parmi ces derniers, on peut rappeler l'influence des facteurs naturels et anthropiques.

a. Influence des facteurs naturels

- ❖ Surface et forme du bassin versant : ainsi pour une **même surface**, l'allure de **l'hydrogramme de crue** résultant d'une pluie donnée est très différente suivant **la forme du bassin versant** ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « Coefficient de compacité ». En principe plus cet indice est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées. [7, 11]
- ❖ Configuration du relief des lits des cours d'eau : La pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue. Si le profil en long du cours d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil en travers est aussi important; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau à profil plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements.
- ❖ Densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant : ainsi la densité des cours d'eau était fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméables ont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses [7, 11]
- ❖ Facteurs biogéographiques : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous couvert. Ensuite elle accroît fortement l'évapotranspiration ; pour la zone tempérée celle-ci atteint ou dépasse fréquemment 500 à 700 mm/an. On comprend facilement que cela limite le ruissellement direct et l'alimentation des cours d'eau. Bien souvent une végétation vigoureuse aux arbres dotés de racines nombreuses et bien enchevêtrées, constitue une excellente protection naturelle, quasi totale, contre l'érosion torrentielle. Inversement la destruction du couvert végétal constitue un facteur aggravant la puissance des crues. [7, 11]

b. Influence des facteurs anthropiques

- ❖ Occupation de zones riveraines : la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des

enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention-précaution.

- ❖ Imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles);
- ❖ Défiance des dispositifs de protection (digues, déversoirs). [7, 11]

I.3.7. L'homme et l'inondation

Depuis la naissance de l'humanité, les inondations ont eu un caractère magique et religieux. Malgré cela et grâce à sa technique, l'homme est arrivé à infléchir, autrement contrôler, le cours naturel des rivières, oubliant peu à peu ce que sont des phénomènes naturels. Alors qu'en fonction de leur importance et leur localisation géographique, les crues et les inondations peuvent se produire et provoquer des dégâts et des dramatiques catastrophes qui se manifestent surtout par :

- L'érosion des cours d'eau et des sols parfois fertiles et cultivés.
- L'étranglement des cultures en plaine où l'eau qui a débordé peut rester durablement ce qui menace les récoltes par une submersion totale des champs qui seront perdus.
- La destruction des forêts que différents travaux ont montré que lorsque les inondations sont violentes, les forêts sont détruites sur de vastes surfaces mettant en place des formations peu denses et plus fragiles.
- La modification de la configuration du cours d'eau par la présence des sapements ou les accumulations de galets chassés par à-coups lors des fortes crues.
- La destruction d'ouvrages d'arts (barrages, ponts), de voies de communication (routes et chemin de fer) et de construction (bâtiments collectifs, usines etc.).
- Des catastrophes avec de nombreux morts. Les mauvais désastres de l'histoire ont certainement ceux provoqués par les crues Honang HO (fleuve Jaune) car la surélévation fréquente au-dessus de la plaine a entraîné d'immenses défluviations au cours desquelles les eaux emportaient tout sur leur passage. Les victimes se comptèrent alors par centaines de milliers.

On retiendra que statistiquement, les dommages dus aux crues sont d'autant plus graves qu'ils sont moins fréquents, car l'homme à la mémoire courte, ou obéit à des considérations économiques à court terme qui l'amènent à négliger le phénomène ou à admettre ses inconvénients. [11]

I.3.8. Causes et types d'inondations catastrophiques 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 telles que les inondations de Mars 1973 sur l'Est Algérien, de Janvier 1992 sur le centre Algérien, de Janvier 1999 sur l'Ouest du Sahara Algérienne, d'Octobre 2000 à Sidi Bel Abbes et de novembre 2001 sur la cote Algéroise (inondation de Bab El Oued), , d'Octobre 2011 à El Bayadh. Ces événements sont imprévisibles dans le temps et dans l'espace et ils constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social. [9]

Les précipitations se caractérisent en Algérie par une très forte irrégularité tant interannuelle que saisonnière entraînant ainsi des étiages extrêmement sévères des cours d'eau et des fortes crues et des inondations engendrant des dégâts humains et matériels considérables. La genèse des crues et leurs impacts sur l'environnement se varient d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols qui les caractérisent. [8]

D'une manière générale, les causes de formation des inondations survenues en Algérie peuvent être classées en trois types:

- 1) Causes liées à des **situations météorologiques remarquables** se traduisant par une forte pluviosité tels que les inondations de décembre 1957 des bassins du Mazafran et du Sebaou, de l'automne 1969 en Algérie et en Tunisie, de Mars 1974 des bassins versants de l'Algerois et du Sebaou, de Décembre 1984 sur tout l'Est Algérien, de 1997 du bassin de la Mekerra à Sidi Bel Abbés et les inondations de 18 avril 2007 de Moulay Slissen etc. [8, 9, 1]
- 2) Causes provoquées par des **facteurs liés à l'effet de l'homme** : la défaillance des réseaux d'assainissement et de collecte des eaux pluviales, le gonflement des oueds par les débris et les détritiques sont autant de facteurs qui provoquent des dégâts lors des averses saisonnières ; les cas de la ville de Tiaret inondée presque à chaque hiver et la plaine du Mzab ou des inondations se produisent tous les 02 à 03 ans illustrent parfaitement l'influence de ces facteurs dans l'apparition du phénomène d'inondation [8, 9, 1]
- 3) Causes produites dans des **régions présentant un environnement topographique défavorable** comme le cas des villes traversées par des oueds (Bordj Bou Arréridj, Oued R'hiou, Sidi Bel Abbés) ou **situées au pied d'une montagne** (Ain Defla, Batna, Medea). Ces agglomérations à forte population et sous l'effet d'une urbanisation anarchique et non réglementée présentent des grands risques, des pertes humaines et des destructions de constructions sont enregistrées à chaque inondation aussi légère qu'elle soit [8, 9, 1]

Ces inondations selon les caractéristiques des crues, leurs durées et leurs étendues sont de deux types:

- **Inondations engendrées par des crues torrentielles** : elles affectent les petits bassins versants de quelques dizaines de Km² et elles sont le plus souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses issues de phénomènes de convection sous forme de tempêtes orageuses se produisant généralement en automne et été. Les crues de ce type sont particulièrement dangereuses en raison de la soudaineté et de la rapidité avec lesquelles elles se produisent, les ruissellements extrêmement rapides et violents peuvent intervenir moins d'une heure après la pluie et les débits des oueds passent de quelques m/s à plusieurs milliers de m /s en 02 ou 03 heures seulement. L'inondation de la ville de Oued R'hiou, (le 20 octobre 1993) où 20 minutes de pluies ont fait 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus, est l'exemple parfait de ce type de crues. [8]
- **inondations des grands bassins versants** : elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur des grandes étendues et caractérisées par leur quantité et leur

durée qui peut atteindre 10 à 15 jours. Les crues sont massives, lentes et à évolution facilement prévisibles sauf lorsqu'elles sont brutalement aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides. En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai [8]

I.4. Connaissance des enjeux et de vulnérabilité

Le terme d'enjeux désigne les personnes habitant la zone inondable, les biens de toute nature, les cultures et les animaux d'élevage, les activités économiques. Tandis que l'étude de ces enjeux consiste à les recenser, les décrire et les localiser, selon des typologies plus ou moins précises. Néanmoins le terme d'enjeux ne devrait pas être réduit à l'existant, il est parfois pertinent d'apprécier le potentiel de développement des zones inondables, on nomme ces enjeux du futur ; les « enjeux de développement ». La distinction entre ces deux natures d'enjeux est la garantie d'inscrire la réflexion sur la politique globale de gestion du risque dans une perspective de recherche d'alternative au développement hors zone inondable, donc de fournir une meilleure base à la concertation. [7]

Cependant, il n'existe pas une définition unanimement reconnue du concept de la vulnérabilité même qu'il existe un relatif accord au sein des principales instances internationales (Office of the United Nations Disaster Relief) pour **définir la vulnérabilité comme le degré de perte (de 0 à 100) résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels**. La mesure utilisée pour la perte dépend de l'élément menacé : la vulnérabilité peut être mesurée par la proportion de personnes tuées ou blessées par rapport à la population totale, par le coût de la réparation, ou encore par le degré de dommage physique défini par une échelle appropriée. Pour un grand nombre d'éléments, comme la construction, la perte peut être définie en termes de proportion des bâtiments ayant subi un certain niveau de dommage. On constate que les discours et les définitions oscillent entre deux pôles :

- ❖ Soit la vulnérabilité est entendue comme la quantification des enjeux. Mais les méthodes de quantification sont développées dans différentes approches ;
- ❖ Soit la vulnérabilité permet de différencier les différents modes d'occupation du sol, en fonction de leur plus ou moins grande tolérance aux inondations. Là, les approches sont plus techniques, plus opérationnelles. [7]

I.5. La protection contre les inondations

La démarche à utiliser dans la lutte contre les inondations se base sur trois principales démarches :

- Planifier pour Prévenir.
- Veiller pour Prévoir.
- Aménager pour Protéger

I.5.1 Différents types de protection

I.5.1.1 Protection directe

La protection directe consiste à intervenir directement sur le site menacé par la mise en œuvre des actions suivantes :

- **Curage** qui permet une nette amélioration des conditions d'écoulement suite à l'élimination de tous les obstacles et les dépôts entravant l'écoulement des eaux dans le cours d'eau. Le débroussaillage est également nécessaire à la traversée des agglomérations pour des raisons sanitaires et en sections courantes pour diminuer la rugosité et accroître la débitance.
- **Recalibrage** qui permet d'élargir et d'approfondir les sections des cours d'eau pour augmenter leur capacité d'évacuation des eaux et assurer une section mouillée répondant aux critères de protections désirées.
- **Renforcement des ouvrages** de franchissements des Oueds et modification de leurs caractéristiques et des systèmes existants en cas de leur insuffisance (ponts, dalots, buses...).
- **Réalisation des canaux** permettant de régénérer le couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé par des bâtiments ou par la voirie.
- **Protection des berges** qui comprend tout ouvrage visant à maintenir la stabilité des terres en dépit de l'action de l'eau. Les berges sont en effet attaquées par des courants perturbateurs générés par les crues. De même, les terres glissent par suite de l'infiltration de l'eau après le retrait de la crue. La protection des berges est également nécessaire au voisinage de certains ouvrages tels que les ponts.
- **Endiguement des oueds** par la réalisation de digues qui longent le cours d'eau sur ses deux berges. Cette opération est aisément réalisable par les ressources locales en main-d'œuvre et en matériaux. Par ailleurs, ce type de protection permet en outre de réaliser une protection sélective. Il peut en effet être établi graduellement en commençant par mettre à l'abri, de la plupart des crues, la partie la plus riche et la plus peuplée des zones exposées. En contrepartie on notera que ce procédé de protection présente l'inconvénient de provoquer une surélévation souvent notable du niveau des eaux et rend en outre plus difficile le drainage des terrains bas.

I.5.1.2 Protection indirecte

La protection indirecte par contre, consiste à intervenir plus loin des sites menacés, à l'extérieur du périmètre d'aménagement, en réalisant des ouvrages sur les oueds responsables des inondations :

- **Création des canaux périphériques** de dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité des eaux d'un oued vers un autre.

- **Réalisation des barrages ou seuils** pour stockage et laminage des crues à l'amont des zones menacées. Le volume et la capacité de laminage du barrage devront être optimisés de manière à répondre au-mieux à la protection envisagée.
- **Aménagement des bassins versants** contre l'érosion par des méthodes biologiques et/ou par la construction de seuils en gabions qui permettent la réduction des vitesses d'écoulement et le dépôt des sédiments en amont.

Conclusion :

Le risque d'inondation est la combinaison :

- de la probabilité d'occurrence d'un phénomène d'inondation sur un territoire donné ("l'aléa" inondation).
- de la présence sur ce territoire d'enjeux qui peuvent en subir les conséquences (population, enjeux économiques, patrimoine culturel et environnemental).

Le risque d'inondation est donc lié à la présence humaine en zone inondable. En raison de l'implantation progressive de différents types de constructions, d'équipements et d'activités dans l'espace alluvial façonné par les cours d'eau ou par la mer, l'homme s'est exposé aux inondations.

En zone inondable, le développement urbain et économique constitue l'un des principaux facteurs aggravants, par augmentation de la vulnérabilité. De plus, les aménagements (activités, réseaux d'infrastructures) modifient les conditions d'écoulement (imperméabilisation et ruissellement), tout en diminuant les champs d'expansion des crues. Sur les cours d'eau les aménagements (pont, enrochements) et le défaut chronique d'entretien de la part des riverains, aggravent l'aléa.

Enfin, l'occupation des zones inondables par des bâtiments et matériaux sensibles à l'eau peut générer, en cas de crue, un transport et un dépôt de produits indésirables, susceptibles de former des embâcles. Leur rupture peut engendrer une inondation brutale des zones situées en aval.

**Collecte, prétraitements et combinaison des données
image pour la détection des changements**

II.1. Introduction :

Grâce à la disponibilité des données satellitaires et la répétitivité de leur acquisition, l'analyse des images multi-temporelles a permis d'élargir les applications de la télédétection pour inclure la détection du changement de la surface terrestre et le suivi des phénomènes dynamiques.

La détection du changement en télédétection est le processus qui permet d'identifier les différences d'états d'un objet ou un phénomène en effectuant sur lui des observations à plusieurs dates. Elle implique essentiellement la capacité de quantifier les effets temporels en utilisant des ensembles de données multi-temporelles c'est à dire des images prises à des dates différentes.

La détection des changements est utile pour divers domaines. Parmi ses applications on peut citer : l'évaluation de la déforestation et de la régénération, le suivi des récoltes, l'étude des changements dans la phénologie de la végétation et la détection du stress au niveau des cultures, l'évaluation des dommages causés par les catastrophes (feu de forêt, tremblement de terre, **inondations**), le suivi du changement du sol et de l'occupation du sol, le suivi du développement des zones urbaines, la mise à jour des cartes thématiques et topographiques.

Afin de mieux expliquer ces notions, nous commençons ce chapitre par la présentation d'un état de l'art sur les méthodes de détection des changements, puis dans un but de les appliquer pratiquement sur nos données, on présente d'abord les prétraitements nécessaires ensuite les résultats obtenus.

II.2. Détection des changements par imagerie spatiale: état de l'art

La détection de changements dans une scène permet l'analyse de phénomènes terrestres, à travers d'observations. Ces changements peuvent être de différents types, de différentes origines et de durées variées. La détection de changements permet, entre autres, d'étudier l'occupation des sols ou d'établir une cartographie des dommages suite à une catastrophe naturelle. On peut distinguer trois grandes familles méthodologiques pour l'analyse de changements : méthodes bi-temporelles, méthodes dites mixtes et méthodes d'analyse des séries temporelles, dans notre cas nous avons optée les méthodes bi-temporelles à cause des données disponibles.

II.2.1. Les méthodes bi-temporelles

Ces méthodes permettent de situer et d'étudier des changements ayant lieu entre deux observations. Le phénomène à caractériser est généralement court dans le temps, et les observations fournissent une information sur l'état de la scène avant le changement, et une après. Ce type de méthodes inclut la différenciation d'images le ratio d'images ou encore l'analyse par vecteurs de changement.

