



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2

Université d'Oran 2

كلية علوم الأرض و الكون

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

*Thèse de Doctorat En Sciences*

**Discipline : Géographie et Aménagement du Territoire**

*Présentée par :*

**GUERROUDJ Abdelhalim**

**UTILISATION DE L'IMAGERIE SPATIALE DANS LE  
SUIVI DU PHENOMENE DES INONDATIONS EN MILIEU  
STEPPIQUE : LE CAS DU BASSIN-VERSANT D'EL-BIOD  
(WILAYA D'EL-BAYADH)**

*Dirigée Par :*

**HADEID Mohamed**

**Soutenue devant le jury composé de :**

Président	GHODBANI Tarik	Professeur	Université d'Oran 2
Rapporteur	HADEID Mohamed	Professeur	Université d'Oran 2
Examineur	BELLAL Sid Ahmed	Professeur	Université d'Oran 2
Examinatrice	FIZAZI Hadria	Professeur	USTO
Examineur	KAHLOUCHE Salem	Directeur de recherche	Centre des Techniques Spatiales Arzew
Examineur	MENDAS Abdelkader	Directeur de recherche	Centre des Techniques Spatiales Arzew

Année 2019

## **Dédicaces**

À mes parents,

Ma famille,

Ma femme,

Et tous mes proches.

Je dédie ce modeste travail.

## REMERCIEMENTS

Merci ALLAH le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné la santé, la volonté et la force pour terminer ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Je tiens à remercier grandement mon Directeur de Thèse, Monsieur **Le Professeur HADEID Mohamed**, pour avoir accepté la dure tâche d'être Directeur de ma thèse, ainsi que pour ses précieux conseils, ses justes critiques qui ont été pour moi un encouragement permanent. Il a toujours été à l'écoute de mes nombreuses interrogations, s'intéressant à l'avancée de mes travaux tout en me laissant autonome dans mes initiatives.

Je remercie Monsieur **Seddiki Akram** chargé de recherche à la Division SIRS du CTS. Cette thèse est le fruit d'une collaboration de plus de cinq années avec lui. C'est à ses côtés que j'ai compris ce que rigueur et précision voulaient dire.

Je remercie également **Les Professeurs: GHODBANI Tarik** (Professeur à l'Université d'Oran 2), **BELLAL Sid Ahmed** (Professeur à l'Université d'Oran 2), **KAHLOUCHE Salem** (Directeur de recherche au CTS-Arzew), **MENDAS Abdelkader** (Directeur de recherche au CTS-Arzew), et **Mme FIZAZI Hadria** (Professeur à l'USTO) pour l'honneur qu'ils me font d'être dans mon jury. Je tiens à vous assurer de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt que vous portez à ce travail.

Je remercie infiniment Messieurs: **MOUSSA Ahmed** (Directeur H.C.D.S, El-Bayadh), **ROUISSAT Abdelkader** (chef de cellule SIG, H.C.D.S, El-Bayadh), **MEGA Nabil** (Université d'El Oued), **Benchehida Abdelkader** (Université de Laghouat), qui ont pris de leur temps pour m'orienter et m'aider dans mes analyses statistiques, traitement des données et dans les analyses spatiales.

Il serait difficile de citer tous les noms des collègues à qui je dois beaucoup.

Je termine en adressant toute mon affection à ma famille, à mes amis et mes collègues.

## **Résumé**

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. L'utilisation de l'imagerie satellitaire multi-date permet de générer des cartes de risque d'inondations et d'érosion dynamiques pour suivre géographiquement l'aléa afin d'étudier réellement les possibilités d'atténuer ces risques. Cependant les paramètres définissant ces phénomènes naturels peuvent changer dans le temps, l'idée de cette recherche s'appuie 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 :** Hautes Plaines, inondations, risque, aléa, SIG, modèle prévisionnel, espace urbain.

## **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. The use of multi-date satellite imagery allows deriving dynamic flood and erosion risk maps for geographically follow the risk hazard to explore practically the possibilities of mitigating these risks. 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:** High Plains, Floods, risk, hazard, GIS, predictive model, urban space.

# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## **PREMIERE PARTIE**

<b>Le contexte géographique des Hautes plaines occidentales algériennes.....</b>	<b>06</b>
--	-----------

<b>Chapitre 1 : La steppe algérienne dans son cadre naturel .....</b>	<b>08</b>
---	-----------

<b>Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>56</b>
--	-----------

## **DEUXIEME PARTIE**

<b>L'apport de la Télédétection et les Système d'Information Géographique dans la cartographie du phénomène des inondations .....</b>	<b>96</b>
---	-----------

<b>Chapitre 3: Typologie des données utilisées et Méthodologie de traitement.....</b>	<b>99</b>
---	-----------

<b>Chapitre 4: Etude diachronique spatiale des facteurs d'inondation.....</b>	<b>156</b>
---	------------

<b>Chapitre 5: La haute résolution et la cartographie d'aléa inondation.....</b>	<b>174</b>
--	------------

## **TROISIEME PARTIE**

<b>Scénario de l'inondation de l'oued El-Biod et approche d'aménagement .....</b>	<b>219</b>
---	------------

<b>Chapitre 6: Analyse de l'inondation d'oued El-Biod et conséquences socio-économiques.....</b>	<b>221</b>
--	------------

<b>Chapitre 7: Approche d'aménagement et détermination des terrains aménageables.....</b>	<b>240</b>
---	------------

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>267</b>
---------------------------------	------------

<b>Bibliographie.....</b>	<b>271</b>
---------------------------	------------

<b>Annexe.....</b>	<b>277</b>
--------------------	------------

<b>Table des matières.....</b>	<b>286</b>
--------------------------------	------------

### **INTRODUCTION GENERALE**

Les Hautes Plaines occidentales font partie d'un ensemble géographique connu sous le nom de la steppe algérienne. Il s'agit d'un espace spécifique situé entre deux chaînes montagneuses: l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, au sein duquel le pastoralisme représente l'activité de base de la population. La nouvelle restructuration de l'espace steppique algérien caractérisée par un développement des agglomérations et la sédentarisation des nomades dans un espace aussi fragile que la steppe, a eu des conséquences écologiques de plus en plus inquiétantes (Hadeid, 2006). L'état critique de la steppe algérienne dans sa partie occidentale est devenu un sujet très répandu au niveau national. Il s'agit de la dégradation du couvert végétal qui tend à se propager dans toute la région. Cette dégradation engendre automatiquement la désertification, plaidant ainsi en faveur de la théorie selon laquelle « le désert ne remonte pas du Sahara mais se forme sur place » (Callot, 1987). Lorsque l'on évoque ce phénomène, on a toujours tendance à accuser les pratiques anarchiques des éleveurs en matière d'élevage mais aussi la sécheresse. Pourtant, d'autres facteurs y participent fortement. Ainsi, détecter tous les facteurs qui contribuent au renforcement de ce fléau s'avère nécessaire pour tenter de freiner ses effets sur l'espace naturel (ensablement et dégradation de la végétation naturelle), mais surtout sur les activités humaines (ensablement des habitations, des équipements collectifs, des voies de communications...) (Hadeid, 2008).

Dans ce vaste territoire, plusieurs facteurs varient dans le temps et dans l'espace: Les étages bioclimatiques, la nature du sol, le couvert végétal, les ressources naturelles, et même la population, en termes d'évolution et de migration. Ces variations sont proportionnelles aux risques de dégradation des steppes, tels que la désertification et l'ensablement; autrement dit le milieu steppique est un milieu fragile et fragilisé.

Le phénomène de déclenchement de la désertification dans la steppe n'a vraiment démarré que durant le début du 20ème siècle, période durant laquelle, la steppe était colonisée par les Français. Ce phénomène de dégradation de la steppe a été toutefois renforcé après l'indépendance dans la mesure où l'Etat dans un souci d'homogénéisation et d'encadrement de tous les espaces du pays, mais aussi pour "briser" certaines structures régionales, n'a fait que suivre ce qui a été initié durant la période coloniale : regroupement de la population steppique et abolition du nomadisme ; ce dernier étant considéré comme incompatible avec la modernité (Hadiéd, 2006). L'ampleur de la dégradation a engendré une

situation nouvelle caractérisée par : la réduction du couvert végétal, la diminution de la production fourragère et l'extension rapide de l'ensablement sur des zones agricoles et non agricoles. À son tour, la réduction du couvert végétal augmente encore plus la vulnérabilité des sols dénudés par rapport aux vents efficaces, ce qui entraîne à court et moyen termes à des déplacements de sable sur de longues distances et l'édification de nouvelles dunes. Ces accumulations sableuses sont dévastatrices, elles affectent gravement l'équilibre physique et socio-économique de la région, notamment lorsqu'elles sont situées à proximité des zones agricoles, de mise en valeur, des terres de parcours, des puits pastoraux, ou bien des axes routiers, des agglomérations et des différents équipements et infrastructures socio-économiques (Bensaid, 2006).

Face à ces facteurs, les autorités publiques ont pris des mesures pour réduire la dégradation des steppes, avec notamment la mise en œuvre du Plan National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD) élaboré depuis 1987. Ce plan s'insère dans le cadre des différents programmes de développement des zones steppiques. Notre zone d'étude, la commune d'El-Bayadh, dans la wilaya d'El-Bayadh, s'étend sur une superficie de 71 697 Km<sup>2</sup>. Elle fait partie des Hautes Plaines occidentales, une région fortement touchée par le phénomène de l'ensablement, la désertification et parfois même les inondations.

Depuis sa promotion au rang de chef lieu de wilaya, El-Bayadh a bénéficié d'un grand nombre d'études, lesquelles ont abordé, chacune dans son domaine, les problèmes liés à l'agro pastoralisme, la désertification, l'aménagement régional... Seulement, ces travaux de qualité n'ont, parfois, pas suffisamment intégré l'élément moteur du développement, en l'occurrence, l'homme, ses aspirations, sa façon de concevoir le développement et la prise en charge de ses problèmes. Cette nouvelle préoccupation permet de recentrer la réflexion sur les secteurs prioritaires de développement, en particulier, la définition d'une stratégie de lutte contre la désertification et la réhabilitation des parcours. La prise en compte des stratégies au niveau local sont d'une importance capitale pour la réussite de tout projet de développement. Et afin de s'inscrire dans les objectifs définis par la loi sur l'aménagement du territoire et le développement durable, la wilaya d'El-Bayadh doit donc obligatoirement être remise à niveau et orientée vers le développement durable, tout en incluant les contraintes naturelles qui l'opposent fortement à ce développement.

De ce point de vue, cette présente thèse permet d'étudier un phénomène ayant touché plusieurs régions de la steppe algérienne durant ces dernières années, à savoir les inondations. Cependant, il faut signaler que beaucoup de travaux de recherche ont traité le phénomène de l'inondation uniquement dans son aspect hydrogéologique, sans pour autant l'aborder géographiquement.

Comme la dégradation des régions, déjà fragilisées par les conditions climatiques et édaphiques, nécessite surtout et avant toute intervention des recherches approfondies en amont : Répertoire l'ensemble des facteurs impliqués de façon directe ou indirecte dans le processus de dégradation du sol et surtout, chercher à savoir comment ces facteurs se conjuguent et interagissent dans le temps et dans l'espace (Bensaid, 2006), nos recherches ont été basées sur l'utilisation de la télédétection et le système d'information géographique (SIG), notamment l'analyse multicritère dans la modélisation et le suivi du phénomène d'inondation dans le bassin-versant de l'Oued El-Biod, dans la commune d'El-Bayadh. Seulement, le problème majeur dans cette modélisation est en premier lieu la définition des paramètres déclenchant ce phénomène, et par la suite la combinaison de ces paramètres en terme d'importance et d'influence.

L'utilisation de l'imagerie satellitaire multi-date permet d'élaborer des cartes de risque d'inondation dynamiques et de suivre géographiquement les aléas, ce qui contribue à l'atténuation des dégâts suite à ces catastrophes. Cependant, les paramètres définissant ces phénomènes naturels peuvent changer dans le temps. L'idée de cette recherche 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 post-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 multi sources, des cartes de changement vont être élaborées, ce qui permettra de faire une étude comparative en tenant compte de tous les résultats pour que la prise de décision soit correcte et précise. L'intégration de données spatiales et cartographiques dans un SIG va permettre de mettre en place un modèle prévisionnel permettant la protection du périmètre urbain et d'anticiper l'intervention des autorités locales.

### **Objectifs de l'étude et méthodes d'approches**

L'objectif principal de cette étude est de montrer l'apport de la télédétection et SIG dans le suivi et la caractérisation du phénomène d'inondation dans une zone steppique et son évolution spatio-temporelle à partir d'une série bi temporelle d'images satellitaires de Landsat (2001 et 2014).

Ainsi, l'étude consiste à développer un processus d'application des techniques de caractérisation et de suivi de la dynamique spatio-temporelle des systèmes environnementaux à l'échelle du bassin-versant de l'Oued El-Biod. L'utilisation de la combinaison SIG et l'analyse multicritère AMC permettra la prise de décision en matière de délimitation et la définition des classes de risques dans l'ordre de pondération des facteurs étudiés. D'autre part, l'intégration de ce résultat sous forme d'une carte d'aide à la décision dans les projets d'aménagement et d'urbanisme, à l'instar le choix d'une zone d'extension de la ville d'El-Bayadh, va permettre l'aménagement de cette zone en se basant sur des normes issues de la grille des équipements établis par les parties prenantes.

Pour atteindre nos objectifs, une démarche répartie en trois grandes phases a été définie. Durant la première, nous avons collecté les données nécessaires auprès des différents établissements et services (Centre des Techniques Spatiales, ANRH, INCT, Direction de Météorologie). Pour chaque type de données, nous avons appliqué un traitement préliminaire selon les exigences des formats d'intégration SIG/AMC. L'extraction de l'information sur le changement des facteurs étudiés dans le temps fait l'objet de la seconde phase, par l'application des méthodes de détection de changements qualitatives/quantitatives et l'interprétation des résultats d'un espace temporel de 13 ans. La dernière phase consiste à utiliser les techniques d'analyse spatiale et d'AMC pour élaborer les cartes de la géographie de l'aléa risque inondation pour les deux dates 2001 et 2014, l'interprétation et la lecture des cartes doivent être faites par comparaison avec les résultats de la phase précédente.

### **Structuration du document**

La présente étude est structurée en trois parties, dont la première est une présentation de la steppe algérienne, en particulier notre région d'étude vue sous ses différents cadres : géographique, caractéristiques physiques, socio économique, et surtout le cadre

climatique (précipitation et température). Une présentation des différents phénomènes affectant le milieu steppique et enfin il a été mis l'accent sur le bassin-versant de l'Oued El-Biod.

La multiplicité des données, leurs hétérogénéités font l'objet du premier chapitre de la deuxième partie, pour la présentation des prétraitements nécessaires liés aux produits dérivés, l'approche méthodologique et les résultats obtenus sont décrits aussi dans ce chapitre. Ensuite, l'utilisation des produits dérivés dans l'étude de détection de changements des paramètres d'inondation (cas du couvert végétal). Dans cette partie, le dernier chapitre est consacré à la présentation de l'approche utilisée pour l'établissement des cartes d'inondation par l'utilisation des données de haute résolution, autrement dit la cartographie de l'aléa inondation à grand échelle. Des conseils sont mentionnés sur la base des différents traitements effectués sur une image type Spot5 afin de faciliter la manipulation et le traitement pour les différents utilisateurs de ce type de données.

La troisième partie traite deux axes. Le premier sous forme d'une étude critique des interventions et les solutions proposées dans le cas de l'inondation du 01/10/2011 de l'Oued E-Biod, dans la commune d'El-Bayadh, et notre approche d'aménagement proposé. Le deuxième axe porte sur l'intégration des résultats de la deuxième partie dans l'aménagement de la ville d'El-Bayadh (la prise de décision en matière de délimitation des zones d'extension urbaine présentées sous forme de cartes d'aptitude dans des classes, selon différents degrés en fonction des paramètres favorisant l'aménagement), par l'application des techniques SIG et l'analyse multicritère.

## **PREMIERE PARTIE**

**Le contexte géographique des hautes plaines  
occidentales algériennes.**

## **PREMIERE PARTIE**

### **Le contexte géographique des hautes plaines occidentales algériennes.**

L'espace des Hautes Plaines occidentales connaît plusieurs facteurs de dégradation dont l'influence de ces derniers s'apparente remarquablement à la fragilité de l'espace steppique. La dégradation des parcours est issue de l'interaction de deux types de facteurs. Des facteurs naturels liés aux conditions du milieu physique en général, et des facteurs socio-économiques, anthropiques qui favorisent souvent une intervention anarchique.

Dans le premier chapitre de cette partie, Il s'agit de mettre l'accent sur cet espace et les facteurs ayant conduit à sa fragilité. Pour le deuxième chapitre, il s'agira d'une présentation de notre région d'étude, y compris l'impact des risques naturels, notamment les inondations.

*Chapitre 1 : La steppe algérienne dans  
son cadre naturel*

## **Introduction**

Le terme steppe est d'origine russe (Huetz, 1970). Il est employé par les biogéographes pour les formations basses ouvertes. Néanmoins ce vocabulaire reste souvent imprécis et certains termes ont pris aujourd'hui un sens différent de celui qu'ils avaient à l'origine. Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques notions récentes, sur les steppes algériennes, les aspects socio-économiques, climatologiques et physiques, ainsi que l'état des parcours steppiques, les facteurs de dégradation, qui touchent cette région de l'Algérie (les steppes algériennes).

### **1.1. La steppe Algérienne : limite, et cadre naturelle et humaine**

En Algérie, la steppe constitue une vaste région qui s'étend entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares (figure 1). Formant un ruban de 1 000 Km de long, sur une largeur de 300 Km à l'Ouest et au centre réduite à moins de 150 Km à l'Est. Les limites de cette zone s'appuyant sur les critères pluviométriques entre 100 et 400 mm de pluviométrie moyenne annuelle. Des spécialistes de l'Afrique du Nord s'accordent généralement pour limiter la steppe aux mêmes critères pluviométriques à savoir les isohyètes. Ces seuils se justifient par des considérations à la fois biogéographiques et agronomiques.

D'une façon globale, la steppe présente un aspect dominant caractérisé par de grands espaces pastoraux à relief plat et à altitude élevée supérieure à 600 m, divisés par des lits des oueds parsemés de dépressions plus ou moins vastes et de quelques masses des chaînes montagneuses isolées. La steppe englobe douze wilayat : Biskra, Khenchela, El Bayadh, Djelfa, Naama, Tiaret, Tébessa, Laghouat, Saïda, M'sila, Souk-Ahras, et Batna. (HADBAOUI, 2013)

Les Hautes Plaines steppiques algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorale. Elles connaissent aujourd'hui une forte tendance à la dégradation qui se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologiques et socioéconomiques. Les nombreuses études phytoécologiques et pastorales entreprises dans ces régions ont permis d'évaluer et de cartographier les ressources naturelles disponibles. Des études diachroniques ont été réalisées dans le but de quantifier l'intensité de leur dégradation et de définir les facteurs qui en sont responsables (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

### **1.1.1. Délimitation des zones steppiques**

Selon KHELIL (1997), les grands espaces qui peuvent être différenciés en sous ensembles régionaux bien distincts sont :

#### **1.1.1.1. La bordure sub-steppique située en gros entre les isohyètes 300 et 400 mm**

Elle s'étend sur la bordure sud de l'Atlas Tellien au centre et sur les hautes plaines constantinoises, les monts du Hodna et de l'Aurès à l'Est. Les hautes plaines constantinoises sont à caractère agro-pastoral, tandis que les massif des Aurès et les monts de Hodna sont à caractère sylvo-pastoral.

#### **1.1.1.2. La région steppique proprement dite**

Elle est située entre les isohyètes **200** et **300 mm** et qui comprend :

- **Au centre**

Les hautes plaines steppiques Algéro-oranaises, les hautes plaines de Hassi Bahbah, M'sila, le Nord des wilayat de Laghouat et d'El-Bayadh. Ces hautes plaines sont occupées par des parcours steppiques semi-arides avec quelques masses de nappes alfatières et d'agriculture marginale sur épandage de crues des oueds. Les piémonts et les montagnes del'Atlas Saharien (monts des Ouled Naïl, Djebel Amour, monts des Ksours) sont caractérisé par des parcours ainsi que des forêts.

- **A l'Est**

Les hautes plaines steppiques de M'sila, Khenchla et Tébessa, sont nettement séparées des hautes plaines de centre par le massif des Aurès.

#### **1.1.1.3. La région steppique présaharienne**

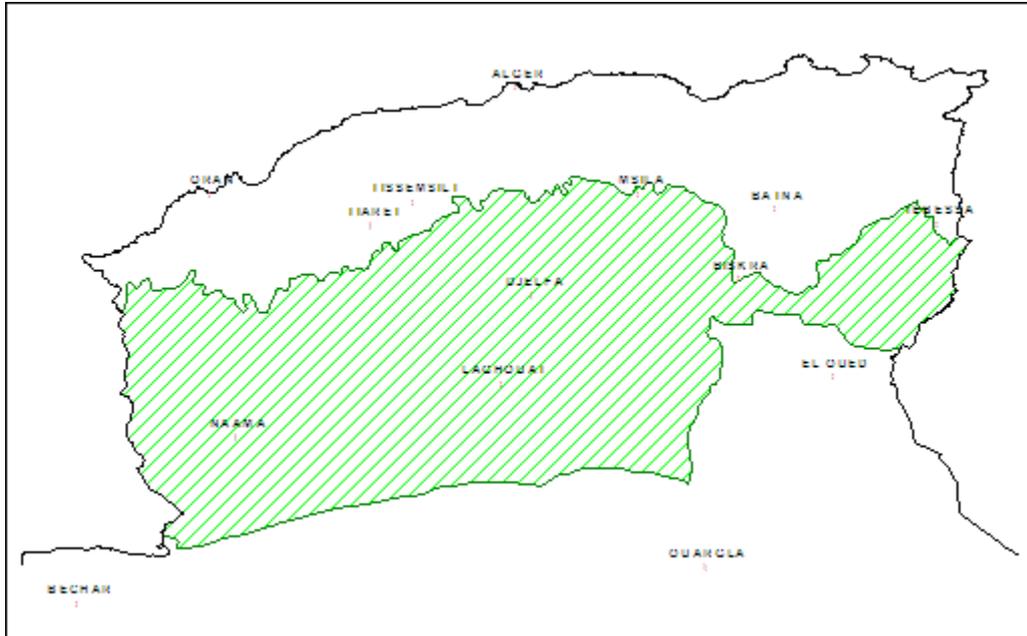
Elle est située entre des isohyètes 100 et 200 mm. Cette région dominée par des parcours de type saharien et des vallées alluviales. Elle comprend :

- **Au centre**

Les piémonts sud de l'Atlas Saharien, la cuvette du Hodna, le plateau saharien du sud des wilayas de Djelfa et de Laghouat.

### ○ A l'Est

L'extrémité Est de l'Atlas Saharien, monts du M'zab et des Nememchas, le plateau saharien de sud des wilayas de Tébessa et Biskra.



**Figure 1.** Limites naturelles de la steppe algérienne (Nedjraoui et Bédrani, 2008)

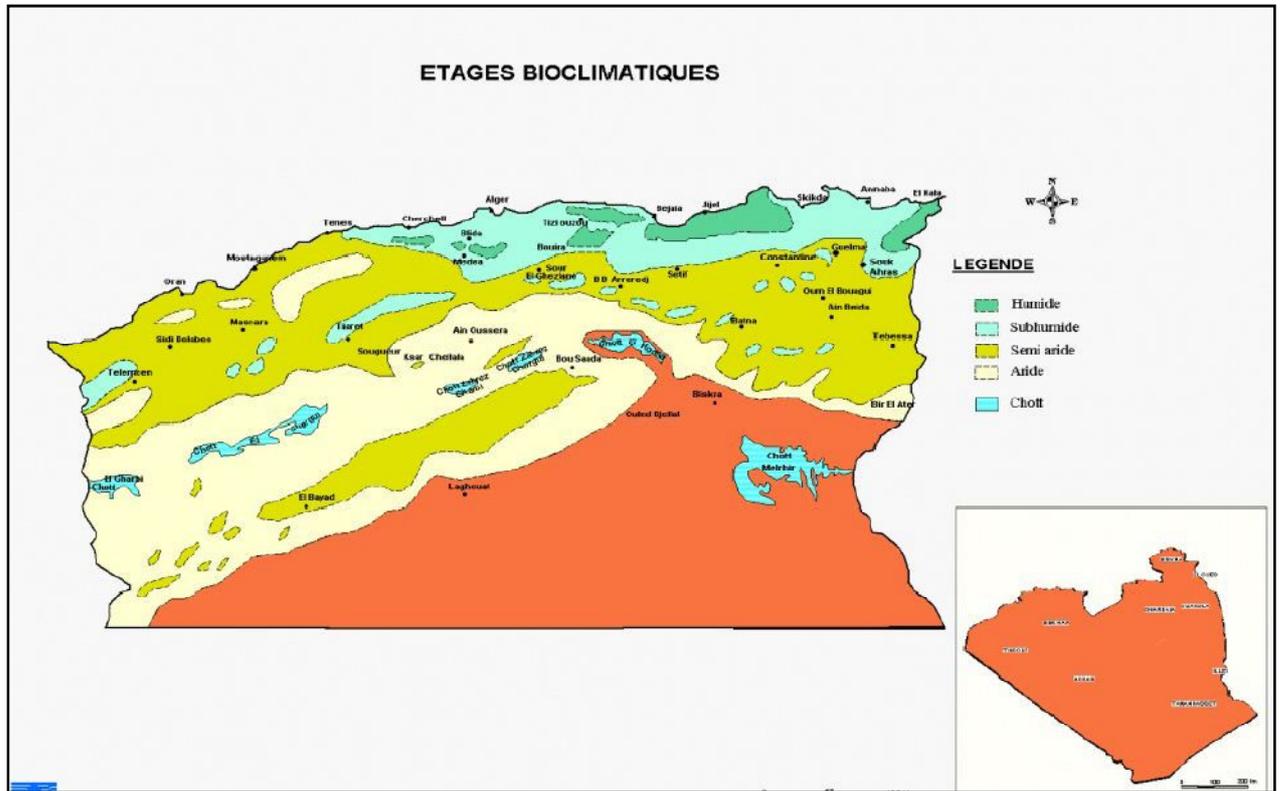
## 1.1.2. Le milieu physique

### 1.1.2.1. Le climat

Le climat de la steppe se caractérise par une faible pluviométrie (100 à 450 mm par an) et de fortes amplitudes thermiques. Cette pluviométrie est non seulement faible mais irrégulière. Elle présente des variations spatio-temporelles très importantes et les précipitations tombent souvent sous forme de pluies violentes (averses). Une saison estivale sèche et chaude alterne avec une saison hivernale pluvieuse et fraîche, sinon froide. Le régime pluviométrique saisonnier est variable selon les wilayas steppiées (Bencherif, 2011).

Les Hautes Plaines steppiées sont caractérisées par une longue période de sécheresse estivale variant de 5 à 6 mois, l'influence du Sahara confère à ces régions un climat sec et chaud avec une amplitude thermique très importante. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid comprises entre 0 et 9°C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4°C, dans les étages bioclimatiques des régions semi-arides et arides (Figure 2) Une moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité, de 33°C à

38°C dans les Hautes Plaines steppiques et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes. Les zones steppiques sont localisées dans les étages bioclimatiques semi-aride, aride et même présaharien, présentées dans la figure 2 (Benguerai, 2011).



**Figure 2.** Carte bioclimatique de l'Algérie (ANAT, 2004)

### o La pluviométrie

Sur la steppe, non seulement il pleut peu, mais encore il pleut mal. Les pluies y sont très irrégulières et tombent sous forme de grosses averses. La pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de **250 mm/an** est faible.

Selon KHELIL (1997), les précipitations subissent une baisse vers l'Ouest (Ain Sefra) par suite de la présence du grand Atlas marocain, elles augmentent progressivement vers le centre (El-Bayadh, Aflou, Djelfa) puis diminuent vers Boussakda et M'sila dominées par l'influence de l'enclave saharien du Hodna. Elles diminuent encore plus vers le piémont sud de l'Atlas Saharien (Laghouat) décroissent rapidement dès que l'on s'éloigne de la flexure sud atlasique vers le Sud. Les massifs montagneuses dont les monts des Ouled Nail et

Djebel Amour sont relativement plus arrosées, ils sont les plus favorisés avec des précipitations dépassent 400 mm/an et où les crêtes reçoivent jusqu'à 600 mm/an.

#### ○ **Les températures**

La température joue un rôle important dans la vie des végétaux et des animaux. Il s'agit surtout des températures extrêmes. Le régime thermique de la steppe est de type continental, l'amplitude thermique annuelle est généralement supérieure à 20°C, d'après LE HOUEROU (1977), et cité par KHELIL (1997). Les gelées de la saison froide inhibent la poussée de la végétation, ce qui amène les éleveurs à se déplacer vers les parcours sahariens à température plus chaude (Azzaba). Les températures très élevées de la saison estivale inhibent également le développement de la végétation, ce qui amène les éleveurs cette fois à se déplacer vers le Nord pour gagner les plateaux céréaliers (Achaba).

#### **1.1.2.2. Hydrographie et ressources hydriques**

Le réseau hydrographique est fortement influencé à la fois par les variations saisonnières et interannuelle de la pluviométrie et aussi le relief de la steppe. (KHELIL, 1997). La plupart des oueds de la steppe sont irréguliers, secs en été avec toutefois des crues violentes le plus souvent en début et à la fin de l'hiver, et parfois en été. Ces crues causent beaucoup des problèmes d'érosion des terres et aussi de perte non négligeable de nombre de têtes des animaux qui pâture. La plupart des oueds de la steppe ne poursuivent jamais leurs cours jusqu'à la mer et se perdent dans les grandes dépressions et chotts.

Dans les régions steppiques les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables et inégalement réparties. Selon MADR (2008), les ressources hydriques sont constituées par :

- Les eaux superficielles provenant des précipitations orageuses et qui représentent un volume annuel de **40 milliards de m<sup>3</sup>** dont une infime partie est mobilisée par des ouvrages, l'essentiel des apports disparaît par évaporation et infiltration.
- Les eaux souterraines dont le potentiel est évalué à **1,4 milliard de m<sup>3</sup>** et qui constitue la seule ressource fiable, utilisée pour les besoins humaines, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation des cultures. Cette ressource est d'une part peu étudiée, hormis sur les périmètres de Oued Touil et du Hodna, et d'autre part anarchiquement exploitée ; en témoigne le nombre important de puits devenus non fonctionnels par la baisse du niveau des nappes alluviales et phréatiques suite à la multiplication des forages. (HADBAOUI, 2013).

### 1.1.2.3. Le sol

Les sols se présentent sous forme de mosaïque allant des sols anciens aux sols récents peu évolués (Djebaili et *al.* 1983) on distingue principalement:

- Les sols minéraux bruts (lithosols et régosols) localisés sur les sommets des djebels.
- Les sols peu évolués regroupant les sols d'origines colluviale des glacis, alluviale des lits d'oueds et des dayas et éolienne des formations sableuses fixées.
- Les sols calcimagnésiques caractérisés par des rendzines sur les versants des djebels, les sols bruns calcaires à accumulations calcaires, très répandus, et les sols à encroûtement gypseux, plus rares.
- Les sols isohumiques représentés par les glacis d'érosion et les sols halomorphes qui occupent les chotts et les sabkhas.

Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile, la faible teneur en matière organique et en éléments biogénèse et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Djebaili et *al.*, 1983).

### 1.1.2.4. La végétation steppique

La composition et la densité de la végétation steppique sont différentes d'un endroit à un autre, parfois elles sont différentes au même endroit (faciès non homogène) (Figure 3) (Benchrif, 2011). Les steppes algériennes sont dominées par 4 grands types de formations végétales : les formations à *alfa*, à armoise blanche, à sparte et à *remt* (Figure 4) (Nedjraoui, 2002).

#### a) Des steppes à graminées

Les steppes à graminées à base d'alfa (*Stipa tenacissima*) dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares assurent la transition entre les groupements forestiers et les groupements steppiques à armoise blanche. On les retrouve dans les étages bioclimatiques semi arides à hiver frais et froid et aride supérieur à hiver froid. La productivité de ce genre de parcours, relativement varie de 60 à 150 Uf/ha (Ikhlef, 2013).

---

<sup>1</sup> Uf : Unité forgeuse

**b) Des steppes à chaméphytes**

Principalement l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) pures ou mixtes avec d'autres plantes pérennes ou vivaces. Comme les précédentes, ces steppes forment de bons parcours (faciès à dominance d'armoise blanche) riches en espèces annuelles d'une bonne valeur fourragère (environ 0.5 UF/Kg.MS), très appréciés par les moutons et recherchés par les bergers, surtout en automne où ils produisent beaucoup de biomasse verte. La particularité de l'armoise blanche, est qu'elle donne son arôme à la viande des moutons (Benchrif, 2011).

**c) Des steppes à sparte**

Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*) : elle occupe essentiellement les alluvions (qui forment à la base des reliefs des glacis à pente faible et régulière), les zones dépressionnaires (Oued et Dayas) et les accumulations éoliennes (El Zerey, 2012).

**d) Les steppes à halophytes.**

Les steppes à halophytes ces formations se développent sur des sols profonds riches en chlorure de sodium et en gypse. Elles constituent d'excellents parcours notamment en raison des fortes teneurs en sel dans ce type de végétation (Ikhlef, 2013).

**e) Les steppes à remt**

Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*) les mauvaises conditions du milieu, xérophile, thermophile, variantes chaudes à fraîches, des sols pauvres, bruns calcaires font de ces steppes des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. Leur productivité pastorale est comprise entre 25 à 50 Uf/ha (Ikhlef, 2013).

**f) Les steppes à psamophytes**

Elles sont constituées d'espèces qui poussent sur les sols sableux, et qui peuvent jouer un rôle de fixation des dunes. On peu citer : le rétam (*Retama retam*) et le drinn (*Aristida pungens*) (Benchrif, 2011).

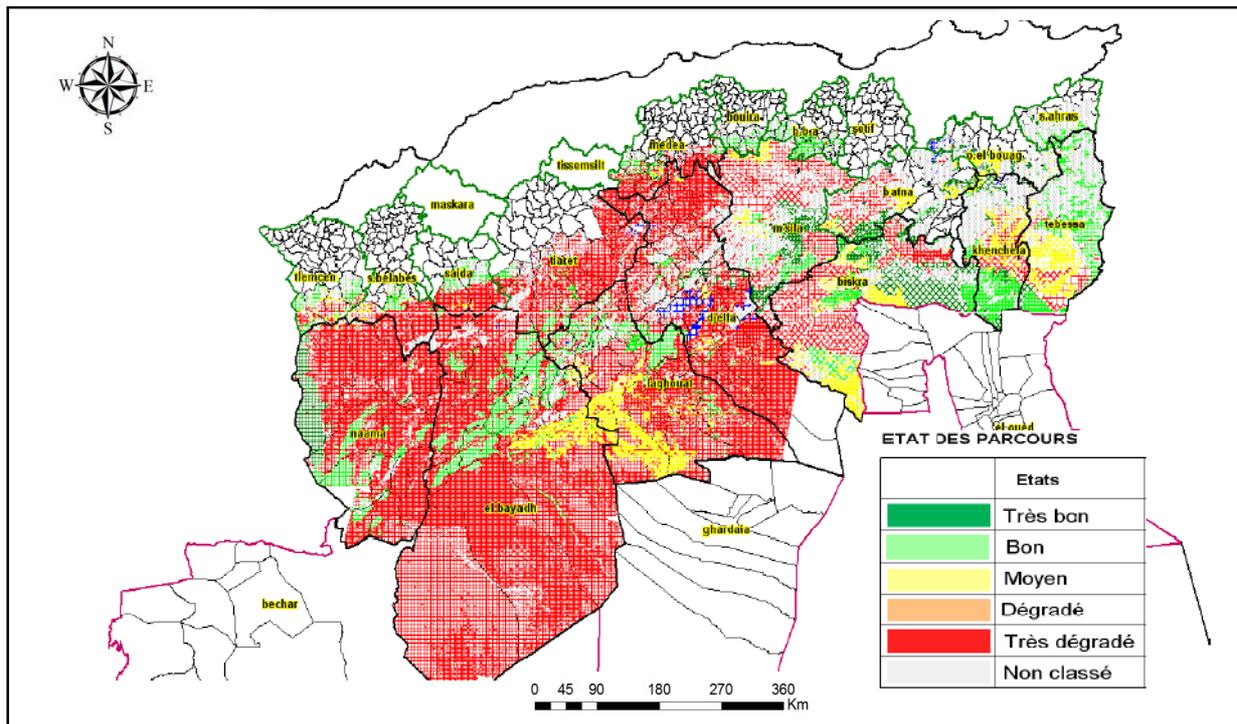


Figure 3. Etat des parcours steppique (ANAT, 2003)

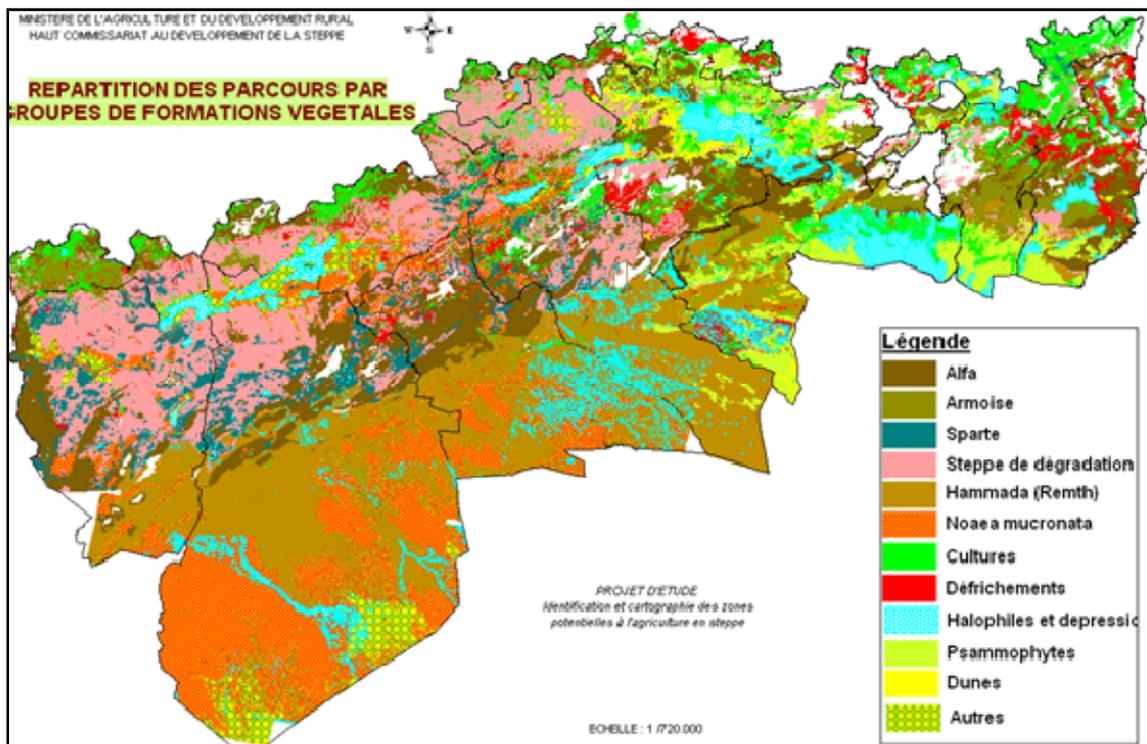


Figure 4. Répartition des parcours par groupes de formations végétales (ANAT, 2003)

### 1.1.3. Le milieu socio-économique

#### 1.1.3.1. La population

D'après le RGPH, la population de la steppe comptait environ 7 143 861 d'individus en 2008. On estime à 2,5 millions le nombre d'éleveurs et d'agropasteurs, soit environ 35% de la population totale. En effet, les grandes transhumances qui permettaient par le passé une utilisation rationnelle des ressources naturelles tendent à régresser et ne concerne que 5% de la population steppique le reste étant devenu semi-sédentaire et ne se déplace plus que sur des rayons restreints (10 à 50 Km) (KHALDOUN, 1995).

Il est évident que de part son mode de vie, sa dispersion sur les vastes étendues de la steppe, cette population est confrontée de manière accrue aux problèmes de santé, d'éducation, d'accès aux divers services et vit d'une façon générale en marge des bienfaits du progrès social.

#### 1.1.3.2. Le cheptel

L'effectif du cheptel présent dans la steppe s'élève à plus de 10 000 000 de têtes. En premier lieu les ovins avec presque 9 500 000 têtes, soit 87 % du cheptel, et en dernier lieu les camelins avec 22 000 têtes, soit 0,2% (MADR, 2006).