	Travaux de recherches réalisés	Auteurs / Dates
Méthode par différence d'image	Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection	Lorenzo Bruzzone, Diego Fernández Prieto, 2000
	Remote Sensing and Spatial Metrics Comparison of change detection methods in terms of threshold determination	Taewoo Kim, Yongcheol Suh, Yang-Won Lee 2000
	An adaptive semi parametric and context based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images	Lorenzo Bruzzone and Diego Fernández Prieto 2002
	Robustness of Change Detection Algorithms in the Presence of Registration Errors	Ashok Sundaresan, Pramod K. Varshney, and Manoj K. Arora 2007
	Monitoring and Analysis of Urban Land Cover Changes over Stockholm Region between 1986 and 2004 using	Karoliina Kolehmainen October 2008

Analyse par vecteur de changement	Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change Vector Analysis	Jin Chen, Peng Gong, Chunyang He, Ruiliang Pu, and Peijun Shi 2003
	Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne	Samuel CORGNE 2004
	Monitoring and Analysis of Urban Land Cover Changes over Stockholm Region between 1986 and 2004 using Remote Sensing and Spatial Metrics	Karoliina Kolehmainen 2008
	Détection de changements dans des images à très haute résolution spatiale par analyse de texture : application en milieu urbain	Antoine Lefebvre, Thomas Corpetti, Laurence Hubert 2009
Les indices végétation	A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices	John G. Lyon, Ding Yuan, Ross S. Lunetta, and Chris D. Elvidge 1998
	Détection des changements dans les oasis	

	péruviennes, analyse multi temporelle à partir de l'indice de végétation NDVI	Anaïs MARSHALL ; Frédéric BERTRAND 2009
	Vegetation Cover Change Monitoring Applying Satellite Data During 1972 to 2007	Radari, Amiri, Meleki 2010

Tableau. II.1. Travaux de recherches sur la détection des changements par approche bi-temporelle

II.2.2. détection de changements par imagerie spatiale

Cette phase est sensible en ce qui concerne le traitement et l'interprétation des résultats, du fait qu'elle comprend plusieurs méthodes et techniques qui se diffèrent l'une par rapport à l'autre.

Cette phase ne constitue pas une étude comparative dans le sens d'étude algorithmique, mais plutôt, on s'intéresse beaucoup plus à la précision, la rapidité et la simplicité des étapes à suivre dans un objectif de faciliter l'application aux utilisateurs.

La figure suivante présente les principales méthodes pour détecter les changements.

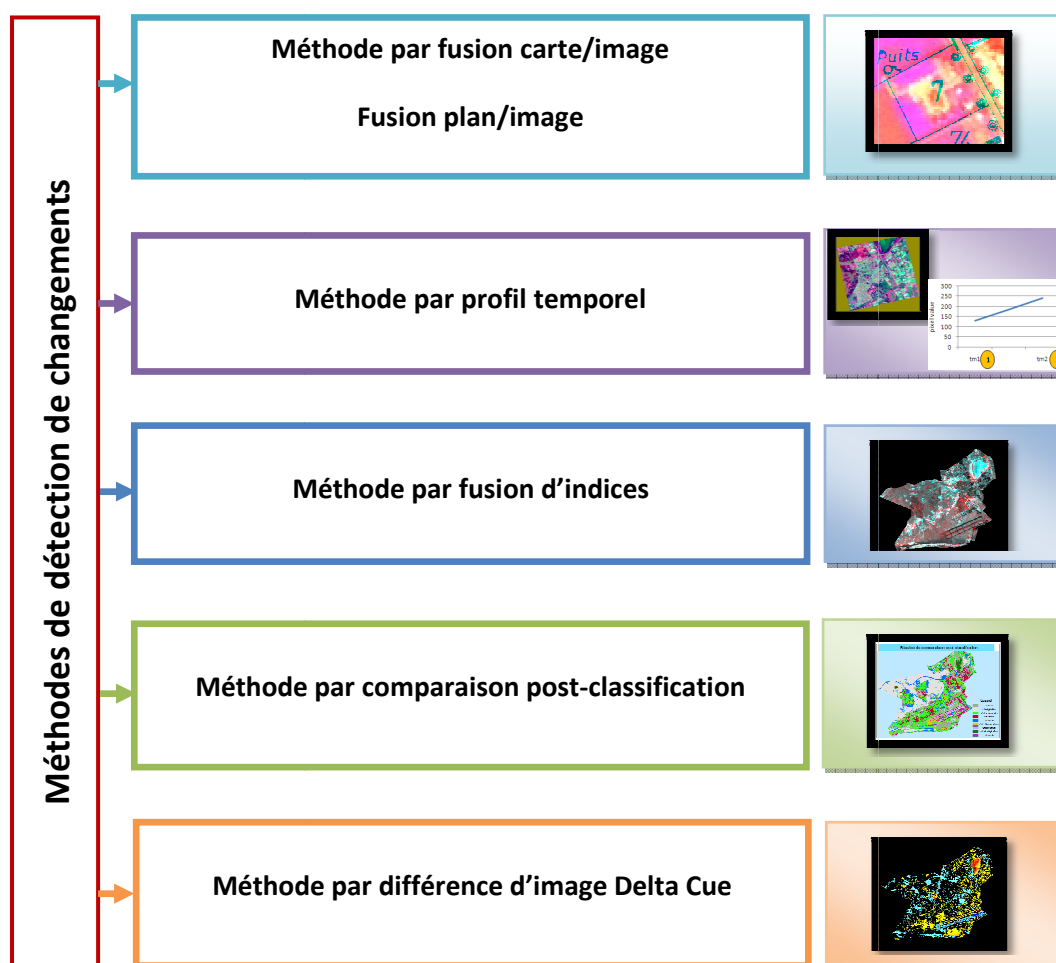


Figure II.1. Méthodes de détection de changements

Avant de passer à l'application de ces méthodes nous avons choisi de présenter notre zone d'étude et les données nécessaires, ces derniers utilisées aussi par la suite dans la confection de la carte d'inondation dans le troisième chapitre.

II.3.Présentation de la zone d'étude

Pour notre problématique, le choix de la zone d'étude est stipulé par la disponibilité des données nécessaires pour la réalisation pratique du projet.

El-Bayadh est une commune de la wilaya d'El-Bayadh, dont elle est le chef-lieu, située à 370 km au sud-est d'Oran, à 520 km au sud-ouest d'Alger et à 500 km au nord-est de Béchar. Elle s'étend sur une superficie de 463,50 km². La population est évaluée à 91632 habitants selon le Recensement Général de la Population et l'Habitat de 2008.

Elle est limitée :

- Au Nord : par la commune de Cheguig.
- Au Sud : Par les communes de Aïn El Orak et Kraakda.
- A l'Est : par la commune de Stitten.
- A l'Ouest : par la commune de Rogassa.

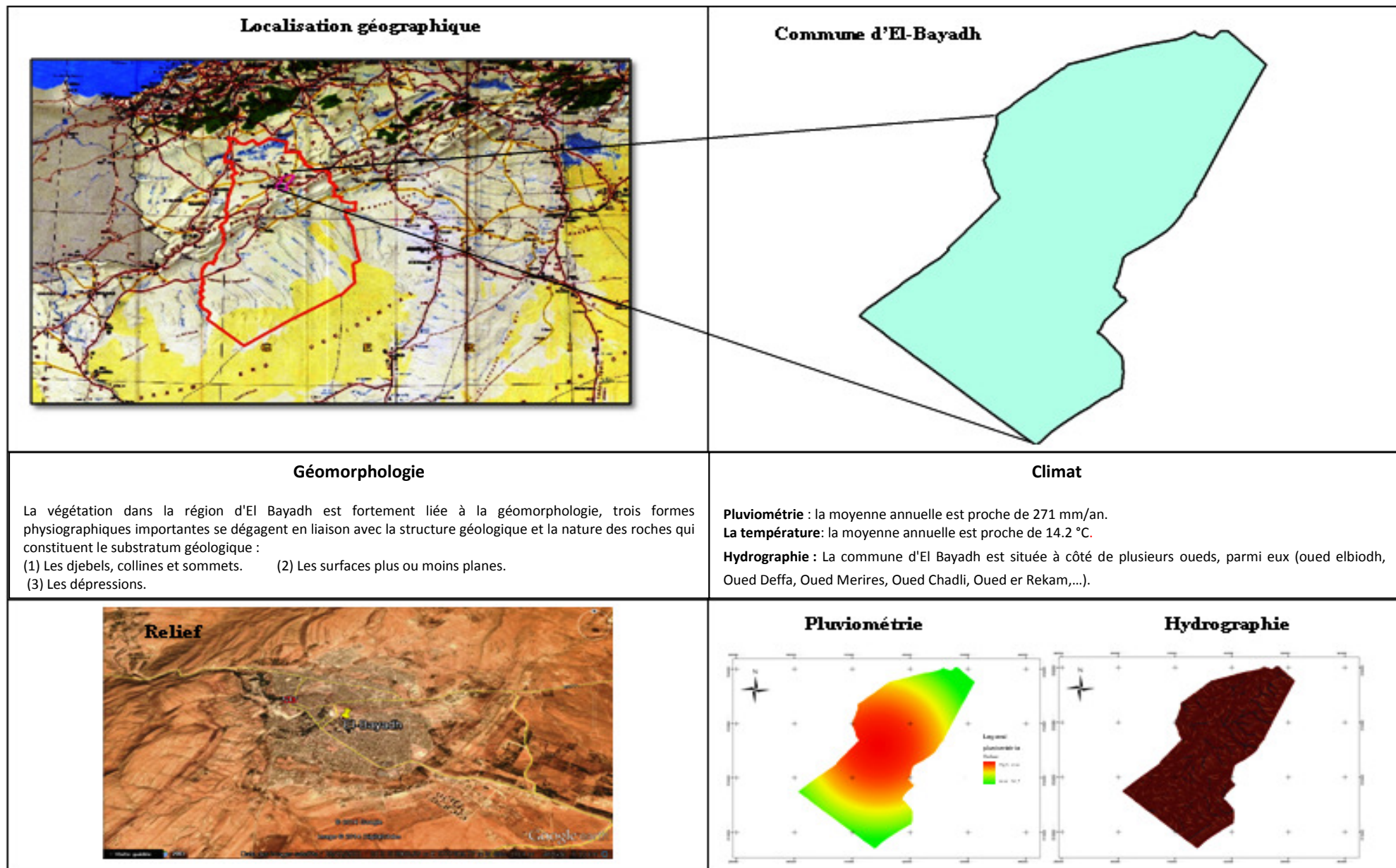


Figure II.2. Présentation de la zone d'étude d'El-Bayadh. [15]

II.4. Typologie des données utilisées

Pour assurer une bonne exécution des applications, nous avons collecté plusieurs données provenant de plusieurs sources, nous allons les classifier d'abord en fonction des organismes fournisseurs, puis en fonction de leur typologie.

Organisme/Direction	Type de données
L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)	carte géologique
L'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT)	Carte topographique
Direction de météorologie (Oran)	Données pluviométriques (1992→2014)
Earth Science Data Interface (ESDI)	Image satellitale

Tableau II.2. Sources de données collectées

II.4.1. Données spatiales

Donnée	Capteur	Mode	Zone	Résolution spatiale (m)	Date d'acquisition
Image satellitale	Landsat TM	Multi-spectral	El-Bayadh	30	2001
Image satellitale	Landsat TM	Multi-spectral	El-Bayadh	30	2014
MNT Gtopo 90	Radar	Panchromatique	El-Bayadh	90	2008

Tableau II.3. Données spatiales utilisées

II.4.2. Données statistiques

Type de données	Propriétés des données
Mesures pluviométriques	Coordonnées des stations et les hauteurs de pluie.

Tableau II.4. Données littérales et statistiques utilisées

II.4.3. Données cartographiques

Type de données	Echelle	Source d'acquisition
Carte topographique (extrait)	1/500 00	INCT (Cadastre de wilaya d'El-Bayadh)
Carte géologique (extrait)	1/200 000	ANRH

Tableau II.5. Données cartographiques utilisées

II.5. Prétraitements des données collectées :

Le but principal de cette phase est de collecter le maximum de données, auprès des différents établissements cités précédemment.

II.5. 1. Réalisation de la carte d'occupation des sols

Pour ces données, une amélioration de la radiométrie a été appliquée sur l'image Landsat TM afin d'améliorer son contraste qui est nécessaire pour le choix des sites d'entraînement lors de la classification supervisée. Le type de correction radiométrique est le stretch linéaire. L'imagette a été reprojctée du système WGS 84 vers le système Nord Sahara 1959 UTM.

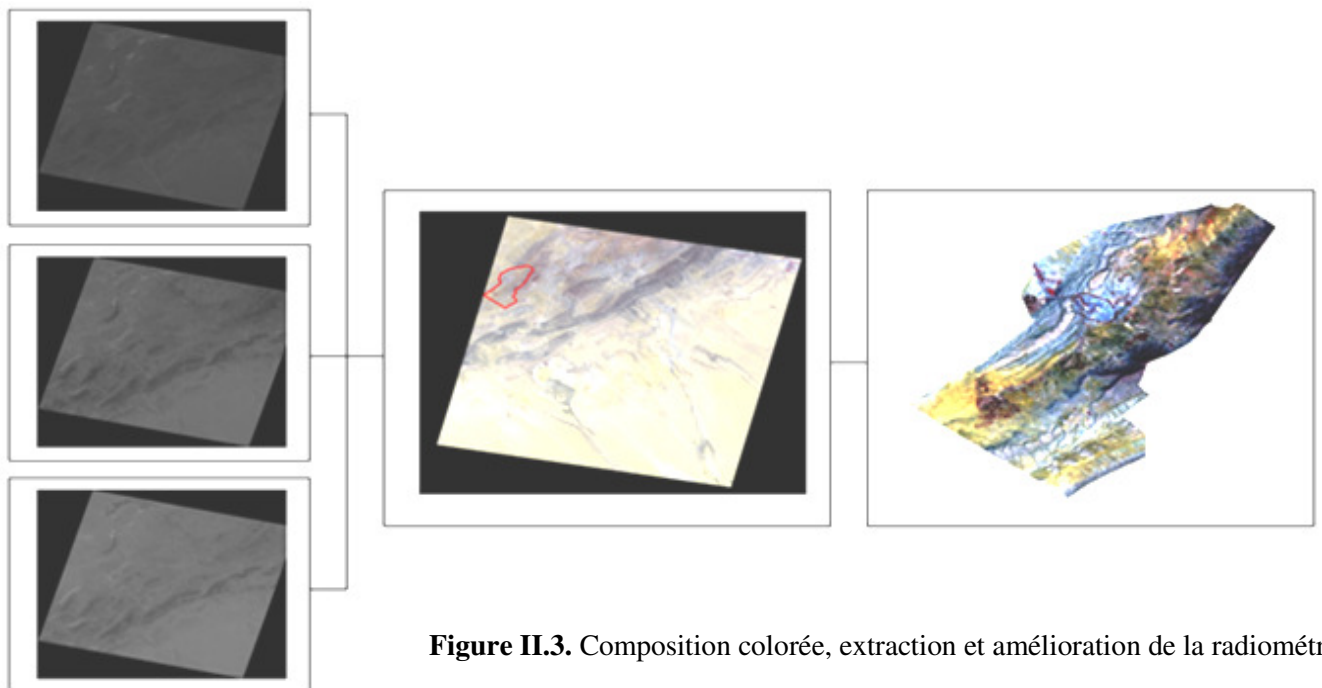


Figure II.3. Composition colorée, extraction et amélioration de la radiométrie

Après la correction géométrique et radiométrique, nous avons procédé à la classification de l'image sous le logiciel Erdas, en appliquant l'algorithme de maximum de vraisemblance pour ressortir quatre classes principales : sol, végétation, urbain, carrière.

Les étapes suivies sous Erdas Imagine pour la classification supervisée sont :

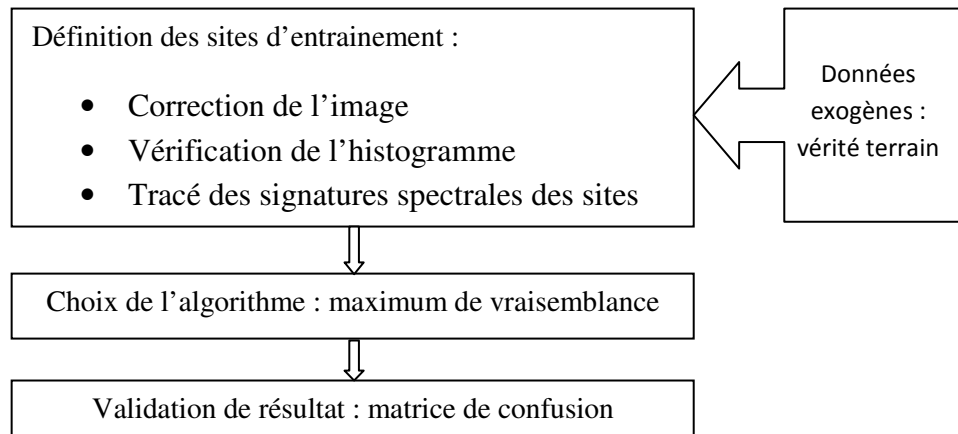


Figure II.4. Etapes de classification supervisée

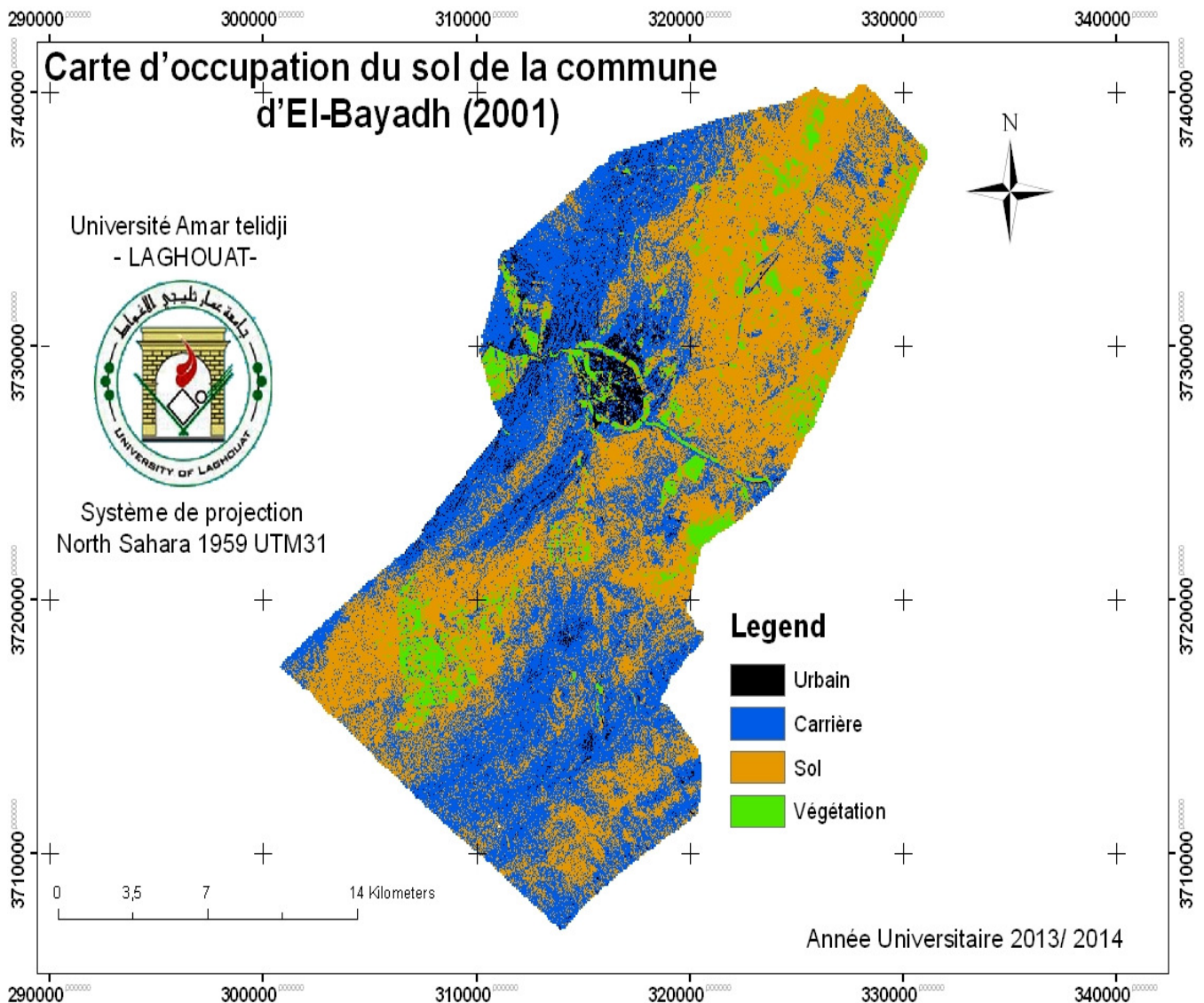


Figure II.5. Carte d'occupation des sols de la commune d'El-Bayadh (2001)

II.5. 2. Modèle numérique de terrain : amélioration et produit dérivé

Le modèle numérique de terrain acquis est celui Gtopo90, sa précision est limitée, pour cela nous avons procédé à appliquer une méthode d'amélioration. En raison de présence d'une carte topographique, on a pu améliorer le Modèle Numérique de Terrain, Gtopo 90, sur la base des courbes de niveaux et des points cotés digitalisés sur cette carte. De même, ce modèle a été reprojété du système WGS84 vers le système Nord Sahara 1959. Le premier

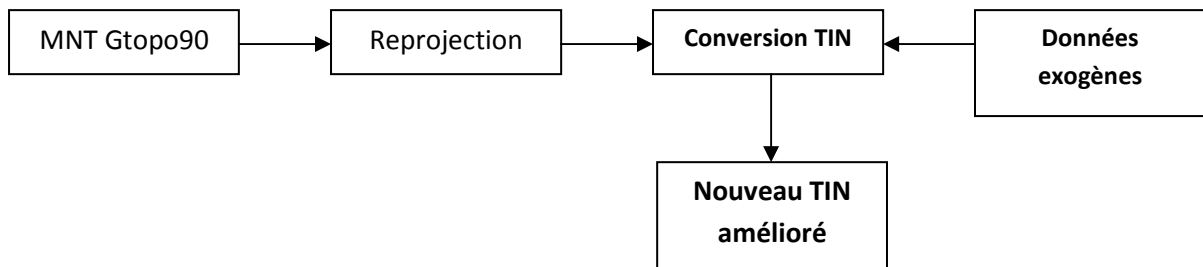
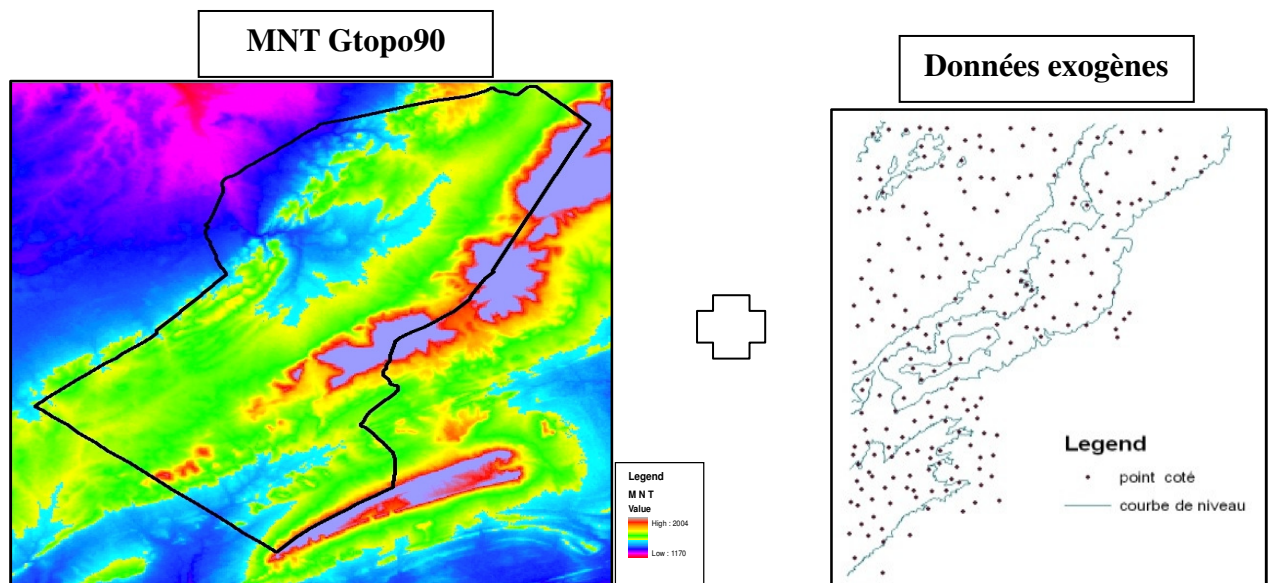


Figure II.6. Etapes d'amélioration du MNT

produit à générer est la carte des pentes.



MNT TIN amélioré

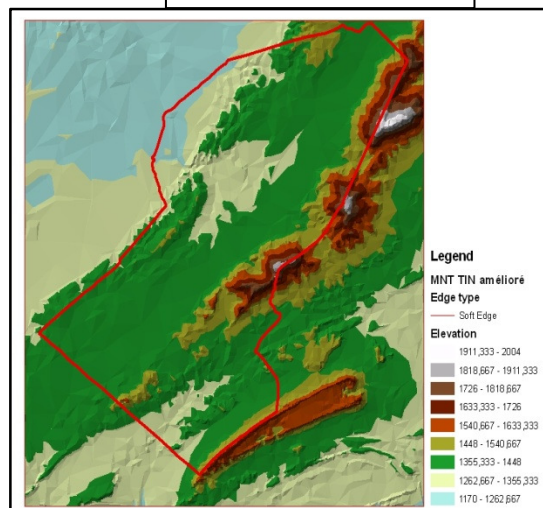


Figure II.7. MNT TIN amélioré

La carte des pentes est une couche essentielle dans les études des risques d'inondations, du fait qu'elle définit la topographie de terrain sous forme de classes. Pour notre cas la carte a été créée sous le logiciel ArcGIS.

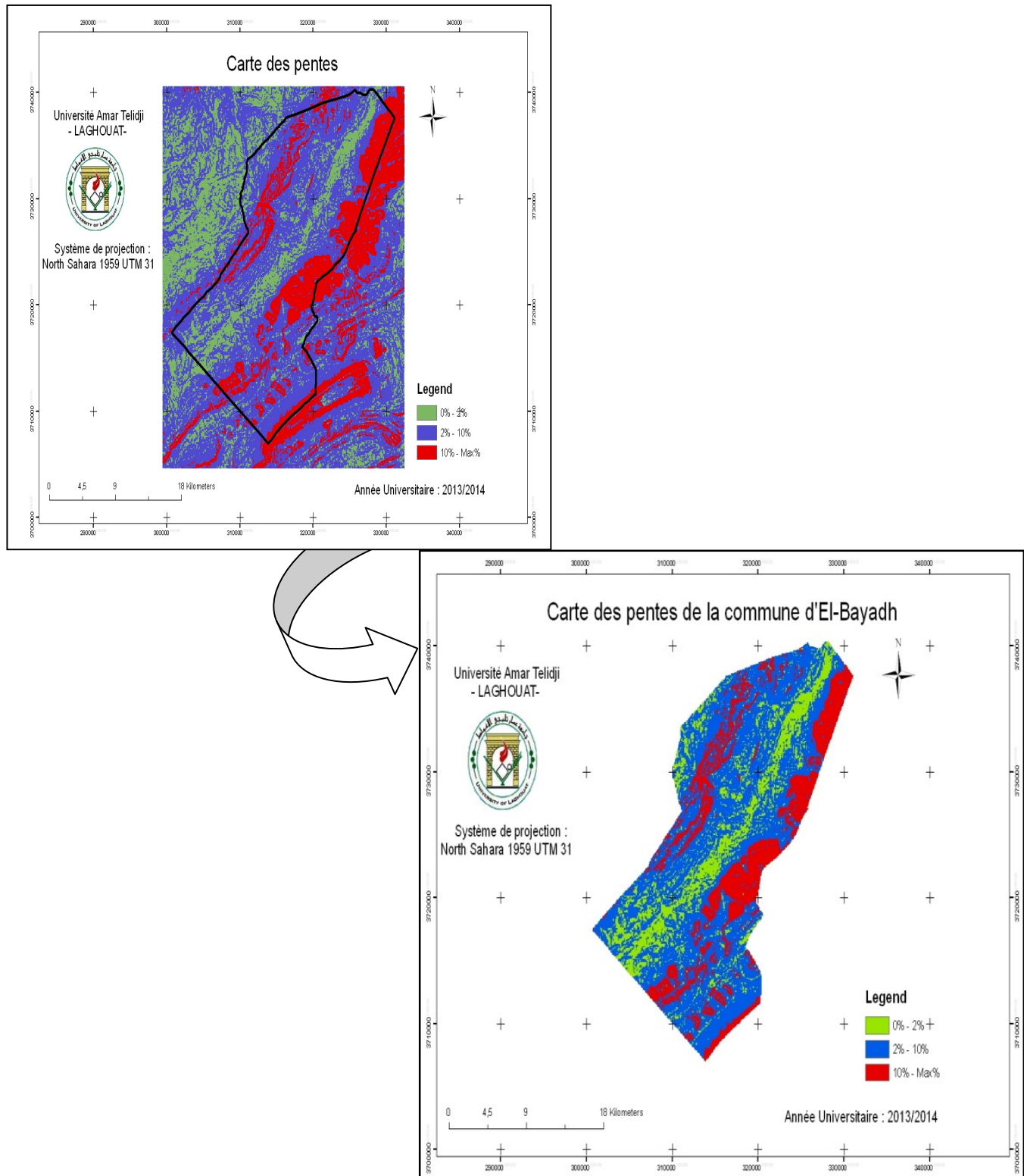


Figure II.8. Carte des pentes de la commune d'El-Bayadh

- **Carte des bassins versants**

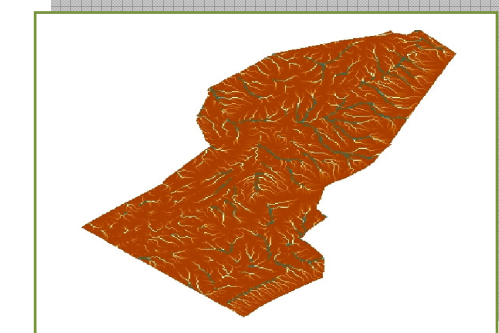
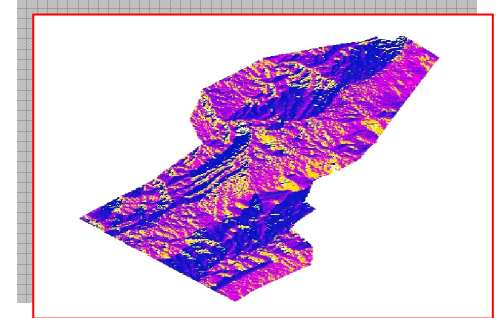
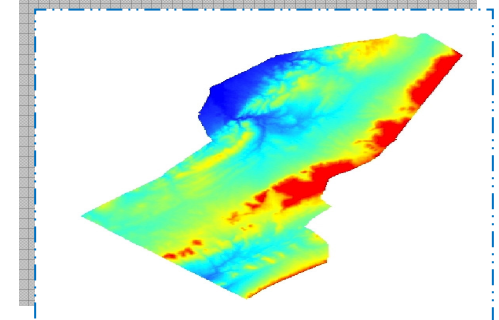
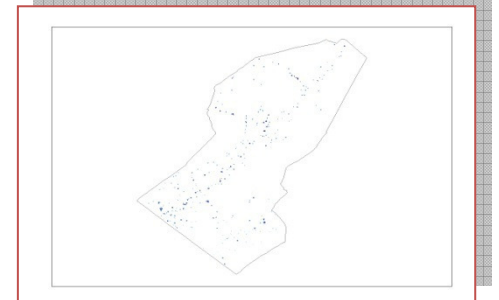
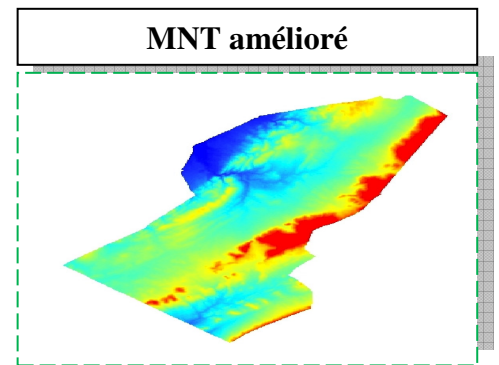
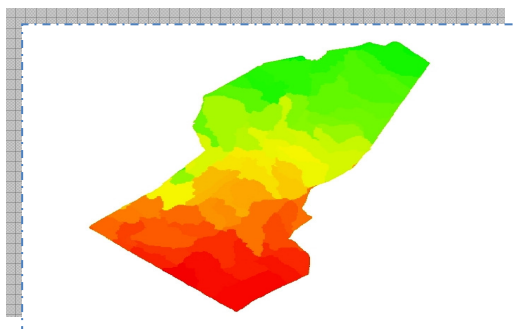
Cette carte possède des applications multiples, dans notre cas nous l'avons utilisé pour l'intégration de risque d'inondation selon les bassins versants. Pour arriver à cette délimitation nous devons disposer d'une grille d'altitude (MNT), les étapes suivies sous ArcGIS sont :

Identification des puits : mise en évidence, comptage des cellules identifiées comme étant des points bas et pouvant perturber le calcul d'écoulement.