**Tableau 1. Les effectifs des animaux d'élevage national et de la zone steppique en 2006**

Espèce Effectifs	Ovin	Caprin	Bovin	Camelin	Equin	Total
Effectif national	19 615 730	3 754 590	1 607 890	286 670	238 870	25 503 750
Effectif de la zone steppique	9 413 342	1 162 375	171 237	22 065	35 242	10 804 261
Pourcentage de la steppe(%)	48%	31%	10,6%	7,7%	14,8%	42,4%

(Source MADR, 2006)

### **1.1.3.3. Occupation des terres et ressources fourragères**

Les 20 millions de parcours steppiques Selon le HCDS (2008) se répartissent comme suit:

- 1) 15 millions d'hectares de parcours palatables dont :
  - 3 millions d'hectares en bon état ;
  - 5,5 millions d'hectares moyennement dégradés ;
  - 6,5 millions d'hectares dégradés.
- 2) 5 millions d'hectares qui se distribuent ainsi :
  - 1,1 millions d'hectares de terres de cultures ;
  - 1,4 millions d'hectares de forêts et maquis ;
  - 2,5 millions d'hectares de terres improductives (zones ensablées ou salines).

Selon HADBAOUI, 2013 en l'absence d'études fiables et globales l'estimation du potentiel fourrager que recèle la steppe reste problématique. Différentes approches ont été tentées et ont abouti aux estimations suivantes :

- L'approche bibliographique qui permet d'estimer la production fourragère annuelle à l'hectare en fonction de l'état des parcours et des formations végétales dominantes aboutit à une estimation de l'ordre de 3 milliards d'UF.
- Le H.C.D.S avance quant à lui une estimation de l'ordre de 1,5 milliard d'UF.

C'est la dernière approche qui apparait la plus juste car elle est fondée sur des bases expérimentales et non pas sur des calculs par estimation. De plus, dans ce domaine il devient impératif de se doter d'outils performants d'évaluation de la ressource fourragère sachant qu'elle constitue la base de toute approche prospective qui concerne l'élevage. En tout état de cause, en prenant en compte les charges admissibles à l'hectare, on admet que les besoins de l'effectif actuel dépassent largement l'offre fourragère disponible et le recours à la complémentation est généralisé et ne se fait qu'en dernière extrémité avec toutes les conséquences en matière de désertification (HADBAOUI, 2013).

### **1.1.3.4 .Les systèmes de production**

Les superficies sujettes aux pratiques agricoles ne sont pas encore convenablement maîtrisées puisqu'on les situe entre 1 et 1,5 millions d'ha. Les cultures qui sont orientées vers la satisfaction des besoins de l'élevage (orge, avoine, fourrages) couvrent 70% des surfaces cultivées, le reste étant consacré à l'arboriculture et le maraîchage. Trois grands types de

systèmes de production sont pratiqués (MADR, 2008) : l'élevage extensif, l'agro-élevage et l'élevage hors-parcours.

#### ○ **L'élevage extensif**

Ce type d'élevage fait appel quasi-exclusivement aux parcours naturels pour satisfaire les besoins nutritifs du troupeau, ce qui suppose des déplacements dont l'amplitude est fonction des moyens dont dispose l'éleveur (à pied ou à l'aide des camions). Ce système autrefois généralisé ne concerne actuellement que 55% des éleveurs, suite à la paupérisation et à une tendance accrue à la sédentarisation. Les grands déplacements des confins présahariens aux zones céréalières du Tell restent le privilège des gros éleveurs auxquels ne font défaut ni les moyens financiers ni les moyens matériels. En ce qui concerne la satisfaction des besoins alimentaires du troupeau, certaines estimations avancent qu'ils sont couverts (MADR, 2008) :

- à 25% par les parcours naturels ;
- à 8% par les productions fourragères locales ;
- à 4% par l'exploitation des chaumes et des parcours sahariens ;
- à 63% par des apports extérieurs à la steppe (aliments concentrés et fourrages en sec).

On remarque que plus de la moitié des besoins alimentaires du cheptel sont assurés par des aliments produits hors la zone steppique, par contre les parcours naturels ne couvrent que le quart des besoins.

#### ○ **L'agro-élevage**

En complément à l'élevage, une large proportion d'éleveurs pratique la céréaliculture, principalement l'orge et accessoirement les blés dur et tendre. 1,5 millions d'ha sont concernés par cette pratique qui en 1985 ne touchait que 540 000 ha. Cette dernière pratique a été encouragée d'une part par l'utilisation de moyens mécaniques (tracteur, cover-crop) et par les difficultés à faire respecter l'interdiction de pratiquer ces labours en dehors de certaines zones favorables. Les conséquences sont évidentes : éradication des espèces ligneuses et exposition des sols à l'érosion hydrique et éolienne connaissant la fragilité des sols.

#### ○ **L'élevage hors parcours**

Ce type d'élevage concerne les petits éleveurs sédentaires qui font pâturer leurs troupeaux dans un rayon de 2 à 5 Km autour de leur résidence, dégradant inexorablement le couvert végétal à force de pacage répété. Conséquence : les besoins du troupeau doivent être couverts

à environ 60% par des apports extérieurs étant coûteux, ce type d'élevage connaît une tendance à la baisse.

Autre type d'élevage hors parcours, il s'agit de celui pratiqué par les maquignons pour les animaux destinés à la vente et qui fait appel quasi exclusivement aux aliments concentrés.

## **1.2. La dégradation des steppes, milieu fragilisé**

La steppe algérienne est un vaste territoire composé essentiellement de parcours où l'activité économique principale de la population rurale est l'élevage ovin. Cette steppe dont les ressources pastorales constituent la principale source de revenu de 7,5 millions d'habitants subit une dégradation qui se manifeste sur le plan physique par l'extension d'un paysage désertique et sur le plan socio-économique par la paupérisation des populations locales (Bensouiah, 2003). Plusieurs phénomènes sont en cours de détérioration des territoires steppiques. Certains spécialistes parlent de dégradation réversible, d'autres de dégradation irréversible et de désertisation.

En Algérie près de 20 millions d'hectares sont menacés par l'érosion éolienne. Depuis longtemps, l'érosion éolienne et ses effets néfastes sur le milieu naturel et l'environnement constituent un sérieux problème notamment dans les régions arides. Ces dernières années, suite à l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles (fourragères) et à la mise en culture des terres fragiles (défrichement) ce processus s'est particulièrement accentué.

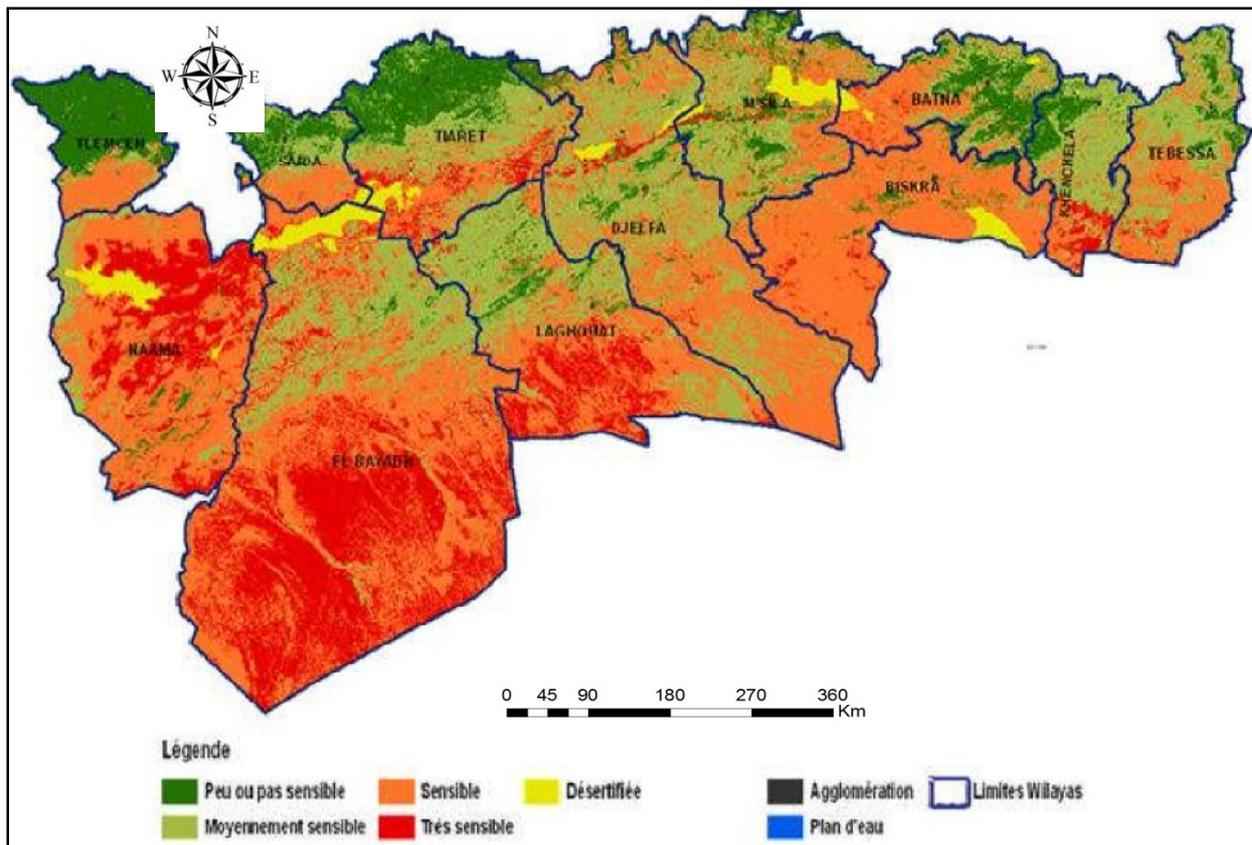
Le phénomène de l'ensablement s'est amplifié durant ces dernières années. Le bilan établi par le Ministère de l'Agriculture montre que 5 millions d'hectares parmi les 20 millions d'hectares menacés se trouvent dans un état avancé de dégradation. De même, la carte de sensibilité à la désertification établie par le Centre National des Techniques Spatiales sur la totalité de la zone steppique (figure 5), révèle que 7 millions d'hectares de terres dégradées nécessitent en urgence des aménagements (BENSAID A, 2006).

L'ensemble des conditions climatiques et édaphiques fait de la steppe un milieu fragile. Plusieurs facteurs (risques) ont affecté la steppe algérienne, tel que la désertification, l'ensablement, l'érosion, et même les inondations. Ces dernières, touchent beaucoup plus les villes steppiques -les périmètres urbains-, La lutte contre ces phénomènes nécessite des études scientifiques approfondies ; la majorité des recherches sur la dégradation des parcours steppiques concentrée sur la désertification, l'ensablement ; donc la partie suivante fait l'objet d'un état de l'art sur ces recherches.

### **1.2.1. Problématique de la désertification dans la steppe algérienne**

Le phénomène de la désertification a fait l'objet de plus de 130 définitions. Par rapport à la littérature internationale, c'est Lavauden (1927) qui a été le premier à donner la désertification un son scientifique pour décrire la dégradation du couvert végétal au sud tunisien «c'est que dans toute la zone dont nous venons de parler, la désertification, si j'ose dire, est purement artificielle. Elle est uniquement le fait de l'homme. Elle est d'ailleurs relativement récente et pourrait être combattue et enrayerée. » (El Zerey et *al*, 2009). La définition de référence adoptée actuellement est celle établie lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992: "Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines". Cette définition est aujourd'hui reconnue et utilisée à l'échelle internationale (Zair, 2011).

Les travaux des différents chercheurs indiquent que l'origine de la désertisation de la steppe n'est pas le fait unique du climat. (Boukhobza, 1976 ; 1982 ; Couderc, 1979 ; Bedrani, 1994, Aidoud, 1993 ; Montchaussé, 1977 ; Weexteen, 1977). Elle est aussi d'ordre social : « Le déroulement de l'histoire s'inscrit dans les paysages. En effet, si l'évolution multimillénaire du climat a une origine naturelle indéniable, il n'y a pas d'exemples montrant que les grandes péjorations climatiques séculaires ou infra-séculaires ne sont pas d'origine humaine, sauf dans le cas particulier de cataclysme » (Montchaussé, 1977). Cependant, dans la steppe algérienne en général, quelques travaux sur le phénomène de désertification parus dans les années soixante dix, diffèrent dans leurs points de vues sur les véritables acteurs ayant déclenché ce phénomène écologique (Hadeid, 2008). La désertification dans la steppe algérienne avance à pas lents mais certains Le rythme d'évolution de ce phénomène est d'autant plus inquiétant lorsqu'on sait que l'évolution démographique dans ces zones est telle que les ressources disponibles n'arrivent d'ores et déjà plus à satisfaire les besoins de la population et des activités économiques développées par cette dernière (Figure 5) (Bensouiah, 2003).



**Figure 5.** Carte nationale de sensibilité à la désertification (CNTS, 2010)

### 1.2.1.1. Processus de la désertification

Le scénario est toujours le même quelque soit l'endroit, même si les itinéraires et la durée des étapes qui conduisent à la désertification sont différents: on assiste à une régression du tapis végétal qui va passer par plusieurs gradations. Les diminutions quantitatives sont suivies par un changement de la composition floristique. Les plantes sont de plus en plus rabougries et inintéressantes. Graduellement le sol découvert subit l'action du vent et de la pluie; les phénomènes d'ablation et de décapage laissent des étendues caillouteuses tandis que le transport et l'accumulation créent des paysages dunaires (Regagba, 2012).

### 1.2.1.2. Les causes de la désertification

D'après Ikhlef, 2013 La désertification dans les zones steppiques a été attribuée à deux facteurs essentiels:

➤ **Les causes liées à l'environnement**

**a) climat**

Le climat qui règne dans les zones arides, semi-arides et subhumides (méditerranéennes, tropicales, continentales) est un facteur aidant à la désertification. Il les rend plus sensibles à la dégradation de la végétation et du sol plus susceptibles à d'épuiser rapidement leurs réserves en eau et, par conséquent, plus sujettes à l'aridification (Nahal, 2008). En effet, ces climats se caractérisent par:

- Une période de sécheresse longue et intense dépassant généralement six mois de l'année sous climat méditerranéen.
- Une grande variabilité des pluies d'une année à l'autre pouvant atteindre 80% dans l'étage saharien du climat méditerranéen
- Une intensité élevée des pluies tombant, le plus souvent, sous forme d'averses de courte durée et concentrées sur un nombre restreint de jours dans l'année. Cette forme de précipitation montre une agressivité élevée pour les sols en pente non ou peu couverts par la végétation, ce qui diminue l'effet des pluies par rapport à la végétation et accentue leur impact sur l'érosion hydrique du sol (Figure 6) (Nahal, 2008).



**Figure 6.** Effet de l'érosion éolienne et hydrique sur les sols steppiques

**b) Sol et végétation**

La plupart des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sols utiles. Ils sont généralement faibles en matières organiques et sensibles à l'érosion et la dégradation. Les bons sols dont les superficies sont limitées se

situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial) soit linéaire et caractérisé par les lits d'oueds, soit fermés et appelés «*daya* » (Nedjimi et Homida, 2006).

Les sols des zones arides présentes donc des caractéristiques qui imposent des limitations aux écosystèmes de ces zones du point de vue de la nature et de la densité de la végétation, de la biomasse et de la productivité qui sont réduites. Ces sols ont, en outre, une prédisposition à l'érosion en raison de la faible couverture végétale et de la nature agressive des précipitations (Nahal, 2008).

➤ **Les causes liées à l'activité humaine** contiennent trois facteurs :

#### **a) La population**

Dans les régions steppiques algériennes (9% du territoire national) la population, compose essentiellement d'agropasteurs, représente environ 12 pourcent de la population totale. Dans les zones steppiques la croissance démographique est plus forte que celle enregistrée dans le reste de pays, elle est passée de 1 million d'habitants en 1966 à plus de 5 millions en 2010 (**source ONS, RGPH**). Cette croissance a concerné aussi bien la population sédentaire que la population éparse. Cependant, on note une importante régression du nomadisme qui ne subsiste que de façon sporadique, les déplacements de grande amplitude ne concernent plus que 5% de la population steppique (Nedjraoui, 2011).

#### **b) Le surpâturage**

Ses effets sur les parcours sont visibles. Il se présente sous deux formes : la présence d'un troupeau sur une aire de parcours pendant une longue durée, la présence d'un effectif important dépassant les capacités du parcours. Sous cette pression, les ressources pastorales n'auront plus le temps ni les conditions nécessaires à la régénération et à la croissance.

De même pour les formations forestières naturelles ou artificielles où la régénération naturelle est presque nulle, ce facteur constitue selon notre diagnostic un problème sérieux qui doit être bien pris en charge (Zair, 2011).

La majeure partie de la population steppique tire ses revenus de la pratique de l'élevage d'un cheptel ovin qui n'a cessé d'augmenter depuis l'indépendance, il est estimé aujourd'hui à 19 Millions de têtes. Cette activité représente 40% de la production agricole nationale (HCDS) provoquant un surpâturage intense avec une charge près de dix fois supérieure à

la charge d'équilibre des parcours dont l'offre fourragère est en constant décroissance (Nedjraoui, 2002). Cet état des choses résulte de la demande soutenue et croissante de la viande ovine en relation avec la croissance démographique et de la haute rentabilité de l'élevage en zones steppiques du fait de la gratuité des fourrages. Nous notons une stabilisation du cheptel ces 5 dernières années (Nedjraoui, 2011).

### **c) La déforestation**

Elle est également cause de la diminution du stock fourrager des pâturages. Bien que l'on puisse penser à la réduction des pâturages seulement en termes de diminution des superficies des herbages pâturables, les pâturages sont des complexes tridimensionnels de fourrage dans lesquels les herbages, les buissons et les arbustes sont des sources d'aliments appréciables (Nahal, 2008).

#### **1.2.1.3. Les conséquences de la désertification**

Les conséquences sont fatales et multiples sur tous les plans dont nous citons principalement:

##### **A. Conséquence écologique**

- Une réduction globale du couvert végétal, voire la disparition de certains écosystèmes comme les parcours à armoise ou même à alfa dans plusieurs zones.
- La prolifération dans les terres de parcours des espèces végétales peu ou non palatables, ou psammophiles ou même toxiques (*Peganum*) au détriment des espèces fourragères;
- La dégradation des sols due au tassement provoqué par les troupeaux et les camions induisant une réduction de l'infiltration des eaux de pluie;
- La baisse de fertilité notamment par la diminution du taux de matière organique et la perte des éléments nutritifs. La productivité primaire peut être réduite à moins de 10 % de la productivité initiale des écosystèmes non désertisés (Le Houerou, 1987).
- Altération de l'environnement et déséquilibre écologique (Zair, 2011).

##### **B. Conséquences économiques**

- Dégâts causés par l'ensablement sur les infrastructures, équipements publics, exploitations agricoles et agglomérations.

- Préjudices causés par l'érosion hydrique sur les différents ouvrages.
- Réduction de la productivité des terres agricoles sylvicoles et pastorales.
- Coûts élevés des opérations de lutte, et baisse des investissements (Zair, 2011).

### **C. Conséquences sociales**

- Dégradation des conditions de vie de la population suite à la baisse de revenu pour les agropasteurs et les répercussions sur la sécurité alimentaire.
- Exode rural avec toutes ses conséquences multidimensionnelles.
- Conflits sociaux suite au à la régression des ressources naturelles.

Devant toutes ces conséquences qui ne représentent qu'une partie de ce que pourrait engendrer le fléau de la désertification, et dans le but d'orienter les interventions de lutte au niveau des zones touchées, la DGF a lancé en 1992 une étude qui a été confiée au Centre des Techniques Spatiales (CTS) d'Arzew portant sur "l'établissement de la carte nationale de sensibilité des terres à la désertification" par télédétection, qui fût actualisée en 2009 ( Zair, 2011).

#### **1.2.1.4. La lutte contre la désertification**

Les techniques de lutte contre la désertification ont fait l'objet de nombreuses recherches. Il n'existe malheureusement aucune solution scientifique toute faite pour contrôler la désertification, et personne n'est en mesure de fournir une réponse simple. Il existe cependant de nombreuses solutions partielles mises au point pour des conditions particulières dans des régions précises. Les solutions sont spécifiques de chaque lieu et de chaque situation.

La science et la technologie constituent des outils essentiels dans la lutte contre la désertification. Le rôle de la recherche est de produire les connaissances et les technologies permettant de répondre aux besoins des populations.

L'institut de recherche pour le développement est présent dans la plupart des pays touchés par la désertification. Sans développer tous les aspects qui donnent lieu à de nombreuses recherches, nous prendrons trois exemples : les observatoires, l'apport essentiel de la télédétection pour le suivi et l'évaluation de la désertification et les problèmes fonciers si particuliers au Sahel.

Cependant, la lutte contre la désertification est d'autant plus difficile que l'environnement est plus dégradé et que le climat est plus aride. En effet, il est plus aisé de régénérer des zones désertifiées et les résultats de cette opération seront plus rapides si le sol est profond, le climat plus humide, la végétation plus apte à la cicatrisation et s'il existe des sources disponibles à partir desquelles les espèces végétales peuvent réémigrer (Nahal, 2004).

- **La reconstitution du couvert végétal**

L'état alarmant du couvert végétal nécessite un programme de réhabilitation axé sur des opérations de protection et des opérations de réhabilitation. Le reboisement basé sur : les plantations pastorales, les fixations des dunes en amont et les bosquets d'ombrage doit contribuer d'une manière considérable à la réhabilitation des parcours. Seulement, il faut préciser que l'opération de mise en défens constitue l'une des mesures les moins coûteuses et les plus efficaces dans ce cadre (Zair, 2011).

- **La lutte contre l'érosion hydrique**

L'opération de lutte contre l'érosion hydrique confiée au secteur des forêts se fait exclusivement avec le procédé mécanique.

Dans le but d'atténuer les risques de ce type d'érosion, il s'avère nécessaire de favoriser la reconstitution de la couverture végétale au niveau des piedmonts, bas-versants et mi-versant. Cela peut se faire, selon les zones, par des opérations de mise en défens stricte et des actions de repeuplements (Zair, 2011).

- **Le rôle des mises en défens**

Parallèle au reboisement, l'action de mise en défens comme mesure de lutte contre la dégradation des terres reste la moins coûteuse (par rapport aux plantations), la plus efficace (réalisable sur de grandes étendues) et la plus rentable (résultats très intéressants) (Zair, 2011).

Diverses études ont montré l'efficacité de la mise en défens qui permet, dans une steppe dégradée après un laps de temps, la reconstitution des caractéristiques majeures (couvert, composition, production) de la végétation préexistante (Aidoud et al, 2006).

Les détracteurs de la mise en défens avancent l'argument de la baisse de la productivité au cours du temps. Il est bien connu que l'effet bénéfique de la mise en défens

n'est pas proportionnel à sa durée. Dans une steppe habituellement pâturée puis mise en défens pour une longue durée, les végétaux, notamment ligneux, ont tendance à «faire du bois » en réduisant du coup la production de matière verte qui s'accompagne souvent d'une baisse d'appétibilité de la végétation (Figure 7) (Aïdoud et *al*, 2006).



**Figure 7.** Dayat El Chih avant et après la mise en défens (HCDS, 2015)

Enfin, il est à noter que l'efficacité de la mise en défens reste tributaire du bon choix des gardiens d'une part et de la mise en disposition des éleveurs touchés par cette mesure des apports subventionnés d'orge comme moyen de compensation, tout en veillant sur le maintien d'un équilibre entre l'effectif du cheptel et les potentialités des parcours avoisinants non touchés par cette mesure (Zair, 2011).

○ **La mise en place de mécanismes institutionnels :**

La mise en place de mécanismes institutionnels et politiques propices au développement économique et à la préservation des ressources naturelles. Parmi ceux-ci l'établissement de législations et de réglementations, la mise en place d'incitations économiques et fiscales, le développement d'infrastructures, le renforcement des ressources humaines. La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche globale des problèmes d'environnement et de développement. La viabilité des actions entreprises pour lutte contre la dégradation des terres est souvent conditionnée par l'accroissement et la diversification des ressources permettant une élévation du niveau de vie des populations. Une stratégie efficace visant à réduire ou à arrêter la dégradation des terres devra prendre en compte les critères de développement durable (Benguerai, 2011).

### **1.2.1.5. Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification**

Par sa position géographique, entre les zones telliennes au nord et le Sahara au sud, et son étendue, la steppe algérienne est une zone naturelle tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le nord de l'Algérie. Outre son rôle capital dans l'équilibre écologique des différentes zones naturelles du pays, elle constitue, par ses richesses naturelles, le support de nombreuses activités économiques, à leur tête, l'élevage pastoral (Daoudi et al, 2010).

Pour remédier à la dégradation des ressources naturelles, l'Algérie a, dès l'indépendance, entrepris un grand nombre d'actions. Dans les premières années, seule la dimension reboisement a été retenue à des fins de régénération des terres perdues par les incendies et l'exploitation non contrôlée, la protection des bassins versants contre l'érosion hydrique et le développement de l'activité économique sylvicole (DGF, 2004).

#### **1. Stratégies et priorités établies dans le cadre des plans et politiques de développement durable**

L'Algérie qui, au même titre que les autres pays Maghreb, a ratifié la convention le 22 mai 1996 et pris un certain nombre de mesures pour mettre en œuvre la CCD tant au niveau de programmes d'action que de projets. Le rapport national de la mise en œuvre de la convention édité en 1991, estime que «la politique de LCD et la conservation des ressources naturelles sont à la charge de l'Etat ». Un certain nombre d'institutions et d'organismes sont impliqués dans la mise en œuvre notamment (DERJ A, 2004).

-L'Organe National de Coordination créé en juin 1998 et qui pour missions principales d'assurer la coordination intersectorielle dans l'élaboration et la mise en œuvre du plan d'Action National.

- Une sous-direction au sein du Ministère de Affaires Etrangères, interface entre les organismes nationaux et institutions internationales chargées de l'environnement, a été créée à cet effet.

- Le Ministère de l'Agriculture et de la pêche par la biais de la Direction générale des forêts est l'institution chargée d'élaborer et d'appliquer la politique de prévention de lutte contre toutes formes de dégradation du milieu naturel et mettre en œuvre des actions de développement durable (Tableau 05) (Benguerai, 2011).

**Tableau 2. Programmes et plans de 1962 à 1990** (DGF, 2004)

<b>Intitulé</b>	<b>Période</b>	<b>Type d'actions en rapport avec le reboisement et/ou la lutte contre la désertification</b>
Chantiers populaires de reboisement CPR	1962-1967	Reboisement dans les régions à fort taux de chômage
Plan triennal	1967-1969	Relance de l'activité forestière
Premier plan quadriennal	1970-1973	Reboisement productif et «barrage vert» contre la désertification
Deuxième plan quadriennal	1974-1977	Renforcement du plan précédent
Programmes spéciaux	variables	Activités ciblées de DRS et de reboisement
Premier plan quinquennal	1980-1984	Reboisement et aménagements des bassins versants
Deuxième plan quinquennal	1985-1989	Reboisement avec une plus grande diversification des espèces
Le barrage vert	1971-1990	Reboisement systématique puis aménagement intégré agro-sylvo-pastoral des territoires.
Le plan national de lutte contre la désertification	Dès 1987	Intensification et extension du barrage vert avec une approche agro-sylvo-pastorale.
Haut-commissariat au développement de la steppe	1987	Développement intégré de la steppe

(Source DGF, 2004)

## 2. Mesures institutionnelles et leurs mécanismes

Ils sont au nombre de six et montre l'intérêt accordés aux organes consultatif dans notre pays sans toutefois qu'ils aient un impact déterminent dans la lutte contre la désertification:

- Le haut conseil de l'environnement et du développement durable HCEDD: il est placé sous la présidence du Chef du Gouvernement a été institué par décret présidentiel en date du 25/12/1994. Ses missions sont de définir des options stratégique de protection de l'environnement et du développement durable,

d'apprécier périodiquement l'état de l'environnement et l'application des textes y afférant, de lancer toute l'étude, de se prononcer sur tout dossier relatif aux problèmes écologiques majeurs, et enfin de faire annuellement rapport au Président de la République sur l'état ainsi que sur l'application des décisions ayant trait à l'environnement et au développement durable.

- Le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG): c'est un organe consultatif d'études, d'orientation, de coordination et d'information. Il est composé de plusieurs ministères en charge ainsi que d'institutions nationales produisant des informations géographiques de base.
- Observatoire National de l'Environnement et de Développement Durable: créé par décret exécutif N° 02-115 du 03 avril 2002, l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable est chargé de la surveillance et du contrôle de l'environnement. Il représente un outil au service des programmes de développement durable. Pour la réalisation de ses missions, l'Observatoire dispose de laboratoires régionaux, de stations et de réseaux de surveillance; c'est doté par l'Etat d'un fonds initial.
- Le Conseil National de l'Aménagement et de Développement Durable du Territoire, Conseil National de l'Eau. Comité National des algériennes ONG pour la lutte contre la désertification (Benguerai, 2011).

### **1.2.2. Phénomène de l'ensablement**

D'après Guyot (1980) le phénomène d'ensablement est défini comme étant une formation naturelle d'amas de sable, où le vent représente l'agent principal; en frappant la surface du sol, le vent provoque l'ablation, transport et enfin l'accumulation des éléments fins dans une autre zone. Le phénomène d'ensablement ne se manifeste qu'en conditions suivantes et selon leur intensité.

- La fréquence des vents efficaces et secs qui soufflent pendant de longues durées dans une même direction.
- Présence d'une source d'alimentation en sable.
- Présence d'un sol à texture grossière, pulvérulente, pauvre en élément d'agrégation soumis à des actions anthropiques mal adaptées.

- Un climat à longue saison sèche provoquant la dessiccation des horizons superficiels du sol et la disparition de la couverture végétale, et une pluviométrie à caractère torrentiel mal répartie dans le temps.
- Un relief atténué avec de grandes étendues plates favorisant l'action du vent en lui permettant d'atteindre des vitesses importantes.
- L'absence des rideaux abris pour réduire la vitesse du vent.

### **1.2.2.1. Origine, formes et effets de l'ensablement**

Selon Berte (2010), il y a ensablement lorsque les grains de sable sont transportés par les vents et s'accumulent sur le littoral, au bord des cours d'eau et sur des terres cultivées ou incultes. En se déplaçant, les accumulations de sable (dunes) ensevelissent les villages, routes, oasis, cultures, jardins maraichers, canaux d'irrigation et barrages, entraînant ainsi des dégâts matériels et socioéconomiques très importants.

Le déplacement des particules du sol est lié à la direction, la vitesse et la durée du vent. Lorsqu'un vent souffle avec plus de fréquence dans une direction privilégiée, on parle de vent dominant. Au niveau du sol, la vitesse du vent est nulle. Le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne de surface du sol, et sa vitesse augmente. Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au-dessus du sol, atteint ou dépasse 6 cm par seconde, la vitesse du vent est un facteur essentiel, car elle détermine la force d'entraînement du sable. Plus cette vitesse augmente, plus la capacité de transport s'accroît. Le second facteur est la taille et la densité des particules de sable. Les particules dont le diamètre a voisine 0,1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents (Berte, 2010).

Le vent entraîne en premier lieu les parties fines du sol, (le limon, le sable fin et la matière organique). Il détériore ainsi la structure du sol, qui devient plus sableuse, donc plus sensible à son action, et il diminue sa capacité de rétention d'eau. Le sol devient progressivement impropre à la culture. L'action du vent sur la végétation est à la fois mécanique et physiologique. Les particules du sol transportées heurtent les tiges et les feuilles avec une force, entraînant l'abrasion de leurs tissus. Dans les zones où les particules sont prélevées, les racines se déchaussent et la végétation risque d'être déracinée.

Le vent augmente l'évaporation et dessèche les plantes, principalement pendant la saison sèche. De plus, la capacité de rétention d'eau du sol est diminuée à un déficit hydrique. La masse d'air sec ambiant ou en mouvement a tendance à absorber toute l'humidité et à creuser le déficit de saturation. Or c'est ce déficit qui modèle le plus la végétation local, car cette dernière doit s'adapter au manque d'eau sévère (Benmelik et Bouaziz, 2006).

#### **1.2.2.2. Formes des voiles éoliennes**

les particules de sable sont transportées sur des surfaces dures à topographie plane et uniforme, où elles forment des voiles sableux de plus ou moins grande épaisseur, qui constituent un danger permanent pour les villes, routes voies ferrées et canaux d'irrigation. Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel. En outre, ils engendrent une diminution des surfaces agricoles, la stérilisation de vastes zones par déflation ou par accumulation de masses sableuses. Cette dégradation entraîne l'exode des populations rurales vers les villes ou vers des zones moins défavorisées (Benguerai, 2011).

##### **o Les Nebkas**

Dans les régions sahariennes le mot "Nebka" en arabe veut dire dune ou dunette : C'est un dépôt sableux provoqué par un obstacle (végétal, rocheux...) sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. On distingue deux types de nebkas: nebka en languette ou en flèche de sable, orientée suivant la direction du vent qui l'a formée, et nebka buissonnante de forme ovoïde couvrant presque entièrement l'obstacle et avec une légère et courte pointe au côté sous le vent. Cette forme est le deuxième stade de formation de la nebka en flèche (figure 8) (Sahraoui, 2008). La dimension d'une nebka est 50 cm de hauteur, 1 à 4 m de longueur et 40 cm de largeur. Une nebka s'édifie rapidement en quelques jours de vent fort de direction constante. Elles peuvent se détruire aussi rapidement, certaines sont de formes fugitives caractéristiques du dernier vent de sable. Elle indique une mobilité du sable à l'échelle locale (FAO, 1988).

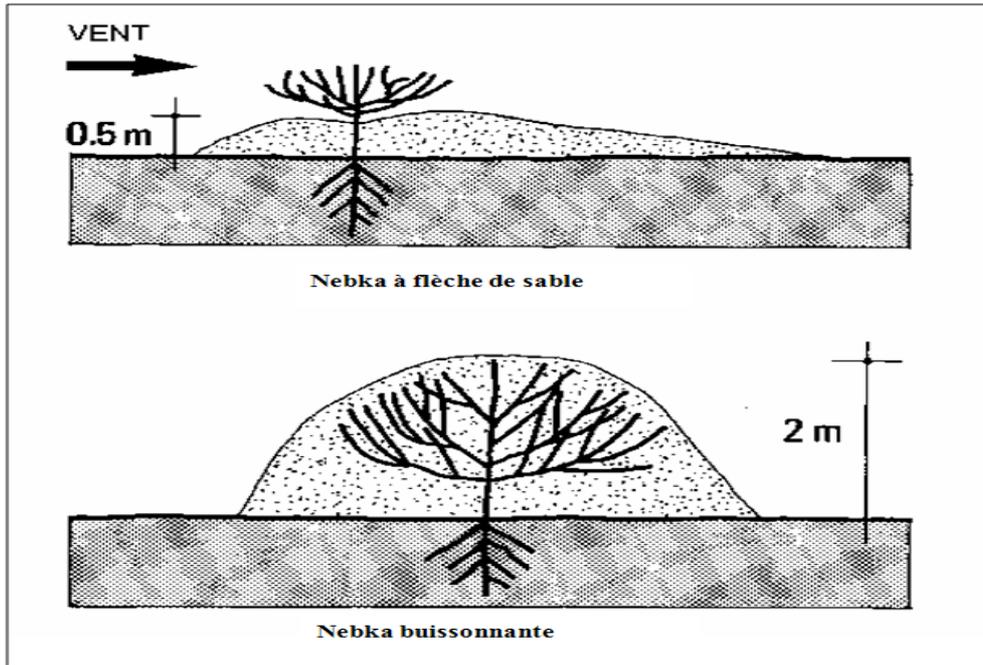
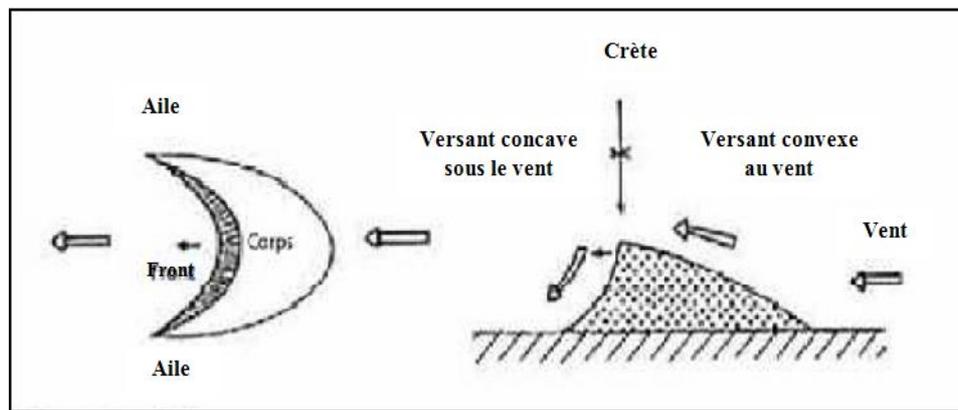


Figure 8. Nebkas à flèche de sable et buissonnante (FAO, 1988)

#### ○ Les barkhanes

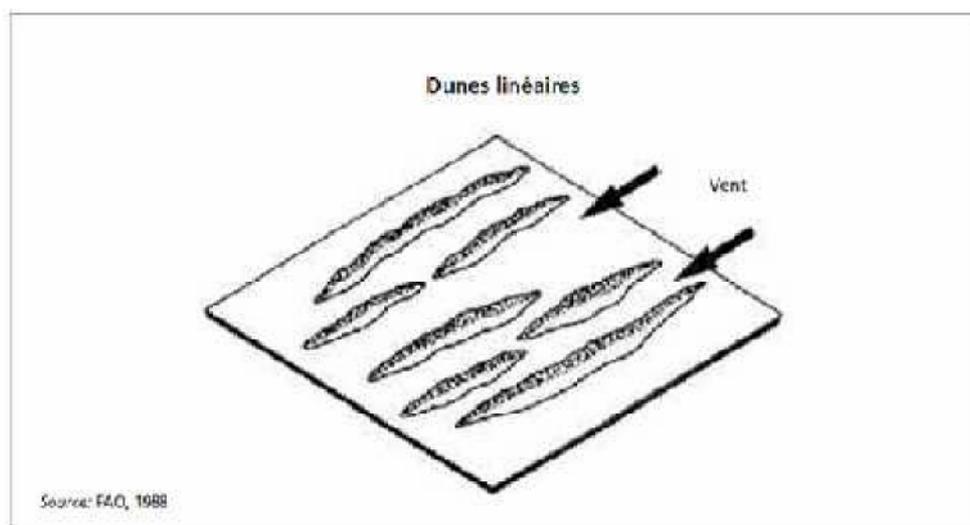
Il s'agit de dunes massives en forme de croissant à convexité au vent (Figure 9). Leur formation passe par plusieurs stades: le bouclier sableux, puis le bouclier barkhanique, suivi du dièdre barkhanique et enfin l'état de barkhane. En général, les barkhanes ne restent pas isolées; elles peuvent se rejoindre et former des ensembles complexes, allant des trains barkhaniques à de véritables massifs dunaires. La migration des barkhanes requiert trois conditions: un vent constant monodirectionnel, une source de sable importante et de granulométrie allant de 0,12 à 0,25 mm de diamètre, et une surface plane et dure. Les barkhanes étant des constructions instables, mobiles et sans cesse remodelées par le vent, leur vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an (Berte, 2010).



**Figure 9.** Formation des Barkhanes par l'action du vent (FAO, 1988)

○ **Les dunes linéaires ou « sifs »**

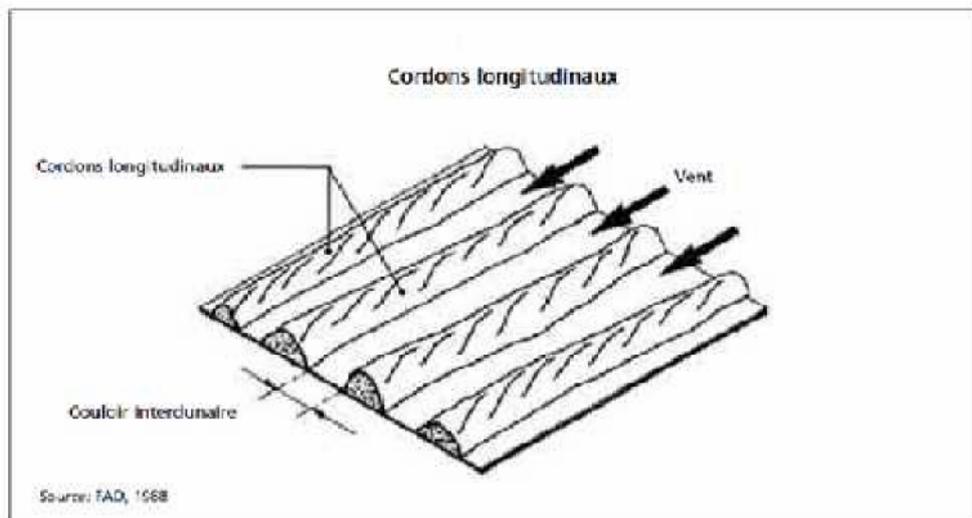
Les dunes linéaires sont des accumulations de sable, de forme allongée. La longueur est toujours de huit à dix fois plus importante que la largeur. En moyenne, ces dunes ont de 1 à 2 km de longueur et de 50 à 200 m de largeur. Elles sont parfois réunies et leurs formations peuvent mesurer de 20 à 40 km de longueur. Ce type d'accumulation éolienne se produit dans un environnement aride parcouru par deux vents dominants de direction différente. La direction de ces dunes est oblique par rapport à la résultante des vents dominants. Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement, au fur et à mesure des nouveaux apports de sable par le vent. Ce type de formation éolienne est très répandu dans la région d'étude surtout dans les terrains nus (Figure 10) (FAO, 2010).