Correction du MNT : cette étape permet de combler les cellules identifiées comme étant des points bas.

Calcul des directions des écoulements à partir du MNT corrigé.

Accumulation des écoulements : cette étape permet de calculer la quantité d'eau accumulée dans la cellule du fait des écoulements en amont.



Délimitation des bassins versants : cette étape permet de générer une grille contenant la délimitation des bassins versants par un nombre de cellules minimum.

- **Carte d'indice de végétation**

L'indice de végétation normalisé est un indice qui permet de cerner l'objet végétation, en se basant sur le canal rouge et proche infrarouge de l'image TM. Il est utilisé dans cette étude comme couche d'information sur les espaces végétaux et non végétaux dans le processus de réalisation des cartes de risque majeurs.

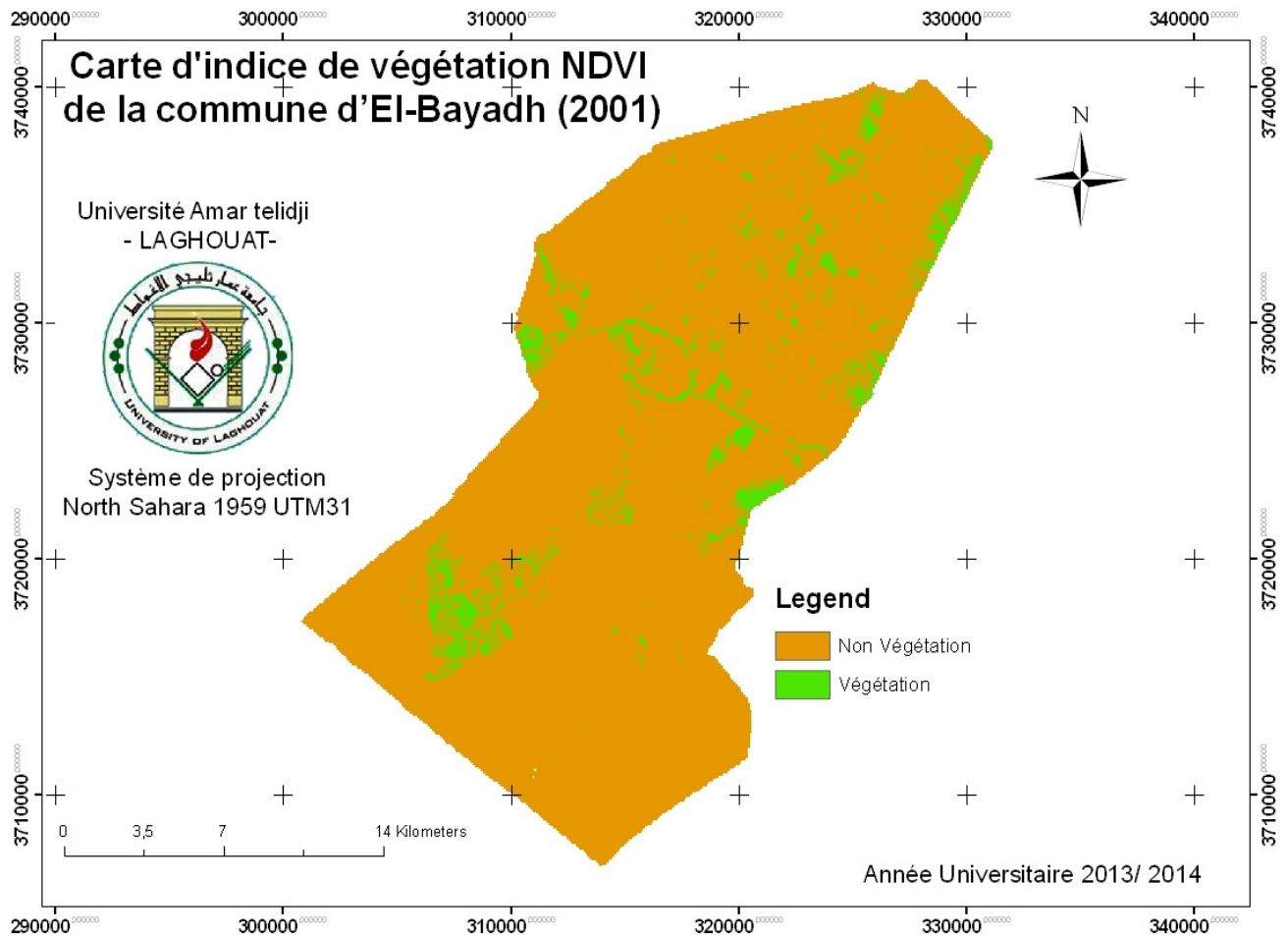


Figure II.10. Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh (2001)

II.5. 3. Carte géologique

Nous avons extrait la carte géologique qui correspond à l'étendu de la de la commune d'El-Bayadh, cette extraction nous a permis d'identifier les roches composants les unités géologiques et les classer selon leur aptitude à l'inondation.

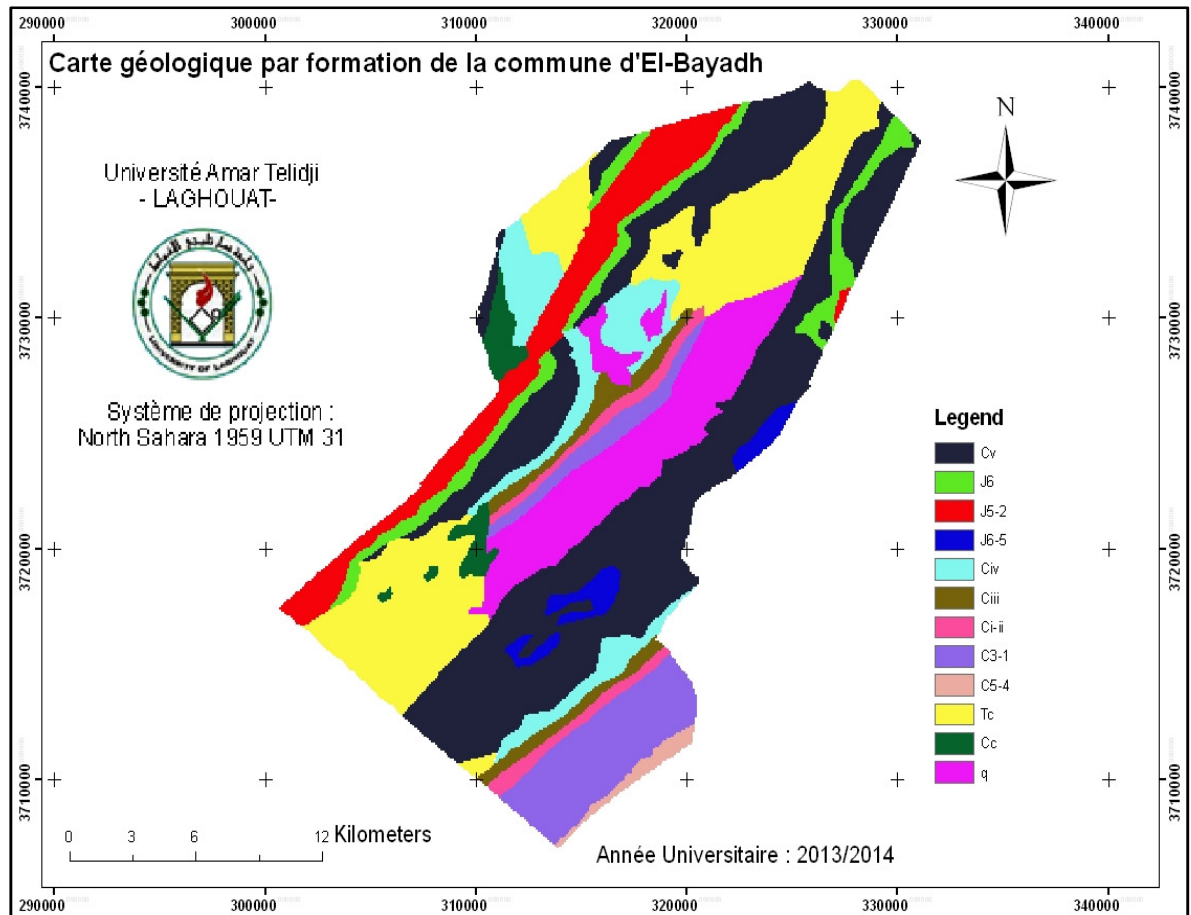


Figure II.11.Extrait de la carte géologique de la commune d'El-Bayadh

II.5. 4. Données météorologiques

Grace aux informations ramenées auprès de la direction régionale de météorologie d'Oran, nous avons effectué une interpolation des mesures de pluviométrie à partir de dix stations de : El-Bayadh, Naama, Ain-Sefra, Laghouat, Hassi R'mel, Ghardaia, Saida, Tiaret, Bechar et Adrar.

L'interpolation effectuée est de type Inverse de la Distance Pondérée (IDW) sous ArcGIS. Elle est basée sur le principe suivant : les points proches tendent à être similaires, ainsi les points éloignés auront un poids moindre dans les calculs.

L'extraction à partir de la carte globale, montre qu'il y a une classe de pluviométrie pour la commune d'El-Bayadh, la classe correspond à une précipitation faible de 361 mm/an.

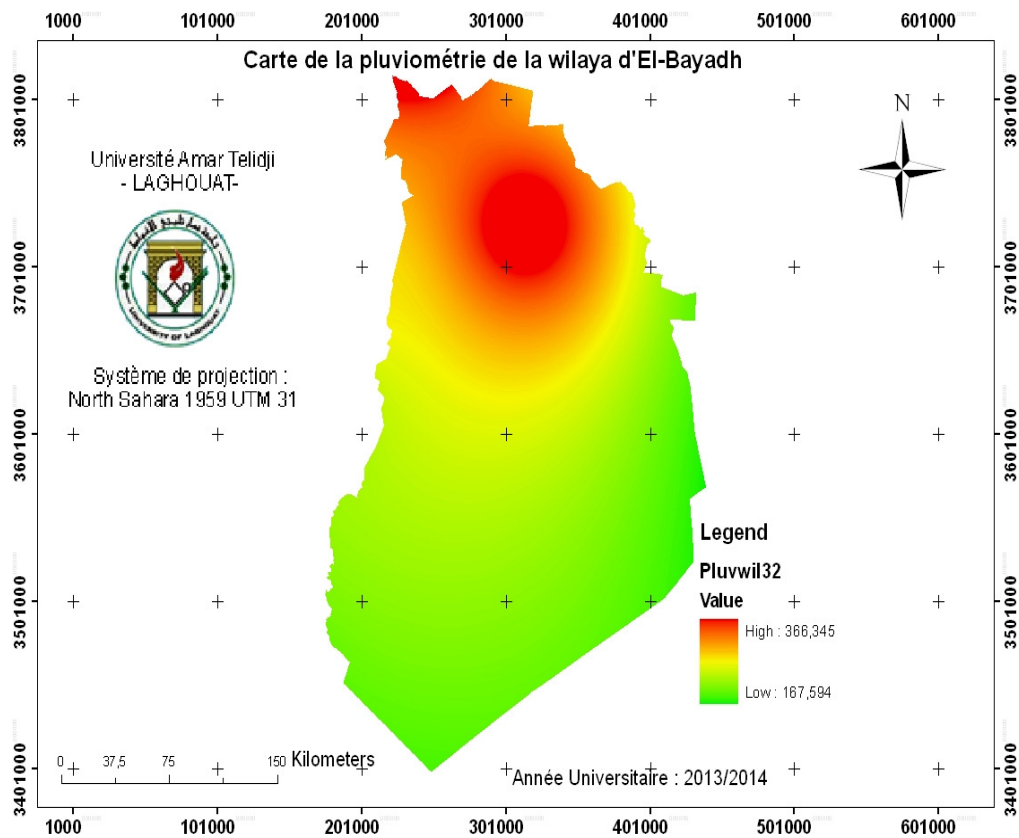
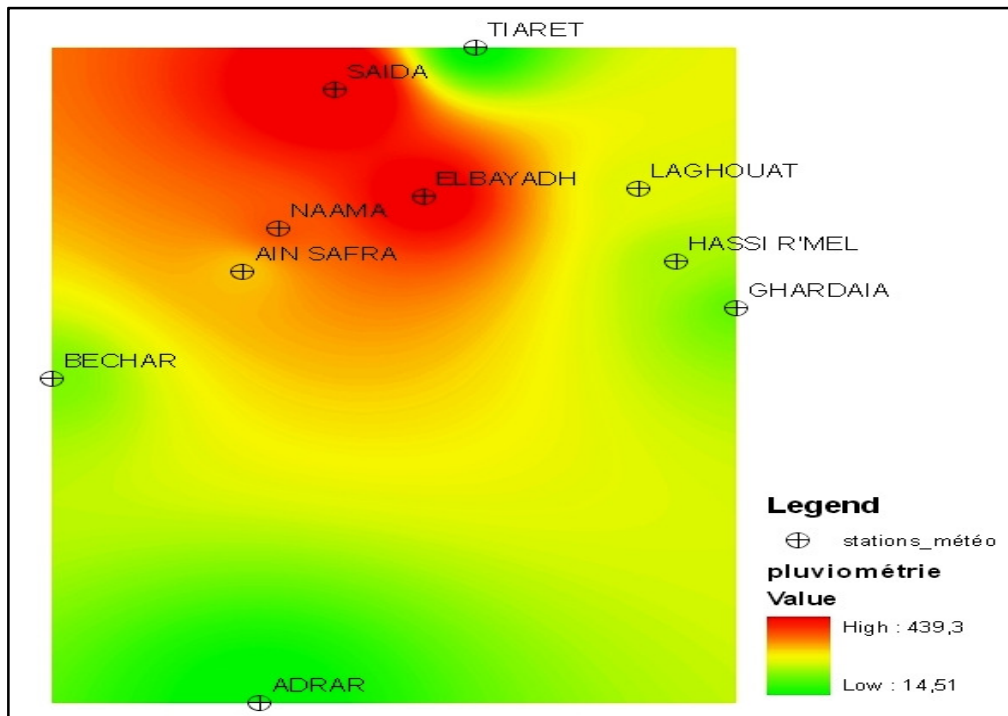


Figure II.12. Génération de la carte de pluviométrie et extraction à l'échelle de la wilaya

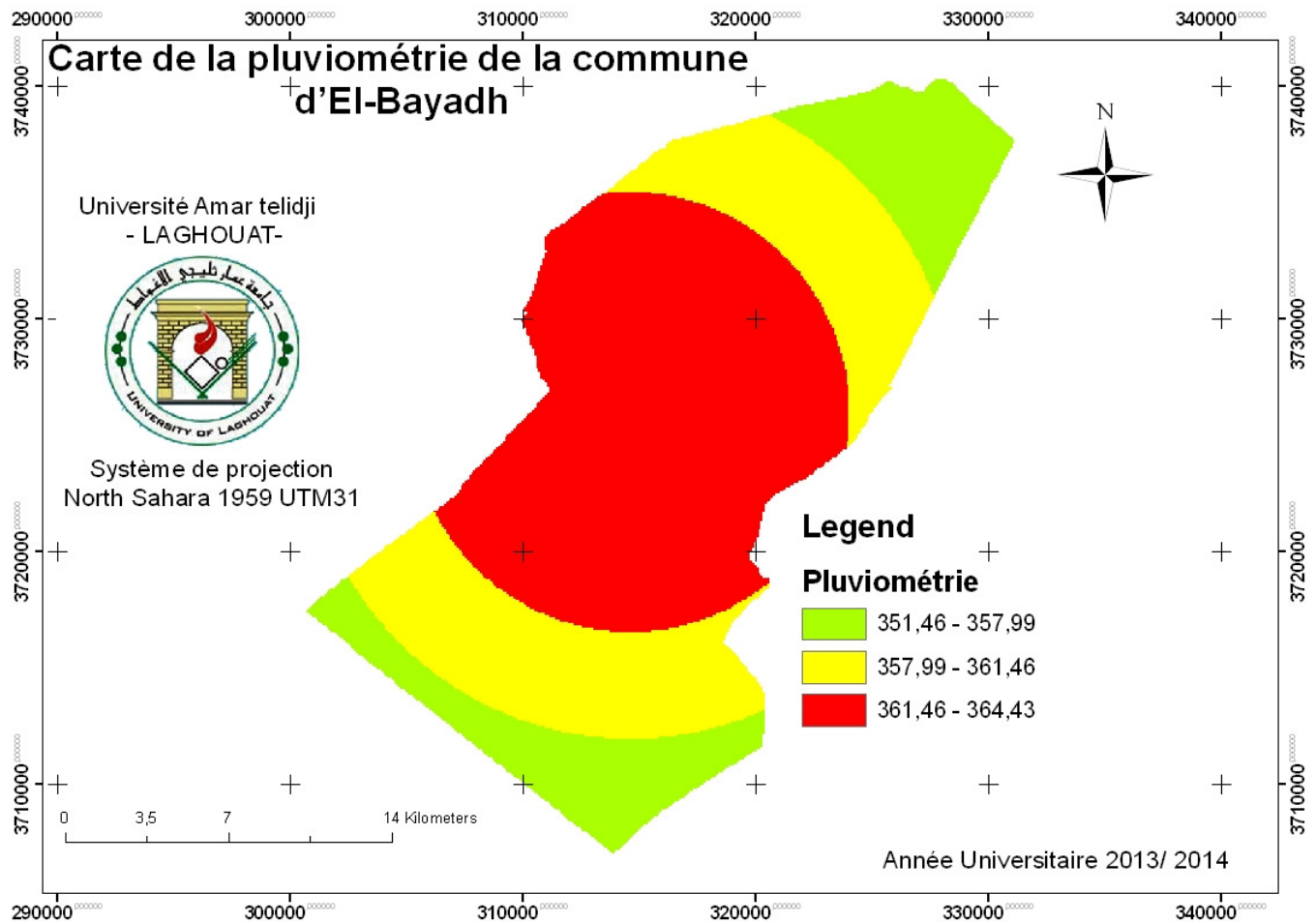


Figure II.13. Carte pluviométrique de la commune d'El-Bayadh

Il existe d'autres données mais nous avons sélectionné ces cinq paramètres pour créer la carte d'aléa. et parmi ces cartes, deux uniquement ont été choisies pour détecter le changement qui sont : la carte d'occupation de sol et l'indice de végétation.

II.6. Méthodes de détection de changements par imagerie spatiale

D'après la figure II.1 il existe 05 méthodes de détection de changement nous avons utilisées deux méthodes : Méthode par fusion d'indices, et Méthode par comparaison poste classification

II.6.1. Méthode par fusion d'indices

L'indice de végétation exploite la signature spectrale de la végétation (réflectance très élevée dans le proche infrarouge et très basse dans le rouge), cet indice constitue un indicateur relativement fiable de l'activité chlorophyllienne de la végétation.

Nous avons appliqué un traitement sur les indices de végétation calculés à partir de nos images bi-temporelles :

- Fusion des deux indices : l'interprétation du résultat obtenu (figure II.15) nous a permis de cerner la végétation (nouvelle et ancienne) d'une manière globale.

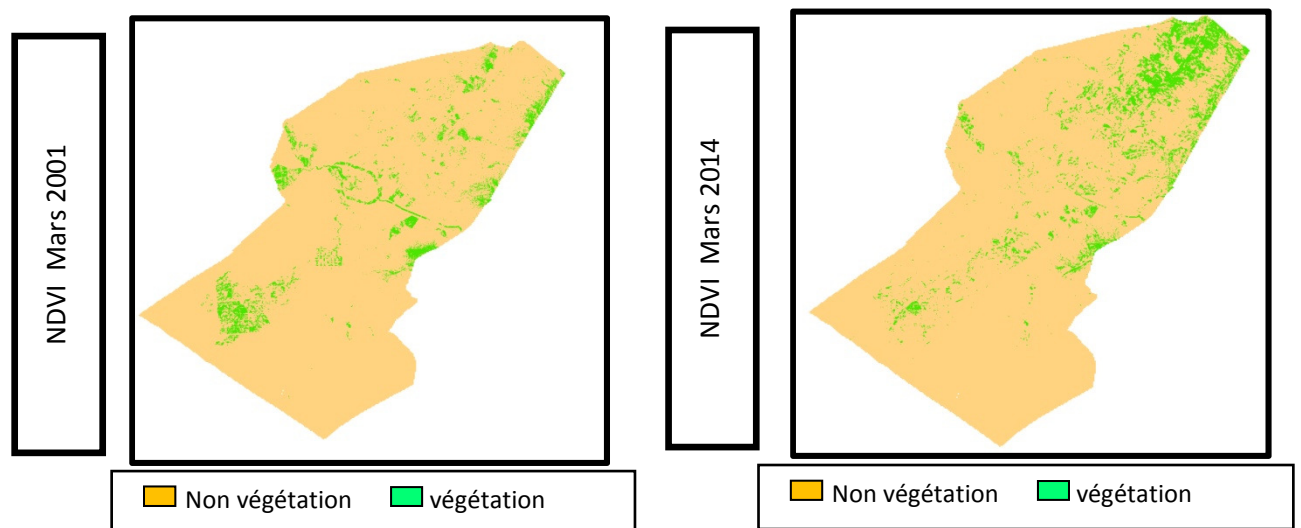


Figure II.14. Les indices NDVI 2001 et NDVI 2014

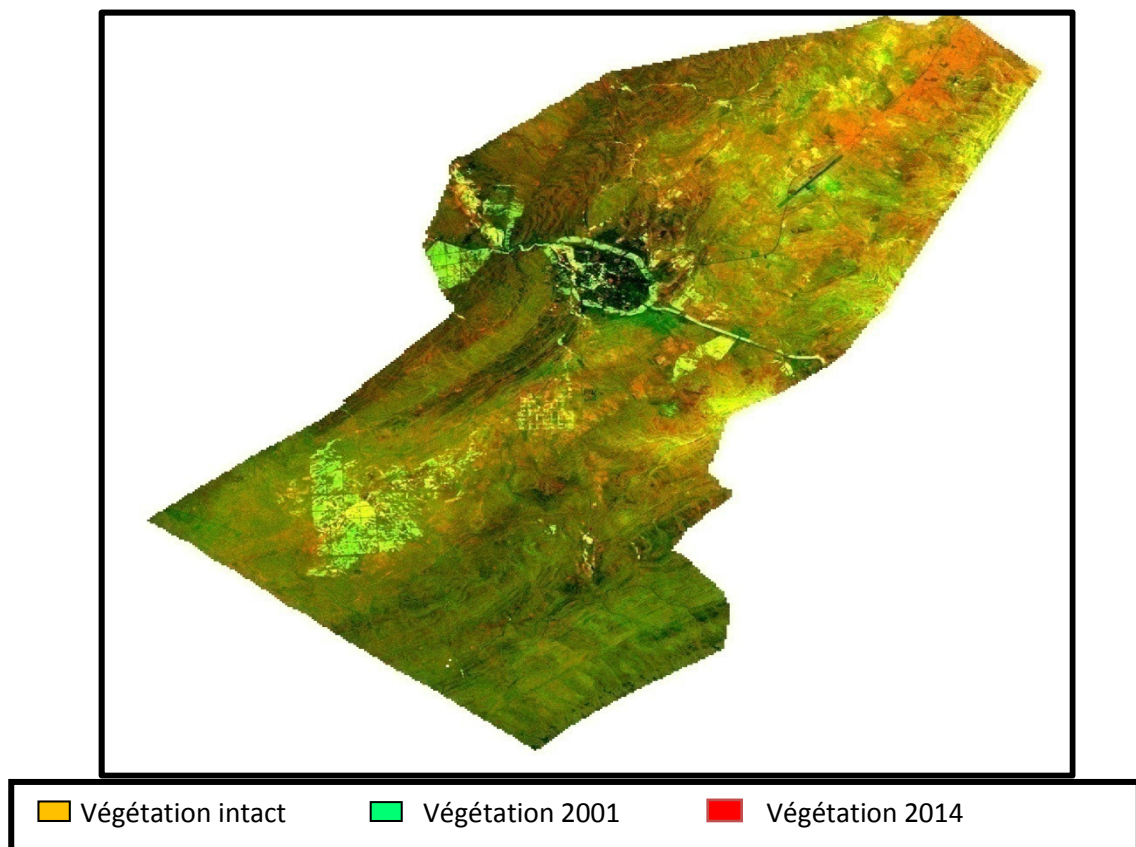


Figure II.15. Fusion des indices NDVI 2001 et NDVI 2014

Cette méthode de fusion, présente l'avantage de quantifier le changement, même si la précision n'est pas meilleure car la quantification se fait sur la base d'un seuillage manuel des deux indices.

Cette solution présente des limites en ce qui concerne la détection du changement pour des objets de petites dimensions.

II.6.2. Méthode par comparaison poste_classification

Les méthodes par comparaison poste_classification fournissent des informations concernant la nature des changements, elles présentent l'avantage de comparer les classes d'objets, paire par paire, ce qui facilite l'extraction des changements avec précision.

L'analyse statistique des résultats des classifications des deux dates permet d'estimer approximativement (selon la quantité de confusion thématique), le taux de changement entre les deux dates.

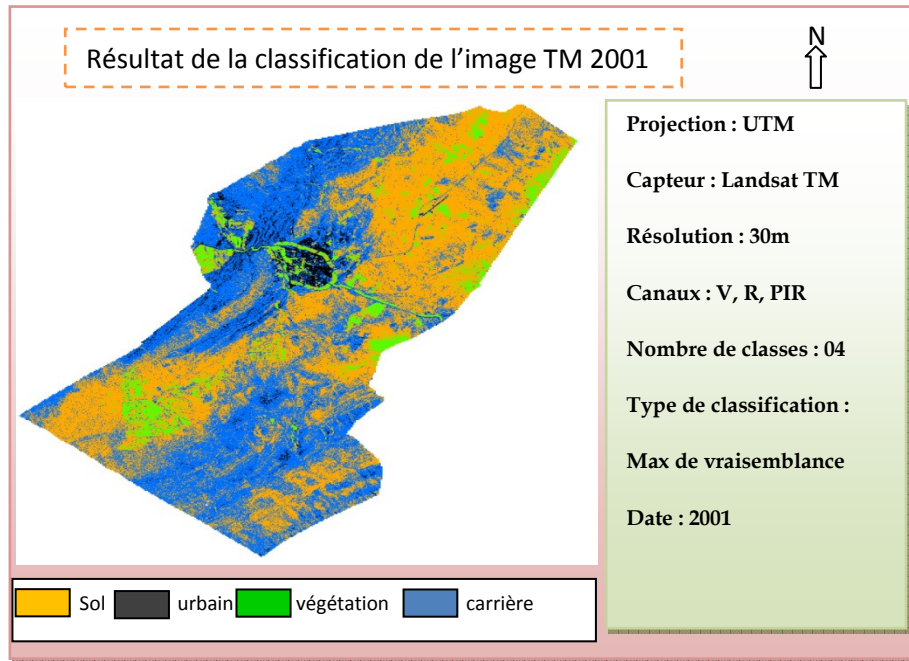


Figure II.16. Résultat de la classification de l'image TM 2001

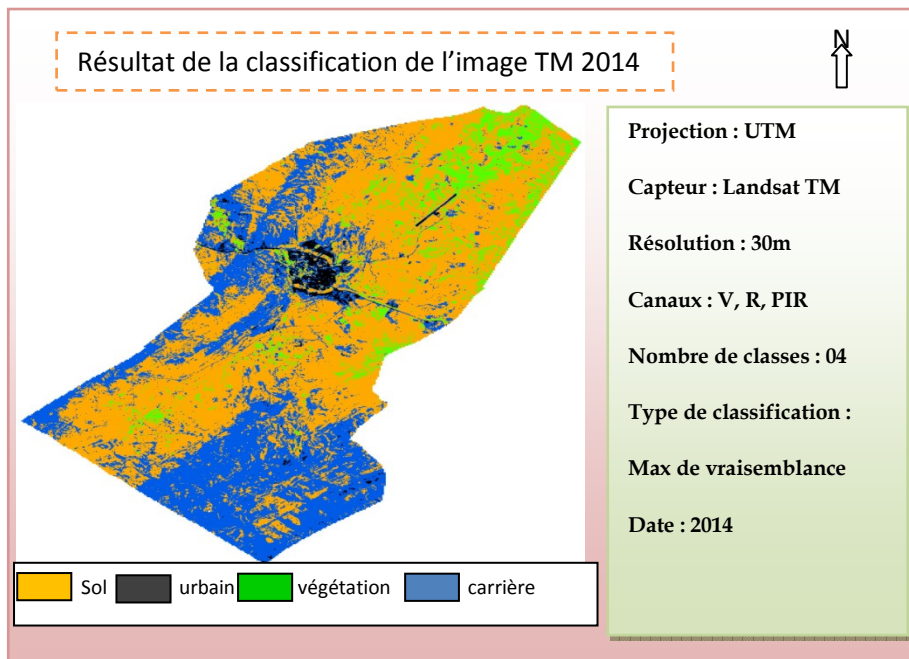


Figure II.17. Résultat de la classification de l'image TM 2014

Pour la comparaison paire par paire, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS 9.3, d'où le résultat obtenu pour des classifications de quatre classes : sol, végétation, carrière, et urbain, comprend 16 combinaisons de classes.