**Figure 10.** Les dunes linéaires (FAO, 1988).

### ○ Le cordon longitudinal

Ce sont des dunes d'érosion dont l'axe est parallèle au vent dominant. D'après Jordan (1964), ce sont les dunes les plus représentées de la planète allant même jusqu'à couvrir 72% du Sahara Ceci confirme l'hypothèse que le Sahara est un désert qui se vide de son sable depuis, probablement, la fin de l'Holocène (Figure 11) (FAO, 2010).



**Figure 11.** Cordons longitudinaux (FAO, 1988)

### 1.2.2.3. Phases de transport du sable et identification des sites ensablés

#### 1. Phases de transport du sable

Lorsqu'un site est menacé d'ensablement, il est nécessaire d'identifier avec soin les sources de sable, les zones de transport et les secteurs d'accumulation. Les sources de sable peuvent être d'origine locale ou mixte (autochtone ou allochtone). Le sable peut également provenir de la dégradation du couvert végétal. D'anciennes dunes remises en mouvement, d'apports actuels provenant des épandages de crues, des terrasses alluviales ou des oueds. Une bonne localisation des étendues de sources de sable permet de bien définir les techniques de stabilisation à adopter. Les zones de transport sont des surfaces sur lesquelles le sable se déplace par saltation et reptation, en laissant sur son passage des traces telles que les voiles éoliens et les nebkas. L'orientation de ces traces indique la direction de déplacement du sable vers les zones de dépôt.

Les secteurs d'accumulation constituent également d'importantes masses de matériel sableux qui, transporté par le vent, risque d'envahir d'autres sites (Figure 12) (Benguerai, 2011).

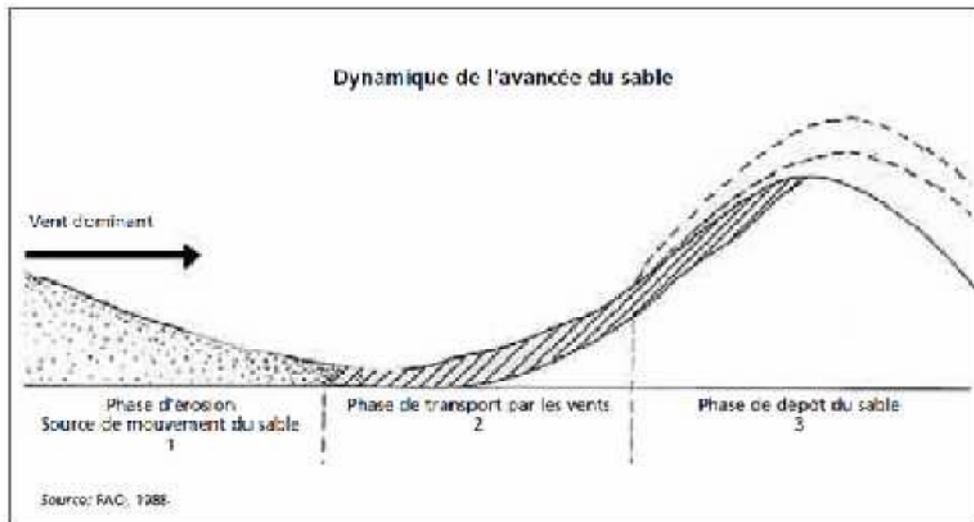
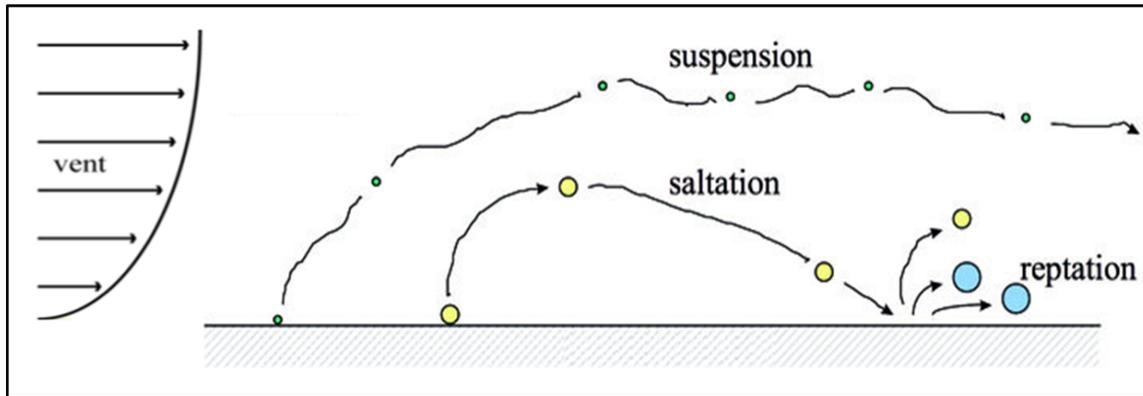


Figure 12. Dynamique de l'avancée du sable (FAO, 1988)

## 2. Transport du sable et migration des dunes

D'après A. Bagnold le transport du sable par le vent au niveau du grain est décomposé en trois modes:

- **la suspension** pour les particules les plus petites ( $D_p < 80\mu\text{m}$ ) transportées sur de longues distances par l'influence des structures turbulentes de l'écoulement. La quantité massique de particules mise en mouvement par suspension est quasi négligeable.
- **la saltation** pour les particules de taille moyenne qui font de petits bonds successifs ( $80 < D_p < 1000\mu\text{m}$ ). Le transport par saltation se fait sous la forme d'un nuage de particules évoluant à une hauteur de quelques centimètres au-dessus du sol.
- **la reptation** pour les plus grosses particules qui roulent sur le sol. Le déplacement par reptation est intimement lié à la saltation car ces gros grains entrent en mouvement par les impacts des grains de saltation sur le sol.



**Figure 13.** Les trois modes de transport éolien de particules (Ould el-Moctar A ,2014)

### 1.2.3. Phénomène de l'inondation

L'homme, depuis des siècles, s'installe aux bords des rivières afin de profiter de ses avantages ; transport fluvial des marchandises, pêche, source d'alimentation en eau, source d'énergie hydraulique....mais il doit aussi en subir les caprices dont les plus redoutables sont liées aux crues. Ainsi, la lutte contre les inondations constitue un enjeu important compte tenu du nombre d'endroits potentiellement affectés. « *Les inondations causent plus de 50% des catastrophes naturelles en moyenne plus de 200 000 morts/ an dans le monde* » selon PAUL MAISTRE (2000).

Et selon Mazet (2000) l'inondation constitue la catastrophe naturelle la plus répandue et n'épargne aucune partie de la planète. D'après Carry et Veyret (1996), les inondations constituent des risques naturels les plus fréquents issus des phénomènes météorologiques et qui touchent le plus grand nombre d'individus sur la terre. De ce point de vue, ces deux auteurs estiment que les inondations ont représenté plus du tiers de l'ensemble des cataclysmes recensés de la fin du XXème siècle. Pour Gbaguidi (1998), les inondations surviennent chaque année pour complexifier l'existence des populations de nos agglomérations tant urbaines que rurales. Ces inondations subites emportent sur leur passage des champs, des habitations, les infrastructures socioéconomiques faisant alors de nombreux "réfugiés climatiques" avec ses multiples conséquences. Quant à Houndénu (1999), les inondations permettent de rendre compte de la durée d'apparition des événements climatiques exceptionnels dont la non maîtrise augmente la vulnérabilité des populations surtout les plus pauvres.

La recherche concernant les risques n'est pas purement théorique ; il s'agit d'améliorer, dans la mesure du possible, des décisions impliquant des vies humaines et marquant l'espace par des choix d'aménagement, donc aussi d'orienter le développement économique et social des secteurs concernés. En conséquence, il s'agit aussi d'expertise scientifique qui exige une approche pluridisciplinaire (météorologie, hydrologie, statistique, hydraulique, géologie, topographie, génie civil, économie, environnement, ...). A partir de là, l'analyse permet de maîtriser l'occupation et l'exploitation de son espace. Toute analyse des risques naturels doit être menée avec cette idée. La prévention des risques permet de les réduire car le risque nul n'existe pas et la connaissance est incertaine (ONG CRDEL, PCUG3C, LEDUR, 2010).

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 (CORTES A, 2006 ; MERABET A, 2006)

### **1.2.3.1. Principaux paramètres spécifiant l'alea « 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 centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale.

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants (MERABET A, 2006).

**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.

**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

**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 (MERABET A, 2006).

**1.2.3.2. Les facteurs aggravants**

Le déroulement de l'inondation peut être perturbé par des phénomènes plus ou moins artificiels et souvent aléatoires, qui sont d'autant plus gênants qu'ils viendront aggraver l'aléa, en augmentant les hauteurs et durée de submersion ou les vitesses. Lorsque c'est possible, il convient d'apprécier les circonstances particulières susceptibles d'aggraver les effets de la seule montée des eaux.

Les phénomènes évoqués ci-dessous sont des exemples de facteurs aggravants, et ne constituent pas une liste exhaustive. Il convient donc de s'interroger sur les particularités du site étudié et de son environnement pour évaluer la potentialité de tels phénomènes aggravants.

○ *Défaillance des dispositifs de protection*

Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs...) peut être limité, comme en ont témoigné les inondations dans le passé.

Leur comportement et leur efficacité sont fonction de leur mode de construction, de la qualité de leur gestion et de leur entretien, ainsi que de la crue de référence pour laquelle ils ont été dimensionnés. La rupture ou la submersion d'une digue peut, dans certaines circonstances, exposer davantage la plaine alluviale aux inondations que si elle n'était pas protégée.

En particulier, le déferlement d'eau ajoute un phénomène aggravant sur une bande de terrain proche de l'ouvrage.

○ *Le transport et dépôt de produits indésirables*

L'inondation prend en charge puis abandonne sur son parcours des produits polluants, des matières toxiques ou des germes pathogènes. Ces produits sont particulièrement abondants en zones urbaines ou industrielles, et justifient des précautions particulières.

○ *Phénomènes d'embâcles et de débâcles*

Sur certaines rivières et/ou dans certaines configurations, il peut se produire des embâcles, c'est-à-dire des amoncellements de matériels (arbres déracinés, voitures emportées, glace...) au niveau d'un ouvrage ou d'un rétrécissement du cours d'eau, qui provoque momentanément une retenue d'eau à l'amont.

Lorsque ces embâcles cèdent (débâcle), la rupture provoque la décharge violente d'une grande quantité d'eau et de corps flottants. A l'aval, les caractéristiques de l'inondation changent brutalement (accélération du courant, brusque montée des eaux, transport solide), et ceci de manière difficilement prévisible.

○ *La surélévation de l'eau en amont des obstacles*

Tout obstacle à l'écoulement (pont, remblai, mur) provoque une surélévation de l'eau en amont et sur les côtés, qui est d'autant plus grande que l'obstacle intercepte une section importante de l'écoulement (Vallée A et al, 2004).

### **1.2.3.3. 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

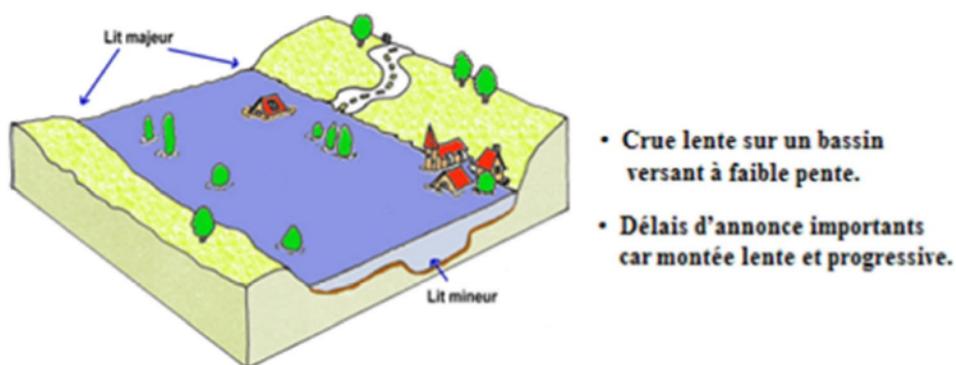
ruissellement en secteur urbain ou rural, inondation par rupture d'une digue et inondations marines.

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 (Vallée A et al, 2004).

### 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 km<sup>2</sup>). 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.

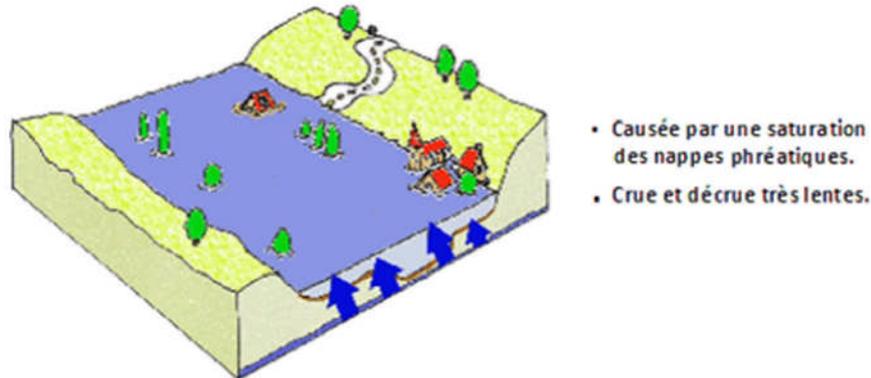
Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion (Merabet A, 2006).



**Figure 14.** Inondation de Plaine (Merabet A, 2006)

## 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. (Merabet A, 2006).



**Figure 15.** Inondation par remontées des nappes phréatiques (Merabet A, 2006)

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. (Boubchir A, 2007)

## 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.

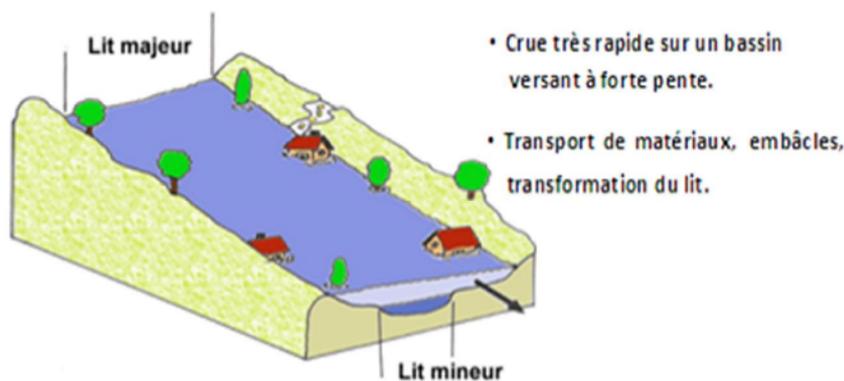
Les crues torrentielles se caractérisent par un très fort transport solide et une profonde modification du lit à l'occasion de l'événement. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues (Ledoux B, 2006).



**Figure 16.**Inondation par crues torrentielles (Merabet A, 2006).

#### 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 (Ledoux B, 2006).



**Figure 17.**Inondation par ruissellement en secteur urbain (Merabet A, 2006).

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. (Ledoux B, 2006).

## **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. (Boubchir A, 2007 ; Ledoux B, 2006 ; et SPPPI, 2004)

## **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) (SPPPI, 2004).

### **1.2.3.4. 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.

## 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 m /s/km, il n'est pas surprenant que certains petits bassins versants puissent fournir des débits spécifiques record, parfois supérieurs à 30 m /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 (Salomon J-N, 1997).

### 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.

### 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 (Salomon J-N, 1997).

**d. Accidents :** comme exemple 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...) (Merabet A, 2006).

## **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.
- ❖ 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
- ❖ 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 (Ledoux B, 2006 ; Salomon J-N, 1997).

#### **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) (Ledoux B, 2006)

#### **1.2.3.5. 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 (Salomon J-N, 1997).

### **1.2.3.6. 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) (Oufella O, et Toabia B, 2005), 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

Les précipitations se caractérisent en Algérie par une très forte irrégularité tant interannuelle que saisonnière entraînent 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 (Merabet A, 2006). 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. (Bahlouli, 2001).

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 (Bahlouli, 2001 ; Merabet A, 2006 ; Oufella O, et Toabia B, 2005)

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 (Oufella O, et Toabia B, 2005)

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 Km<sup>2</sup> 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 (Merabet A, 2006).

➤ **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 (Merabet A, 2006).

#### **1.2.3.7. Les événements remarquables d'inondations en Algérie**

Sur le territoire national les inondations constituent un risque majeur, L'Algérie, similairement aux autres pays du monde, a connu des inondations que paraissent à notre avis plus meurtrières et dévastatrices que celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen. Au cours de la décennie écoulée, nous avons pu avoir les données de quelques inondations parmi lesquelles:

- *Le 20 octobre 1993* (Ouest algérien): 22 décès et 14 blessés à Oued Rhiou. Toujours durant ce mois d'octobre 1994, des inondations ont été signalé dans plusieurs régions du pays, bilan 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations ;
- *Le 22 octobre 2000* inondations à l'Ouest algérien au niveau d'oued Mekerra (Sidi Bel Abbes) : plus de 24 décès.
- *Les 10 et 11 novembre 2001* à Bab El Oued (Alger) les pluies diluviennes ont fait 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
- *Le 14 octobre 2006* des maisons détruite et plusieurs morts ont été signalés au niveau de la wilaya de Tamanrasset au sud du pays, suite aux pluies torrentielles qui se sont abattues sur l'ensemble de la wilaya durant trois jours.

- *Le 21 octobre 2008* deux morts victimes des inondations à Béchar (pluies qui ont durées plus de trois jours).
- *La journée du mercredi, 1 octobre 2008* des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, à 500 km au sud d'Alger faisant dangereusement monter les cours d'eau. Au moins 33 personnes sont mortes, 84 personnes ont été blessées et près de 600 maisons détruites dans des inondations très importantes.
- *Le 09 Octobre 2008* dans la wilaya d'Aïn Defla, les intempéries ont causé six décès et huit autres blessées parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région.
- *La journée de dimanche 12 Octobre 2008*, a été fortement pluvieuse, de 20h45mn à 23h, 35 mm de pluie ont été enregistrée, surtout dans les localités de Khemis Miliana et Sidi Lakhdar où la force de l'averse a fait que le revêtement bitumeux de la chaussée en certains endroits a été endommagé, de même que des habitations noyées par des eaux chargées de terre argileuse et de gravier. Des torrents de boue provenant des collines surplombant la ville de Khemis Miliana ont envahi la majorité des quartiers.
- *Durant ce mois d'Octobre* d'autres crues et inondations sont signalées à Batna (450 km au sud-est d'Alger) où deux personnes ont été emportées par les eaux d'oueds en crue, à Médéa (80 km au sud d'Alger), un sexagénaire est décédé suite aux pluies torrentielles qui se sont abattues sur la région de Berrouaghia.
- *A Bechar*, région habituellement désertique et aride, situé à plus de 1000 km au sud-ouest d'Alger, au moins huit personnes sont mortes noyées dans des inondations qui l'ont frappé mercredi et jeudi 15 et 16 octobre 2008.
- la wilaya d'El-Bayadh en 01 octobre 2011 qui a laissé 12 décès, 447 sinistrés, c'est notre zone étudiera dans cette thèse.
- *En fin* la dernière inondation qui touchée la wilaya de Laghouat en 30/09/2016 dégât matérielles



**Figure 18.** Inondation de la ville d'El-Bayadh Octobre 2011 (Cliché A. GUERROUDJ, 2011)

Le tableau I.3 présente, par wilaya, le nombre de constructions en zones inondables, fournit une idée de la gravité de la situation que peut générer le double phénomène des inondations et de l'urbanisation en zone inondable.

**Tableau 3. Habitations construites en zones inondables en Algérie (extrait)**

Wilaya	Nombre de constructions
Chlef	2248
Laghouat	3083
O. E. Bouaghi	1999
Batna	16261
Béjaia	500
Biskra	763
Bouira	1438
Tamanrasset	1159
Tébessa	17236
Tlemcen	375
Tiaret	13
Alger	14545+ quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	47(05 zones à risques très élevés)
Sétif	1261

Saida	976+ 09 cités
Skikda	4009
S.B.Abbes	576 +04 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3075
Mostaganem	1633
M'sila	1185
Oran	06 cités
Boumerdés	561
El Tarf	2370
Tissemsilt	1340
El Oued	766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2710
Mila	1663
Ain Defla	7772
Naama	4924
Ain Témouchent	14 zones jouxtant différents lits d'oueds
Relizane	350
El-Bayadh	785 logements

### 1.2.3.8. La politique de gestion des risques d'inondation en Algérie

#### ○ *Les outils réglementaires*

L'idée de prévention des risques majeurs a émergée suite au séisme du 10 octobre 1980 de Chlef. Depuis les législateurs algériens a élaboré plusieurs lois.

- La loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire

- La loi n° 03 -10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 relatif à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. La loi contient des prescriptions particulières en matière de prévention des inondations article 24 et 25.

○ *Les Plans Généraux de Prévention des Risques d'Inondation (PGPR) :*

Les outils réglementaires sont institués par la loi n°04-20 du 25 décembre 2004) dans les articles 16 – 18 – 24 -25.

En outre il y a eu lieu de prévoir la création d'une délégation des risques majeurs, dont les objectifs seraient :

- la maîtrise de l'urbanisme
- la préservation des capacités d'écoulement et d'expansion des crues pour ne pas aggraver les risques dans les zones situées en amont et en aval.
- la protection des biens et des personnes

### **Conclusion du premier chapitre**

La steppe algérienne est considérée comme une région vulnérable aux risques, tels que les phénomènes de désertification, l'ensablement et les fortes pluies irrégulières, causant des inondations désastreuses. La politique de gestion des risques d'inondation en Algérie reste insuffisante en termes de précaution ou même de prévision, ce qui fait que l'intervention vient toujours après l'événement. Pour étudier ce phénomène, notre choix a porté sur une zone steppique touchée par des inondations.

Le chapitre qui suit est consacré à la présentation de la wilaya d'El-Bayadh dans son cadre climatologique, géologique, et socio-économique. L'étude climatologique décrit les paramètres de précipitation, température, humidité, et autres. Il contient aussi un aperçu sur les risques naturels, notamment la désertification et l'inondation, qui touchent principalement la wilaya d'El-Bayadh. L'inondation est présentée dans ce chapitre avec plus de détails, particulièrement du bassin-versant El-Biod qui a enregistré un événement métrologique tragique dû au débordement catastrophique du oued El-Biod en octobre 2011, et qui a causé des dégâts humains et matériels.

## *Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude*

**Introduction**

Encadrée au Nord par la grande dépression endoréique du Chott Chergui et au sud par l'Erg occidental, la wilaya d'El-Bayadh, ce vaste territoire de 71 697 Km<sup>2</sup>, soit 3 % de la superficie totale du territoire national, est fortement marquée par l'aridité qui s'accroît du Nord au Sud. Elle constitue à ce titre, un milieu naturel fragile, où la dégradation du couvert végétal du massif de l'Atlas saharien et des sols des plaines steppiques et parcours présahariens ont atteint des niveaux parfois irréversibles, sous l'effet conjugué de l'action de l'érosion hydrique et éolienne et les effets anthropiques dus au surpâturage et à la mise en culture incontrôlée des parcours.

Paradoxalement, sur le plan démographique, la wilaya accuse un taux d'accroissement global moyen annuel de 4% (la période 2000-2016), largement supérieur au taux national qui est de 2 % (la Direction Technique chargée des statistiques, de Population et de l'Emploi), résultat d'un taux de fécondité élevé.

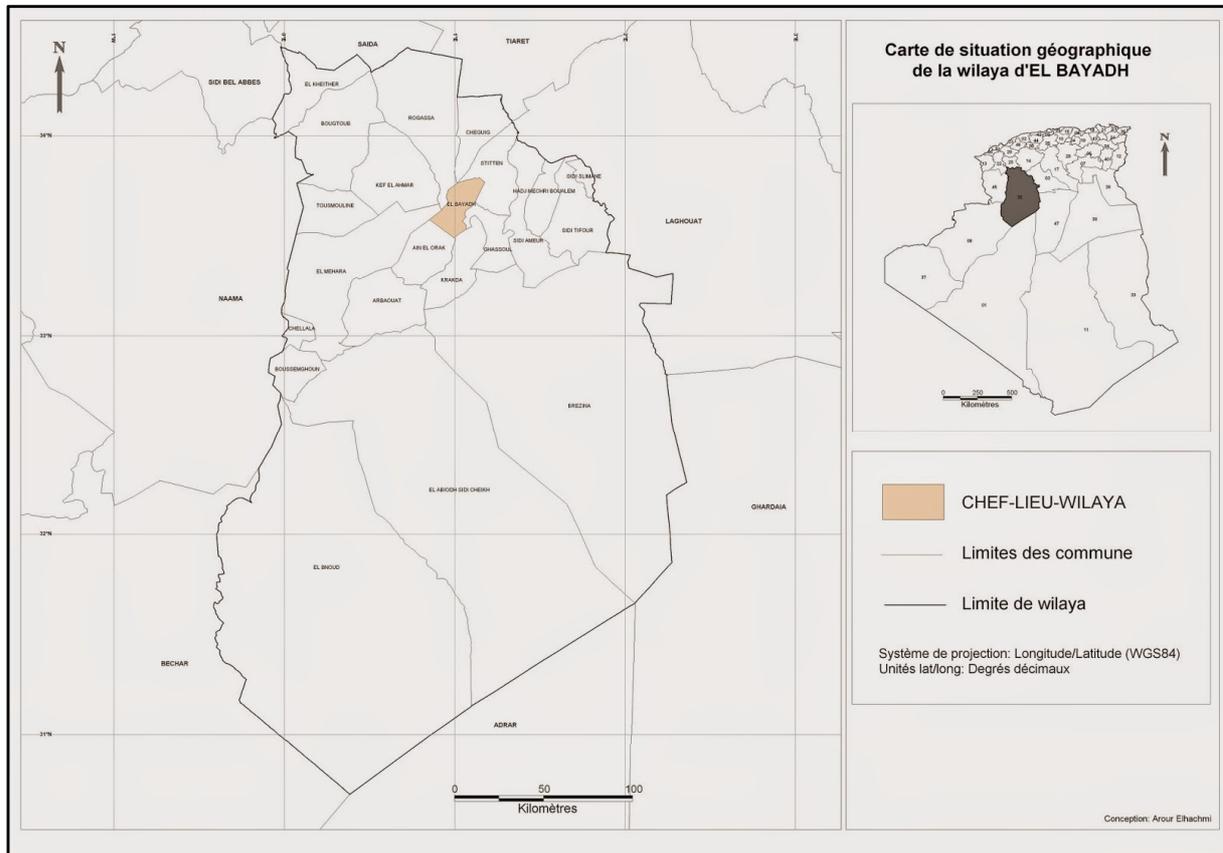
La wilaya est le siège aussi de forts mouvements de migrations intra-zonales, impliquant une forte croissance des principaux centres urbains et une forte polarité de l'armature urbaine.

**2.1. Cadre géographique de la région**

La wilaya d'El-Bayadh est située au sud-ouest du pays et fait partie intégrante des hautes plaines steppiques oranaises. Sur le plan de la stratégie nationale, elle est rattachée à la région programme «Hauts plateaux Ouest ».

Géographiquement, la wilaya est comprise entre les parallèles 30° 42'et 34° 28' de latitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 24' à l'Ouest fuseau 30 et 2° 16' à l'Est fuseau 31 (DPAT ,2010).

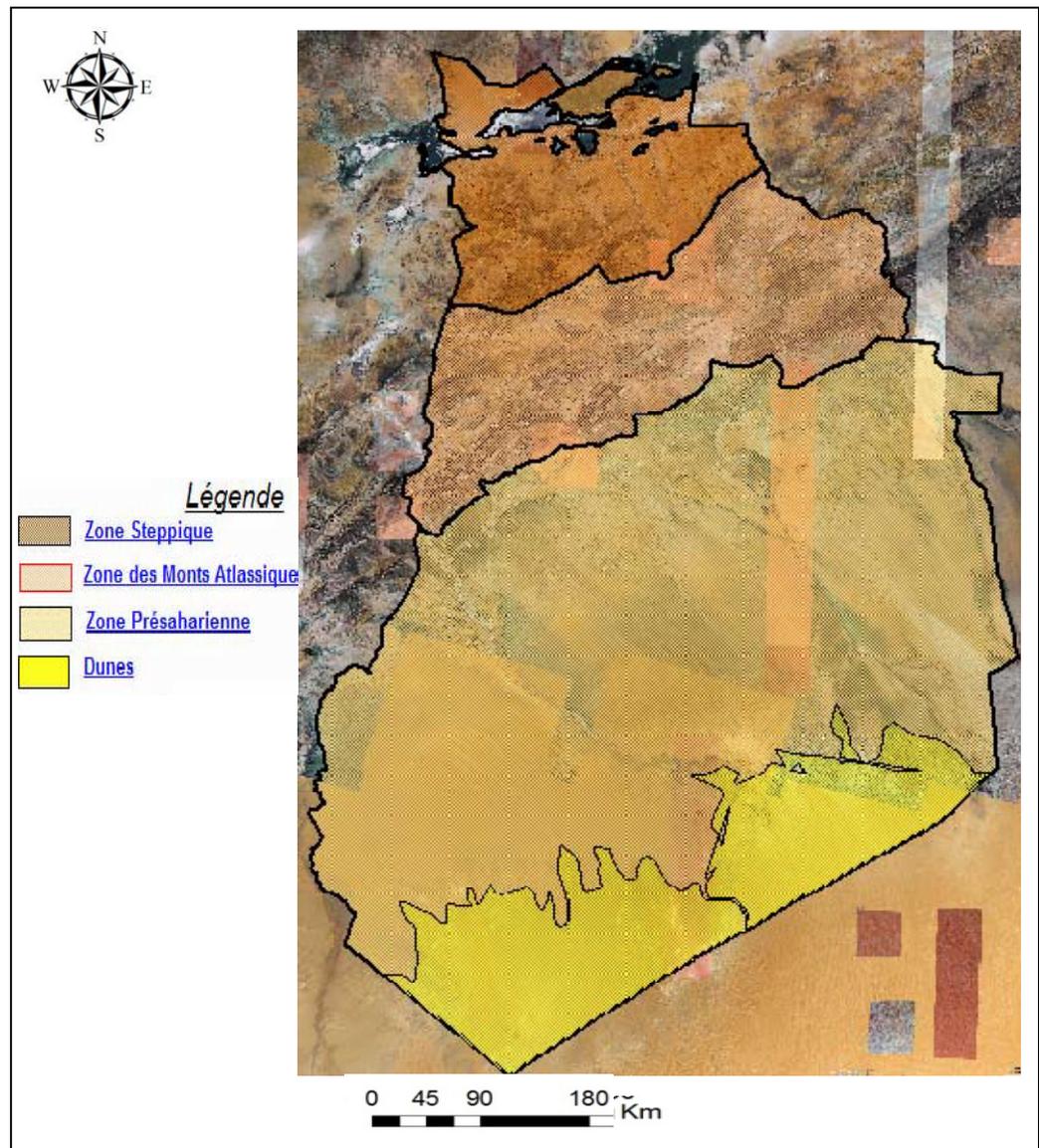
Administrativement la Wilaya est constituée de Huit dairates et Vingt Deux communes, elle est délimitée au nord par les wilayas Saida et Tairret, et A l'Est et Sud Est par les wilayas de Laghouat, Ghardaïa et Adrar et A l'Ouest et Sud Ouest par les wilayas Sidi Belabbès - Naâma et Bechar (DPAT ,2010).



**Figure 19.** Carte de situation géographique de la wilaya d'EL-BAYADH

Sur le plan physique, elle présente trois grandes zones distinctes:

- Au nord : les hautes plaines steppiques (**8.778 km<sup>2</sup>**).
- Au centre: l'Atlas saharien (**11.846 km<sup>2</sup>**).
- Au sud: la plate forme saharienne (**51.073 km<sup>2</sup>**). (ANAT, 2003)



**Figure 20.** Les zones géographiques naturelles (P.A.W 2007)

### ➤ Les Hautes Plaines

Des hautes plaines steppiques au Nord qui représentent 12.2 % de la surface totale de la wilaya : c'est le domaine des grandes étendues de steppe à alfa où seuls les dayas, lits d'Oueds et piémonts enrichis d'alluvions y seraient propices aux cultures (ANAT ,2003).

Elles sont composées de 06 communes ; Bougtob, El Kheiter, Tousmouline, Rogassa, Kef Lahmar, Cheguig et une partie de Mehara, dont les altitudes varient entre 900 m à 1400 m à Hassi Ben Hadjam (Mehara). Cette zone se caractérise par une amplitude élevée (34° à El Kheiter), une faiblesse et une irrégularité des précipitations (208 mm à El Kheiter), une gelée de 40 à 60 jours et une présence de vents chauds (sirocco) avec

des périodes sèches. Sur le plan bioclimatique, cette zone fait partie de l'étage aride frais (ANDI ,2013).

➤ **L'Atlas Saharien**

L'Atlas saharien ne représente que 16.50 % de la surface totale de la wilaya. Cette entité physique la plus peuplée (50 % de la population totale), eu égard aux conditions naturelles relativement meilleures, serait à l'origine de la production de la plus grande quantité des déchets ménagers (ANAT ,2003).

Composé de 13 communes ; El Bayadh - Boualem - Sidi Amar - Sidi Taiffour - Sidi Slimane - Stitten - Ghassoul - Krakda - Ain El Orak - Arbaouet -Chellala - Mehara et Boussemgoun, cette zone présente une situation bioclimatique semi aride froid, relativement plus avantageuse par rapport à celle de la partie saharienne de la wilaya. Elle bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux dont les altitudes varient entre 1300 mètres et 2000 mètres, dont la maximale est de 2008 m à Djebel Ksel, à l'ouest de la commune de Stitten. Les précipitations sont relativement plus importantes par rapport aux autres zones, l'hiver et plus rigoureux et l'enneigement dépasse 10 jours par an (ANDI, 2013).



**Figure 21.** Zone de l'Atlas saharien –Région de Boualem (Cliché A. GUERROUDJ, 2017)

### ➤ La plate forme présaharienne

La plate forme présaharienne occupe la plus grande surface, environ 71.24 % de la superficie de la wilaya, où l'activité agricole est limitée à la partie Nord, piémonts Sud de l'Atlas Saharien et au niveau des oasis (ANAT ,2003).

Cette plate forme est composée uniquement de trois communes ; Brezina – El-Abiodh Sidi Cheikh et Elbnoud. C'est la partie la plus désavantagée, alors qu'elle représente la superficie la plus importante de la Wilaya (ANDI ,2013).



**Figure 22.** Zone présaharienne – El Erg Gharbi Elbnoud (ANDI, 2013)

### 2.2. Cadre géologique de la région

La région d'El-Bayadh chevauche sur trois domaines géologiques structurellement dominants. On distingue, du nord au sud:

- Le domaine des hautes plaines, de structure tabulaire, constitué essentiellement de formation continentales d'âge miocène, pliocène et quaternaire.
- Le domaine de l'atlas saharien, caractérisé par la structure plissée de direction NE-SW d'âge jurassique et crétacé.
- Le domaine de la plate-forme saharienne, caractérisé par son assise détritique d'âge paléozoïque et la formation continentale " récentes" d'âge pliocène et miocène (El Zerey, 2012)

Les principales formations lithologiques, roches mères des sols et sources des matériaux alluvionnaires, sont les suivantes (El Zerey, 2012):

- Le trias est formé d'argiles schistosités plus ou moins gypseuses et salé. ces formations source de sels solubles, apparaissent en petits massifs érodés surgissant au sein des formations jurassiques.
- Le jurassique constitue des faciès très variés mais à dominance de calcaire durs et dolomitiques, alternant avec des bancs de marnes multicolores.
- Le crétacé comprend des faciès très variés à dominance de roches calcaires tendres fréquemment encroutées.
- Le cénoomanien où les roches sont constituées de séries marneuses et marno-calcaire alternant avec des calcaires plus durs. Les marnes sont souvent salées et gypseuses.
- Le turonien représente la série calcaire compacte et dure formant les falaises et la bordure des synclinaux perchés.
- Le sénonien se caractérise par une série à dominance marneuse et marno-calcaire.

### 2.2.1. Hydrographie

Le réseau hydrographique est de type endoréique et de faible densité. Le bassin-versant passe par les monts de l'Atlas saharien (ANDI, 2013).

La région d'El-Bayadh présente des ressources en eau souterraine (mobilisables) moyennes correspondant à 42,7 hm<sup>3</sup>/an localisées en grande majorité dans la chaîne de l'Atlas saharien (ANAT, 2003). Par contre il y a très peu de ressources de surface, soit 14,4 hm<sup>3</sup>/an. La consommation par l'irrigation est relativement faible, ce qui conduit à un bilan équilibré, soit 232 m<sup>3</sup> d'eau par habitant. Ce potentiel d'eau souterraine peut être réservé pour l'avenir ou pour des transferts vers d'autres régions déficitaires (Fabre, 2007).

### 2.2.2. Pédologie et occupation des sols

La nature des sols et leur répartition est en étroite relation avec les unités géomorphologiques. La majeure partie des sols de la région à potentialité agricole est occupée par les sols peu profonds à profil alluvial (daya). Ces sols sont peu pourvus de

matière organique, avec un taux inférieur à 2%. Leur texture est généralement grossière et leur structure grumeleuse présente une stabilité structurale (El Zerey, 2012).

Les principales classes des sols sont : des minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols calcimagnésiques, des sols iso humiques et des sols halomorphes. Les sols minéraux bruts se localisent sur les sommets des djebels. Quant aux sols peu évolués, ils se situent au niveau des substrats géologiques et dans les zones d'apport continu. Les sols calcimagnésiques occupent les versants des djebels et des piémonts. Au sein des glacis d'érosion polygénique du quaternaire récent, les sols iso humiques se développent. Les sols halomorphes se localisent dans le Chott Chergui et dans les Sebkhas (Pouget, 1980).

Dans le cadre d'une collaboration entre le Centre des Techniques Spatiales (CTS) et la direction générale des forêts, une carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Bayadh a été élaborée en 2010. L'élaboration de cette carte, aux échelles du 1/50 000<sup>e</sup> et du 1/400 000, a été faite sur la base du traitement des images satellitaires et des vérifications sur terrain.

Dans ce projet les parcours Steppique, Présaharien et Saharien ainsi que les forêts et maquis sont cartographiés à l'échelle du 1/400 000, alors que les zones agricoles et arboricole seront cartographiés à l'échelle du 1/50 000, et les oasis et la mise en valeur saharienne sont cartographiés à l'échelle du 1/25 000. Cependant, certaines superficies bien qu'étant en dessous de 6,25 ha sont matérialisées sur carte en raison de leur nature et du contraste, qu'elles offrent par rapport à l'occupation homogène de l'espace environnant.

Cette contrainte doit être considérée comme une limite pour l'appréciation et l'utilisation de la carte de l'occupation des sols, afin de tracer les conditions d'utilisation de ce support à tous les niveaux d'intervention. (L'INSID, 2011).

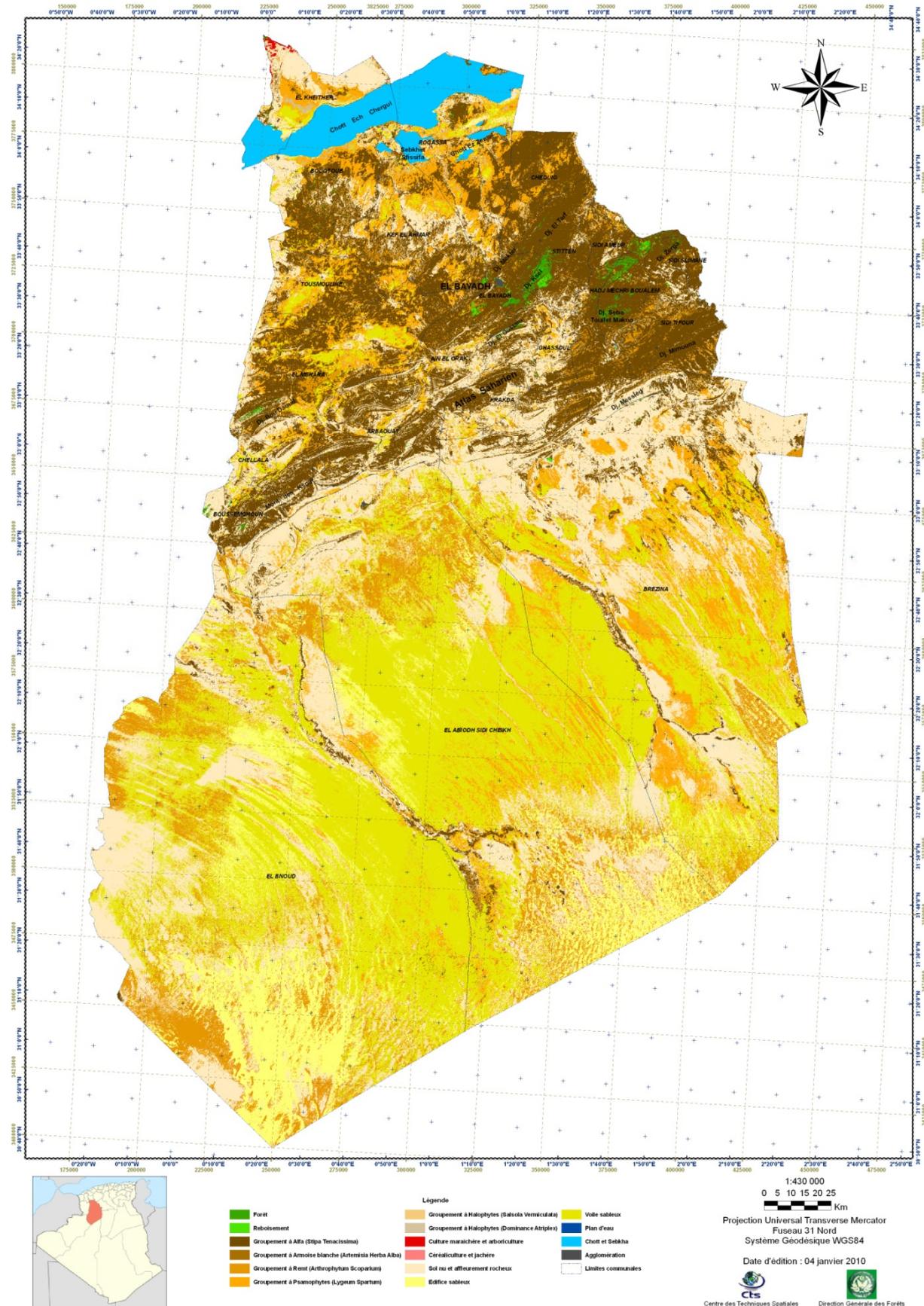


Figure 23. Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Bayadh (L'INSID, 2011)

### **2.3. Climatologie**

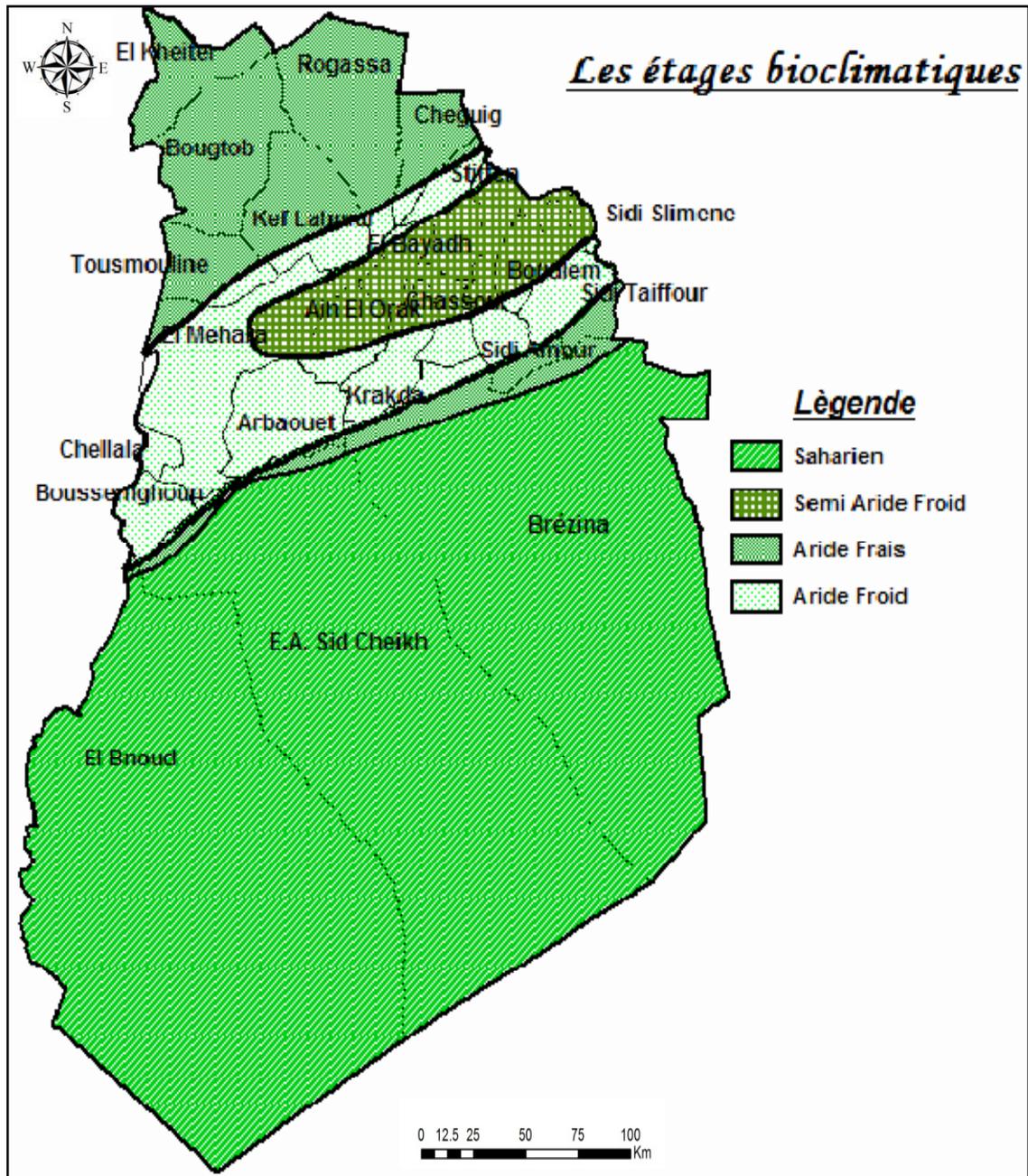
L'une des majeures causes de la dégradation et de la détérioration de l'état de la steppe notamment de la région d'El-Bayadh, c'est bien la sécheresse. Ce phénomène est dû aux deux principaux facteurs climatiques, d'une part aux températures élevées et d'autre part à une faible pluviométrie (Le Houerou, 1995).

Le climat des zones steppiques dont la région d'El-Bayadh est caractérisé dans son ensemble par l'alternance de deux saisons bien distinctes : l'une chaude et sèche caractérisant la période estivale et l'autre, pluvieuse et relativement froide. Il présente une grande variabilité inter mensuelle et interannuelle à des régimes thermiques très contrastés de type continental. (Pouget, 1980).

La wilaya d'El-Bayadh est caractérisée par deux périodes principales qui expriment le contraste important durant l'année à savoir:

- Un Hiver rigoureux.
- Un Eté chaud et très sec. Ce qui permet l'apparition des plantes résistantes à la sécheresse (ANDI ,2013).

Selon une étude faite en 2007 par le Centre d'études et de Réalisation en Urbanisme, la wilaya d'El-Bayadh comporte quatre étages bioclimatiques (Figure 24).



**Figure 24.** Les étages bioclimatiques (CERU, 2007)

Cette étude climatique est basée sur les données recueillies auprès de l'office national de météorologie (ONM), Nous disposons d'un nombre variable (18 à 41) d'années de précipitation et de température.

Pour assurer une analyse climatique crédible, nous avons utilisé les données de six stations climatologiques contrôlant notre région (Tableau 4).

**Tableau 4. Présentation des stations disponibles (ONM)**

<b>Code_Station</b>	<b>Station</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Période Début - Fin</b>
<b>130356</b>	Ain Safra	-0°36'0"	32°45'36"	1058	1977 - 2012
<b>081401</b>	Mecheria	-0°25'47.9"	33°34'48"	1149	1980 - 2012
<b>081202</b>	El Bayadh	1°0'0"	33°39'36"	1347	1971 - 2012
<b>111130</b>	Saida	0°09'0"	34°51'36"	750	1977 - 2012
<b>605400</b>	El Kheiter	0°03'35.99"	34°08'60"	1001	1978 - 2012
<b>012908</b>	Tiaret	1°25'47.99"	35°21'0"	977	1980 - 2012

### 2.3.1. Le contrôle de la qualité des données pluviométriques annuelles

Avant chaque analyse climatologique, il est indispensable de vérifier la qualité des données issues de différentes sources de données (ONM, ANRH). L'étude de la qualité des données est basée sur la vérification de la normalité des séries pluviométriques disponibles, le test de l'homogénéité et le comblement des données manquantes, afin d'assurer une bonne qualité des résultats obtenus.

#### 1. La normalité - Test de Shapiro-Wilk

Les tests de la normalité, impliquent l'hypothèse nulle que la variable ayant généré l'échantillon, suit une distribution normale. Ainsi, une valeur de  $p$  ( $p$ -value, en anglais, pour *probability value*. La valeur de  $p$  est souvent utilisée dans les tests d'hypothèses, tests qui vous permettent de rejeter, ou non, une hypothèse nulle.) faible indique un risque faible de se tromper en concluant que les données sont non-normales. En d'autres termes, si la valeur de  $p < \text{risque alpha}$ , les données s'écartent significativement de la normalité. Parmi les tests de normalité utilisés, on cite: Shapiro-Wilk, Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov et autres. En général, l'hypothèse de normalité permet de faciliter l'analyse statistique des observations. Dans le cas des données annuelles, cette hypothèse est souvent vérifiée, mais cela dépend des caractéristiques des données. Dans le cas des données mensuelles, cette hypothèse devient moins facile à respecter, particulièrement pour les précipitations (Von Storch et Zwiers, 1999; Wilks, 2006). Le test de Shapiro-Wilk (W), développé en 1956, est utilisé pour tester la normalité. Si la statistique W est significative, il faut alors rejeter l'hypothèse selon laquelle la distribution correspondante est normale.

Le test W de Shapiro-Wilk, est le test de normalité le plus utilisé parce que c'est un test puissant par rapport à de nombreux tests alternatifs (Wilk & Chen, 1968). Le logiciel des statistiques dénommé *STATISTICA* a développé une extension du test décrite par Royston (1982), qui permet de l'appliquer à de grands échantillons (avec jusqu'à 2,000 observations). En appliquant le test de Shapiro-Wilk sur les 07 stations pluviométriques, pour vérifier la normalité des séries pluviométriques annuelles, les résultats obtenus montrent que toutes les données suivent une loi normale, où la valeur de p (*p-value*) est supérieur à 0.05 pour toutes les stations. Les résultats du test de Shapiro-Wilk sont illustrés dans la figure 25 et les valeurs de p, sont exposées dans le tableau suivant :

**Tableau 5. Résultats du test de Shapiro-Wilk**

<b>Stations</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>p</b>
Ain Safra	140.777	59.84150	0.14971
Mecheria	231.083	69.75631	0.24795
El Kheiter	219.495	85.48869	0.25192
El Bayadh	267.861	98.96360	0.13932
Saida	342.696	106.4313	0.67850
Tiaret	356.927	103.0185	0.61076

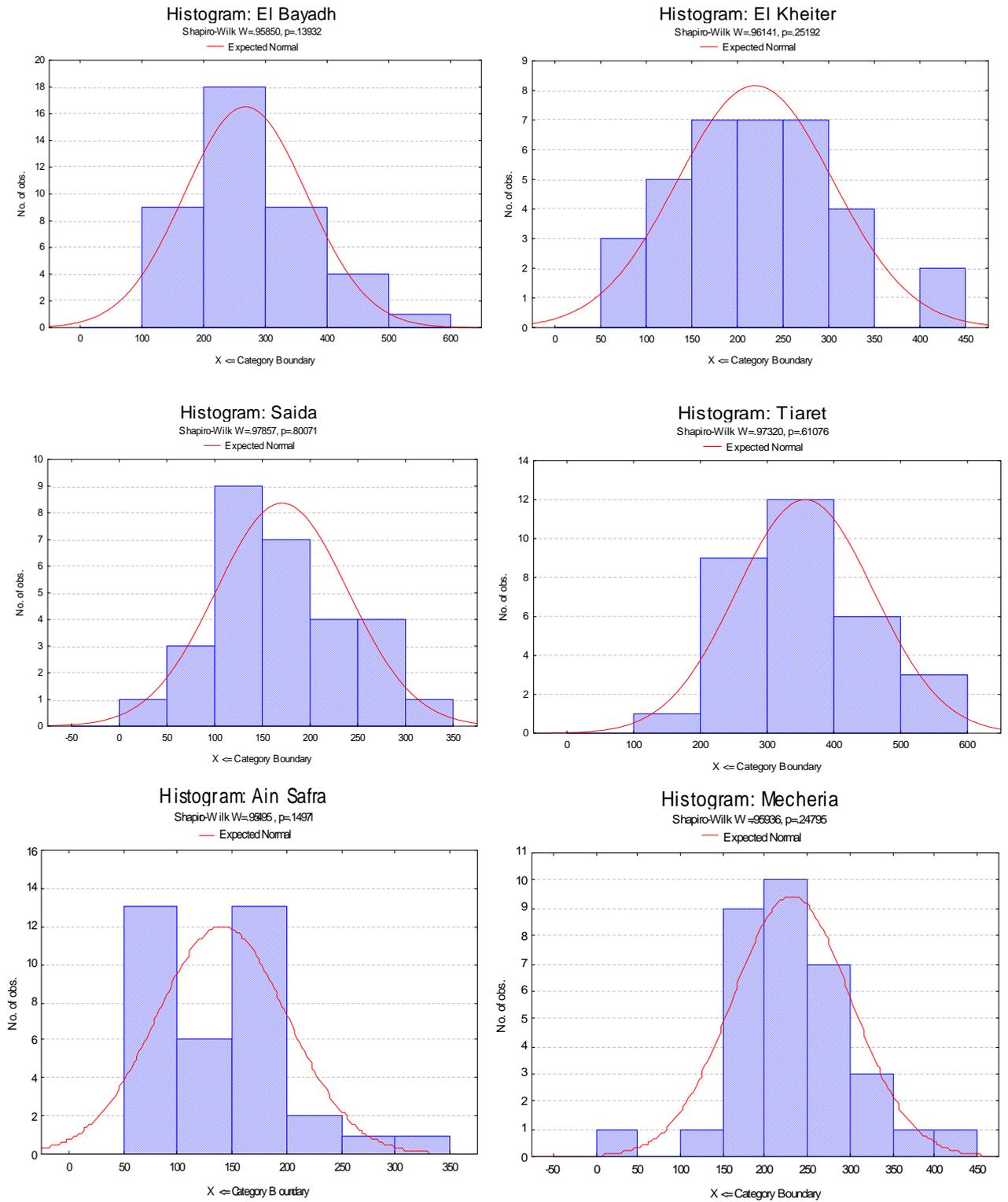


Figure 25. Histogrammes de normalité des stations climatologiques

## 2. Test d'homogénéité – Test t de Student

La plupart des techniques d'homogénéisation des données, reposent sur plusieurs hypothèses: la normalité des données, l'indépendance, l'homogénéité des séries voisines et l'homogénéité des variances. Pour l'indépendance, formuler cette hypothèse ne pose pas de problème, dans le cas des données annuelles. Par contre, plus un pas de temps réduit, plus cette hypothèse devient contestable (Lund et al 2007). Le test d'homogénéité de la moyenne se base sur la statistique de Student, pour deux échantillons, tandis que le test d'homogénéité de la variance correspond au test de Levene. Le tableau 6 confirme l'homogénéité des données pluviométriques annuelles.

Le test de Student est un test paramétrique permettant de savoir si le coefficient de corrélation ( $r$ ) de deux échantillons est statistiquement significatif. Sous l'hypothèse de normalité de la population, la statistique :

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (1)$$

suit une loi de Student de  $n-2$  degrés de liberté:  $t_{n-2}$  (pour  $n > 2$ ) et  $r$  est le coefficient de corrélation entre deux échantillons de taille  $n$ .

On teste l'hypothèse nulle  $H_0: r = 0$  (absence de corrélation)

$H_1: r \neq 0$  (corrélation significative)

**Tableau 6. Résultats du test de Student**

Stations	p - Levene	p - Student
Ain Safra	0.425785	0.209838
Mecheria	0.219788	0.970458
El Kheiter	0.536176	0.080714
El Bayadh	0.436953	0.702560
Saida	0.426054	0.143536
Tiaret	0.788140	0.799815

## 3. Comblement des lacunes

Il n'existe pas de procédés générateurs d'information, en dehors des procédés de mesure (Laborde, 2005). Cette pensée, s'applique à toute démarche scientifique et, en particulier, à la climatologie. Le tableau 7, illustre le taux faible des lacunes enregistrées.

**Tableau 7. Statistiques des lacunes enregistrées.**

Stations	Nbr. Tt. d'obs.	Nbr. Lac.	Lac. (%)
Ain Safra	432	9	2.08
Mecheria	396	0	0.0
El Kheiter	420	3	0.71
El Bayadh	504	19	3.76
Saida	432	12	2.77
Tiaret	390	06	1.53

Où:

**Nbr. Tt. d'obs.:** nombre total d'observations

**Nbr. Lac.:** nombre de lacunes enregistrées

**Lac. (%):** pourcentage de lacunes

On peut estimer les données manquantes ou erronées d'une station, à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques, et situées dans la même zone géographique. Trois méthodes sont utilisées pour le comblement des données pluviométriques:

- 1) Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;
- 2) Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines ;
- 3) Remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle de la station pluviométrique.

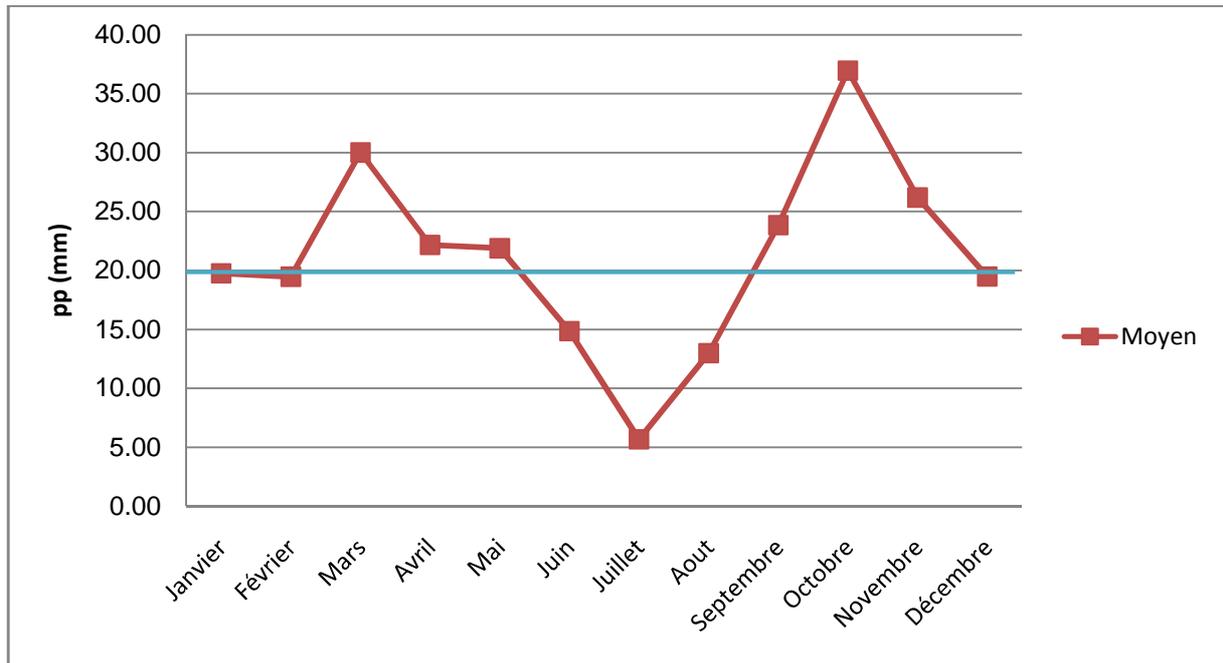
Pour le cas des stations de la zone d'étude qui présentent un pourcentage faible de lacunes (Tableau 7), et mettant en considération leur distribution spatiale espacée, on a opté pour le calcul de la moyenne des valeurs (option 3) de chaque station afin de combler les données manquantes.

### 2.3.2. Les précipitations

Les précipitations caractérisent la balance climatique d'une région, par leur intensité, leur fréquence et leur irrégularité (Damagnez, 1975).

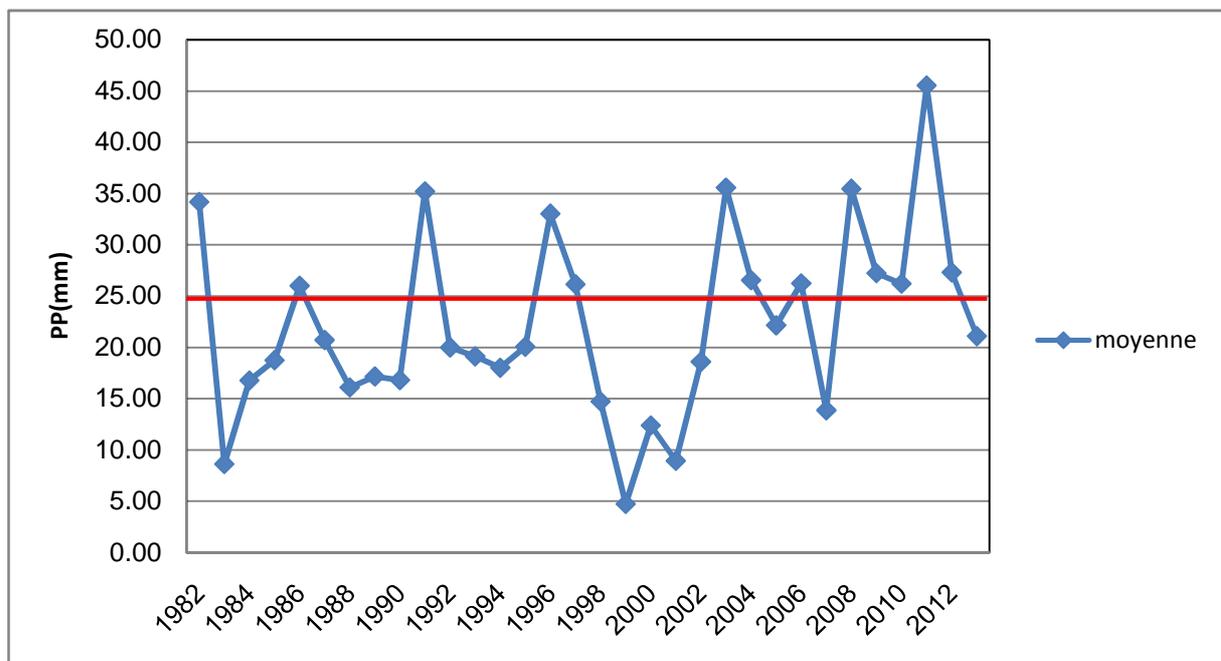
Vu la morphologie de son relief, la région d'El-Bayadh présente deux types de climat (semi-aride au Nord et aride au Sud). Les dernières décennies ont accusé une diminution notable de la pluviométrie; les précipitations ajoutaient par ailleurs, à leur insuffisance pour la quasi-totalité de la région, de fortes variations interannuelles et une grande irrégularité de la distribution sur l'année.

La moyenne annuelle des précipitations à la station d'El-Bayadh obtenue sur 30 années d'observations permettant l'estimation de la pluie moyenne annuelle.



**Figure 26.** Répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle à la station d'El-Bayadh (1982-2012)

La pluviométrie moyenne annuelle à la station d'El-Bayadh est de 23 mm. Cette pluviométrie accuse une forte variabilité du Nord vers le Sud. Les pluies sont concentrées sur la saison froide alors que les mois les plus chauds sont les plus secs.



**Figure 27.** Répartition de la pluviométrie moyenne annuelle à la station d'El-Bayadh (1982 - 2012)

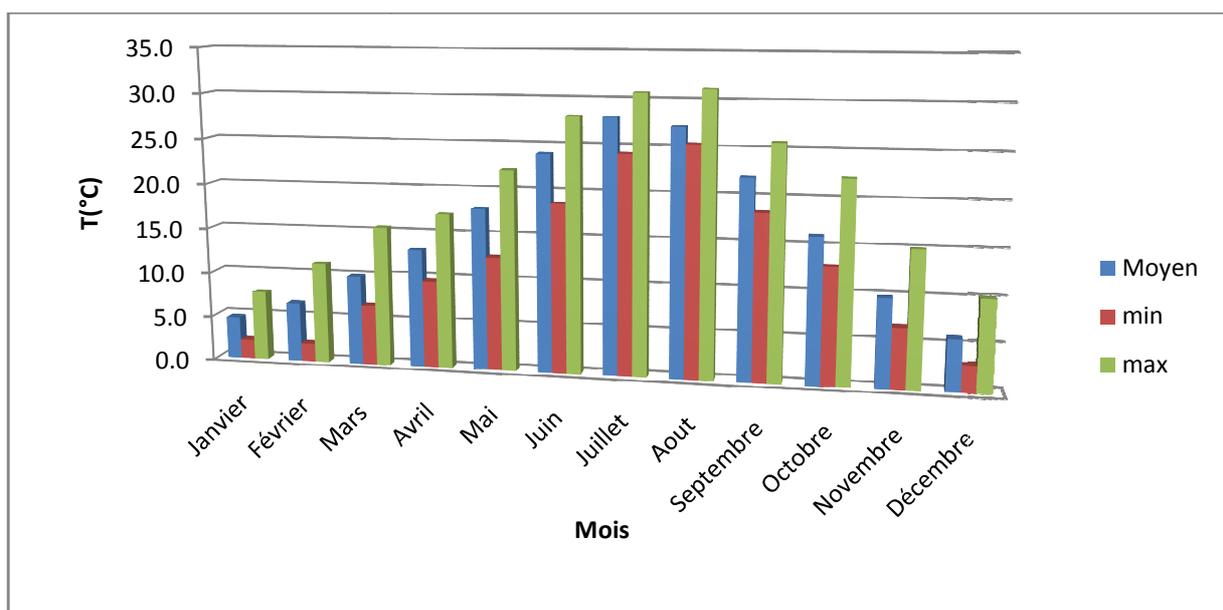
- La répartition des précipitations moyennes mensuelles montre que les mois les plus pluvieux (1982 à 2012) sont : Mars avec 30 mm et Octobre avec 37 mm.
- Les mois de Juillet et d'Août avec respectivement 12 mm et 13 mm enregistrent les valeurs les plus faibles de l'année.
- le nombre de jours de précipitation est relativement important (75 à 100).
- le régime pluviométrique interannuel est irrégulier.

### 2.3.3. Les températures

Dans la région steppiques, les hivers sont rigoureux et très frais avec des températures qui descendent souvent en dessous de zéro degré Celsius. Les gelées sont assez fréquentes (de 40 à 60 jours de gelée blanche par an, d'octobre à mai, au-dessus de 900 mètres d'altitude). Cette situation de froid extrême est le plus souvent, immédiatement relayée par le sirocco qui peut faire monter les températures jusqu'en dessus de 40 degrés Celsius pendant la saison estivale.

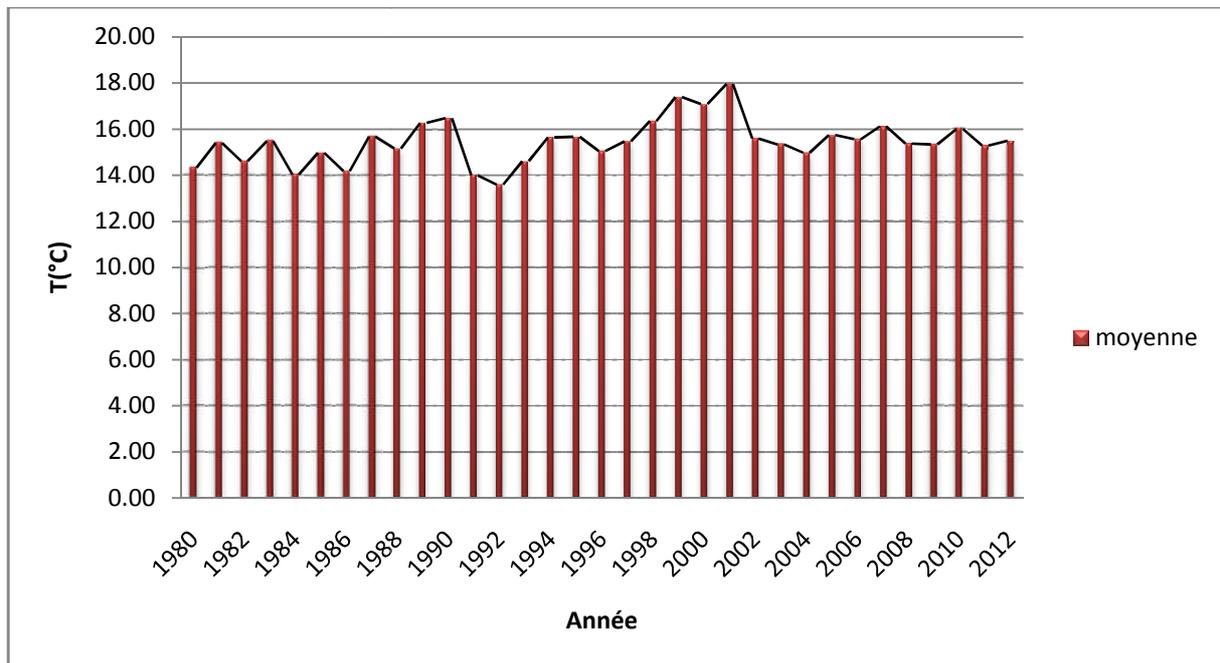
Le régime des températures est fortement influencé par l'altitude. Celle-ci renforce les gelées en hiver mais aussi elle adoucit les températures en été (Couderc, 1973).

La température minimale est enregistrée durant le mois de janvier avec 2°C au moyenne. Par contre la température maximale pointe au mois de aout avec une moyenne de 32°C. La moyenne annuelle est de 15,4°C (Figure 28).



**Figure 28.** Répartition des températures moyennes mensuelles de la station d'El-Bayadh (1980-2012)

Pour les températures moyennes interannuelles, on peut noter 13.59°C comme minimum durant l'année 1992, et un maximum de 17.96°C pour l'année 2001 (Figure 29)



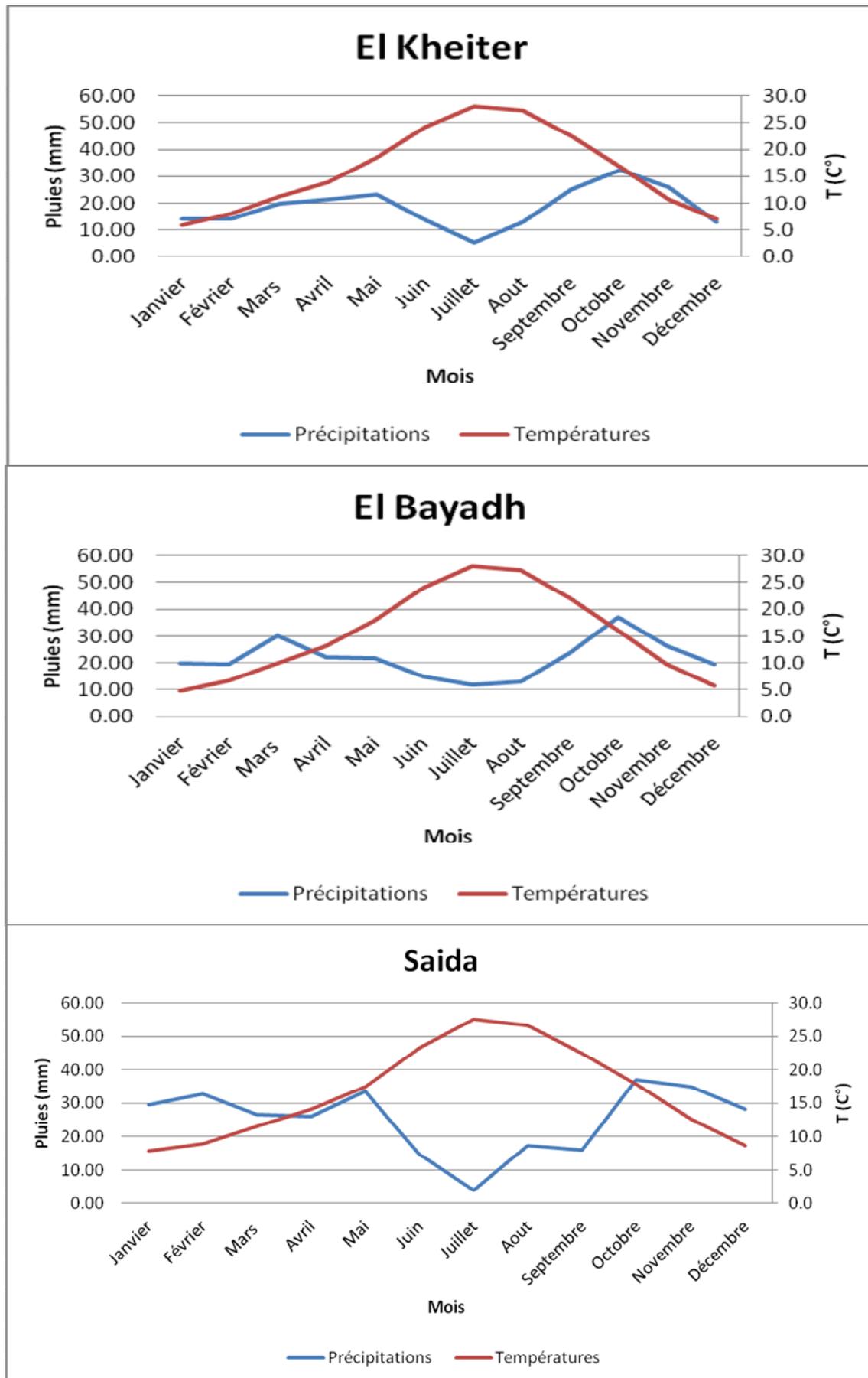
**Figure 29.**Températures moyennes annuelles de la station de d'El-Bayadh (1980-2012)

### 2.34.Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS

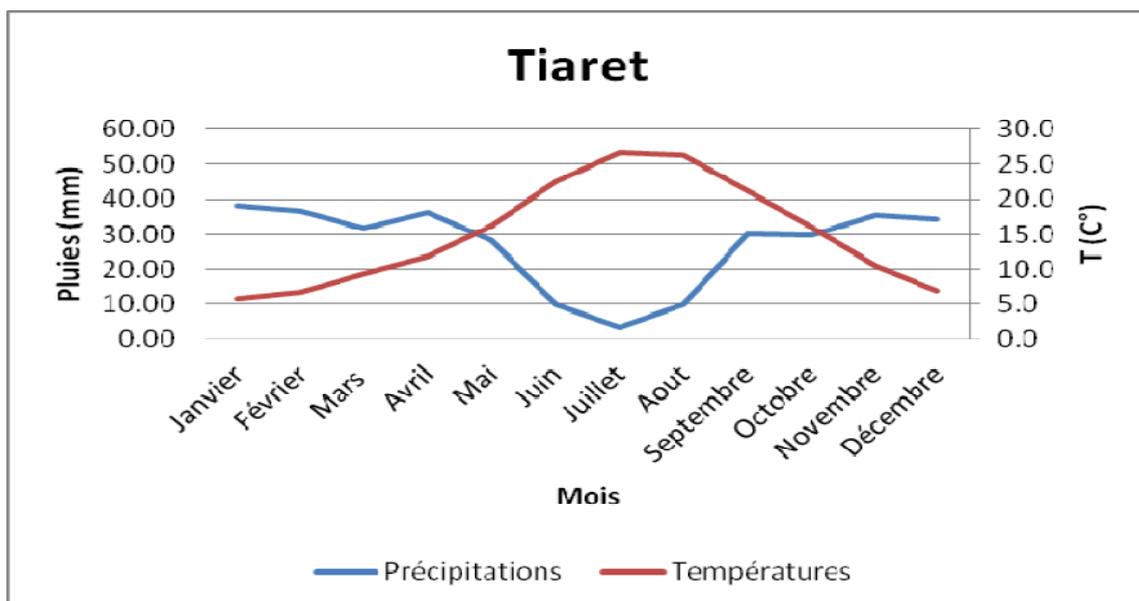
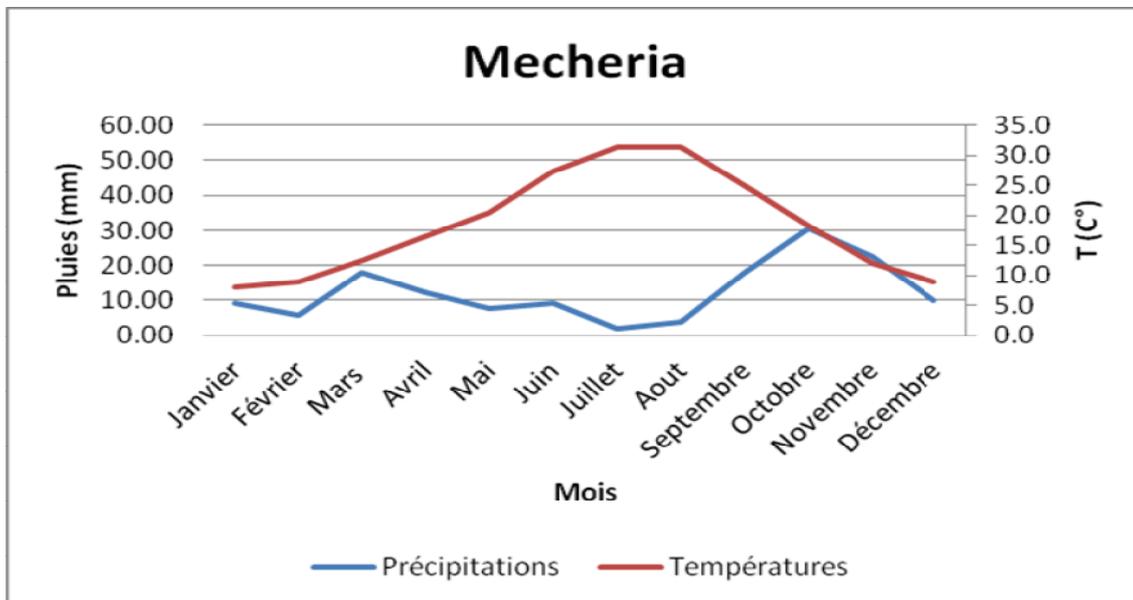
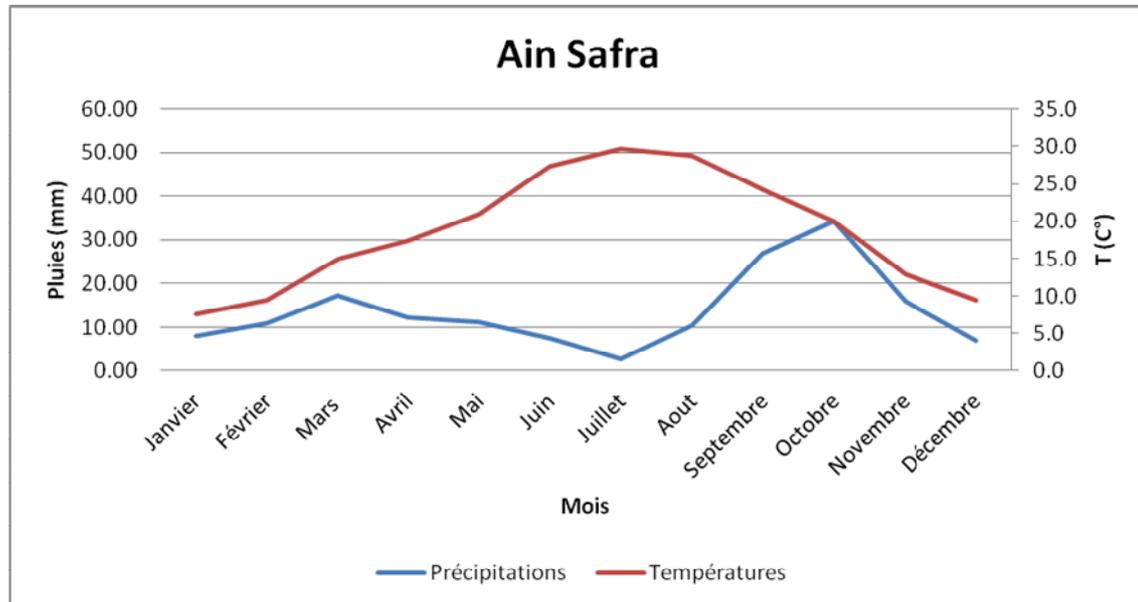
Il s'agit de la représentation de deux courbes relatives à deux paramètres climatiques principaux qui sont les précipitations et les températures. Il est désigné par le terme de « période sèche » lorsque le total moyen des précipitations (en mm), d'une période donnée est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ( $P \text{ (mm)} \leq 2T^{\circ}\text{C}$ ).

Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les précipitations sont portées à une échelle double des températures.