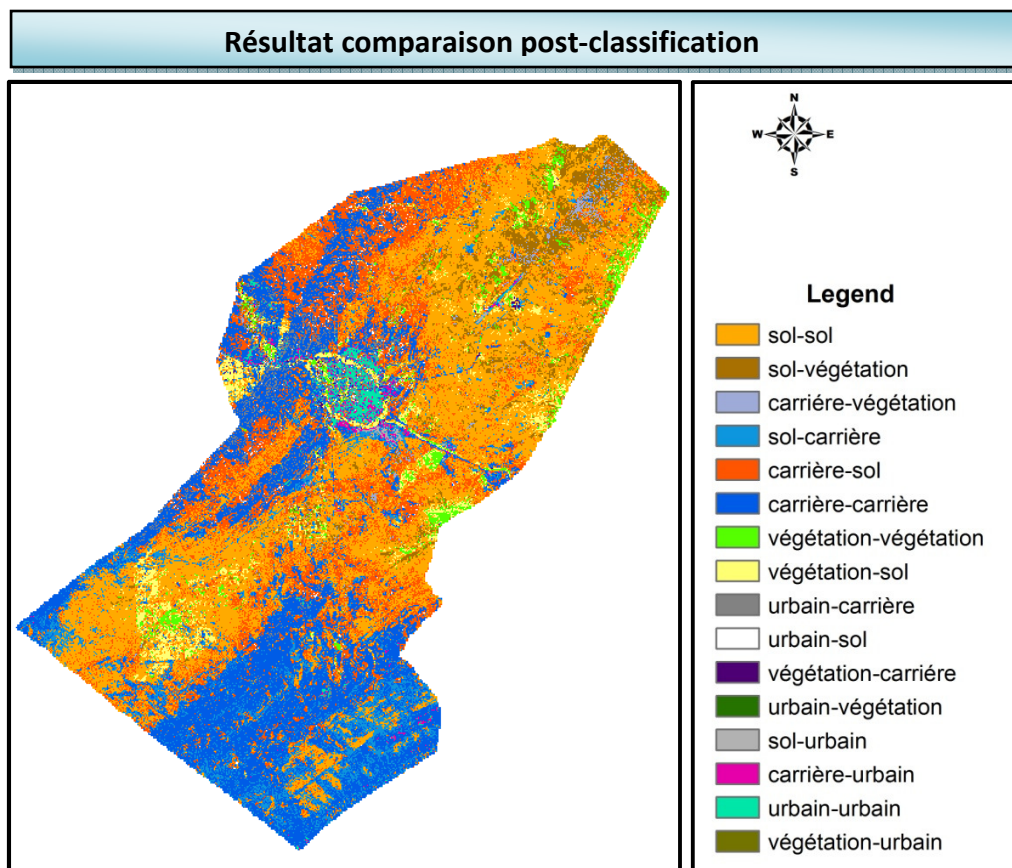


Figure II.18. Résultat de la comparaison post classification

Nous avons confirmé la fiabilité de cette démarche, en utilisant l'image Google Earth, pour faire la distinction entre les pixels mal classifiés et les pixels du bâti.

L'inconvénient de cette méthode, est qu'elle nécessite la vérité terrain pour avoir de bons résultats de classification ce qui rend la sortie terrain indispensable. Le problème d'omission et de l'ombre peuvent fausser l'interprétation de certains objets.

Conclusion :

Les méthodes de détection de changements appliquées dans ce chapitre montrent un changement important surtout la couche végétale de la commune d'El-bayadh avec la prise en compte de l'intervalle entre les deux dates (13 ans), notre objectif n'est pas de citer les causes de changement mais plutôt de voir est ce que ce changement influe sur la carte d'aléa d'inondation et comment interpréter ce changement ? La réponse à cette question fait l'objet du troisième chapitre.

**Cartographie de l'inondation : approche d'élaboration
et résultats d'analyse**

III.1. Introduction

La cartographie d'inondation nécessite l'identification des paramètres déclenchant ce phénomène et la recherche des relations entre ces derniers.

La connaissance des facteurs qui influent sur l'apparition d'inondation et le suivi périodique des variations, augmentent notre connaissance de ce phénomène, aussi nous permet d'identifier les endroits susceptibles d'être touchés par l'inondation et détermine leur degré de risque.

Dans notre étude nous avons sélectionné la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) pour faire la combinaison, c'est une Méthode à la fois puissante et souple de mise en œuvre et d'allocation des ressources en matière de gestion de portefeuille de produits. Elle a été développée par Thomas Saaty en 1970 et permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie.

Afin de réussir le déroulement exact de notre approche méthodologique de pondération multicritères pour la l'élaboration de la carte du risque d'inondation, des prétraitements sont entrepris avant de les intégrer dans le processus SIG.

Ces derniers sont de deux types :

- Premier niveau relatif à l'analyse des données acquises selon leurs géométries, échelles,...
- Le deuxième niveau qui est le niveau avancé consiste à la création des cartes utiles et la cartographie des risques majeurs (inondation).

L'organigramme ci-dessous récapitule les principales étapes de prétraitements des données acquises et l'application de la méthode combinée SIG/AMC.

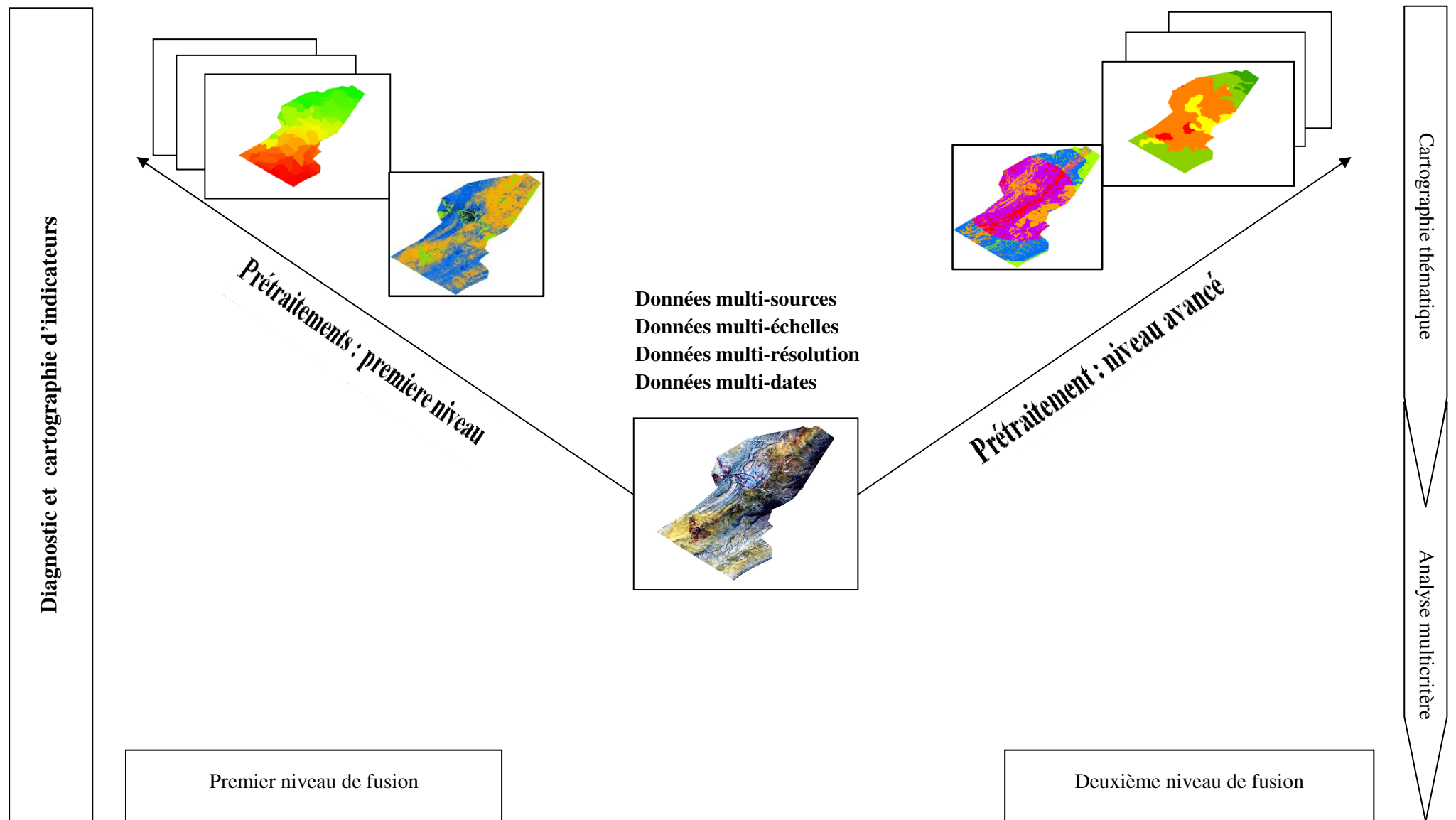


Figure III.1 : Organigramme de l'approche méthodologique développée

III.2. Prétraitements des données collectées : premier niveau

Le but principal de cette phase est de collecter le maximum de données décrivant le territoire, auprès des différents établissements, une grande partie de cette phase à été déjà abordée dans le deuxième chapitre.

En plus de prétraitements, nous avons utilisé d'autres fonctions telles que la reclassification dans le cas ou nous voulons regrouper certaines classes ou faire apparaître d'autres et le ré-échantillonnage qui permet de redéfinir la taille des pixels.

Ce genre de prétraitements est simple et leurs fonctions sont faciles à exécuter, néanmoins pour notre application nous avons besoin de créer les cartes des **risques d'inondation** ce qui n'est pas facile sans le recours à une analyse multicritère et à une série de traitements précis sous ArcGIS.

L'organigramme suivant résume les étapes d'élaboration de la carte de risque d'inondation et les données nécessaire.

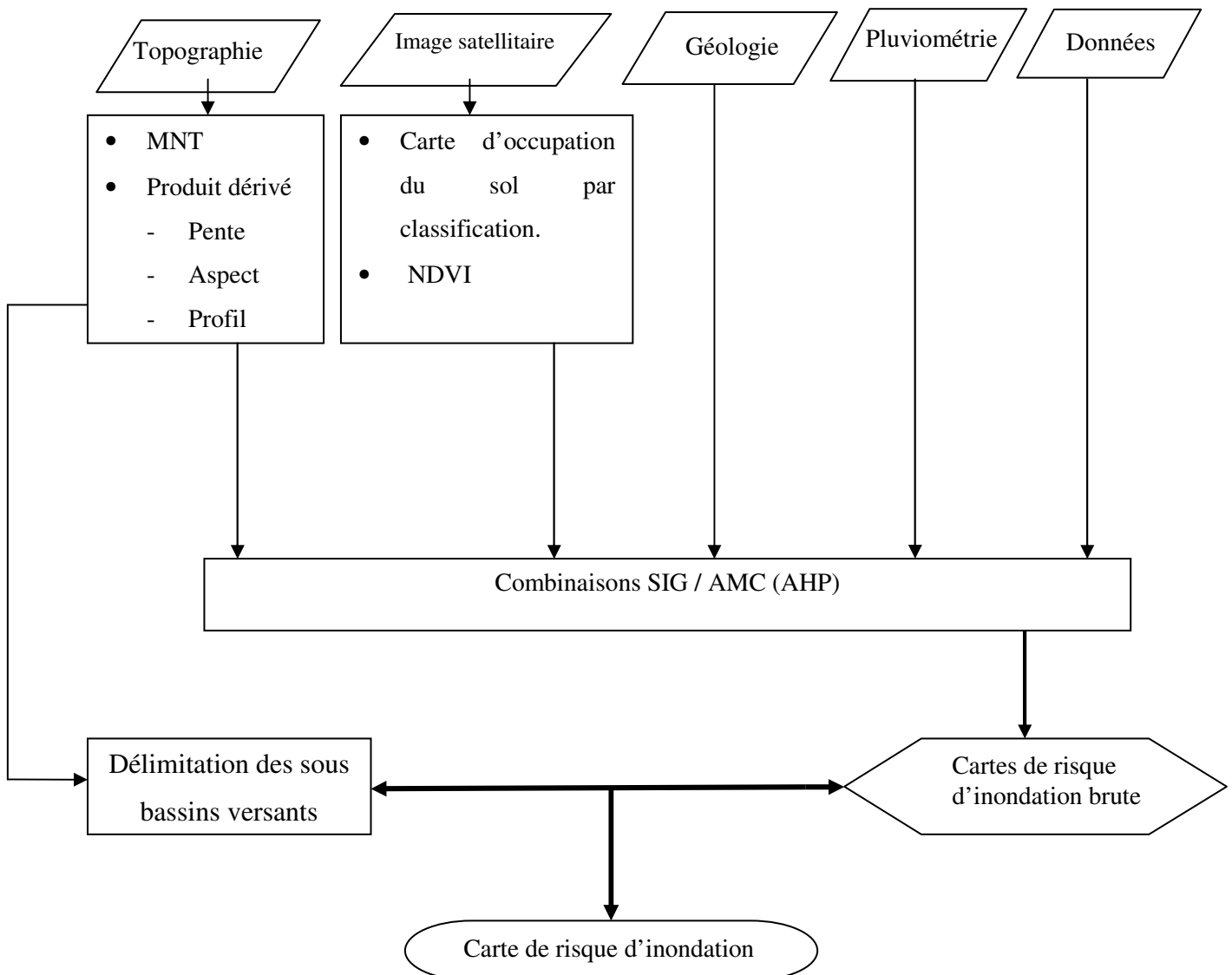


Figure III.2 : Organigramme d'élaboration de la carte de risque d'inondation

III.3. Prétraitements des données collectées : niveau avancé

L'inondation qui fait partie des risques les plus répandus, est une submersion (rapide ou lente) d'une zone pouvant être habitée ; elle correspond au débordement des eaux lors d'une crue. Le débit d'un cours d'eau en un point donné est la quantité d'eau en (m^3) passant en ce point par seconde ; il s'exprime en (m^3/s). Une crue se traduit par une augmentation de la hauteur d'eau.

III.3. 1. Cartographie du risque inondation

De nombreuses recherches et articles ont été réalisés sur les risques d'inondation, Pour estimer l'aléa d'inondation, on utilise les facteurs suivants : la géologie, le sol, la pente, la pluie, l'occupation des sols. Différentes pondérations ont été attribuées à chacun de ces facteurs.

Le tableau III.1 résume les paramètres liés à la combinaison des critères définissant le risque d'inondation au niveau de la wilaya d'Elbayadh puis on a extrait notre zone d'étude du résultat de cette combinaison.

Pour notre cas, nous avons procédé par analyse multi-critères AHP. Le principe repose sur la pondération hiérarchique par attribution des préférences aux différentes cartes comparées paire par paire en premier lieu (niveau des macro-critères), puis aux classes qui composent ces cartes (niveau des alternatives), le principe est illustré dans la figure III.3.