Les figures 30 et 31, illustrent les diagrammes ombro-thermiques des stations météorologiques qui contrôlent la région d'étude (bassin-versant d'El-Biod). Nous constatons trois catégories de diagramme selon la station. La première catégorie, regroupe les stations de Ain Safra, Mecheria et el Kheiter, où la sécheresse occupe la plupart des mois de l'année. La deuxième catégorie, formée par la station d'El-Bayadh, où la sécheresse se manifeste à partir de mi-mars jusqu'au mois d'octobre. Quant à la troisième catégorie, on trouve les deux stations de Saida et Tiaret, où la sécheresse prend naissance à partir de mois de mai, jusqu'au mois d'octobre.



**Figure 30.** Diagrammes ombro-thermiques mensuels des stations :  
El Kheiter, El-Bayadh et Saida



**Figure 31.** Diagrammes ombro-thermiques mensuels des stations :  
Ain Safra, Mecheria et Tiaret

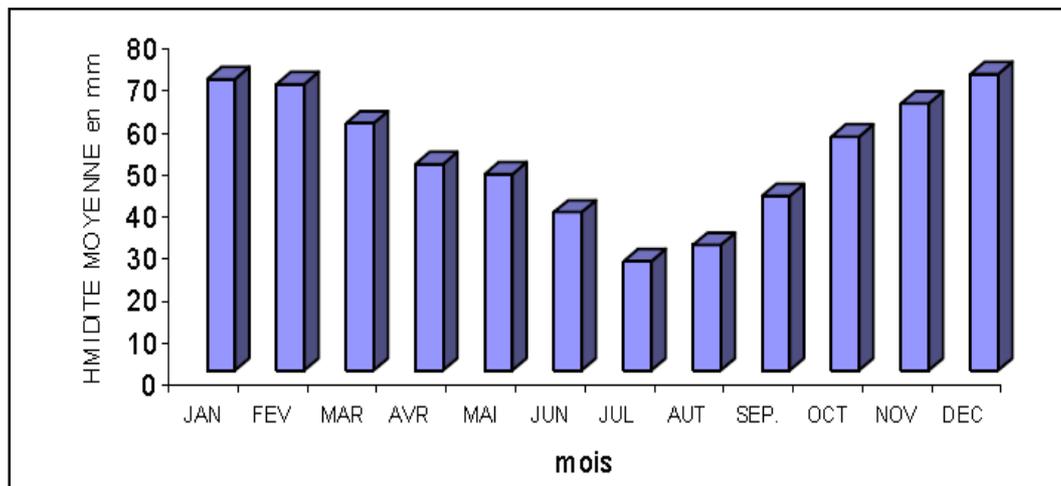
### 2.3.5. Humidité relative

Les valeurs moyennes mensuelles enregistrées à la station d'El-Bayadh sont reportées dans le tableau ci-dessous:

**Tableau 8. Humidité relative dans la station d'El-Bayadh (EURL, 2012)**

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	SEP.	OCT	NOV	DEC
Moy. (mm)	69,3	68,1	58,8	49,1	46,7	37,6	25,9	29,8	41,5	55,6	63,5	70,5

Le taux de saturation moyen est de 51,36%. Les mois les plus humides sont Décembre avec  $H = 70.5\%$  et Janvier avec  $H = 69,3\%$ . Les minimums apparaissent en été, au mois de Juillet avec  $H = 25,9\%$  et Août avec  $29.8\%$  (Figure 32).



**Figure 32. L'humidité Moyenne à la station d'El-Bayadh (EURL, 2012)**

### 2.36. L'insolation

Elle représente les tranches de temps ou durée de persistance du soleil (en heures). Pour une période de 16 ans (1990 – 2006), les durées maximales d'insolation, à El-Bayadh, pour les trois mois les plus chauds dépassent 99 heures d'insolation pour Juin, Juillet et Août. Les durées minimales concernent les mois de Décembre et de Janvier avec une valeur inférieure à 60 heures (Tableau 9)(Centre Technique El AFAK Contrôle EURL, 2012)

**Tableau 9. Durée de l'insolation à la station d'El-Bayadh (EURL, 2012)**

MOIS	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUN.	JUL.	AUT.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
Durée (h)	58,4	62,3	74,14	84,9	95,08	109,8	109,8	99,4	89,43	77,43	66,9	57,87

### 2.3.7. L'évaporation

Les données recueillies à la station d'El-Bayadh sur une période d'observation de 16 ans de 1990 à 2006 (Tableau 10) montrent que, l'évaporation moyenne annuelle est de : 219,15 mm. (EURL, 2012).

**Tableau 10. Evaporation enregistrée à la station d'El-Bayadh (EURL, 2012)**

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin
E (mm)	71,3	104,3	139,1	197,2	263,2	335,1
Mois	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
E (mm)	452,5	427,6	268,1	176,0	102,7	73,1

La distribution de ces moyennes mensuelles laissent apparaître un maximum d'évaporation aux mois de Juin - Juillet - Août avec des valeurs comprises entre 355, 1 mm et 452,5 mm.

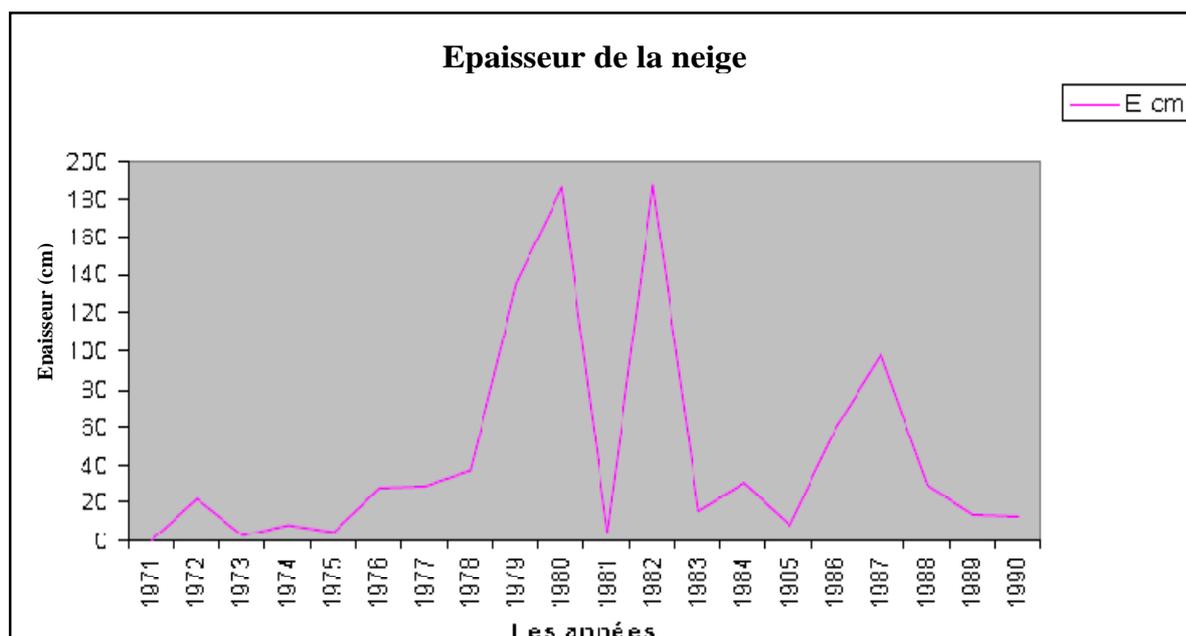
Les minimums d'évaporation sont enregistrés aux mois de Décembre et Janvier avec des valeurs inférieures à 74 mm. Si l'on considère une pluviométrie de 250 mm, la quantité d'eau évaporée de 219,15 mm représente plus de 87% de perte par simple évaporation.

### 2.3.8. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration, par la méthode de THORNTWAITE, pour une pluviométrie de 357 mm, donne une perte de 290mm, soit 81%, selon l'étude hydrogéologique effectuée par le Centre Technique El AFAK Contrôle EURL(Oran) sur la région d'El-Bayadh, suite à une demande de la direction de l'hydraulique.

### 2.3.9. La neige et la gelée

La neige constitue un apport en eau appréciable surtout pour la végétation au début du Printemps. Elle ait lieu en moyenne 13 jours par an. Pour la période (1971 – 1990) l'épaisseur maximum de la neige enregistrée à la station d'El Bayadh a atteint les 187 centimètres en 1982; tandis que, la gelée blanche dure en moyenne près de 18 jours par an (Figure 33) (Belabid et Kendouci, 2011).



**Figure 33.** Répartition de l'épaisseur de la neige au niveau de la station d'El-Bayadh Période 1971-1990 (Belabid et Kendouci, 2011).

### 2.3.10. Le Vent

C'est le sirocco qui est le vent le plus néfaste, vent chaud et sec venu du Sahara et soufflant vers le nord. Ce vent souffle durant 20 à 30 jours par an sur les Hautes plaines (Le Houerou, 1995). Le sirocco peut souffler à toute époque de l'année. Mais il est rare pendant les mois les plus froids. Il souffle le plus en juillet et en août, provoquant des orages. Cependant son passage pendant la saison printanière détruit les récoltes prêtes à être fauchées et brûle les jeunes pousses des pâturages.

Il précipite l'arrivée de l'été Chargé de sable, il détériore le système aérien des végétaux, accumule des dépôts au pied des touffes ou en déchausse d'autres exposant leurs rhizomes aux turbulences. Les variations moyennes des vitesses du vent dans la région au cours de l'année 2010- 2011, sont détaillées dans le tableau 11 (ONM-El-Bayadh, 2012).

**Tableau 11.** Vitesses des vents dans la wilaya d'El-Bayadh (2010-2011)

(ONM-El-Bayadh, 2012)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne Annuelle	Année
Vents (m/s)	14	15	23	20	19	29	24	25	29	19	22	15	21,16	2010
	16	14	19	11	17	21	24	26	27	16	16	15	18,5	2011

### 2.3.11. Synthèse bioclimatique

La présente analyse climatique met en évidence les différentes interactions qui existent entre la température et la pluviométrie.

Le diagramme Ombro-thermique de Bagnouls et Gausson permet de caractériser la période sèche et la période humide de la région. La saison sèche est par définition celle où se manifestent, pour la plupart des plantes, des phénomènes de stress hydrique assez intenses et continus. (Hirche et al., 2007).

Le diagramme ombrothermique d'El-Bayadh (Figure 30) permet de distinguer deux saisons: l'une froide et pluvieuse entre octobre et avril, et l'autre chaude et sèche qui s'étale sur environ six mois. En plus on peut citer :

- le régime pluviométrique interannuel est irrégulier
- une proportion relativement importante de précipitations tombe avec une forte intensité, ce qui favorise le ruissellement superficiel.
- les hauts reliefs (pente forte) et la végétation rare augmentent encore la proportion de ruissellement d'autant plus que les précipitations sont plus importantes sur les Djebels par diminution de la température due à l'augmentation de l'altitude, ce phénomène est la caractéristique de l'Atlas Saharien.

### 2.4. La végétation

La wilaya d'El-Bayadh se caractérise par un patrimoine forestier constitué essentiellement de forêts domaniales d'une superficie de 122 111 hectares, soit 1,70 % de la superficie total, à cette superficie s'ajoute 13 553 hectares de reboisement dans le cadre du barrage vert qui traverse la wilaya du Sud Ouest au Nord Est (Tableau 12).

La nappe alfatière est de 240 251 hectares représentant 3,35 % de la superficie du territoire de la Wilaya (59 044 hectares, soit 24,58 % dans l'Atlas Saharien, et 67 339 hectares, soit 28,03 % et dans la Prés Saharienne) et 47,40 % de la superficie alfatière totale soit 113 868 hectares. Les essences dominantes sont le Pin d'Alep et le Chêne Vert qui forment ensemble 61,96 % du couvert végétal forestier (DPAT ,2010).

**Tableau 12. Les essences forestières de la wilaya d'El-Bayadh et leur superficie (DPAT ,2010)**

Espèces	Superficie (ha)	%
Pin d'Alep (reboisement de protection)	26 886	22,02
Chêne Vert (Maquis en état dégradé)	48 780	39,95
Genévrier (Maquis en état dégradé)	26 269	21,51
Atriplex (Plantation pastorale)	17326	14,19
Tamarix (Plantation de protection fixation de dunes)	2 850	2,33
Total	122111	100,00

## 2.5. Cadre socio- économique

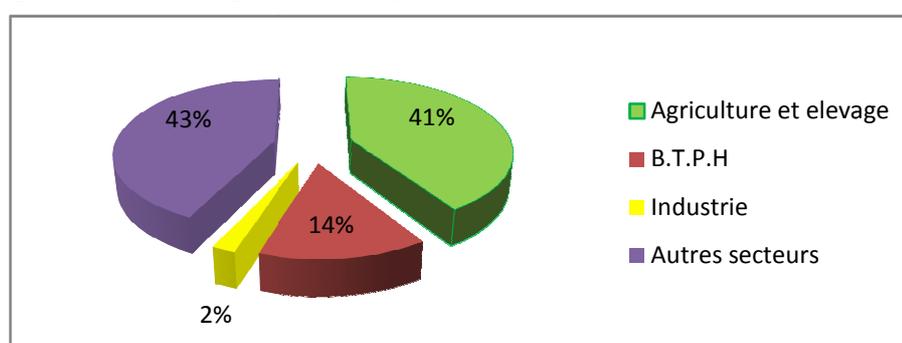
### 2.5.1. Démographie

La population de la wilaya à la fin de l'année 2014 à été estimé à 305 600 habitants, avec une densité de 4,26 hab / km<sup>2</sup> (DPSB, 2014). Cette situation traduit une évolution importante de la population dans la mesure où en 44 ans, elle a augmenté à un rythme moyen annuel absolu de 5.2 habitants (DPAT, 2014). La population recensée (2014) de la wilaya d'El-Bayadh est réparti comme suit:

- 226 835 habitants dans les chefs lieu de commune, soit 74.22%.
- 12 738 habitants dans les agglomérations secondaires, soit 4.17%.
- 29 637 habitants de la population rurale, soit 9.70%.
- 36 390 habitants de la population nomade, soit 11.91%.

### 2.5.2. L'aspect économique de la région

La population active dans la wilaya d'El-Bayadh représente 23,8% de la population totale. La répartition de l'emploi par secteur d'activité montre que les secteurs de l'agriculture et de l'élevage détiennent le plus important nombre de personnes (Figure 3). Ceci explique la vocation pastorale de la région (El Zerey, 2012).



**Figure 34.** Population occupée par branche d'activité (ANDI, 2013)

### 2.5.3. L'élevage

Avec plus d'un million trois cents mille têtes ovines, la wilaya d'El-Bayadh se retrouve parmi les régions les plus importantes du pays en matière d'élevage de cheptel et cela constitue l'activité économique de base d'une grande partie de sa population. Avec une superficie de ses parcours, estimée à cinq million six cent hectares, cette région constitue le plus grand réservoir de fourrage de la zone steppique, notamment dans ses parties des hautes plaines et de l'atlas saharien riches en terres de pâturage.

### 2.5.4. L'agriculture et la mise en valeur agricole

La wilaya d'El-Bayadh à un potentiel agricole non négligeable qui peut être accompagné par le développement de petites industries, essentiellement dans le domaine de l'agroalimentaire (huilerie, transformation de fruits et légumes...) et les entreposages frigorifiques.

D'autre part, la culture de plantes aromatiques et médicinales, d'excellente qualité, pourra se développer, et ce en raison des facteurs naturels favorables à savoir : l'altitude, la pauvreté des sols, le bon drainage, la sécheresse, l'ensoleillement (ANDI ,2013).

La répartition des terres d'agriculture dans la willaya est diverse. Nous retrouvons des terres labourables, des cultures permanentes et des parcours de pâturage.

**a) Les terres labourables** d'une superficie de 60 117 hectares, soit 1,06 % de la S.A.T

**b) Les jachères** de 52 186 hectares, soit 72,78 % de la S.A.U. Ces terres entrent généralement dans un assolement qu'il s'agisse de terres portant des cultures ayant un cycle végétatif saisonnier (cultures maraîchages), des terres portant des cultures annuelles (céréales, légumes secs et cultures industrielles) ou cultures pluriannuelles (cultures fourragères).

**c) Cultures permanentes** d'une superficie de 11 585 hectares, soit 0,20 % de la S.A.T, Comprennent les plantations fruitières de 11 534 hectares, soit 16,09 % de la S.A.U Les vignes et les prairies naturelles de 51 hectares, soit 0,07 % de la S.A.U.

**d) Les pacages et parcours**, pour une superficie de 5.693.498 hectares, soit 98,76% de la SAT, comprennent toutes les terres sur lesquelles ne s'effectue aucune activité culturale. Ces terres portent en général une végétation rabougrie qui sert au pacage des animaux et situées sur les piémonts et dans les zones semi arides (DPAT, 2010).

## 2.6. Les risques naturels auxquels la région d'étude est confrontée

La willaya d'El-Bayadh est une zone étendue qui comporte plusieurs étages bioclimatiques la rendant vulnérable à de nombreux facteurs et risques naturels.

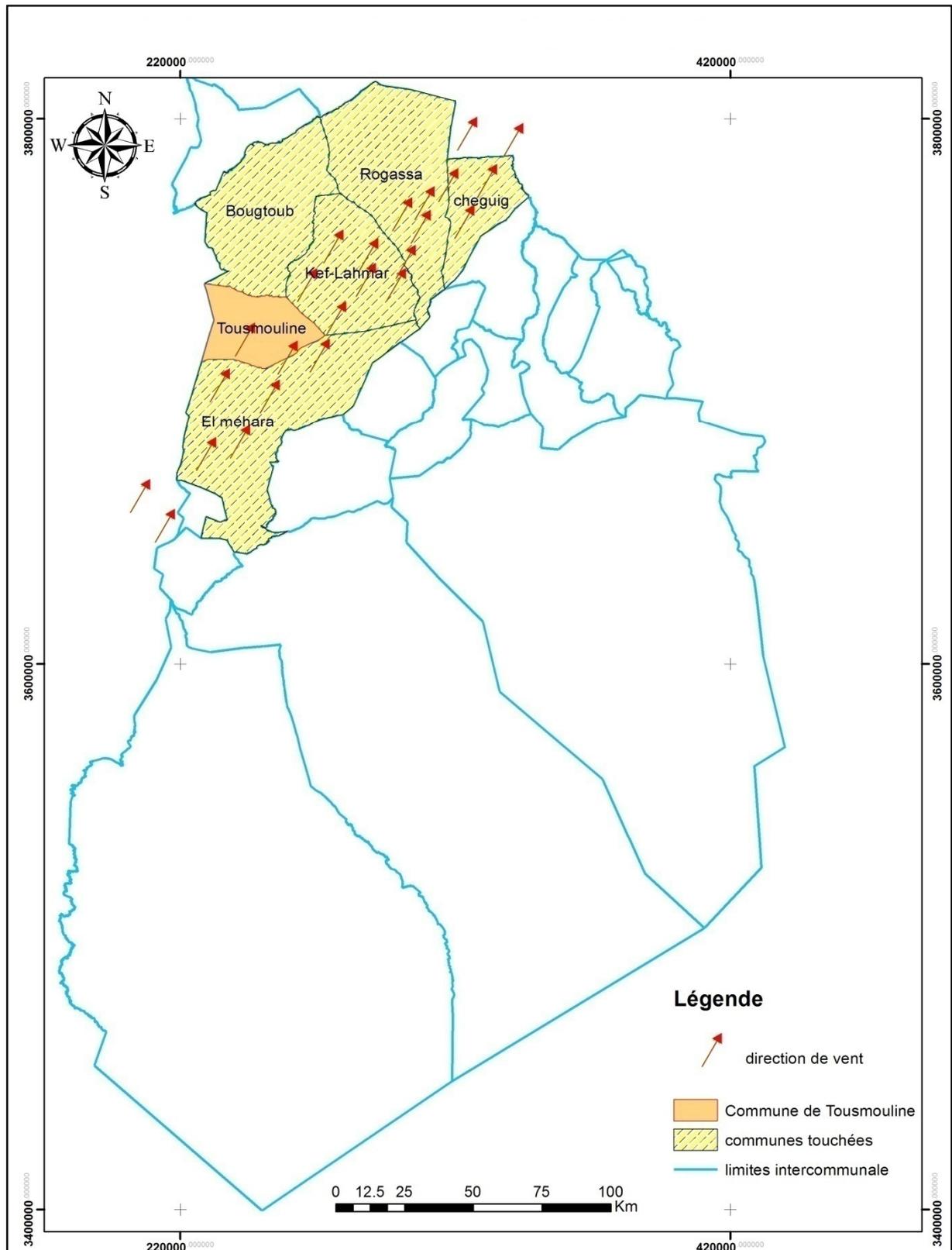
### 2.6.1. L'ensablement

L'étendue de son espace, sa localisation géographique, sa diversité topographique (Atlas saharien, hautes plaines et le présaharien) et les épisodes répétitifs de sécheresse classent la wilaya d'El-Bayadh parmi les wilayas les plus affectées par l'ensablement, particulièrement les communes situées dans les couloirs à vents dominants, comme illustrées par la figure 35. Sur ce, une étude réalisée en 2013 par le HCDS ayant pour objectif la localisation des formations dunaires à travers la wilaya d'El-Bayadh, montre la commune de Tousmouline comme la plus affectée par le phénomène d'ensablement. Ce constat a été fait sur la base d'une lecture de résultats émanant de trois stations réparties à des endroits différents de ladite commune (Tableau 13):

- Station 01: Tousmouline
- Station 02: El Hadba
- Station 03: El Gorja

**Tableau 13. Localisation et conditions des stations (HCDS, 2013).**

Station	Tousmouline	El Hadba	El Gorja
<b>Localisation</b>	à proximité de l'agglomération	dans la zone sud de la commune	à coté de la route communale Tousmouline-Meharra
<b>Condition de la Station</b>	Fixation des dunes	Parcours steppique	La mise en défens



**Figure 35.** Carte des vents dominants de la wilaya d'El-Bayadh

D'après l'observation et les mesures de formations dunaires dans la station 01, ils ont distingués la formation de Nebka, C'est un dépôt sableux provoqué par un obstacle végétal, rocheux sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. Cette forme est nebkas à flèche de sable: orientée suivant la direction du vent. Sur le plan dimensionnel, elle a une longueur de 15 m, une largeur de 10m et une hauteur de 1,2 m (Figure 36).

Une deuxième formation des dunes, caractérise la station 01, c'est la forme de Nebka buissonnante, qui est une forme dunaire ovoïde couvrant presque entièrement l'obstacle végétal, cette formation est d'une longueur de 51 m, 26 m de largeur et 2,9 m de hauteur (Figure 37).

Les ripples marks ou rides : Ce sont des rides transversales qu'on rencontre sur les dunes. Ces micros ondulations de quelques centimètres de hauteur sont disposées perpendiculairement à la direction du vent qui a été à leur origine. La longueur de cette dune est de 07 m, sa largeur de 4,2 m et sa hauteur varie entre (0,25 m et 0,3 5m) (Figure 38).



**Figure 36.** Nebkas à flèche de sable (longueur 15 m, largeur 10 m et hauteur 1,2 m) (HCDS, 2013)



**Figure 37.** Nebkas buissonnante d'une forme ovoïde (HCDS, 2013)



**Figure 38.** Les ripples marks ou rides, Route communale Tousmouline-Meharra (HCDS, 2013)

### 2.6.2. La désertification

La désertification est l'un de ses risques causés par la sécheresse signalée dans ces dernières décennies. L'étage bioclimatique comportant les communes Tousmouline, Mehara, Rogassa, Kef Lahmare, cheguig, et Bougtob, est considéré comme une zone vulnérable; Mais même les autres communes sont exposées à ce phénomène. Nous avons localisé dans la willaya d'El-Bayadh 05 classes de terre:

#### - Les zones peu ou pas sensibles à la désertification

C'est le cas des régions tapissées par un couvert végétal « préforestier », reposant sur des sols minéraux bruts d'érosion à l'extrême nord de la wilaya (Mosbah). Ces régions représentent une d'une superficie de 31.255,71 ha (DGF, 2010).

#### - Les zones moyennement sensibles à la désertification

Les sols reposant sur des calcaires (sols calcimagnésiques) ainsi que sur des sols peu évolués d'érosion, occupés par un couvert végétal moyen (groupement à *Artemisia*, groupements à *artrophytum scoparium*, céréalicultures) présentent une sensibilité moyenne à la désertification. Ce cas de sensibilité se présente dans la zone nord de la wilaya s'étendant de Bougtob à El Kheiter. Elles représentent 1.144.627,8 ha (DGF, 2010).

#### - Les zones sensibles à la désertification

Les zones colonisées par un couvert végétal dégradé à très dégradé (groupement à psamophytes, sols nus) reposant sur des sols de type évolué (calcimagnésiques), de type peu évolué (évolués d'érosion sur affleurement de grès ou de calcaires) et des sols peu

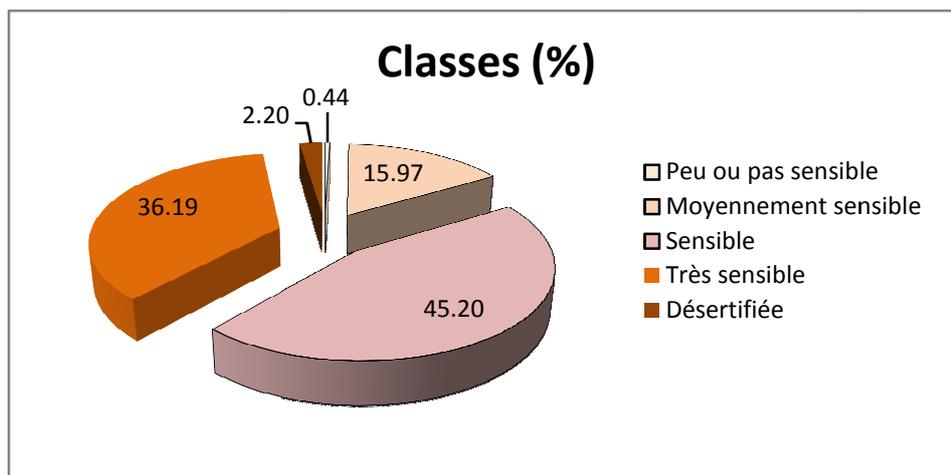
évolué d'apport alluvial, sont classées sensible à la désertification. Cette sensibilité concerne les zones de Tousmouline, Rogassa, Kef Lahmar, Cheguig et une partie de Mehara, soit une aire de 3.240.757,76 ha (DGF, 2010).

#### - Les zones très sensibles à la désertification

La végétation steppique psamophyte très dégradée en association avec des groupements d'alfa, des groupements à *Artemisia Herba Alba* et des groupements à *Artrophytum Scoparium*, sont des parcours dégradés à très surmontés par des voiles sableux, reposant sur un support édaphique de types différents doté d'une texture sableuse. Elles correspondent aux zones d'El-Bayadh, Boualem, Sidi Amar, Sidi Taiffour, Sidi Slimane, Stitten, Ghassoul, Krakda, Ain El Orak, Arbaouet, Chellala, Mehara et Boussemgoun. Il s'agit de terres excessivement exposées à la désertification, occupent près de 2.594.871,41 ha (DGF, 2010).

#### - Les zones désertifiées

D'après la légende de la carte de sensibilité à la désertification, cette zone est présentée comme zone désertifiée, à cause de la nature de sol et sa composition (zone salée = sebkha), mais selon la direction des forêts de la wilaya d'El-Bayadh, cette classe constitue une zone d'immigration pour certaines espèces de oiseaux et classée, par conséquence, comme zone protégée.



**Figure 39.** Classement des terres en termes de superficies pour les différentes classes de sensibilité (DGF, 2010)



### **2.6.3. Les inondations**

Généralement, lorsqu'on parle de risque d'inondation, notre attention s'oriente vers les centres urbains, là où la population touchée donne la notion du risque (vulnérabilité). Dans la wilaya d'El-Bayadh, les communes les plus touchées, par les inondations sont :

d' El-Bayadh, El Abiodh Sid Cheikh, El Mehara, Bousseghoun, de Kef Lahmar, et Arbaouet (figure 2.22).

Les crues les plus spectaculaires sont celles du :

- Mars 1888 (ANARH)
- Octobre 1908 (ANARH)
- Octobre 1936 (ANARH)
- 1953 (selon les résidents de la région mais on ne possède pas d'informations précises)
- 17 Juin 1966, provoquée par un orage d'été et causant un affaissement du terrain.
- 6 au 7 Octobre 1966, causant 7 morts, 3 blessés et 137 familles sinistrées.
- 6 au 9 Septembre 1979 (CERU, 2007)
- 29 Octobre 1980 (CERU, 2007)
- 23 au 25 Avril 1982 (CERU, 2007)
- Mars 1986 (ANARH)
- 1 Octobre 2011, causant 12 morts, 137 blessés ,147 familles sinistrées, et 03 ponts détruits.

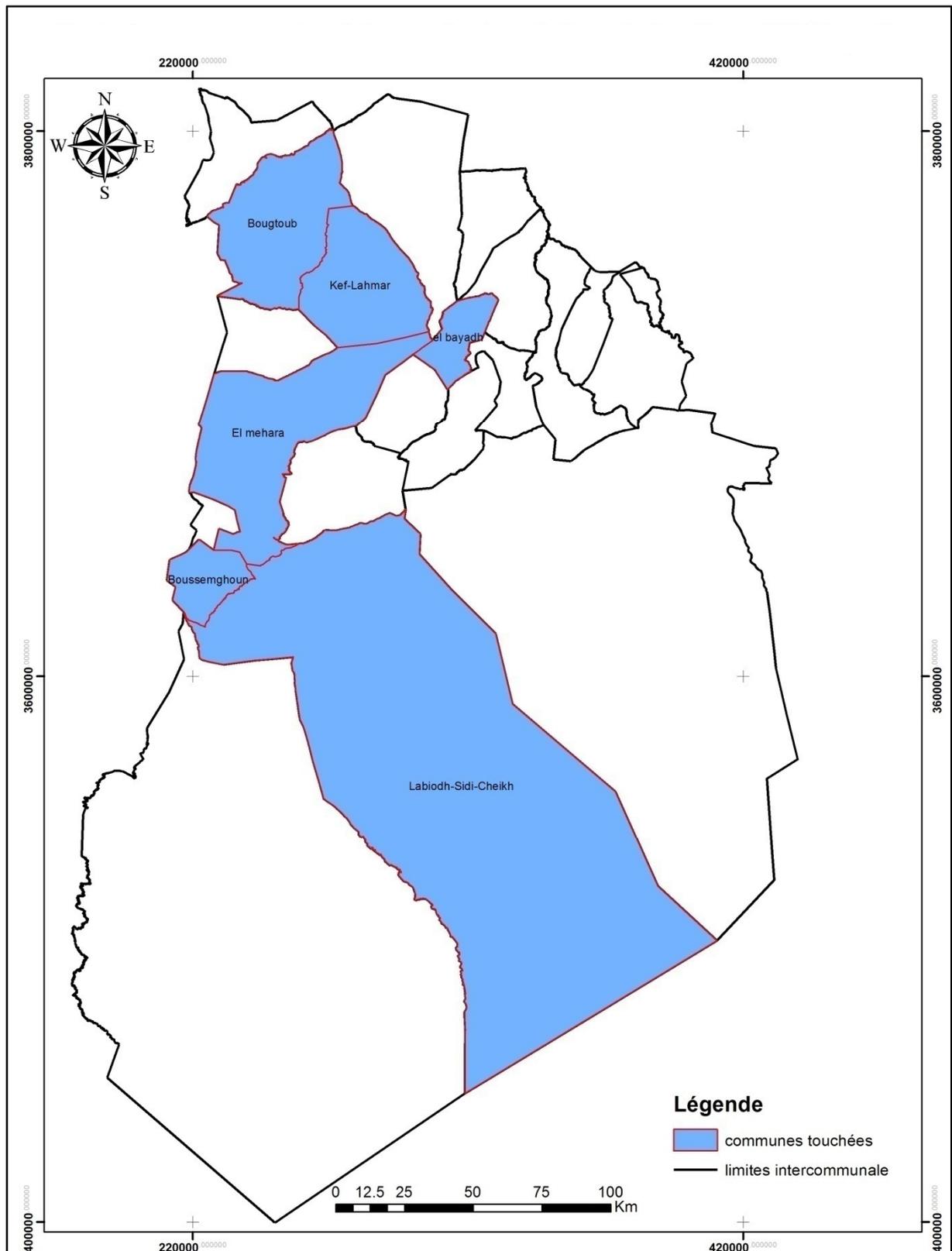


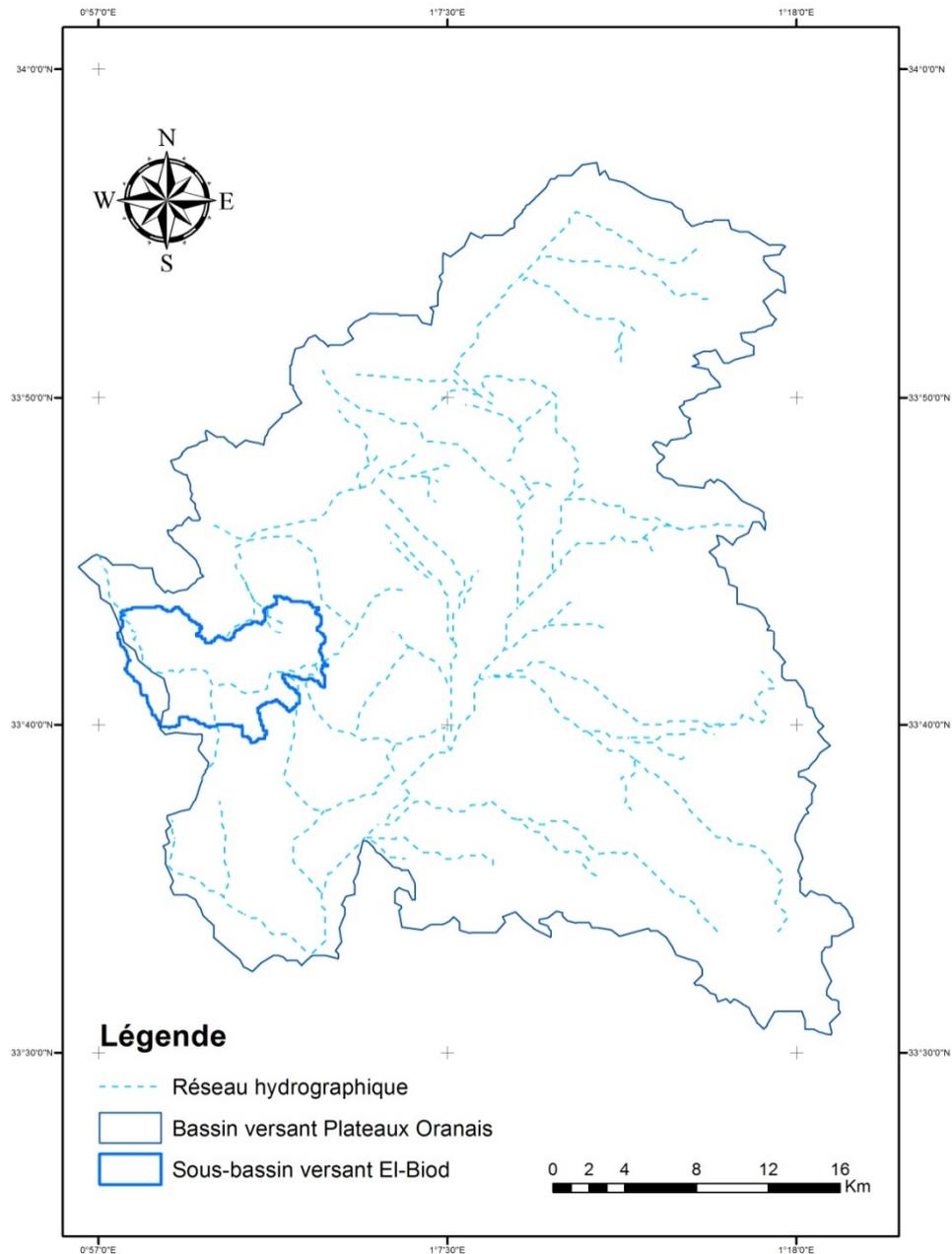
Figure 41. Carte des communes touchées par les inondations de la wilaya d'El-Bayadh



**Figure 42.**Partie des dégâts de l'inondation de 1/10/2011 Commune d'El-Bayadh (Cliché A. GUERROUDJ, 2011)

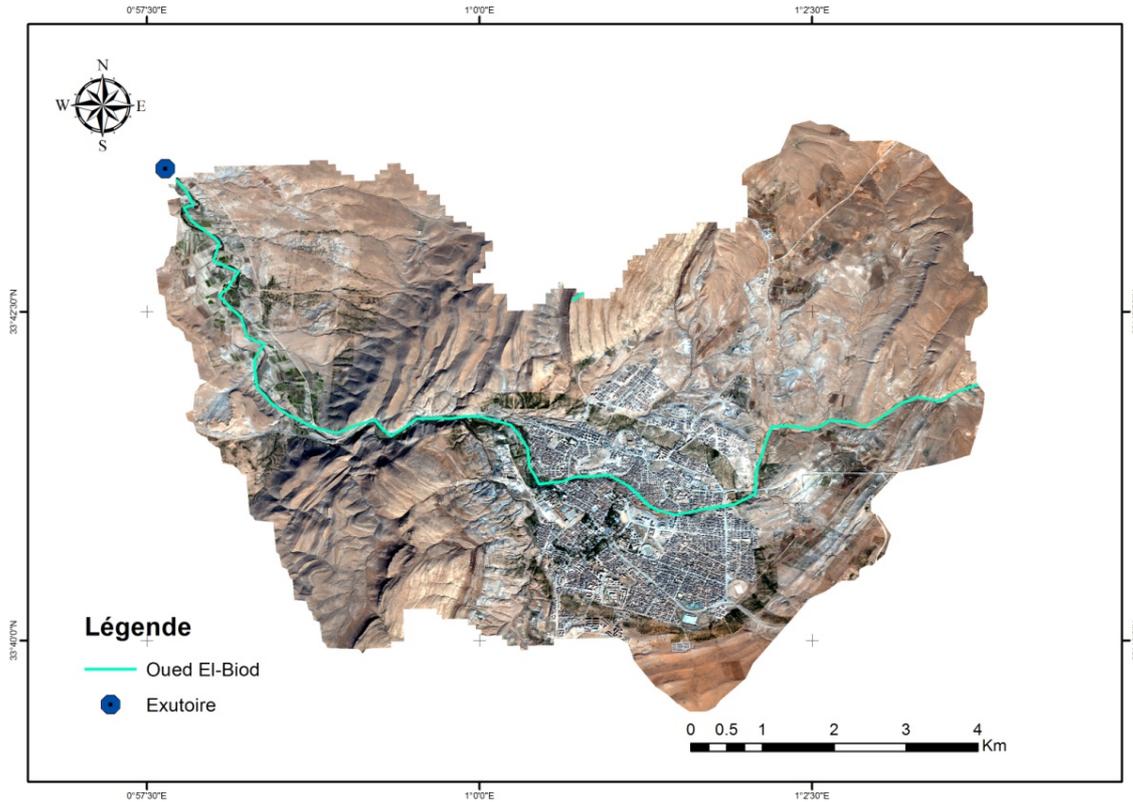
➤ **Le bassin-versant d'El-Biod :**

La ville d'El-Bayadh est scindée en deux par l'Oued El-Biod qui est le prolongement d'un autre Oued « Oued Deffa » lequel est à l'origine de son alimentation. Cette situation nous amène à étudier les deux bassins versants ou bien encore faire une étude sur toute la totalité de la commune. A ce titre, l'apport du SIG nous permettra de faire un traitement général à même de faire une extraction de notre bassin versant.

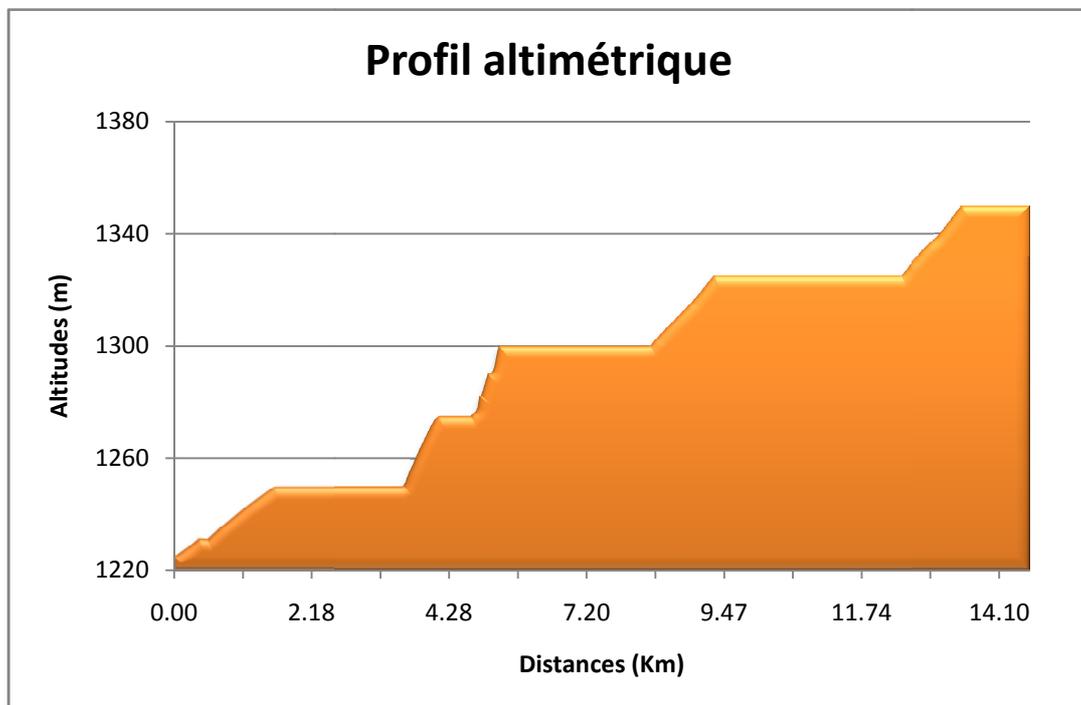


**Figure 43.** Réseau hydrographique du bassin versant El-Biod

Avec une longueur de 14 km, le bassin-versant El-Biod s'étale sur une superficie de 52 km<sup>2</sup>, lequel prend sa source à partir de Djebel Ksel (environ 2000 mètres d'altitude). L'Oued El-Biod longe la ville d'El-Bayadh en la scindant en deux blocs jusqu'à l'exutoire illustré dans la figure 44.



**Figure 44.** Présentation de l'Oued El-Biod



**Figure 45.** Profil altimétrique de l'Oued El-Biod

On observe un profil altimétrique très abrupt, sur l'ensemble du cours d'eau, comme c'est illustré dans la figure 45. Cependant, l'Oued El-Biod porte des tronçons où la variation

altimétrique est assez faible (à titre d'exemple, les altitudes 1245 m, 1300 m et 1325 m). Le bassin-versant d'El-Biod, est caractérisé par les paramètres présentés dans le tableau 14 :

**Tableau 14. Caractéristiques du bassin-versant d'El-Biod**

Superficie	52 km <sup>2</sup>
Longueur	14 km
L'altitude Max	1900 m
Exutoire	1218 m
Altitude moyenne	1286 m

### **Conclusion du deuxième chapitre**

La région d'El-Bayadh est caractérisée par un régime pluviométrique interannuel irrégulier. Une proportion relativement importante de précipitations tombe avec une forte intensité, ce qui favorise le ruissellement superficiel.

Concernant les inondations, et selon l'ordre chronologique, deux importants événements ont été enregistrés en 1953 et en octobre 2011, suite au débordement de l'Oued El-Biod. D'après la station météorologique d'El-Bayadh, le mois d'octobre enregistre la pluviométrie mensuelle la plus élevée pour la période entre 1982 et 2012, avec une valeur moyenne de 37 mm.

Cependant, une interrogation en relation aux précipitations pourrait être posée pour qualifier ces dernières comme facteur déclencheur d'inondations, au même titre que d'autres facteurs, comme la lithologie, la topographie, la nature d'occupation de sol, et le couvert végétal, dont l'impact de chacun diffère de l'autre. L'utilisation de ces facteurs dans la modélisation du phénomène de l'inondation permet de fournir des informations sur les zones vulnérables sous forme de cartes. L'élaboration de ces dernières nécessite l'acquisition de données de différentes sources et formats impliquant au préalable des prétraitements.

## CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Situé entre deux chaînes de montagnes, à savoir l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, l'espace des Hautes plaines steppiques algériennes, d'une superficie dépassant les 20 millions d'hectares, joue un rôle important dans l'économie pastorale, en constituant le pays du mouton par excellence, favorisé essentiellement par l'étendue de ses parcours de pâturage. Par ailleurs, les espaces à potentiel alfatier contribuent aussi à l'amélioration du cadre de vie social des populations locales, du fait qu'ils constituent une source de matière première pour les activités traditionnelles.

Cependant, ce vaste espace se trouve face à plusieurs facteurs de dégradation qui le rendent de plus en plus fragile. Cette dégradation est engendrée par l'interaction de deux types de facteurs, l'un naturel, lié aux conditions du milieu physique, caractérisé par une fragilité de ses sols face aux différentes érosions hydrique et éolienne, le second, par contre, est lié aux facteurs socio-économiques ou encore anthropiques, représentés par une surexploitation des ressources existantes, comme l'eau et le couvert végétal.

Par ailleurs, cette steppe est marquée par une grande variabilité interannuelle des précipitations, qui s'est distinguée ces dernières décennies par une diminution notable de la pluviométrie annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. En effet, la dégradation des parcours est devenue, par la force des choses, un facteur limitant au développement des zones steppiques, laquelle s'exprime comme prélude à la désertification par la diminution de la biomasse des espèces pérennes.

A l'instar d'autres zones steppiques, la région d'El-Bayadh est caractérisée par un régime pluviométrique interannuel irrégulier, où l'on enregistre une sécheresse inquiétante et des précipitations de forte intensité, de temps à autre, ce qui favorise des inondations. D'ailleurs, à travers certains documents ayant traité ce phénomène, plusieurs d'entre eux ont fait cas de plusieurs situations où des inondations tragiques ont été enregistrées dans cette région, notamment dans le bassin-versant d'El-Biod qui fait l'objet de notre étude. En effet, les plus importantes ont eu lieu durant les années 1953 et 2011, où des dégâts similaires ont affecté le pont reliant les deux parties de la ville séparées par l'Oued El Biod.

## **DEUXIEME PARTIE**

### **L'apport de la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique dans la cartographie de l'aléa inondation**

## **DEUXIEME PARTIE**

### **L'apport de la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique dans la cartographie de l'aléa inondation.**

La recherche concernant les risques n'est pas purement théorique ; il s'agit d'améliorer, dans la mesure du possible, des décisions impliquant des vies humaines et marquant l'espace par des choix d'aménagement, donc aussi d'orienter le développement économique et social des secteurs concernés. Avec le développement technologique de l'imagerie satellitaire, des techniques et des outils de traitement de l'information géographique (SIG), en lien avec l'évolution des capacités informatiques, de nouvelles techniques pour l'analyse et la prévention des inondations sont disponibles et utilisables. De nombreuses méthodes d'acquisition de l'information géographique sont disponibles pour l'étude des risques naturels, notamment celles de la télédétection aéroportée ou spatiale. Ces techniques et méthodes peuvent être employées à différents moments du processus de gestion des risques : en prévision et en anticipation, en gestion de crise, puis pour le retour d'expérience et de la prévention.

En conséquence, il s'agit aussi d'expertise scientifique qui exige une approche pluridisciplinaire (météorologie, hydrologie, statistique, hydraulique, géologie, topographie, génie civil, économie, environnement, ...). A partir de là, l'analyse permet de maîtriser l'occupation et l'exploitation de son espace. Toute analyse des risques naturels doit être menée avec cette idée. La prévention des risques permet de les réduire car le risque nul n'existe pas et la connaissance est incertaine. Dans cet ordre d'idées, cette partie vise à étudier un cas d'application pratique sur le rôle de l'analyse spatiale multicritères dans la réduction des incertitudes relatives à la connaissance du risque inondation, par leur prise en compte dans la cartographie de l'aléa.

Puisque la deuxième partie est axée sur la problématique de la cartographie de l'aléa inondations, le premier chapitre de cette partie est consacré à la présentation des données et

les prétraitements nécessaires liés aux produits dérivés utilisés dans l'étude de cartographie de l'aléa inondation sur la base des images Landast (cartographie à petite échelle). Nous aborderons dans le deuxième chapitre, la définition des notions liées à la détection des changements, et l'approche cartographique bi-temporelle, ainsi que l'influence de changements des paramètres aggravants de l'inondation sur la carte de l'aléa. Le dernier chapitre de cette partie présente l'intégration des produits améliorés issus des images à haute résolution type Spot5 dans le prototype SIG/AHP<sup>2</sup> pour la cartographie du risque inondation à grand échelle.

---

<sup>2</sup> SIG/AHP : combinaison du système d'information géographique et la méthode «Analytic Hierarchy Process » de l'analyse multicritère.

*Chapitre 3: Typologie des données  
utilisées et Méthodes de traitement*

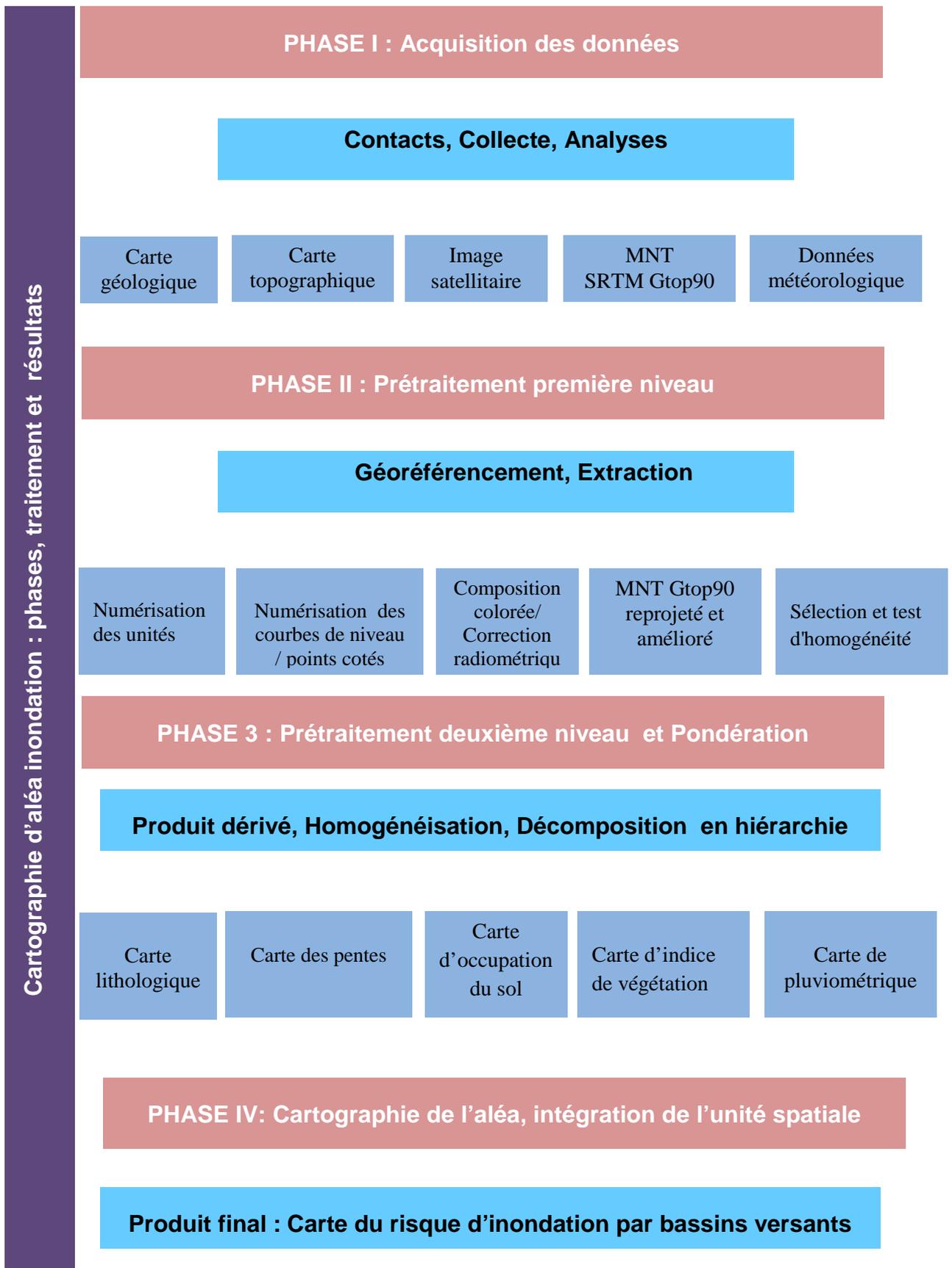
## **Introduction**

Le risque par définition est un croisement de la vulnérabilité et l'aléa. La cartographie d'un risque quelque soit donc nécessite l'élaboration de deux cartes, l'un correspond à l'aléa et l'autre pour la vulnérabilité. Notre objectif en premier lieu et de déterminer les facteurs qui déclenchent l'inondation pour délimiter les zones touchées et classer par degré de risque sans prise en considération le coté socioéconomique de la zone étudiée. Il s'agit d'une carte de l'aléa –limite géographique-. La manière de détermination de ces facteurs peut être différente d'une étude à l'autre, selon la modélisation du phénomène; dans notre cas on parle d'une cartographie géographique, nous ne focalisons pas sur les paramètres hydrogéologiques (intensité, début, période de retour..), mais nous avons exploité les données géologiques tels que la carte géologique et les données métrologiques, comme les précipitations pour développer des produits dérivés présentés dans notre modélisation comme des paramètres aggravants.

La combinaison de ces paramètres exige des prétraitements de plusieurs niveaux avant leur intégration dans un SIG. Une combinaison pondérée permet d'attribuer à chaque paramètre leur coefficient qui signifie l'influence de ce paramètre sur le phénomène d'inondation. La mise en œuvre de ces étapes devrait être réalisée par l'intervention de l'analyse multicritère.

L'approche AHP, l'une des méthodes de l'analyse multicritère, est utilisée dans notre étude pour déterminer les pondérations des paramètres aggravants, par la suite l'apport de l'analyse spatial du SIG nous permet de réaliser la carte de l'aléa inondation. La figure 46 illustre le schéma synoptique de l'approche méthodologique, qui est composée de quatre phases.

Figure 46. Schéma synoptique de l'approche méthodologique



### 3.1. Phases I : Typologie des données utilisées

Dans cette phase, nous avons présenté les données nécessaires à l'application de suivi du phénomène de l'inondation, où l'on parle de données à caractère géographique, telles que les cartes topographiques ou géologiques, les images satellitaires, et même les données statistiques, comme les mesures pluviométriques.

Notre approche méthodologique s'appuie sur la combinaison pondérée entre ces données afin de ressortir une carte présentant l'aléa inondation de la zone d'étude avec la prise en compte de tous les paramètres géographiques (données) appelés facteurs aggravants, autrement dit les facteurs déclenchant l'inondation.

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

**Tableau 15. Sources de données collectées**

<b>Organisme/Direction</b>	<b>Type de données</b>
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
Earth Science Data Interface (ESDI)	Image satellitaire +MNT SRTM
Agence National du Cadastre (ANC)	Image satellitaire

#### 3.1.1. Données spatiales

Trois types de données spatiales ont été utilisés dans le cadre de ce travail :

**Tableau 16. Sources de données spatiales**

Donnée	Capteur	Mode	Zone	Résolution spatiale (m)	Date d'acquisition
Image satellitaire	Landsat TM	Multi-spectral	El-Bayadh	30	2001/2014
	SPOT	Multi-spectral	El-Bayadh	2.5	2006
MNT SRTM	Radar	Gtopo 90	El-Bayadh	90	2008

Dans ce chapitre, nous présentons quelques notions fondamentales de la télédétection spatiale, ainsi que l'imagerie hyper et multi spectrale. Nous donnerons quelques caractéristiques, propriétés et certaines applications de ces dernières. Les différences entre les deux types d'imagerie seront aussi abordées dans ce chapitre. Nous terminerons par un bref aperçu sur les capteurs aéroportés, spatioportés.

L'observation de la terre à partir de capteurs spatioportés ou aéroportés a d'abord été effectuée en acquisition monochrome, principalement dans le domaine militaire. Il est ensuite apparu que l'observation de la même scène dans différentes bandes spectrales, à différentes longueurs d'ondes, permettait une meilleure discrimination entre les objets observés. Un très grand nombre de capteurs multispectraux se sont ainsi développés, l'un des premiers étant le satellite américain de la NASA « Landsat ». Les progrès réalisés en matière de capteurs ont conduit naturellement à la naissance de l'imagerie hyperspectrale : la scène n'est plus observée à trois ou quatre longueurs d'ondes mais dans plusieurs centaines de bandes spectrales étroites et contiguës. L'exploitation des données hyperspectrales permet d'effectuer une analyse d'une finesse jusqu'alors inégalée en télédétection multispectrale. L'imagerie hyperspectrale est utilisée dans des domaines divers, pour des applications civiles et militaires. Durant la dernière décennie, elle a fait l'objet d'études avancées menées par différents organismes tels l'ESA ou la NASA.

### 3.1.1.1. Les caractéristiques de l'imagerie spatiale

Pour un système d'imagerie, il existe certaines caractéristiques principales qui définissent les propriétés des images. Il s'agit des caractéristiques spatiales, spectrales et radiométriques.

➤ **Résolution spatiale**

La caractéristique spatiale d'une image se décrit par la résolution spatiale. Elle a été définie comme le pouvoir de discrimination spatiale entre deux objets. En d'autres termes, elle correspond à la taille du plus petit objet identifiable dans l'image. Elle dépend de la taille du détecteur, cette taille du détecteur, dans le système électro-optique du capteur, détermine un paramètre qui s'appelle « le champ de vue instantané » (IFOV: Instantaneous Field Of View). La projection d'un pixel sur la Terre correspond au pas d'échantillonnage spatial minimum qui est connu sous le nom de « champ de vue instantané terrestre » (GIFOV: Ground Instantaneous Field Of View). Il peut être appelé, sur le modèle du mot pixel, « groundel » (Ground element), et est souvent assimilé à la résolution spatiale du capteur. La taille des détecteurs se mesure normalement en microns, alors que l'IFOV est un angle et se mesure en radians. Par contre, le GIFOV est sur la Terre et se mesure en mètres et dépend également de l'altitude du satellite porteur du capteur. Dans le cas où l'IFOV est suffisamment petit, l'équation (I.1) ci-dessous permet de définir le rapport entre GIFOV et IFOV pour une prise de vue verticale :

$$\text{GIFOV} = (h / f) * \text{IFOV}$$

Où  $h$  est l'altitude du capteur ou de son satellite, et  $f$  est la distance focale du système optique du capteur. La résolution spatiale est un paramètre qui est coûteux à améliorer (Landgrebe, 1999b)

➤ **Résolution spectrale**

Dans le système optique du capteur, les rayonnements reçus se divisent en différentes longueurs d'ondes. Un grand nombre de divisions (de bandes spectrales) serait idéal, mais plus la bande spectrale est étroite et plus l'énergie des rayonnements reçus par le détecteur est faible et induit une diminution du rapport signal sur bruit. La technologie est toujours en évolution, et permet de développer de nouveaux détecteurs, en utilisant des matériaux plus sensibles afin d'enregistrer des canaux spectraux plus étroits. De cette façon, la résolution spectrale est définie comme la largeur  $\Delta\lambda$  minimum d'un canal spectral. Dans l'IHS, on insiste plutôt sur cette caractéristique du système imageur, ce qui est généralement différent en imagerie multispectrale, où on insiste sur la résolution spatiale. Pour l'IHS, la résolution spectrale définit donc le nombre de canaux spectraux étroits et contigus. Dans ce cas, la largeur de chaque bande spectrale est généralement comprise entre 10 et 20 nm. Dans le cas où la gamme spectrale couverte par le capteur est continue, le nombre total de canaux spectraux peut s'obtenir par l'équation suivante :

$$N_{\text{bandes}} = (\text{gamme spectrale}) / \Delta\lambda$$

### ➤ Résolution radiométrique

Le flux de la radiance qui arrive sur chaque détecteur, pour une longueur d'onde spécifique est une valeur analogique. Maintenant une question se pose : comment cette valeur peut-elle être convertie en valeur d'intensité utilisable par les ordinateurs numériques. La question peut être considérée comme un problème de quantification dans laquelle nous convertissons les valeurs de flux de radiance entre le minimum et le maximum sur une gamme de valeurs discrètes. Ces valeurs discrètes déterminent les niveaux de gris de chaque pixel. La résolution radiométrique se mesure normalement en nombre de bits. L'équation suivante définit le nombre  $N$  de niveaux de gris par rapport au nombre de bits  $n$  :

$$N = 2^n$$

Pour un capteur qui a une résolution radiométrique de 10 bits, les valeurs de gris sont comprises entre 0 et 1023. Avec cette caractéristique, il est probable que deux matériaux très similaires apparaissent avec des valeurs légèrement différentes (D. Landgrebe, 1999).

### 3.1.1.2. Imagerie multi et hyper spectrale

#### ➤ Imagerie multispectrale

Les images de télédétection spatiale classiquement utilisées sont dites multispectrales. Elles associent à chaque pixel plusieurs valeurs scalaires qui correspondent à la mesure du rayonnement électromagnétique incident sur le capteur dans quelques bandes spectrales (généralement de 3 à 10 bandes), celles-ci n'étant pas nécessairement contiguës. La représentation par combinaison de ces bandes d'information numérique en utilisant les trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu) permet d'obtenir des images colorées.

Les images multispectrales sont des données agencées en cubes : un tenseur d'ordre trois dont deux directions spatiales : la direction de défilement du point de visée au dessus de la Terre notée  $x$ , et la direction orthogonale notée  $y$ , alignée avec la fauchée. Un élément du plan spatial est appelé pixel (picture element) de coordonnées  $(x, y)$ . Un ensemble de pixels forme un canal ou bande spectrale. La troisième direction est la direction spectrale, notée  $\lambda$ , qui correspond à la décomposition de la lumière sur des longueurs d'ondes précises. Un spectre est formé par l'ensemble des pixels ayant les mêmes coordonnées spatiales  $(x, y)$ . Les images multispectrales sont donc agencées en cube noté  $C(x, y, \lambda)$ , très fin par sa dimension spectrale (R. Aouam, 2009).

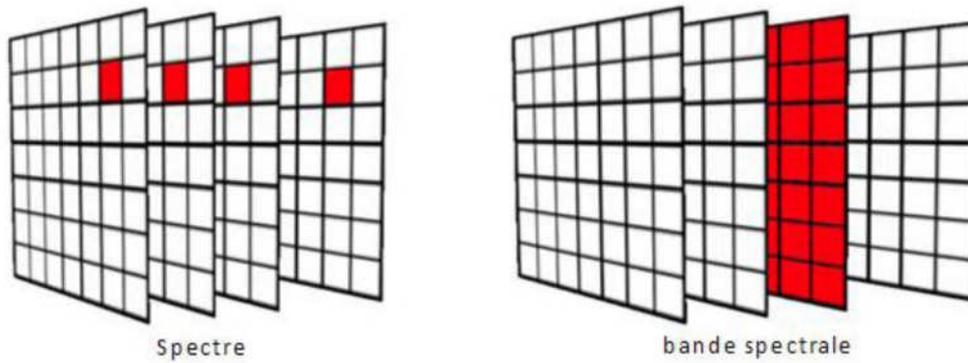


Figure 47. Schéma d'un cube multispectral

➤ **Imagerie hyperspectrale**

L'imagerie issue de la télédétection hyperspectrale consiste en une acquisition simultanée d'images dans des centaines de bandes spectrales continues et identiquement géoréférencées, telles que l'on peut dériver un spectre de réflectance complet pour chaque unité d'une image (GOE85) (F.A. Kruse et all, 93).

Le principe de l'imagerie hyperspectrale est de mesurer la valeur des rayonnements qui parviennent au détecteur, et ceci pour chaque longueur d'onde et pour une gamme spectrale suffisamment large. À partir de cette définition, l'imagerie hyperspectrale peut se voir comme un système de télédétection parfait et idéal qui s'est établi comme une technique avancée capable d'aider à interpréter la terre et ses environnements.

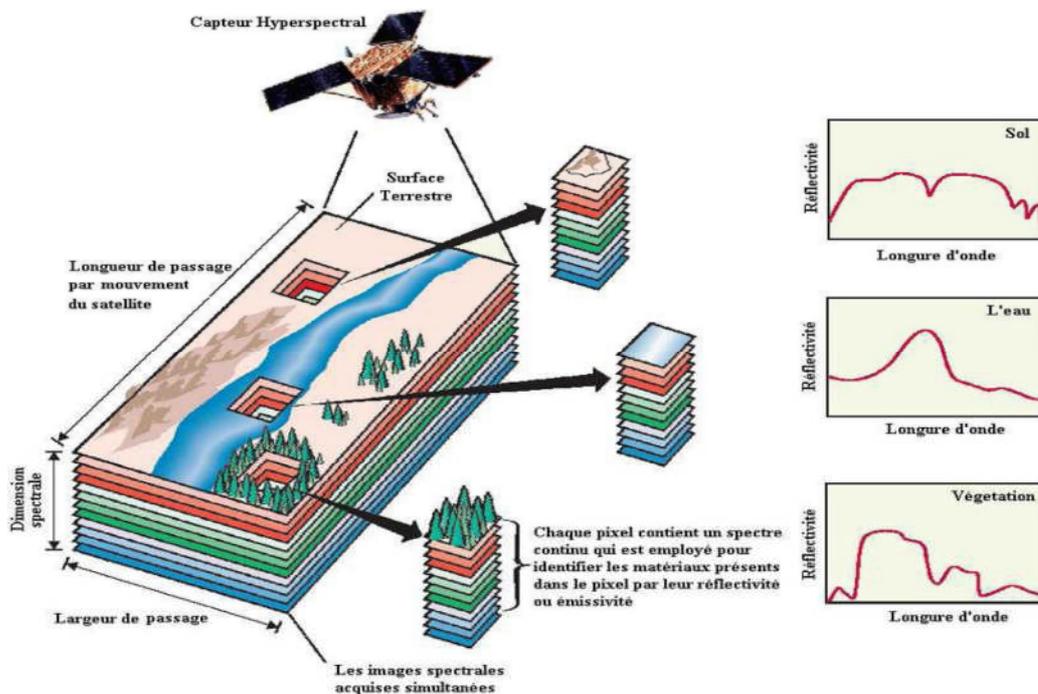
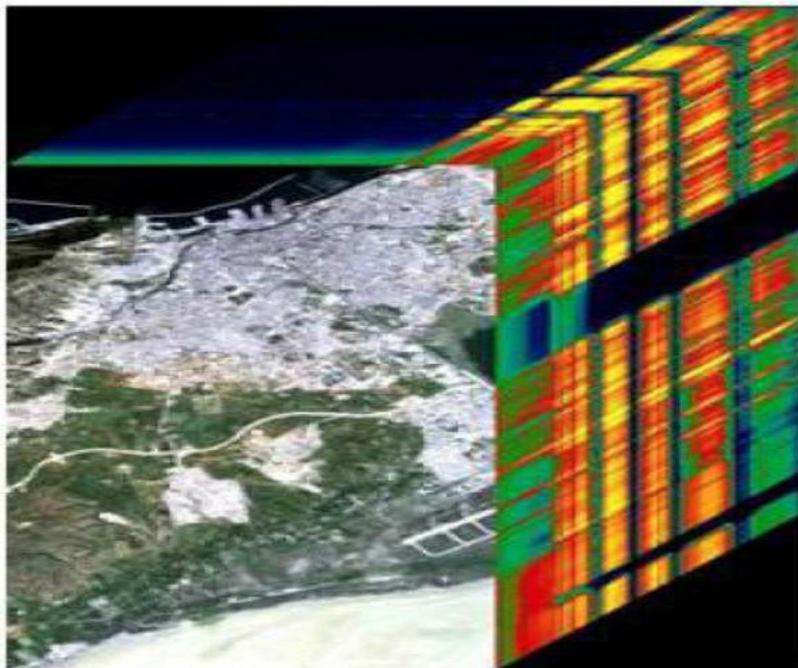


Figure 48. Concept de l'imagerie hyperspectrale (Shaw et Manolakis, 2002)

Cette technique d'acquisition simultanée des images d'une scène sur un grand nombre de bandes spectrales fines (largeur typique 10 – 20 nm dans le domaine spectral considéré, 0,4 – 2,5  $\mu\text{m}$ ), permet de discriminer entre certaines cibles ayant des signatures spectrales différentes, mais peu perceptibles en utilisant des systèmes imageurs à larges bandes spectrales (systèmes multispectraux) (KAR09). Une image hyperspectrale peut être considérée comme un cube 3D de données, volumineux par sa dimension spectrale, par rapport au cube considéré en imagerie multispectrale. Ce cube volumineux, peut être interprété comme des mesures fonctions de la position XY de l'espace observé et de la longueur d'onde. Une image de ce type est appelée « pavé hyperspectral » ou « hypercube » (S. Homayouni, 2005).



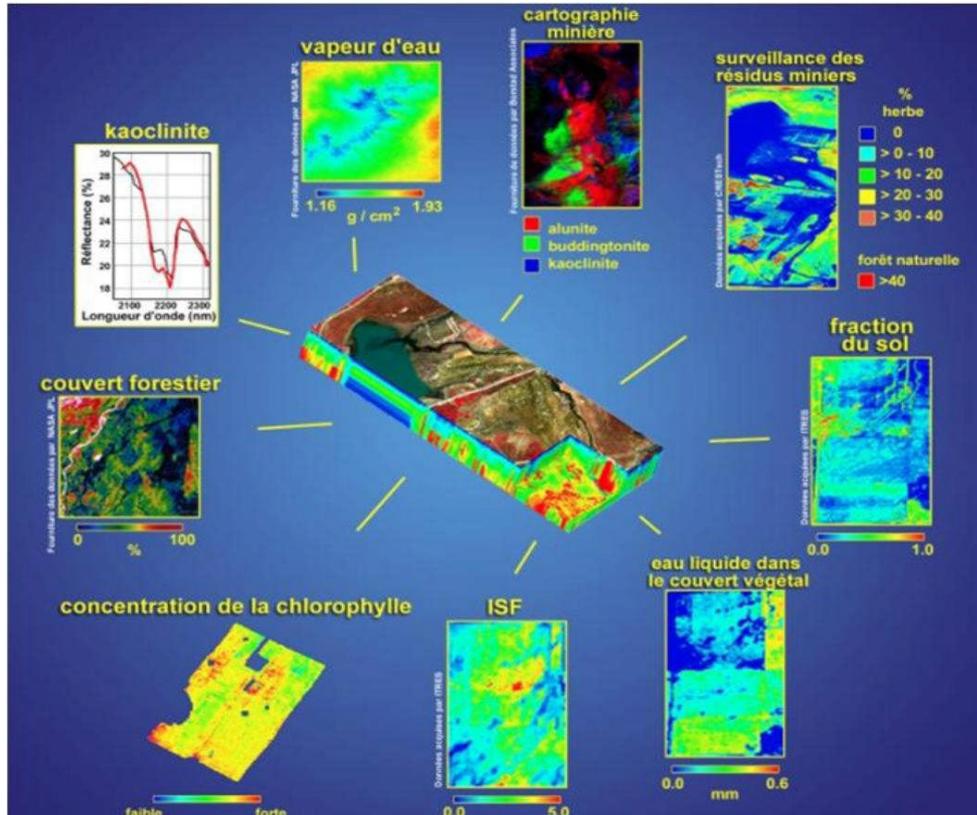
**Figure 49.** Représentation d'un pavé hyperspectral

Les caractéristiques d'un pavé hyperspectral sont les suivantes :

- La largeur : mesurée en nombre de pixels, elle définit le nombre total de détecteurs dans un sens utilisé dans le système imageur, et lié à la résolution spatiale.
- La longueur : mesurée aussi en nombre de pixels, elle définit elle aussi le nombre total de détecteurs dans le sens perpendiculaire à celui de la largeur, la longueur est liée aussi à la résolution spatiale.
- La profondeur : est le nombre de canaux spectraux et représente la résolution spectrale de l'hypercube.

### A. Les applications de l'imagerie hyper et multi spectrale

La télédétection hyper/multi spectrale est considérée comme une méthode essentielle pour collecter des données sur l'environnement, en principe grâce à la vue unique qu'elle nous fournit de la Terre. Cependant, si la télédétection n'a pas encore totalement remplacé les méthodes de surveillance terrestre, c'est généralement en raison de limitations particulières qui existent toujours avec cette technologie. Celles-ci incluent les limitations potentielles avec les problèmes de résolutions spatiales, spectrales et radiométriques de divers capteurs, les problèmes avec les conditions atmosphériques, les coûts de collecte des données et les problèmes pour l'analyse et l'interprétation des données. La télédétection hyper/multi spectrale est complémentaire de la surveillance terrestre car elle fournit une vision synoptique spatiale et spectrale avec des caractéristiques et des analyses extrêmement fines. L'imagerie hyperspectrale comme celle multispectrale est utilisée dans des domaines divers, pour des applications civiles et militaires. Parmi les applications civiles (Figure 50), on peut citer entre autres, la géologie, l'exploration minière et pétrolière, l'agriculture, l'hydrologie, etc. Néanmoins, l'exploitation des données hyperspectrales permet d'effectuer des classifications d'une précision inégalée en télédétection conventionnelle (S. Homayouni, 2005).

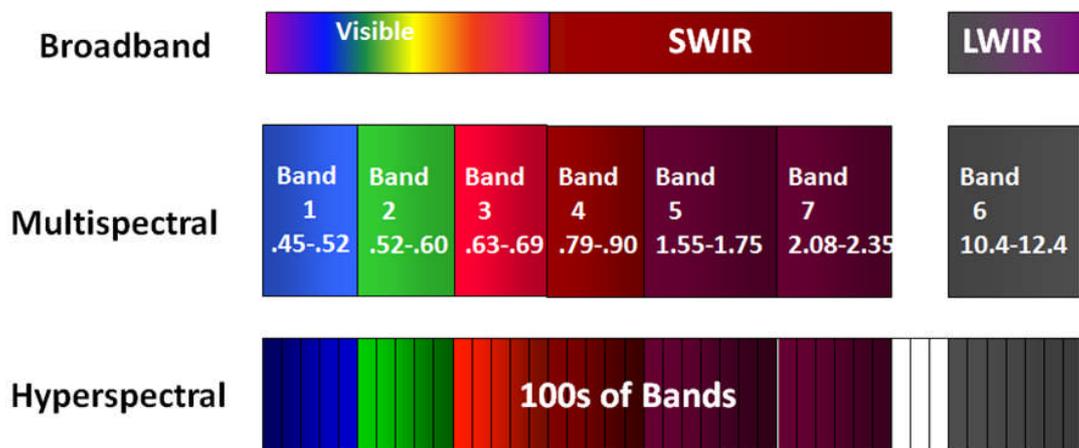


**Figure 50.** Différents domaines d'application de l'imagerie hyper/multi spectrale

## B. Comparaison entre l'imagerie hyper et multi spectrale

Comparée à l'imagerie multispectrale, l'imagerie hyperspectrale offre une information spectrale plus riche, permettant une analyse plus fine des images que ce soit pour la classification thématique d'une scène, ou encore pour la détection d'une cible dans un environnement plus ou moins hétérogène.

À travers les paragraphes précédents, il apparaît que les systèmes d'imagerie hyperspectrale se distinguent des systèmes d'imagerie multispectrale par leur fine résolution spectrale, ainsi que la contiguïté de leurs bandes spectrales.



**Figure 51.** Comparaison entre le nombre des bandes spectrales dans les systèmes hyper/multi spectraux

Les données hyperspectrales fournissent donc une information plus détaillée des propriétés spectrales d'une scène et permettent une identification et une discrimination plus précises des objets que les capteurs à larges bandes. La quantité d'informations à stocker et à traiter est donc, d'une part, énorme et requiert des capacités de calcul bien plus importantes que dans le cas des images multispectrales (CRA08). D'autre part, la résolution spectrale qu'offre l'imagerie hyperspectrale n'ira pas sans poser de problèmes au niveau de la résolution spatiale. En effet, la conception d'un capteur satellitaire passe inévitablement par un compromis entre la résolution spatiale et la résolution spectrale. Plus la résolution spectrale est fine, plus la résolution spatiale est faible, et vice versa (S. Karoui, 2009).

**3.1.1. 3. Les capteurs d'imagerie en télédétection hyperspectrale**

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons aux capteurs d'images hyperspectrales. En effet, les capteurs multispectraux sont généralement connus par toute la communauté scientifique activant en télédétection spatiale. Afin de caractériser les capteurs hyperspectraux, nous insistons sur les critères les plus importants tels que la gamme spectrale couverte par les capteurs, la résolution spectrale ou le nombre de bandes spectrales qui sont particulièrement déterminantes. De ce point de vu, si un capteur possède plus d'une vingtaine de canaux, avec un maximum de 250 et que ces canaux sont constitués de bandes étroites et contiguës, nous pouvons le considérer comme un capteur hyperspectral. La classification par les véhicules de capteur est aussi importante. Actuellement, deux technologies sont opérationnelles : aéroportées et spatioportée.

**A. Les capteurs aéroportés**

Les capteurs aéroportés sont historiquement les premiers capteurs grâce auxquels l'imagerie hyperspectrale a été appliquée et développée. Les capteurs hyperspectraux aéroportés trouveront toujours des applications, notamment lorsque de très hautes résolutions spatiales (de 1 à 4 m) sont nécessaires (S. Homayouni, 2005). Le premier système aéroporté a été développé par JPL (Jet Propulsion Laboratory/NASA). Le système est appelé AIS (Airborne Imaging Spectrometer). Il faisait des acquisitions de données spectrales en 128 canaux de 1,2 à 2,4  $\mu\text{m}$ . À la suite de cette première expérience, JPL a démarré le programme AVIRIS (Airborne Visible-Infrared Imaging Spectrometer). Ce capteur était capable d'acquérir des images spectrales en 224 bandes de 0,40 à 2,45  $\mu\text{m}$ . Ensuite d'autres systèmes ont été mis en œuvre. Le tableau 17 recense les capteurs aéroportés qui sont les plus connus.

**Tableau 17.** Capteurs hyperspectraux aéroportés les plus connus

<b>Capteur</b>	<b>Nom complet</b>	<b>Nombre de bandes</b>	<b>Gamme spectrale (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>AVIRIS</b>	Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer	224	0,40 – 2,50
<b>HYDICE</b>	Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment	210	0,40 – 2,50
<b>HYMAP</b>	Hyperspectral Mapper	126	0,45 – 2,50
<b>CASI</b>	Compact Airborne Spectrographic Imager	228	0,10 – 1,00

## **B. Les capteurs spatioportés**

Suite à la réussite des capteurs hyperspectraux aéroportés et grâce à l'expérience des capteurs multispectraux spatioportés, l'idée de monter un capteur hyperspectral sur satellite a suscité l'attention des agences spatiales. Les capteurs hyperspectraux spatioportés peuvent offrir parfois certains avantages par rapport aux capteurs hyperspectraux aéroportés et par rapport aux satellites multispectraux conventionnels :

- 1- Ils permettent d'acquérir des données hyperspectrales partout sur la planète, à un coût modique pour l'utilisateur.
- 2- Un capteur spatioporté aura une orbite héliosynchrone bien définie et assurera ainsi des caractéristiques d'éclairage uniformes.
- 3- Les capteurs hyperspectraux spatioportés offriront des données temporelles pendant toute l'année.
- 4- Les données des capteurs hyperspectraux spatioportés offriront des capacités uniques de discerner les propriétés physiques et chimiques des objets à la surface de la Terre, capacités que n'ont pas les satellites multispectraux actuels en bande large.

Les capteurs hyperspectraux portés par des satellites sont moins nombreux par rapport aux capteurs aéroportés mais il existe beaucoup de programmes pour étudier et développer prochainement de nouveaux capteurs. Le capteur Hyperion est le premier capteur hyperspectral spatioporté pour les applications d'observation terrestre. Hyperion possède 242 canaux spectraux sur la gamme de 0,4 à 2,5  $\mu\text{m}$ . La résolution spatiale d'Hyperion est de 30 mètres (S. Homayouni, 2005).

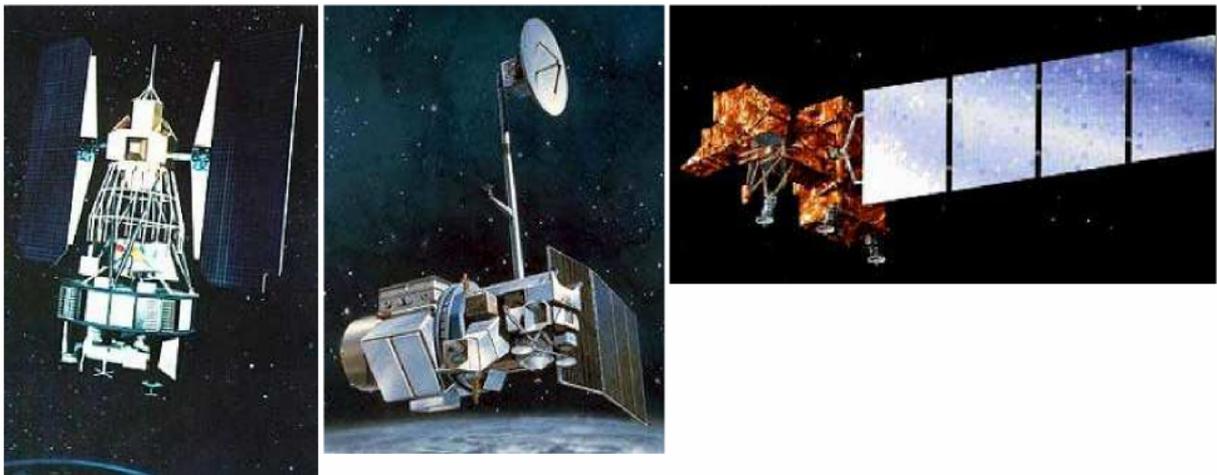
Dans notre application nous avons utilisés les images type Landast 7, Landast 8 et SPOT 5. Le choix du satellite Landast est justifié par la disponibilité de ces images multi dates d'une part, d'autre part ces images d'après l'état de l'art permettent de faire la cartographie de l'aléa des risques naturels à l'échelle d'un bassin-versant. L'image SPOT 5 est utilisée pour la cartographie à grande échelle et nous avons également testé afin de fournir une méthodologie d'utilisation dans les études bi-temporelles. Dans les paragraphes suivants, nous présenterons les systèmes Landsat et SPOT 5.