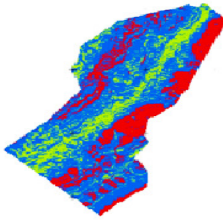
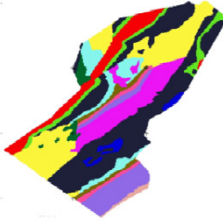
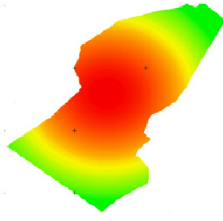
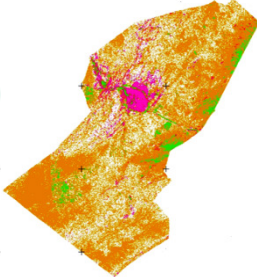
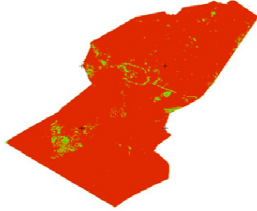
Type de données	Aperçu	Méthode d'intégration spatiale
Carte des pentes		Par bassins versants
Carte géologique		
Carte de pluviométrie		
Carte d'occupation des sols		
Carte NDVI		

Tableau III.1 : Paramètres et principe de création de risque inondation

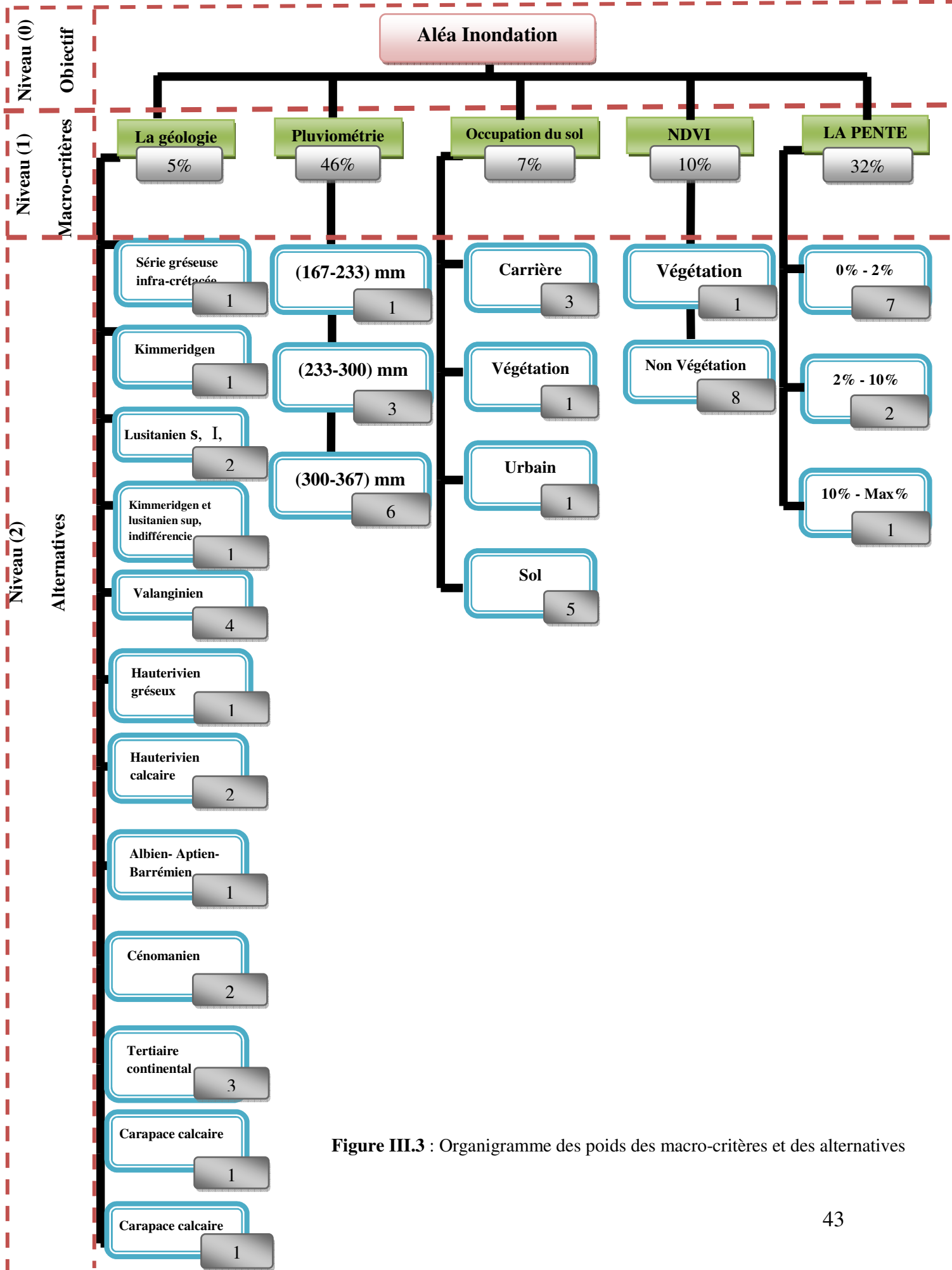


Figure III.3 : Organigramme des poids des macro-critères et des alternatives

La carte de risque d'inondation a une représentation par classes qui expriment le degré du risque.

Cependant leur interprétation est difficile pour les non experts, pour cela il faut choisir des unités spatiales d'intégration qui sont de type soit administratives ou géographiques.

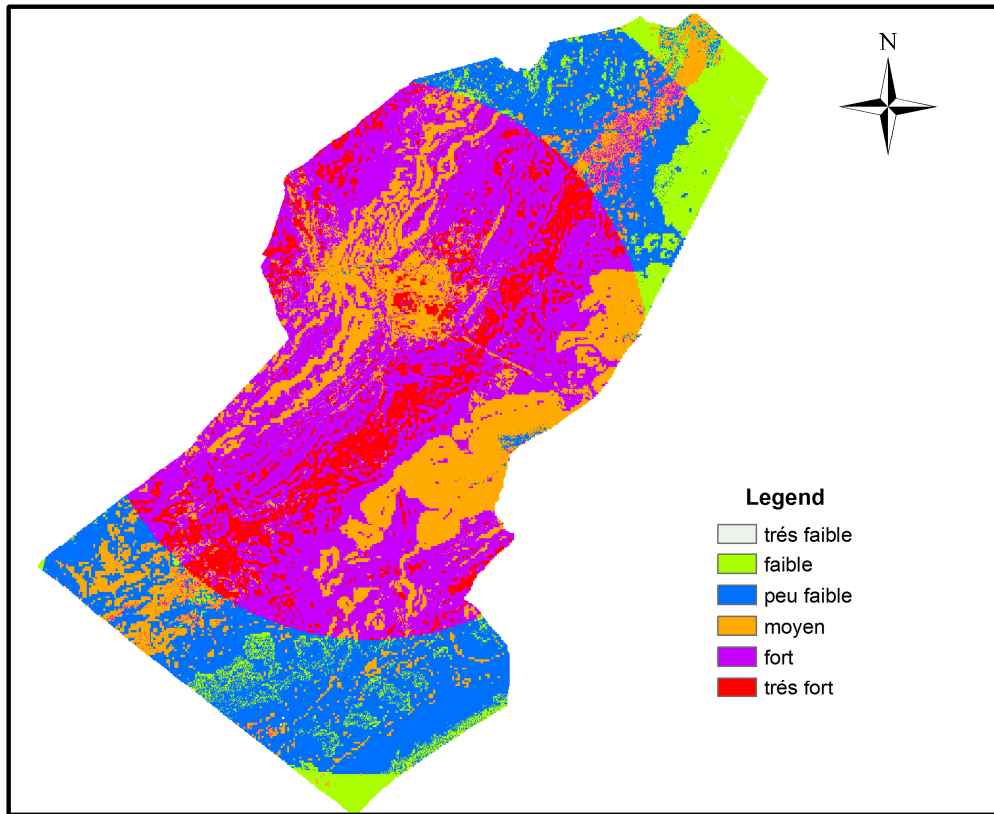


Figure III.4. Carte du risque d'inondation

III.3. 2. Choix de l'unité spatiale d'intégration

L'unité spatiale choisie doit permettre la délimitation de l'extension spatiale du système d'inondation, et qui offre l'avantage de visualiser les risques à l'échelle ou se déroule le processus inondation, cette entité spatiale est « le bassin versant ».

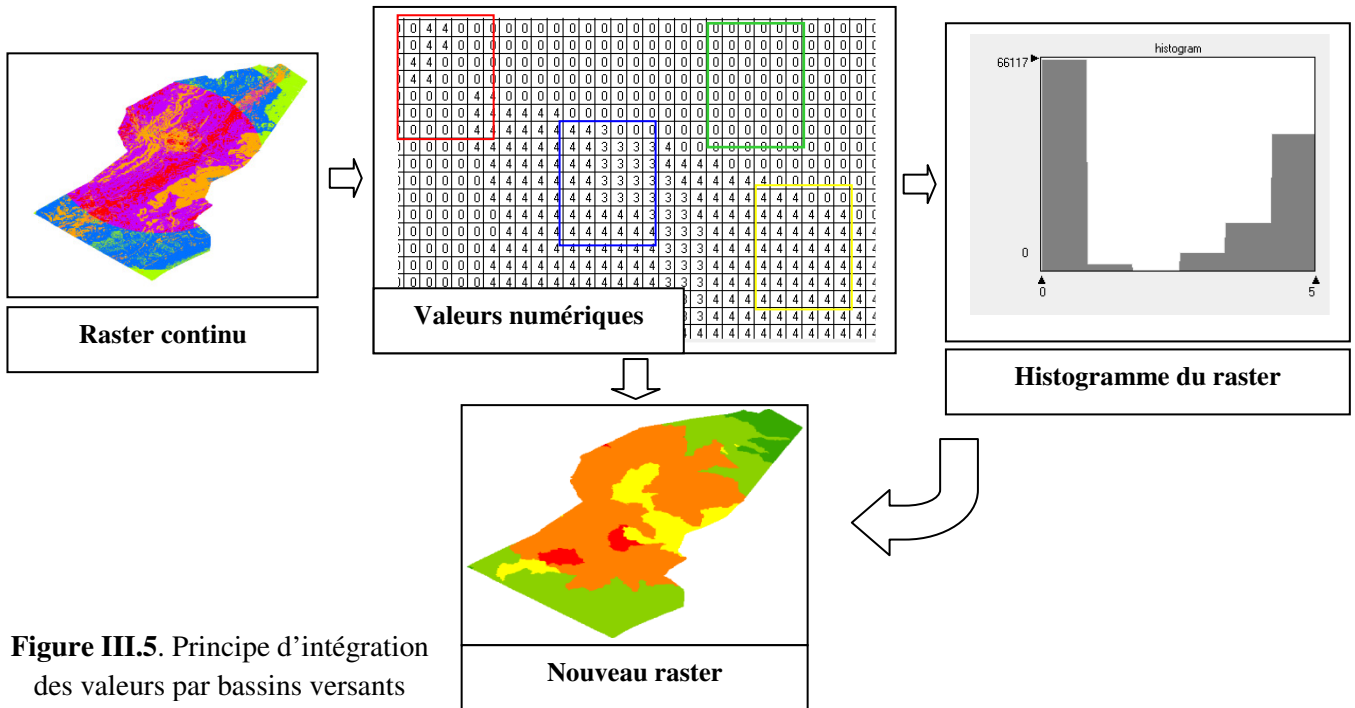


Figure III.5. Principe d'intégration des valeurs par bassins versants

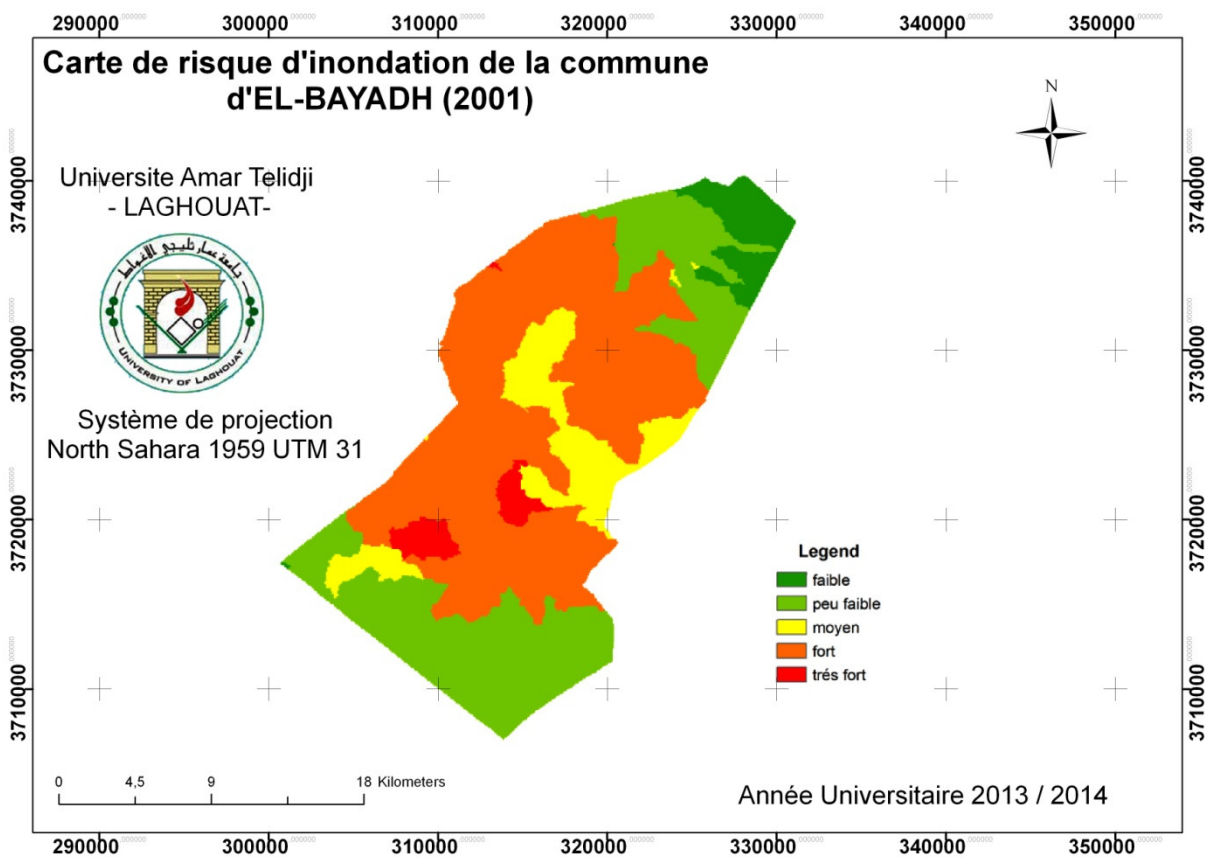


Figure III.6. Carte du risque d'inondation par bassins versants (2001)

La Figure III.6 représente le résultat de la combinaison spatiale multicritère réalisée sous ArcGIS. La lecture de la carte finale montre qu'il y a 5 classes de terrains qui se différencient en termes de risque, autrement dit, elle représente une carte de prise de décision à l'échelle communale, les terrains sont bien classés et identifiés.

Cette carte correspond à l'année 2001, nous avons appliqué les mêmes étapes mais avec les données de 2014 (carte d'occupation de sol et NDVI), le résultat est présenté dans la figure III.7.

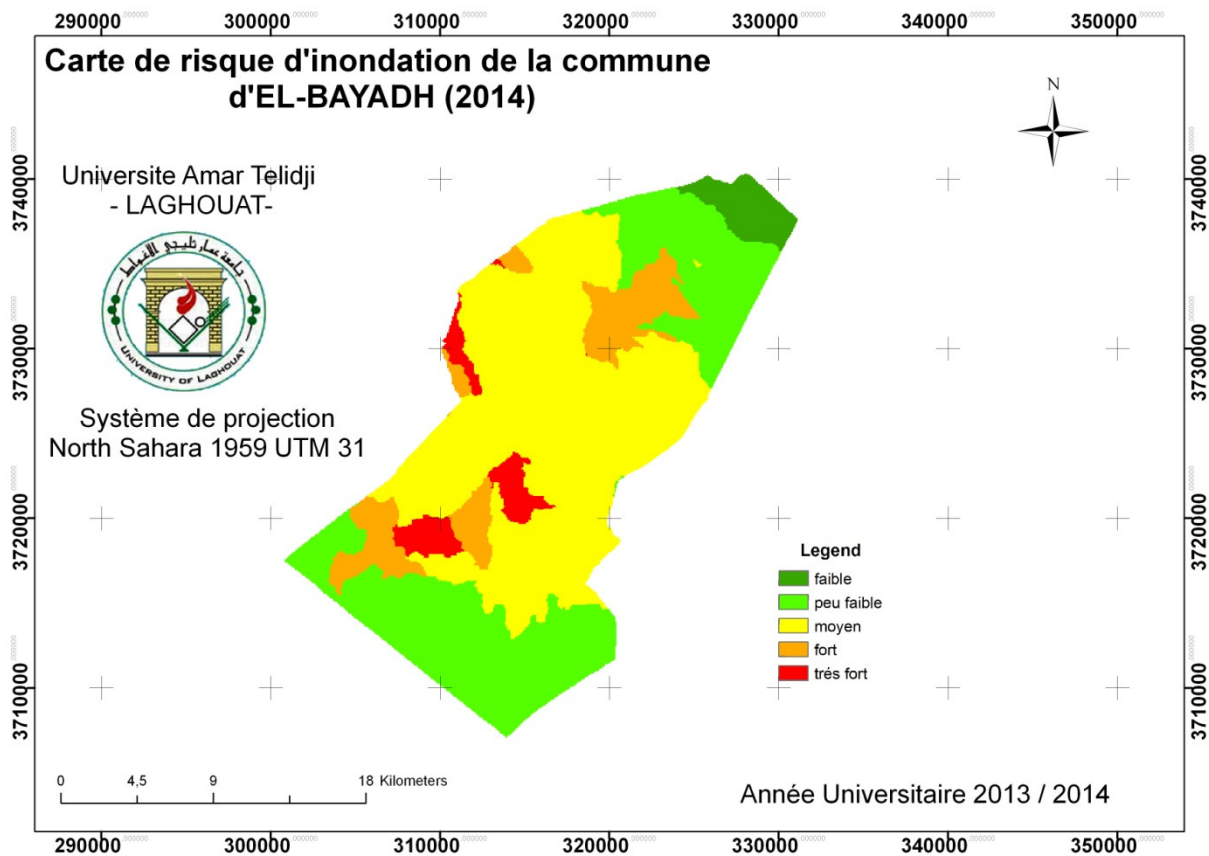


Figure III.7. Carte du risque d'inondation par bassins versants (2014)

III.4. Etude comparative et analyse des résultats :

Dans cette phase nous avons essayé de trouver la relation entre le changement de la carte d'aléa entre les deux dates et le changement de la carte d'occupation de sol et NDVI.