### **3.1.1.4. Les satellites LANDSAT**

Le programme d'observation de la surface terrestre "Landsat" est le plus ancien des systèmes de télédétection américains. Huit satellites Landsat ont été lancés

depuis le 22 juillet 1972. Le premier Landsat 1, envoyé le 22 juillet 1972, a fonctionné jusqu'au 06 janvier 1978, le 05 novembre 1975, Landsat 2 est lancé. Presque identique à son prédécesseur, il permet de doubler la fréquence de passage au dessus d'un même point. Il a fonctionné jusqu'au 27 juillet 1983, puis des anomalies ont affecté ses capteurs. Landsat 3, lancé le 05 mars 1978, n'a plus fourni de données après le 07 septembre 1983 à la suite d'une panne dans le dispositif de balayage (OUG03).

Avec le lancement des satellites Landsat 4 le 16 juillet 1982 et Landsat 5 le 1er mars 1984, des changements notables apparaissent : Les caméras RVB sont abandonnées au profit du nouveau Scanner TM à plus haute résolution spatiale (30 mètres), possédant 07 bandes spectrales (du bleu à l'infrarouge lointain). Landsat 4, n'émet plus de données TM depuis février 1983. Landsat 5 fonctionne sans problème. Landsat 6, lancé le 05 octobre 1993, s'est écrasé en mer lors du lancement. Landsat 7 a été lancé avec succès le 15 avril 1999 et fournit jusqu'à ce jour des données. Il emporte à son bord le scanner ETM+, Landsat 8 lancé le 11 février 2013.

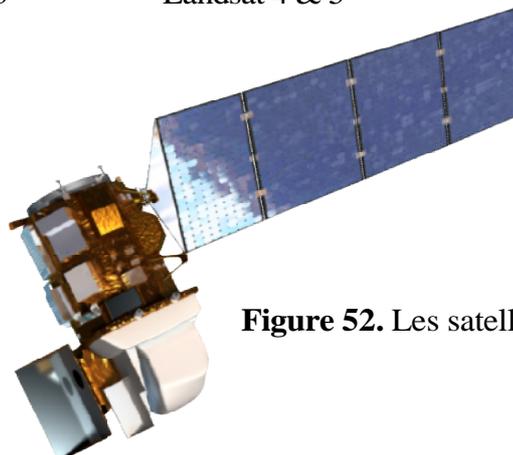


Landsat 1, 2 & 3

Landsat 4 & 5

Landsat 6 & 7

Landsat 8



**Figure 52.** Les satellites du système Landsat

Les satellites 1 à 5 n'ayant pas d'enregistreur embarqué, les données sont envoyées en temps réel aux stations de réception, quant il ne peut y avoir de liaison directe. Les informations sont envoyées par des relais en utilisant des satellites de communication TDRS (Tracking and Data Relay Systems). Pour Landsat 7, il y a possibilité d'enregistrement à bord.

De 1986 jusqu'à nos jours, les produits étaient commercialisés par la société EOSAT. La diffusion des produits LANDSAT 7 et 8 doit être assurée par L'US Geological Survey (USGS).

#### a) Caractéristiques orbitales des satellites Landsat

Les satellites Landsat 4, 5 et 7 évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi polaires caractérisées par une inclinaison de  $98,2^\circ$  (ce qui permet l'héliosynchronisme). Un tour de la Terre leur prend 98,9 min, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour. Un cycle orbital complet dure 16 jours.

Ces caractéristiques orbitales ont des conséquences sur l'acquisition des images :

- la couverture est complète entre les parallèles  $81^\circ$  nord et sud.
- le recouvrement des images s'accroît avec la latitude (7% à l'équateur, 54% par  $60^\circ$  de latitude).

#### b) Systèmes embarqués à bord des satellites

L'instrumentation embarquée a évolué au fil des satellites, depuis la caméra RBV (Return Beam Vidicon) et le radiomètre multispectral MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 jusqu'au radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999.

**Tableau 18. Systèmes embarqués à bord des satellites**

Satellite	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
Landsat 1	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4
Landsat 2	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4

Landsat 3	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5
Landsat 4	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7
Landsat 5	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7
Landsat 6	détruit après lancement			
Landsat 7	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM +
Landsat 8	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM +

### c) **Domaine spectral couvert du satellite LANDSAT 7**

Le capteur ETM+ de Landsat dispose sept (07) bandes spectrales. Nous décrivons ici brièvement les utilisations possibles de ces différentes bandes spectrales, ainsi qu'un tableau montrant les résolutions spectrales et spatiales de ces bandes.

- ETM1 : exploitant la partie bleue du spectre électromagnétique, sera surtout utilisée pour des études sur l'eau (les radiations bleues ont un bon pouvoir de pénétration dans l'eau). Très sensible aux gaz et aux particules atmosphériques, cette longueur d'onde est malgré tout assez peu employée, si ce n'est pour réaliser des images en couleurs naturelles;
- ETM2 : exploite les longueurs d'onde du vert. Logiquement, ce canal est employé pour mesurer l'énergie réfléchiée par la végétation. Ce canal permet également de mettre en évidence le mouvement des sédiments lourds dans l'eau ;
- ETM3 : correspond au rouge. Dans cette partie du spectre, les radiations sont fortement absorbées par la chlorophylle et les pigments des feuilles. Par contre, les oxydes de fer du sol sont ici fortement réfléchissants (possibilité de mesure de leur abondance), ce canal permet également une bonne identification du domaine urbain (surtout les toits de tuiles) ;

- ETM4 : est le canal du proche infrarouge. C'est un bon indicateur phénologique car la végétation chlorophyllienne se caractérise par sa très forte réflectance dans ce longueur d'onde. Comme les autres canaux infrarouges, cette bande permet une bonne cartographie du réseau hydrographique, ou du réseau routier en urbanisme (très peu réfléchant). Ce canal est peu sensible aux effets atmosphériques ;
- ETM5 : est neutre par rapport aux sols et à la végétation. Sa variabilité dépend surtout de la composante eau ou, d'une façon plus générale, de l'humidité des objets ;
- ETM61 et ETM62 : exploite deux bandes spectrales (infrarouge thermique) pour lesquelles le rayonnement solaire réfléchi est négligeable. Le rayonnement terrestre émis devient ici important. Ce canal permet la mesure (de nuit comme de jour) de la température de radiance de la surface terrestre. Il permet notamment de distinguer les surfaces de neige ou de glace, les anomalies thermiques, ... ;
- ETM7 : il est surtout utilisé pour l'identification des composants minéraux. Les pics d'absorption (vers 2.2 et 2.35  $\mu\text{m}$ ) des liaisons AL et Mg avec OH et CO<sub>3</sub> permettent en effet d'identifier les minéraux hydratés et les carbonates. On mesure bien ici l'avantage d'une vision multispectrale des objets terrestres. Ainsi, alors que l'œil humain ne pourra distinguer que le vert (en été) et le brun (en automne) d'un végétal, les différentes bandes spectrales permettent de:
  - Mesurer l'intensité du rayonnement réfléchi dans le visible (caractéristique du végétal)
  - Mesurer l'énergie réfléchie dans le proche infrarouge (indication de la vigueur de la plante) ;
  - Mesurer dans l'infrarouge thermique la température et l'humidité du végétal (les objets humides ont une température de radiance plus basse que le voisinage).

Les images Landsat 7 offrent la possibilité d'avoir 06 bandes spectrales à une résolution de 15 mètres lorsque les bandes sont mixées avec le panchromatique. La fusion des données multispectrales à 30m, riches sur le plan identification spectrale avec le canal panchromatique à bonne résolution spectrale (15 m) permettra l'obtention d'images

trichromie si riche, et sur le plan géométrique et spectrale. La technique de fusion fréquemment utilisée est la conversion réciproque RVB - ITS.

Les méthodes de mixage permettent de garder au maximum la radiométrie originale et d'ajouter la précision de la bande P (15m). La bande panchromatique correspond à la bande spectrale entre 0.52 $\mu$ m à 0.90 $\mu$ m (ETM1 + ETM2 + ETM3 + ETM4), l'influence du Panchromatique sur ces quatre bandes est donc plus faible que sur les bandes ETM5 et ETM7. (Moussa O, 2001)

**Tableau 19. Résolution spectrale et spatiale des 08 bandes d'ETM+**

N ° de Bande	Résolution Spectrale	Résolution Spatiale
ETM+1	0.45 à 0.515 $\mu$ m	30 m
ETM2	0.52 5 à 0.605 $\mu$ m	30 m
ETM+3	0.630 à 0.690 $\mu$ m	30 m
ETM+4	0.750 à 0.900 $\mu$ m	30 m
ETM+5	1.550 à 1.750 $\mu$ m	30 m
ETM+61- ETM+62	10.40 à 12.50 $\mu$ m	60 m
ETM+7	2.090 à 2.350 $\mu$ m	30 m
PAN	0.520 à 0.900	15 m

#### **d) Les produits Landsat 7**

Les produits Landsat 7 commercialisés sont à différents niveau de correction. Typiquement les données Landsat 7 ETM+ sont disponibles avec trois niveaux de correction (traitement).

##### *A. Niveau Ø Reormatted (ØR, RA W)*

Les pixels ne sont ni rééchantillonnés, ni géométriquement corrigés ou enregistrés, c.-à-d. les pixels ne sont pas alignés par la ligne de balayage. Tous les objets radiométriques tels que le bruit impulsionnel, le bruit cohérent, les effets de mémoire, etc. sont présents dans n'importe quelle image du niveau 0R. Ce produit est pour des utilisateurs capables de faire tout le traitement.

*B. Niveau 1 Radiometrically Corrected (1R, RADCOR)*

Le produit du niveau 1R est un produit ØR corrigé radio-métriquement qui corrige les artefacts tels que le bruit de détection cohérente et améliore la superposition des bandes, les lignes et les pixels manquant. Ce produit est calibré. Les corrections radiométriques ne sont pas réversibles. Comme le produit de niveau ØR, les pixels ne sont ni rééchantillonnées ni corrigées géométriquement ou registrés, à savoir les pixels ne sont pas alignés par ligne de balayage. Ce produit nécessite aussi d'importants traitements par l'utilisateur.

*C. Niveau 1 System Corrected (1G)*

Le produit du niveau 1G est considéré comme le produit standard pour la plupart des utilisateurs. Il est radiométriquement et géométriquement corrigé aux paramètres spécifiques, y compris la projection cartographique, l'orientation d'image (par défaut sont UTM et WGS84), et l'algorithme de rééchantillonnage (le plus proche voisin ou la Convolution cubiques)

Les algorithmes de correction modélisent le satellite et le capteur en utilisant des données produites par les ordinateurs de bord pendant l'acquisition de l'image. Le capteur, le plan focal et l'information d'alignement de détecteur fournie par le système IAS (Image Assessment System) dans le fichier de calibration des paramètres (Calibration Parameter File - CPF) sont utilisés afin d'améliorer la fidélité géométrique globale de l'image)

Le produit corrigé est exempt des déformations liées au capteur (par exemple, frousse, effet d'angle de vue), au satellite (par exemple, déviations d'attitude nominale), et à la terre (par exemple, rotation, courbure). L'erreur résiduelle dans le produit 1G systématique est plus moins de 250 mètres pour Landsat 7 (plus pour les autres missions de Landsat) dans des régions plates au niveau de la mer.

Les images corrigées peuvent être produites avec 2 orientations différentes : path oriented (SYSCOR), et map oriented (GEOREF-pour de pleines scènes seulement) avec l'affichage du nord-vers le haut. Aucune correction atmosphérique n'est appliquée aux images.

Le produit 1G corrigé n'utilise pas des points d'appui ou des modèles numériques des terrains pour obtenir l'exactitude géodésique absolue. Un traitement plus précis (jusqu'à l'orthorectification avec l'utilisation des points d'appuis (GCPs) et du modèle numérique du terrain (DEM)) est disponible comme service additionnel.

#### e) Disponibilité des images du système Landsat

Le USGS (United States Geological Survey) annonçait, dans un communiqué émis le 21 avril 2008, qu'un échéancier avait été retenu pour rendre public l'archive complète des données de Landsat détenu par ce dernier et ce sans frais.

Une période de 37 années l'archive d'images de Landsat du USGS représente une source d'information inégalée de la surface de la Terre. Cette information est utilisée dans une vaste gamme d'applications notamment pour les études des changements climatiques, en gestion forestière et en soutien à la gestion des risques.

À la fin de 2008, les données entrantes du capteur TM de Landsat 7 ainsi que toutes les données du capteur TM de Landsat 5 acquises par le USGS depuis son lancement (1984) sont devenues disponibles, alors que toutes les données TM de Landsat-4 (1982-1985) ainsi que les données MSS de Landsat-1 à 5 (1972-1994) seront disponibles à la fin-janvier 2009.

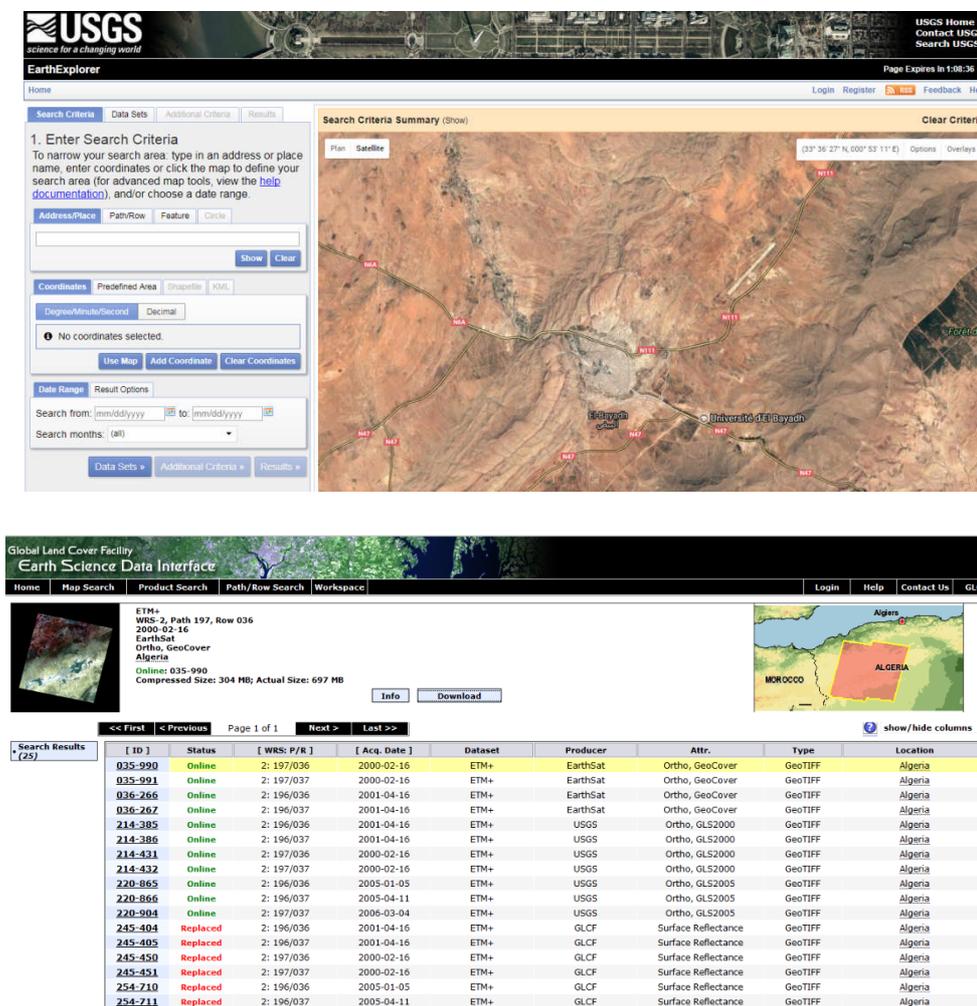
Pour visualiser et télécharger ces images, il faut consulter l'ensemble des données L1T Standard dans la Landsat Science Collection dans GloVis ou Earth Explorer.

**Tableau 20. Calendrier de la mise à disponibilité des images selon le type et le capteur**

<b>Données et capteurs</b>	<b>Disponibilité</b>
Landsat 7- toutes les nouvelles acquisitions à l'échelle du globe	Juillet 2008
Landsat 7- toutes les données	Septembre 2008
Landsat 5- toutes les données TM	Décembre 2008
Landsat 4- toutes les données TM	Janvier 2009
Landsat 1/5- toutes les données Mss	Janvier 2009

**f) GLOVIS et Earth Explorer**

Les images de Landsat peuvent être pré-visualisées et téléchargées à l'aide du visualisateur « Global Visualization Viewer » (GLOVIS) de l'USGS à l'adresse <https://glovis.usgs.gov/>. Les images peuvent également être sélectionnées à l'aide de l'outil Earth Explorer de l'USGS à l'adresse <http://earthexplorer.usgs.gov/>, Pour utiliser toutes ces données, il est nécessaire de s'enregistrer sur le site de l'USGS, ce qui se fait instantanément. Pour sélectionner les espaces à étudier, vous disposez sur la partie droite de l'écran d'une interface Google maps facile d'utilisation, les jeux de données sont disposés sur la partie gauche de l'écran sous forme de couches (layers) sélectionnables.

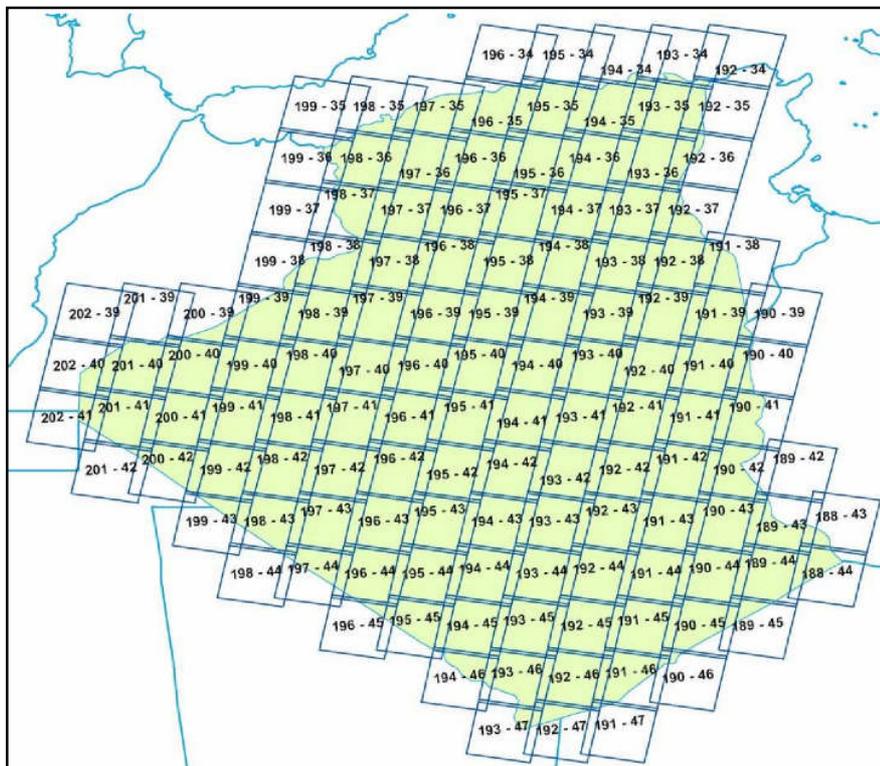


**Figure 53.** L'outil Earth Explorer

**g) Système de référence mondial (World Reference System WRS)**

La résolution temporelle de 16 jours et les 233 cycles d'orbitaux sont les bases du système de référence mondiale des satellites Landsat. Le système WRS est une grille des chemins (paths) et des rangées (row) recouverts sur une carte du monde, avec les rangées

représentant la trace du satellite. Les intersections des chemins et les rangées - centres nominaux de scène - sont utilisées pour identifier les images de Landsat. Les centres réels des scènes peuvent varier près pas moins de 250 m. Le WRS se compose de 233 chemins numérotés de 001 à 233, de l'est à l'ouest, avec le chemin 001 croisant l'équateur à la longitude 64.60 degrés ouest. Les rangées de 1 à 122 sont les passages descendants (jour), tant que les autres jusqu'à 246 sont ceux montants (nuit). Le système des coordonnées pour Landsat 1, 2 et 3 (WRS 1) sont différentes de celle de Landsat 4 et 5 (WRS 2), ayant 251 chemins au lieu de 233 (en raison de l'altitude différente), qui signifie les scènes dans WRS 1 ont plus de chevauchement, mais le nombre et la position de rangées sont identiques.

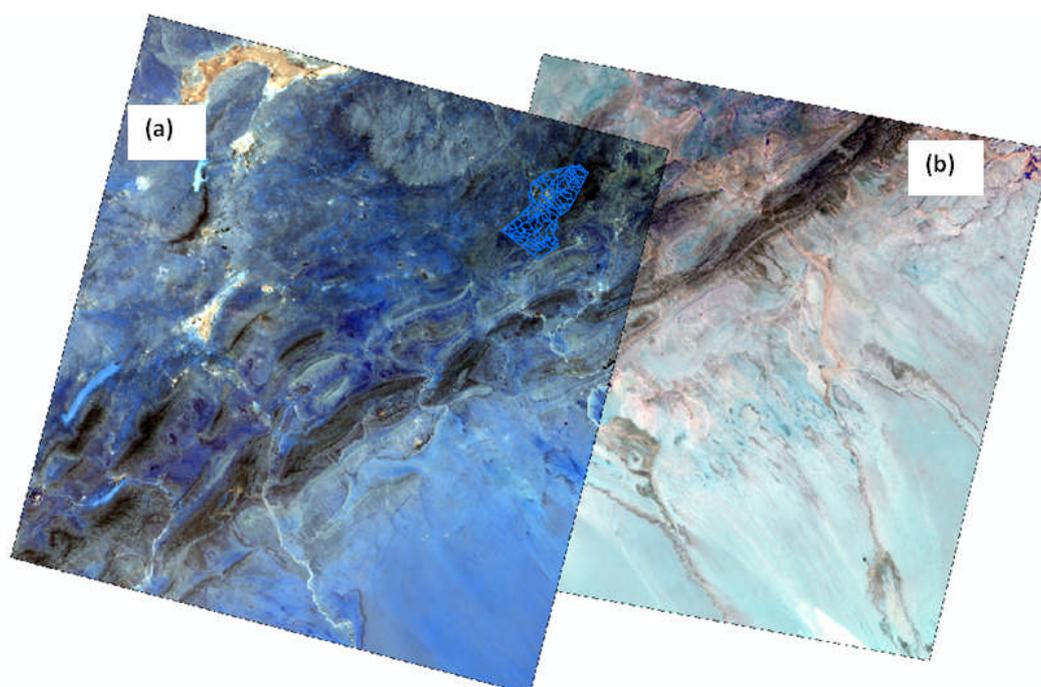


**Figure 54.** Chemins (paths) et rangées (row) du World Reference System du territoire national

Dans notre cas nous avons sélectionné deux dates avec un intervalle de 13 ans qui permet de faire une étude bi-temporelle, l'un issu du capteur landsat 7 qui couvre une zone de 170 km x 183 km, l'autre issu du capteur landsat 8 avec une fauché de 185 km.

**Tableau 21. Données Landsat utilisées**

Donnée	Capteur	Mode/ Bandes	Zone paths-row	Résolution spatiale (m)	Date d'acquisition
Image satellitaire TM	Landsat 7	Multi-spectral (B1, B2, B3, B4, B8)	El-Bayadh 197- 036	30/15	2001
	Landsat 8	Multi-spectral (B1, B2, B3, B4, B8)	El-Bayadh 197- 037	30/15	2014

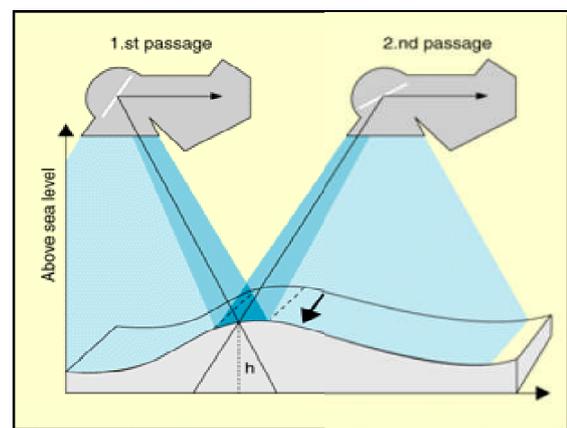
**Figure 55.** Les images Landast utilisées (a : 2014, b : 2001)

### 3.1.1.5. Le satellite SPOT5

Depuis 1986, la constellation des satellites SPOT fournit des images optiques alliant haute résolution et large champ. Elle offre une capacité d'acquisition qui permet d'obtenir une image de n'importe quel point du globe chaque jour.

SPOT est équipé d'un scanner panchromatique. Autrement dit, il balaye dans une bande qui comporte les plages verte et rouge de la lumière visible. La résolution spatiale de ce capteur est de 10 mètres, la résolution la plus élevée pendant des années pour un capteur non militaire.

En plus il peut être programmé pour « regarder de côté » et balayer la même bande deux fois lors de deux survols consécutifs. Les deux angles visuels différents sur la même zone produisent un effet stéréoscopique, qui permet de cartographier les conditions de niveau. Grâce à ses deux canaux visuels et son canal proche infrarouge, SPOT est l'outil idéal pour la cartographie de la végétation de petites surfaces locales (CNES, 2011)



**Figure 56.** Le satellite SPOT-5

**Figure 57.** La détection stéréoscopique par SPOT

### **A. Caractéristiques orbitales des satellites Spot 5**

On peut résumer les caractéristiques techniques du satellite Spot5 dans les points suivants :

- Lancement : Spot-5 a été lancé le 3 mai 2002
- Altitude à l'équateur : 822 km ;
- Inclinaison sur l'équateur : 98,7° ;
- Durée du cycle orbital : 26 jours ;
- Champ de vue : 2x60 km ;
- 2,5 mètres en super mode panchromatique ;
- 5 mètres en panchromatique ;
- 10 mètres en couleur.

- Capacités d'acquisition de couples stéréoscopiques améliorées, grâce à l'instrument HRS (Haute Résolution Stéréoscopique) ;

**Tableau 22. Bandes spectrale de SPOT 5**

Mode	Bande	Bande spectrale	Résolution
Multi spectral	B1	0,50 - 0,59 $\mu\text{m}$ (vert)	10m x 10m
	B2	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$ (rouge)	10m x 10m
	B3	0,79 - 0,89 $\mu\text{m}$ (proche IR)	10m x 10m
	SWIR	1,58 - 1,75 $\mu\text{m}$ (moyen IR)	20m x 20m
Mono spectral	PAN	0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$	5m x 5m (ou 2,5m en super mode)

### B. Les niveaux de prétraitement:

Différents niveaux de prétraitement géométrique des images SPOT sont disponibles répartis en deux gammes de produits :

- SPOT Scene : sont des produits standards qui font l'objet d'un prétraitement de base.
- SPOT View : fournissent des informations actualisées sous forme de fonds cartographiques d'une grande fiabilité, exploitables directement avec un système d'information géographique (SIG) ou un logiciel de cartographie.

### SPOT Scène :

Trois niveaux de prétraitement figurent dans cette catégorie, à savoir:

- Niveau 1A : Correction radiométrique des distorsions (égalisation radiométrique). Aucune correction géométrique n'est appliquée.
- Niveau 1B : Correction radiométrique identique à celle du niveau 1A. Correction géométrique des effets systématiques. Les distorsions internes de l'image sont corrigées, ce qui implique la possibilité des mesures de distances, d'angles et des surfaces.

- Niveau 2A : Correction radiométrique identique à celle du niveau 1A. Correction géométrique effectuée dans la projection cartographique standard (UTM WGS84 par défaut), sans prise de points d'appuis.

#### **SPOT View :**

Deux niveaux de prétraitement sont disponibles dans cette catégorie:

- Niveau 2B (Précision) : Mise en projection cartographique avec prise de points d'appui prélevés sur des cartes ou par mesure sur site type GPS. L'image est corrigée à une altitude moyenne dans une projection et un découpage cartographique standardisé utilisé lorsque les déformations dues au relief ne sont pas déterminantes (terrain plat, ..).
- Niveau 3 (Ortho) : Mise en projection cartographique à partir de points d'appui et d'un MNT issu de référence 3D pour éliminer les distorsions dues au relief.

#### **SPOT5 super mode :**

Le Super mode permet une nette amélioration de la résolution dans la bande panchromatique de Spot 5, en passant de 5 m à 2,5 m à partir de deux images à 5 mètres acquises simultanément avec un demi pixel de décalage.

Ces produits 2,5 m Noir et Blanc, ou couleurs s'ils sont associés au mode multispectral, permettent d'observer de vastes étendues à une échelle très fine (jusqu'au 1/10 000e), utilisés pour la cartographie, la défense, l'agriculture, la planification urbaine, les télécommunications, etc. (CNES, 2011)

L'image SPOT 5 utilisé dans notre application est un extrait d'une spatiocarte issue d'une scène composée de deux parties, Nord et Sud de la commune d'El-Bayadh, super mode de résolution 2,5 m, couvre la commune d'El-Bayadh.

**Tableau 23. Données SPOT5 utilisées**

Capteur	Mode	Zone	Résolution spatiale (m)	Niveau de traitement	Date d'acquisition
Spot 5	Multi-spectral	El-Bayadh	2.5	Niveau 3	2006



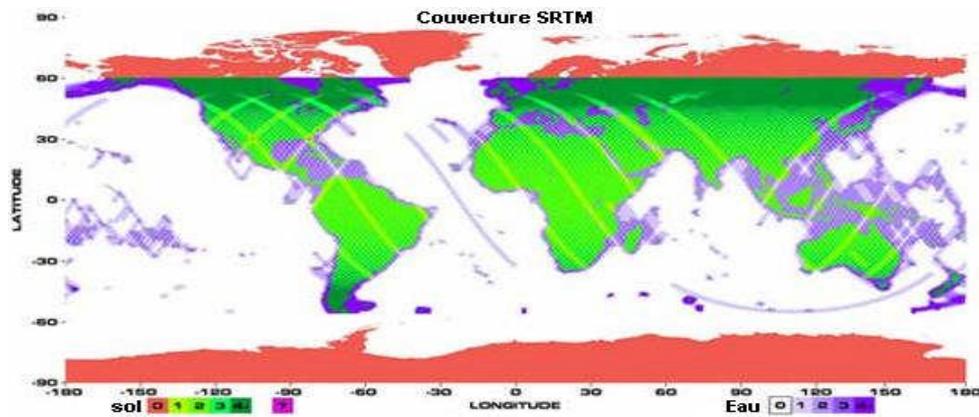
**Figure 58.** Extrait de la spatiocarte SPOT5 de la zone d'étude

### 3.1.2. Modèle numérique de terrain (SRTM)

Le SRTM constitue des données nécessaires dans de nombreux domaines d'application recouvrant, la géologie, l'Aménagement, l'Environnement, l'Hydrologie, la géodésie, les Télécommunications, la Défense ou la Communication au sens larg. En Algérie et en absence d'un modèle numérique de terrain digitalisé de haute résolution, les données d'élévation SRTM constituent, en principe, une source de données qui devrait être utilisée dans la cartographie.

La mission SRTM fut réalisée par deux organismes états-unien : la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) du Ministère américain de la Défense. Cette mission à but cartographique, démarra le 11 février 2000 par le lancement de la navette Endeavour (STS-99) dont le rôle était d'obtenir un relevé topographique en 3D de la surface du globe. Pour ce faire, la navette embarqua un imposant instrument d'observation de la Terre composé de deux antennes radar montées dans la soute et deux autres fixées sur un mât de 60 mètres déployés en orbite. Le radar a ainsi cartographié la Terre de 50 degrés sud à 60 degrés nord par rapport à l'équateur (Figure 59). Il a, de plus, mesuré les ondulations des paysages de sorte que la NASA a été capable de tracer les cartes de près de 80 % des terres émergées où vit près de 95 % de la population mondiale. Un millier d'îles ont également été cartographiées et plusieurs de ces îles ne l'avaient jamais été auparavant. L'information géographique étant devenue une donnée stratégique fort

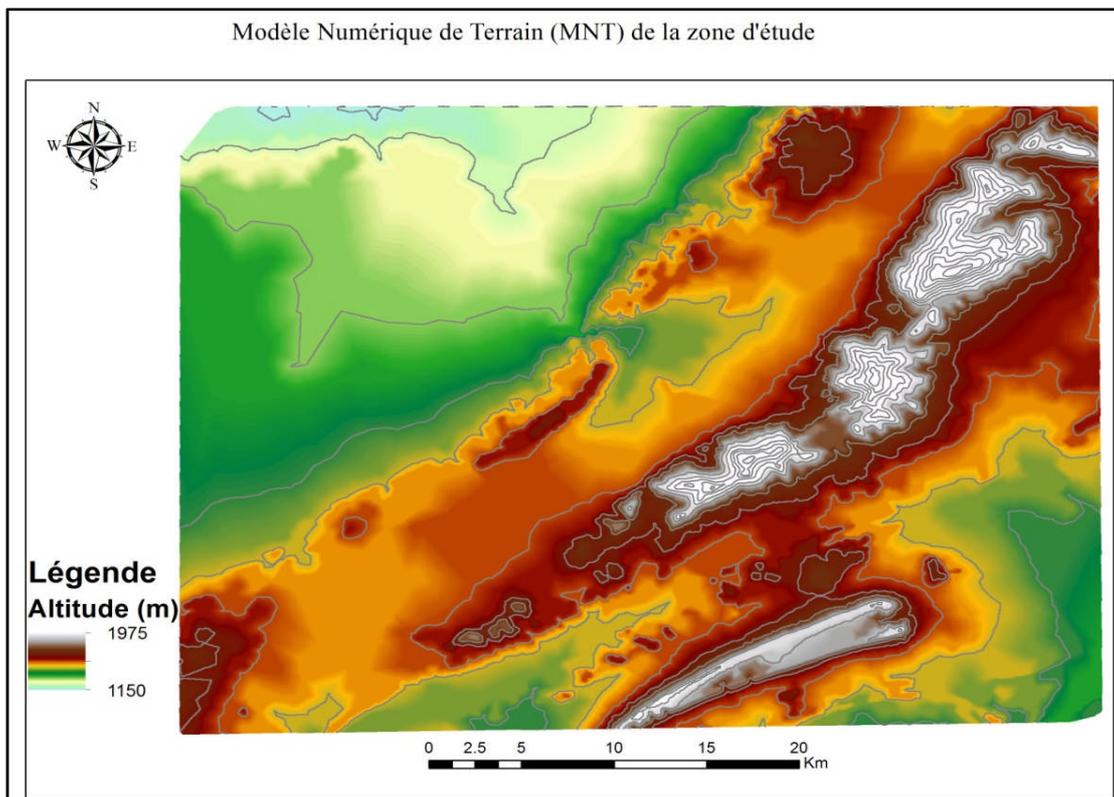
importante dans le domaine de la défense, la diffusion des données SRTM fut dans un premier temps interdite. Par la suite, elles furent mises en libre accès après avoir subie une altération volontaire (passage d'une résolution 30 mètres à 90 mètres).



**Figure 59.** Zone de couverture SRTM (NASA/JPL)

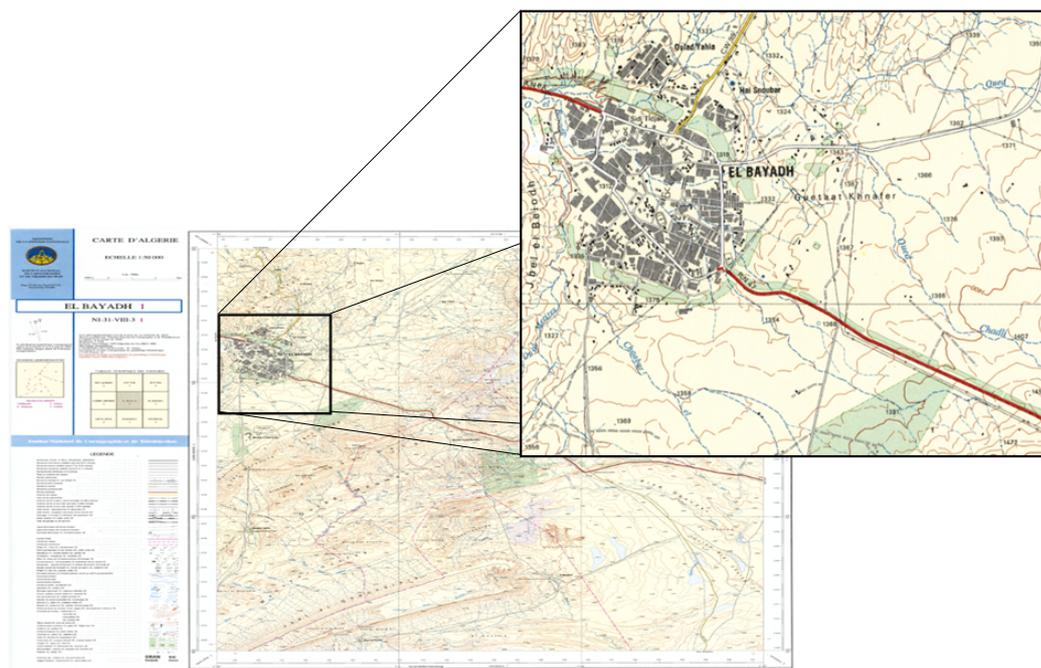
Le modèle numérique de terrain choisi est celui de Gtopo 90. En format raster facilite le traitement et l'intégration en SIG, utilisé par la suite dans l'élaboration des données nécessaires dans la cartographie de l'aléa inondation telle que la carte des pentes et la carte du bassin versant.

La figure 60 représente un extrait du modèle numérique de terrain, lequel correspond à la zone d'étude illustrant une grande variation en altitude.



**Figure 60.** Extrait de modèle numérique de terrain de la zone d'étude





**Figure 62.** La carte topographique de la zone d'étude

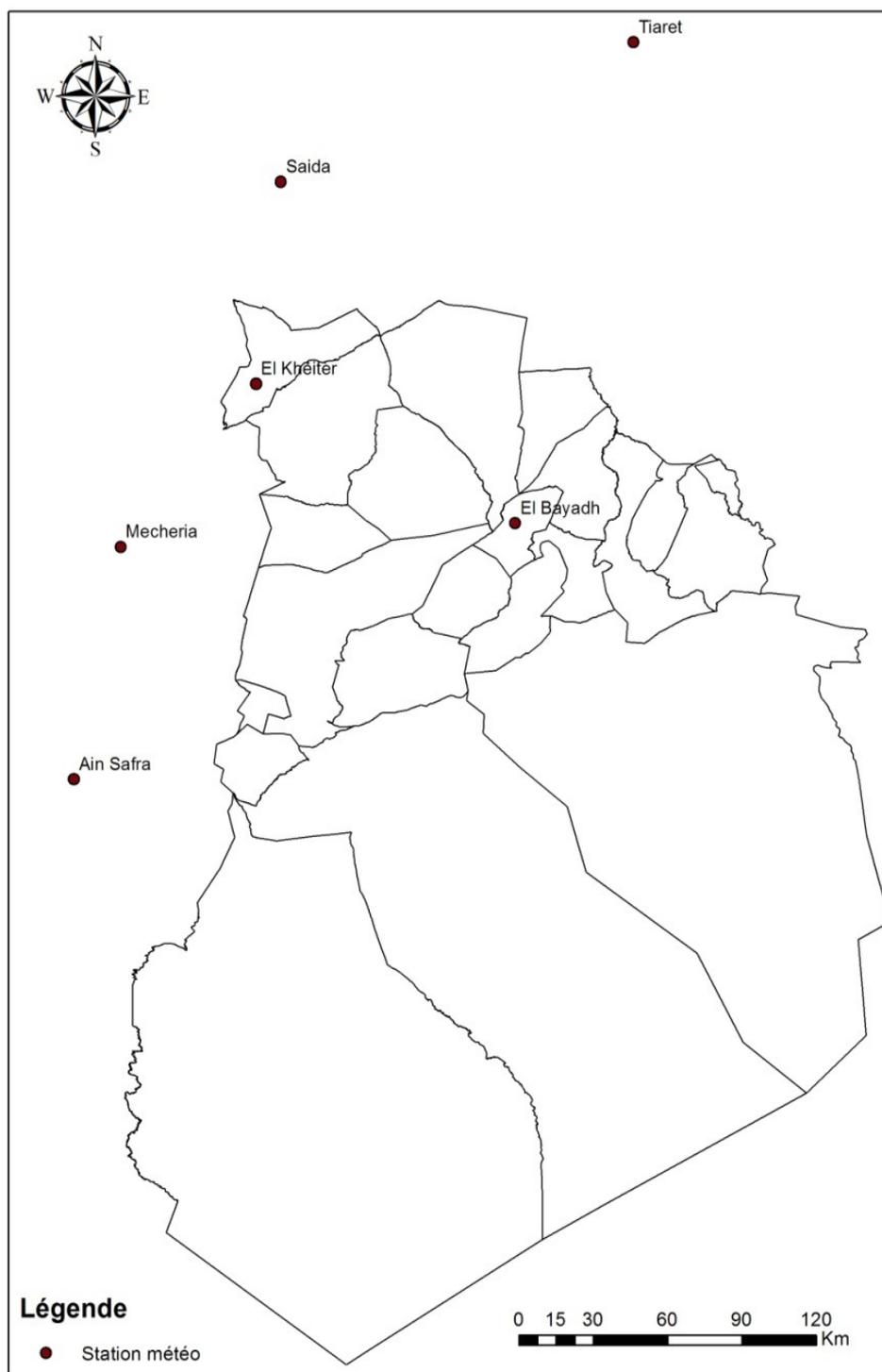
### 3.1.4. Données statistiques

Ces données signifient des statistiques de précipitations concernant les six stations météorologiques déjà mentionné dans le deuxième chapitre de la première partie (section 2.3).