Pour cela nous avons choisi deux échantillons et vérifier est ce que le changement est identique et logique ou bien non, et par la suite en faire une conclusion.

Le tableau suivant présent le premier échantillon de teste.

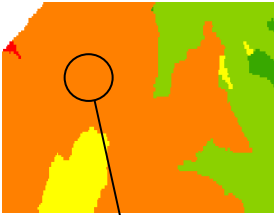
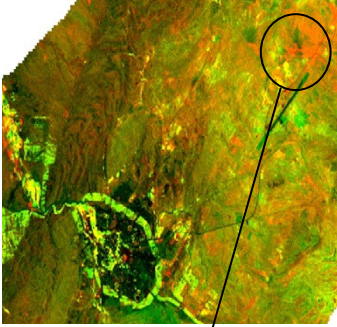
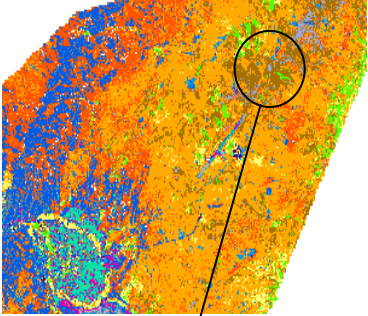
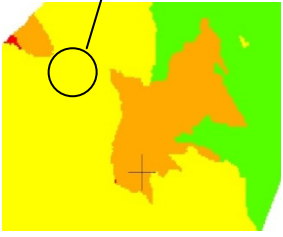
	Extrait aléa	Extrait fusion d'indices	Extrait poste_classification
situation ancienne (2001)	 <p>Classe forte</p>	 <p>Augmentation de La végétation</p>	 <p>Combinaison sol-végétation</p>
situation nouvelle (2014)	 <p>Classe moyenne</p>		

Figure III.8. Premier échantillon de teste

Dans le premier échantillon et d'après le résultat de fusion d'indice en remarque qui il y'a une augmentation de la végétation, cette résultat est confirmer par la deuxième méthode de détection de changement c'est-à-dire poste_classification dont la classe de cette échantillon est présenter le sol dans la date 2001 et la végétation dans la date 2014 (la classe de sol transformer en végétation), l'influence de ce changement indiquer dans la carte d'aléa par une conversion de la classe fort à la classe moyen.

Par contre dans le deuxième échantillon, d'après le résultat de fusion d'indice en remarque qui il y'a une dégradation de la végétation, c'est la même résultat de poste_classification dont la classe de cette échantillon est présenter la végétation dans la date 2001 et le sol dans la date 2014 (la classe de végétation transformer en sol), l'influence de ce changement indiquer par une conversion de la classe fort à la classe très fort dans la carte d'aléa (voir figure III.9).

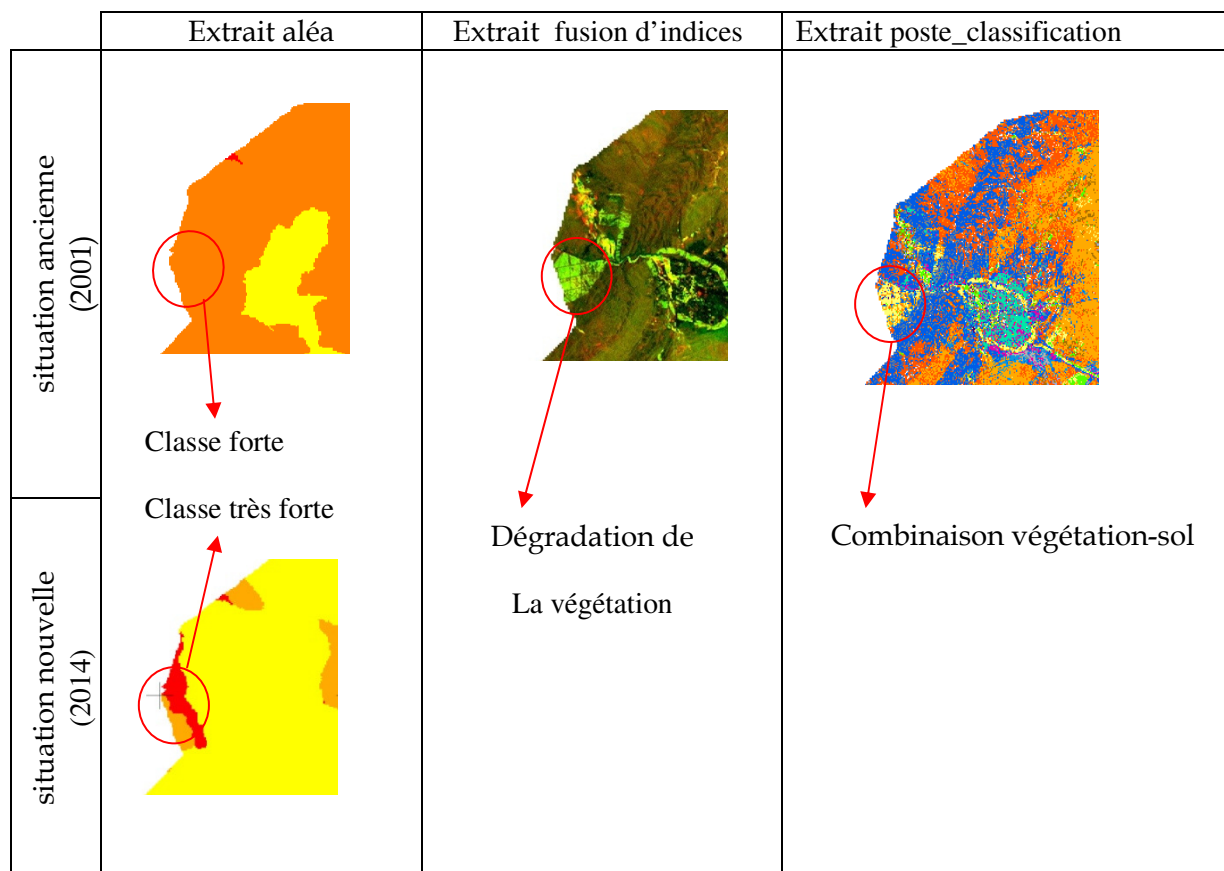


Figure III.9. Deuxième échantillon de teste

Conclusion

De la fonction la plus simple à la fusion du haut niveau, sont appliquées pour préparer le jeu de données à intégrer dans notre application, et pendant toutes les étapes, nous avons veillé à assurer une précision acceptable.

Les méthodes de détection de changement que nous avons sélectionné donnent des bons résultats et montrent que le changement qui touche la couche végétale influe directement sur la carte d'aléa par une conversion des classes, un changement qui il faut prend en considération par les décideurs dans les projets d'aménagement d'espace et la délimitation des nouveaux périmètres urbains.

A travers ce mémoire, nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque inondation et indiquer les paramètres de ce risque. Cependant Le système de protection et lutte contre ce phénomène reste traditionnel et ne répond pas au besoin actuel. L'objectif principal de cette recherche était dans en premier temps d'analyser le risque géographiquement c'est-à-dire identifier les paramètres aggravant le risque d'inondation dans une zone steppique d'Elbayadh (nord ouest de l'Algérie) qui est une zone touchée par l'inondation en octobre 2011.

L'utilisation de l'analyse multicritère de SIG permet de combiner ces paramètres pour réaliser une carte d'aléa inondation sans prise en compte de la période de retour, la réalisation d'une telle carte malgré sa difficulté, ne fait pas le vrai problème ici, il s'agit alors d'étudier les paramètres qui peuvent changer dans le temps.

Pour la détection de changement, il a été indispensable d'utiliser des données multi dates- TM (2001 et 2014)- cela, afin de suivre l'évolution des facteurs favorisant ou atténuant le phénomène étudié.

Cette étude de changement nous a permis aussi d'identifier les endroits susceptibles d'être touchés par l'inondation et déterminer leur degré de risque. Une comparaison entre les cartes d'aléa a été faite par la suite pour faire la liaison : *facteur risque & prise de décision*.

Nous estimons que les résultats de ce travail pourraient constituer un document d'aide à la décision en termes de prévention, de prévision, de protection des espaces contre le risque d'inondation.

Les résultats de cette cartographie (carte d'aléa d'inondation) sont schématisés d'une manière simple permettant ainsi aux différents acteurs, dans un cadre de gestion du risque inondation, de les utiliser pour savoir gérer le territoire avant et après la crise.

Les méthodes de détection de changements appliquées dans ce mémoire montrent un changement important surtout la couche végétale. Ce changement tracé dans la carte d'aléa par une conversion des classes de risque. Un changement qu'il faut le prendre en considération par les décideurs dans les projets d'aménagement d'espace et la création des nouveaux périmètres urbains.

Le problème le plus sérieux qu'on a rencontré tout au long de préparation de ce travail était la difficulté d'obtenir des données à grande ou moyenne échelle et fiables. Toutefois il faut rappeler que les données que nous avons utilisé peuvent être améliorées tel que la résolution de l'imagerie spatiale et l'échelle des cartes géologique et topographique ce qui influe directement sur la précision de la carte d'aléa amélioré.

Recommandations et perspectives

Certaines recommandations doivent être prises en considération pour la confirmation des résultats obtenus :

- De valider la méthodologie par son application sur plusieurs sites et avec même typologie des données,
- Utiliser des images satellitaires à haute résolution ou bien THR,
- Insérer d'autre critère dans la confection de la carte d'inondation tel que la carte d'érosion,

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BAHLOULI (2001) : «Les risques majeurs et l'aménagement du territoire», Colloque international, 15 et 16 2004-Alger.
- 2) BLIN Pierrick (2001): «Développement d'une nouvelle méthode de cartographie du risque unitaire d'inondation (crue) pour des résidences », Thèse de Grande de Maître-Université du Québec.
- 3) BOUBCHIR Abdellah (2007) : « Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (région de Labruguière et de Mazamet) », Mémoire de Master en Géographie et Aménagement, Institut Daniel Faucher-Université de Toulouse.
- 4) CHACHOUA Abdeldjalil (2009) : « Gestion de crue dans un bassin versant ; Etude Hydrologique, Hydraulique et Aménagement », Mémoire de Magister-Université de Tlemcen
- 5) CORTES Amandine (2006): «L'appropriation active du risque inondation : intérêts et limites de la réglementation. Etude de cas entre Seyssel et Bregnier Cordon (Haut Rhône) », Rapport de stage Ingénieur Maître-Institut de la Montagne.
- 6) Direction Générale De La Protection Civile d'Alger: «Les inondation en Algérie», DOC,11 rue Lavoisier-Paris.
- 7) LEDOUX Bruno (2006) : « La gestion du risque inondation », Edition TEC et
- 8) MERABET Abbés (2006) : «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.
- 9) OUFELLA O, TOABIA B (2005) : « Contribution à la cartographie des zones vulnérables aux inondations : Application de la méthode inondabilité ; Cas de la ville de Sidi Bel Abbes », Revue Semestrielle Scientifique et Technique, Journal de l'Eau et de l'environnement-ENSH Blida.
- 10) RAHMANI Chérif 2004 : «Les risques majeurs et l'aménagement du territoire», Colloque International, 15 et 16 2004-Alger.
- 11) SALOMON Jean-Noël (1997) : « L'homme face aux crues et aux inondations », Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.
- 12) SPPPI (2004) : « Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers des installations classées», Cahier technique N°8, DRIRE Haute-Normandie - 21, avenue de la Porte des champs.
- 13) M.Touati MEDERBAL (2003) : « Contribution de la Télédétection et des Systèmes d'Information Géographique pour la protection de la ville de Sidi Bel Abbes contre les inondations ». Mémoire ingénieur d'état en sciences géodésiques et travaux topographique, CNTS.

- 14) SAHIRI Nacer, AMMARI Ahmed (2013) : « Etude de cas des travaux postérieurs à l'établissement du cadastre général -Mission ponctuelle du cadastre dans le domaine d'aménagement ». Mémoire ingénieur d'état en sciences géodésiques et travaux topographique, CTS.
- 15) REGAGBA Zineb (2012) : « dynamique des populations végétales halophytes dans la régions sud-est de Tlemcen. Aspects phytoécologiques et cartographiques», Thèse de doctorat en biologie, université de Tlemcen.
- 16) LORENZO Bruzzone, Diego Fernández Prieto (2000): Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection ».
- 17) TAEWOO Kim, Yongcheol Suh, Yang-Won Lee (2000): « Remote Sensing and Spatial Metrics Comparison of change detection methods in terms of threshold determination ».
- 18) LORENZO Bruzzone and Diego Fernández Prieto (2002): « An adaptive semi parametric and context based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images ».
- 19) ASHOK Sundaresan, Pramod K. Varshney, and Manoj K. Arora (2007):
« Robustness of Change Detection Algorithms in the Presence of Registration Errors ».
- 20) KAROLIINA Kolehmainen October (2008): « Monitoring and Analysis of Urban Land Cover Changes over Stockholm Region between 1986 and 2004 using ».
- 21) JIN Chen, Peng Gong, Chunyang He, Ruiliang Pu, and Peijun Shi (2003): « Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change Vector Analysis ».
- 22) SAMUEL CORGNE (2004) : « Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne ».
- 23) KAROLIINA Kolehmainen (2008) : « Monitoring and Analysis of Urban Land Cover Changes over Stockholm Region between 1986 and 2004 using Remote Sensing and Spatial Metrics ».
- 24) ANTOINE Lefebvre, Thomas Corpetti, Laurence Hubert (2009) : « Détection de changements dans des images à très haute résolution spatiale par analyse de texture : application en milieu urbain ».
- 25) JOHN G. Lyon, Ding Yuan, Ross S. Lunetta, and Chris D. Elvidge (1998):
« A change Detection Experiment Using Vegetation Indices ».
- 26) ANAÏS MARSHALL ; Frédéric BERTRAND (2009): « Détection des changements dans les oasis péruviennes, analyse multi temporelle à partir de l'indice de végétation NDVI ».
- 27) RADARI, Amiri, Meleki (2010): « Vegetation Cover Change Monitoring Applying Satellite Data During 1972 to 2007 ».