L'étude consiste en l'analyse de l'évolution temporelle des précipitations afin de mieux cerner les variations et les tendances du climat de la zone étudiée.

**Tableau 25. Données statistiques utilisées**

Type de données	Propriétés des données
Mesures pluviométriques	Coordonnées des 06 stations et les hauteurs de pluie.



**Figure 63.** Localisation des stations météorologiques

### **3.2. Phase II : Prétraitements des données collectées et produits dérivés:**

Les données mentionnées ci-dessus sont nécessaires pour la réussite de notre démarche méthodologique, mais ne peuvent pas être utilisées directement sans passer par des prétraitements. Le but principal de cette phase en premier temps est d'appliquer pour chaque

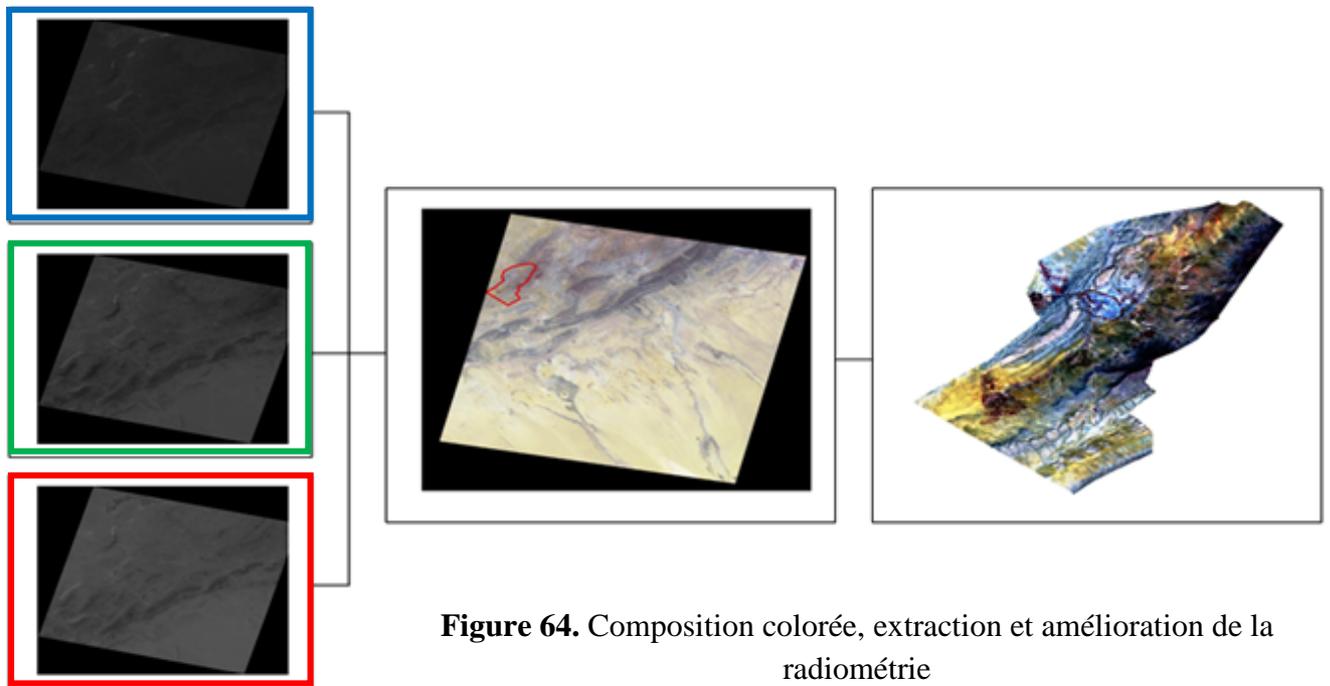
type de donné le traitement approprié, et par la suite de dériver et élaborer les paramètres déclenchant l'inondation (facteurs aggravant).

### 3.2.1. Les images Landast :

De façon générale, on peut résumer les prétraitements des images satellitaires en trois gammes : géométriques, radiométriques, et filtrage de bruit. Ce dernier est rarement appliqué parce que la plus part des capteurs n'ont plus bruit sauf le radar.

Pour notre cas (les images de Landsat 7 et 8), nous avons appliqué un traitement radiométrique d le ont but est d'améliorer le contraste de ces données. Le type de correction radiométrique est le stretch linéaire.

Il faut rappeler avant ça, que chaque image est composée de différentes bandes spectrales. Pour arriver à une image couleur (multi-spectrale) une composition colorée devrait être appliquée. L'image Landsat présente une étendu de 185 km de fauché, alors que notre zone d'étude est limitée géographiquement par le bassin-versant oued El-Biod et par la commune d'El-Bayadh administrativement. La fonctionnalité du SIG a permis de faire une extraction de notre zone d'étude afin de faciliter le traitement et minimiser le temps. Ces étapes de traitement sont résumées dans la figure ci-dessous.

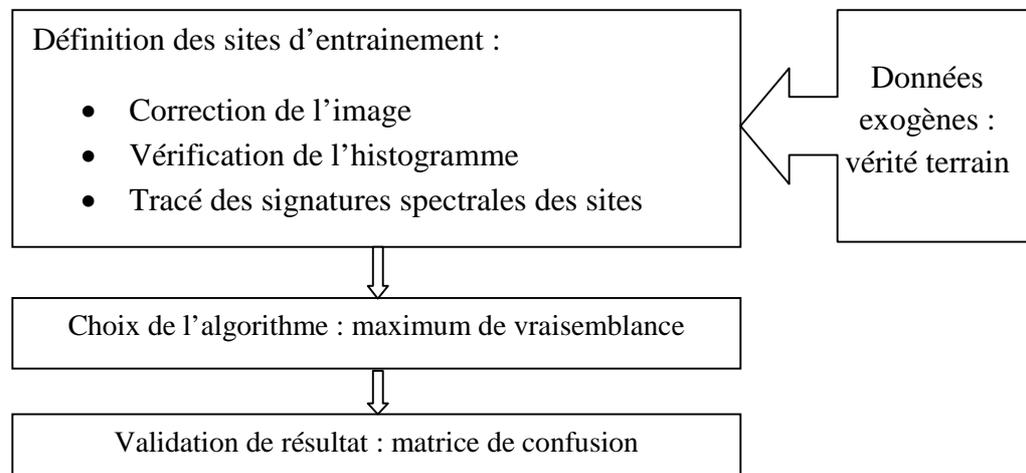


**Figure 64.** Composition colorée, extraction et amélioration de la radiométrie

**3.2.1.1. Réalisation de la carte d'occupation des sols**

L'amélioration du contraste 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.

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 65.** Etapes de classification supervisée

La figure 66 présente les résultats de classification pour les deux images en 2001 et 2014, elle montre un changement dans certaines classes telles que le sol et la végétation.

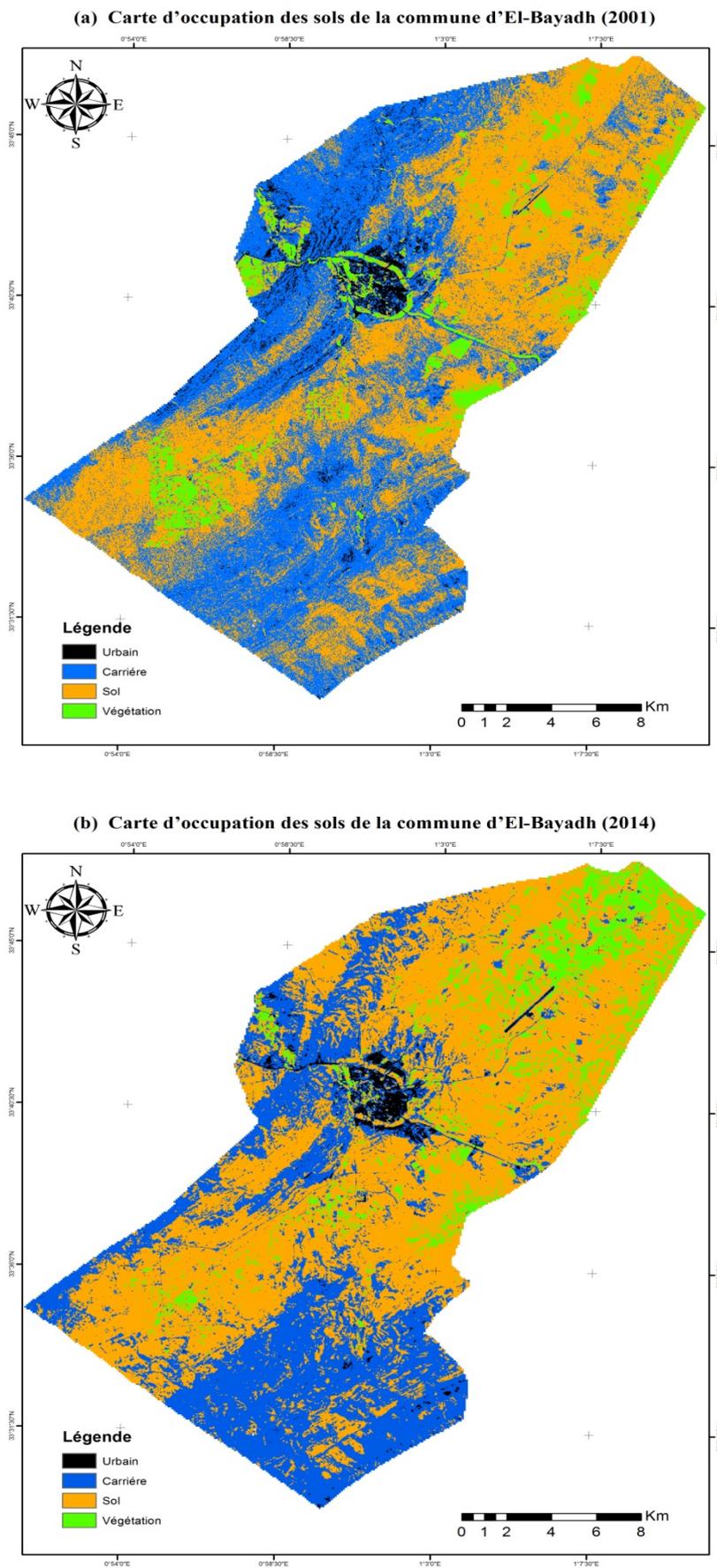


Figure 66. Carte d'occupation du sol de la commune d'El-Bayadh (a : 2001, b : 2014)

### 3.2.1.2. Réalisation de la carte d'indice de végétation

La réalisation de cartes de la végétation à l'aide de données de télédétection spatiale repose sur la possibilité de reconnaître, à partir de leurs caractéristiques radiométriques, des types de végétation selon des critères de classification «traditionnels».

Les principes de l'utilisation de la télédétection spatiale pour l'observation et la cartographie de la végétation peuvent être résumés de façon relativement simple. Les spécialistes de la végétation s'intéressent essentiellement à deux ou trois bandes spectrales dont sont équipés les principaux capteurs satellitaires. La bande visible rouge (VIS), dans les longueurs d'onde de 0,6 à 0,7 µm environ, est intéressante car elle inclut les longueurs d'onde du rayonnement photo synthétiquement actif : elle correspond à la zone de forte absorption par les pigments photosynthétiques des plantes. Dans la bande proche infrarouge (PIR), de 0,7 à 1 µm environ, on observe un minimum d'absorption des radiations par les végétaux, mais un maximum de réflexion due aux propriétés anatomiques des feuilles, notamment aux cuticules et aux discontinuités des mésophylles. De plus, au delà de 1,4 µm, le comportement spectral des végétaux est fonction de leur teneur en eau. Un végétal en bon état sanitaire présente de fortes diminutions de sa réflectance autour de 1,45 µm et de 1,9 µm. À l'opposé, un stress hydrique provoque une atténuation de ces bandes d'absorption.

Les indices de végétation dérivée des données de télédétection constituent une information de base précieuse pour la gestion de l'environnement végétal. Ainsi, l'indice de végétation est un indicateur de l'état de l'environnement végétal urbain et constitue une information potentielle originale et utile aux urbanistes et aux aménageurs responsables de la protection des milieux naturels (Bannari, 1996).

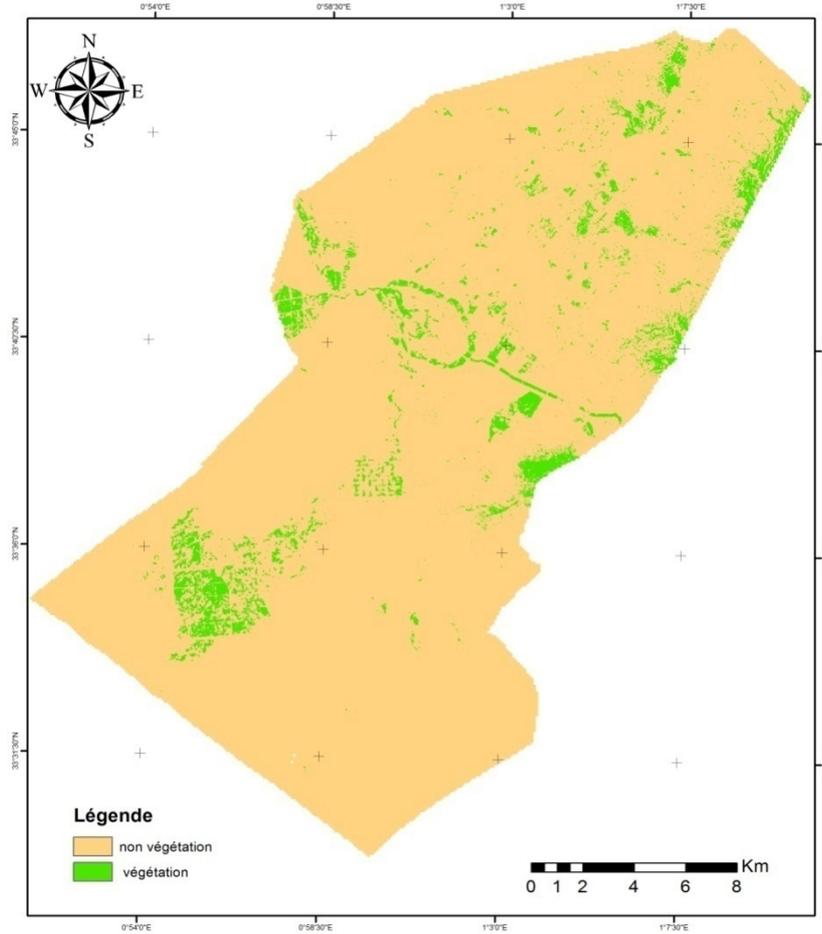
L'indice de végétation normalisé est un indice qui permet de cerner l'objet végétation, en se basant sur le canal rouge et proche infrarouge de l'image TM. Il est utilisé dans cette étude comme couche d'information sur les espaces végétaux et non végétaux dans le processus de réalisation des cartes des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

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

Avec : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

(a) Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh (2001)



(b) Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh (2014)

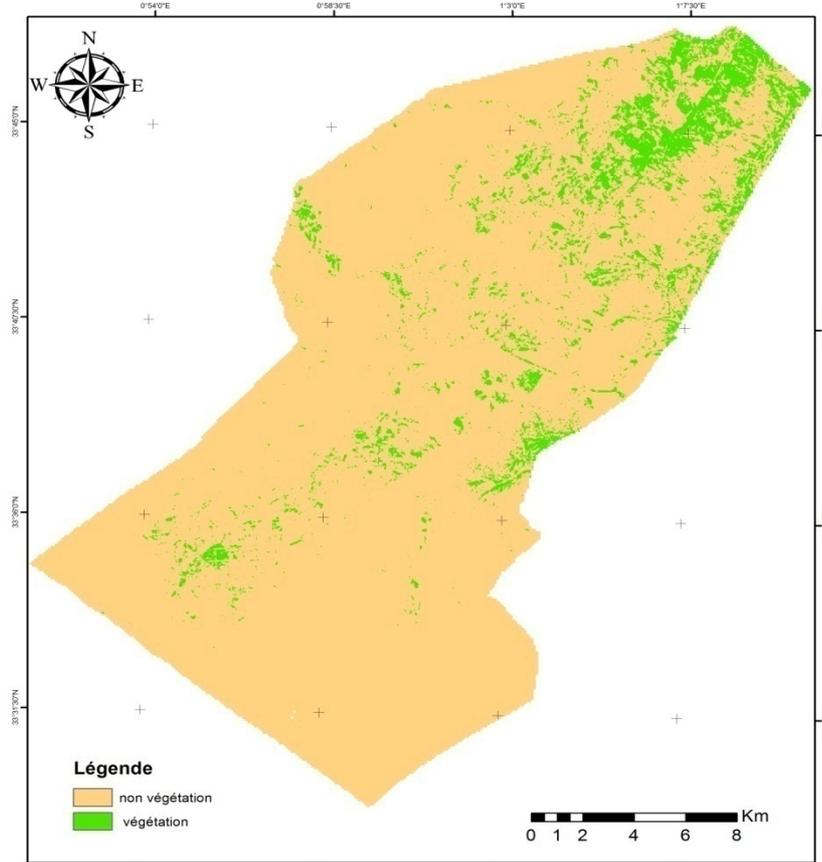


Figure 67. Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh (a : 2001, b : 2014)

### 3.2.2. Modèle numérique de terrain : amélioration et produit dérivé

Le modèle numérique de terrain acquis est celui de 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 digitalisées sur cette carte. De même, ce modèle a été reprojété du système WGS84 vers le système Nord Sahara 1959. Le premier produit a généré est la carte des pentes (GUERROUDJ. A, 2008).

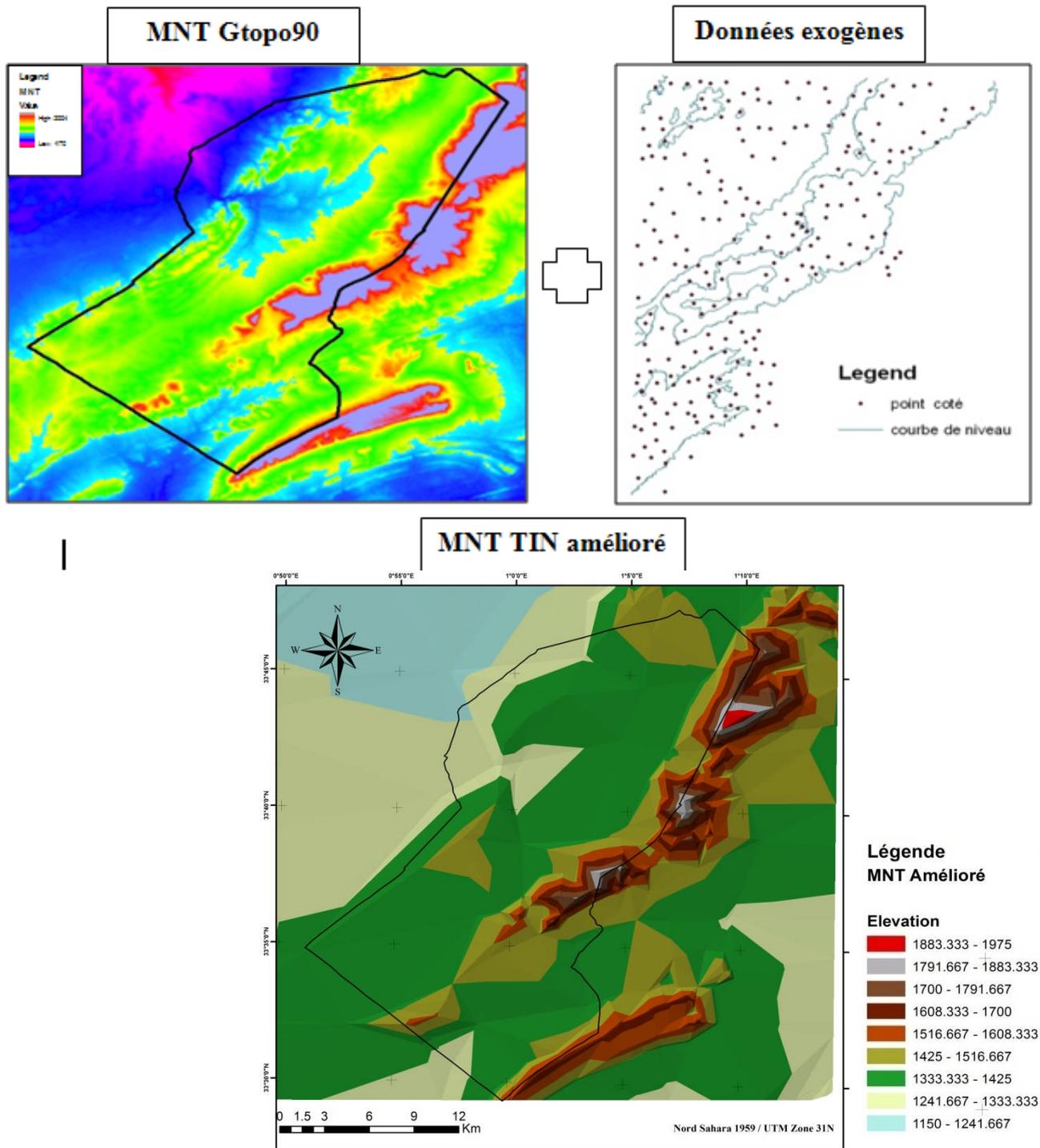
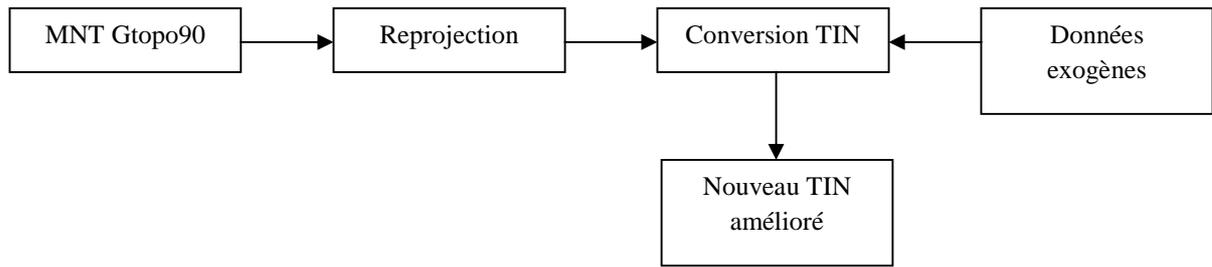


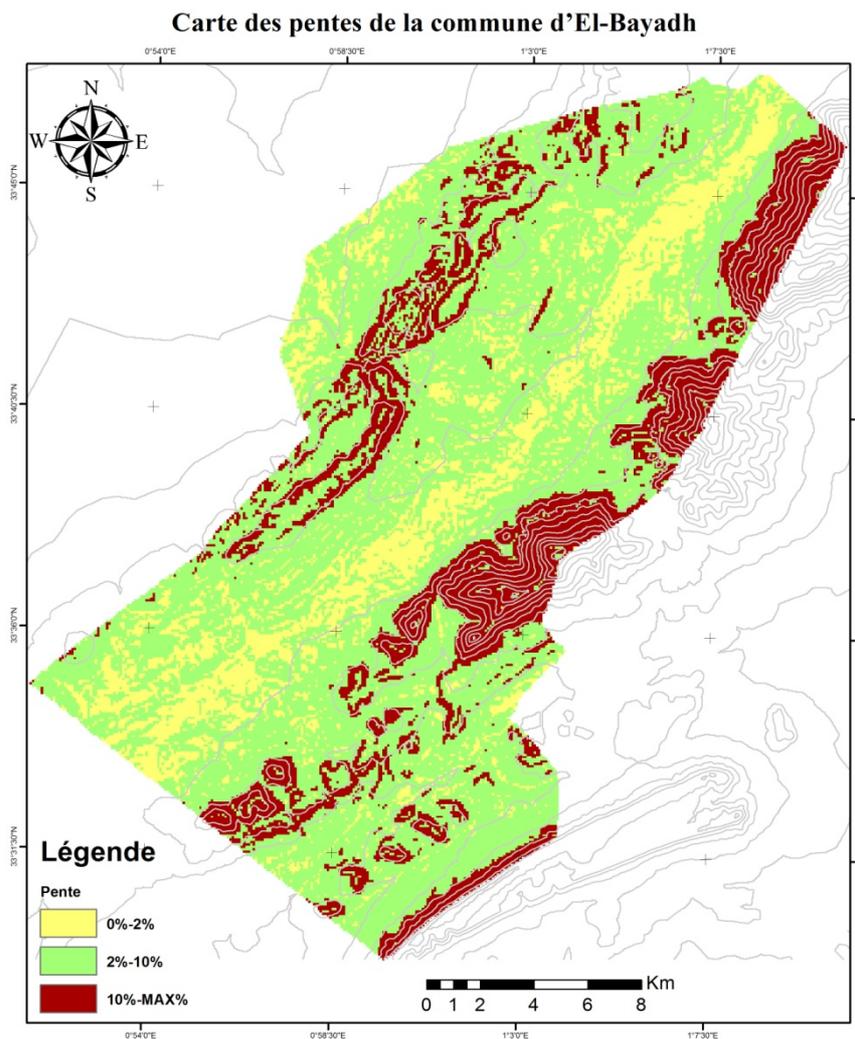
Figure 68. Amélioration de MNT Gtopo90



**Figure 69.**Etapes d’amélioration du MNT (GUERROUDJ. A, 2008).

### 3.2.2.1. La carte des pentes

La carte des pentes est une couche essentielle dans les études des risques majeurs, 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) sur la base du modèle numérique de terrain amélioré.

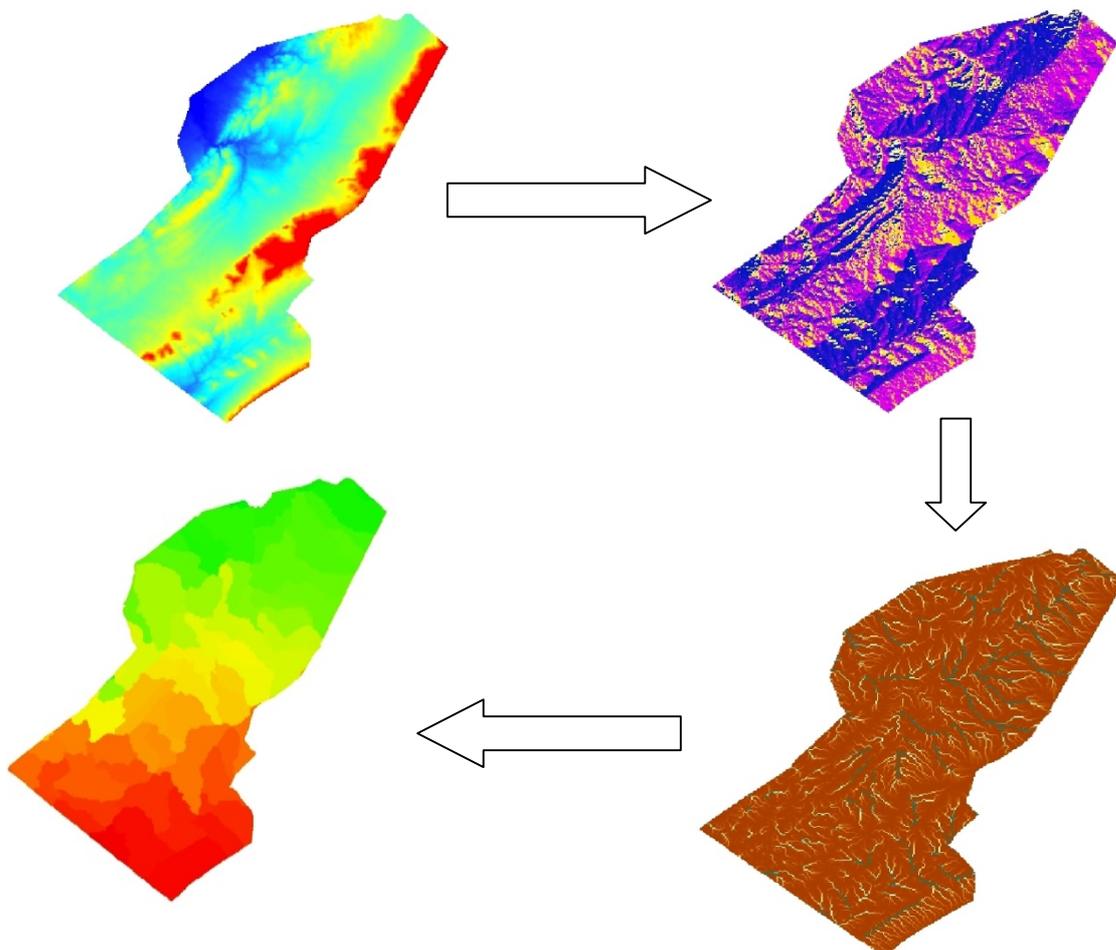


**Figure 70.** Carte des pentes de la commune d’El-Bayadh

### 3.2.2.2. La carte des bassins-versants

Le deuxième produit dérivé c'est la 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 :

1. **Identification des puits** : mise en évidence, comptage des cellules identifiées comme étant des points bas et pouvant perturber le calcul d'écoulement.
2. **Correction du MNT** : cette étape permet de combler les cellules identifiées comme étant des points bas.
3. **Calcul des directions des écoulements** à partir du MNT corrigé.
4. **Accumulation des écoulements** : cette étape permet de calculer la quantité d'eau accumulée dans la cellule du fait des écoulements en amont.
5. **Délimitation des bassins versants** : cette étape permet de générer une grille contenant la délimitation des bassins versants par un nombre de cellules minimum.



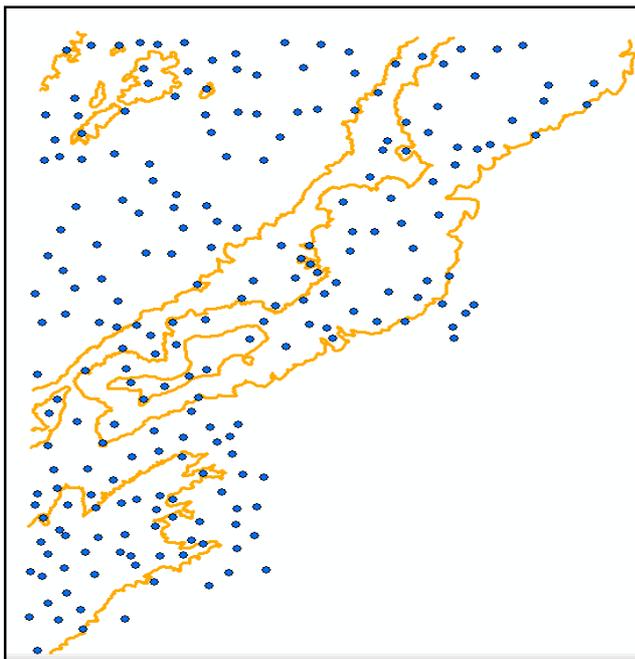
**Figure 71.**Etapes de délimitation des sous bassins-versants

### 3.2.3. Carte géologique / Topographique

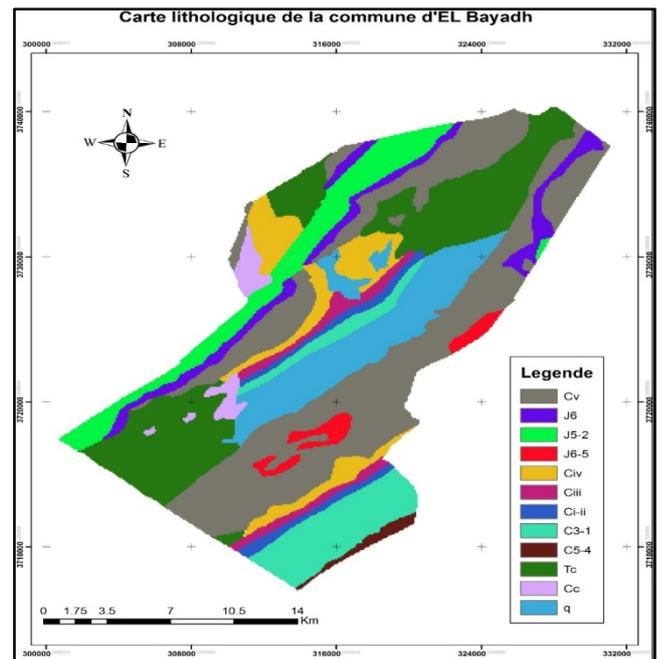
Les cartes en format papier nécessitent une chaîne de prétraitement avant l'utilisation dans les SIG. Elles commencent par la scannérisation (un scanner à tambour type Vertical A0, dont la résolution optimale choisie pour le scannage est de 300 DPI). Cette étape est suivie par un calage, pour définir le système de référence de la carte (Géoréférencement).

À partir de la carte topographique, nous avons vectorisé quelques courbes de niveaux et les points-cotés couvrant la zone, utilisés auparavant dans le processus de l'amélioration du MNT Gtopo90.

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



**Figure 72.** Illustration des points cotés et courbes de niveaux digitalisés



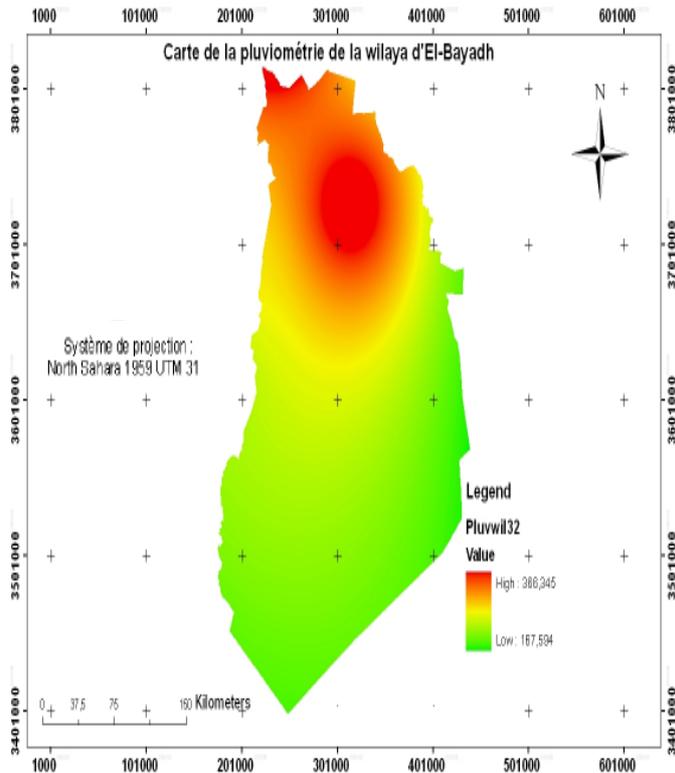
**Figure 73.** Extrait de la carte géologique de la commune d'El-Bayadh

### 3.2.4. Données météorologiques

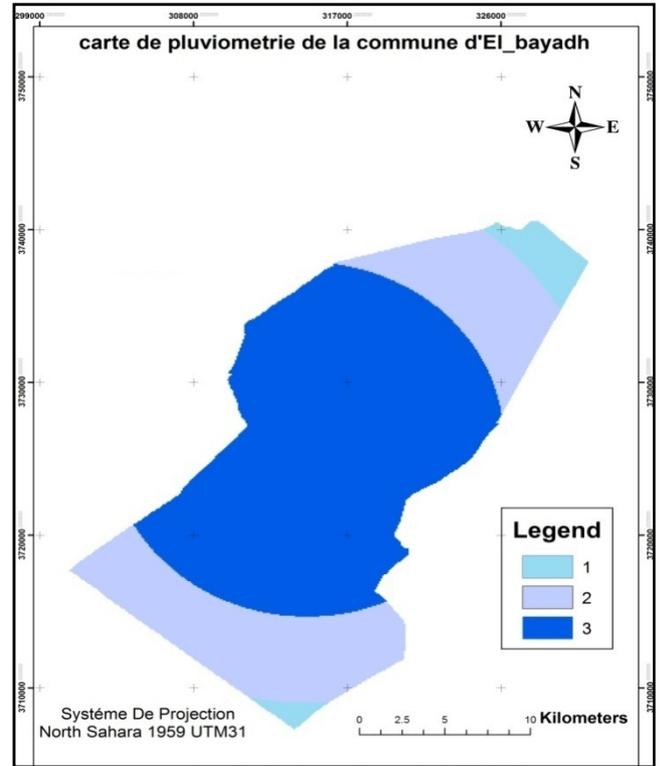
Grace aux informations recueillies auprès de la direction régionale de météorologie d'Oran, nous avons effectué une interpolation des mesures de pluviométrie à partir de six stations : El-Bayadh, El khiter, Ain safra, Mécheria, Saida, et Tiaret.

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 trois classes de pluviométrie pour la commune d'El-Bayadh, les classes correspondent à une précipitation inférieure à 361 mm/an.



**Figure 74.** Génération de la carte de pluviométrie et extraction à l'échelle de la wilaya



**Figure 75.** Carte pluviométrique de la commune d'El-Bayadh

Évidemment qu'il existe d'autres paramètres (données) mais nous avons sélectionné ces cinq paramètres (la précipitation, la pente, la lithologie, le couvert végétal et l'occupation du sol) pour générer la carte d'aléa ; autrement dit notre modélisation du phénomène d'inondation dans le coté aléa est une modélisation topographique ou bien géographique. Il existe d'autres modélisations dans la littérature -hydrogéologique-, mais notre objectif n'est pas de faire une étude comparative entre ces modèles mais d'appliquer l'analyse multicritère sur ces paramètres dans deux dates et essayer de trouver une liaison entre le changement de la carte d'aléa et les facteurs aggravants.

La connaissance des facteurs qui influent sur l'apparition d'inondation et le suivi périodique des variations, augmentent notre connaissance de ce phénomène, il nous permet aussi d'identifier les endroits susceptibles d'être touchés par l'inondation et déterminer leur degré de risque. Donc, la troisième phase décrit les concepts de l'analyse multicritère notamment la

méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), et l'application de cette méthode sur notre approche.

### **3.3.Phase 3 : Fusion des données par approche multicritère**

#### **3.3.1.L'analyse 'spatiale' multicritère**

L'analyse 'spatiale' multicritère (AMC) est une méthode d'analyse spatiale qui permet de combiner plusieurs critères, de différente nature, afin d'obtenir un résultat cartographique indiquant des zones plus ou moins aptes à la solution du problème.

A l'origine, cette méthode a été développée dans le cadre des mathématiques, des sciences économiques et du génie industriel. L'analyse multicritère, également nommée " aide multicritère à la décision ", connaît un développement très important depuis la deuxième moitié des années 1970 et peut être désormais considérée comme un outil scientifique à part entière (Raffaella Balzarini et all, 2011).

#### **3.3.2. L'aide multicritère à la décision**

- **Définition**

L'analyse multicritère est une technique d'analyse qui vise à évaluer une famille cohérente de critères pour éclairer un processus de décision. Le caractère multicritère tient à la prise en compte de plusieurs objectifs, variés et éventuellement contradictoires. Elle permet donc de regrouper des problématiques incluant plusieurs dimensions, caractérisées par des indicateurs mesurables ou qualitatifs. Grâce à un résultat unique et structuré, différents scénarios peuvent donc être évalués sur la même base, permettant une comparaison entre eux (SOFIES, 2009).

- **Principes**

L'analyse multicritère est un processus participatif qui se déroule en incluant différents acteurs concernés par la problématique. L'évaluation des différents critères doit être effectuée par un panel d'experts représentant des intérêts différents, afin d'avoir un jugement le plus objectif possible. Chaque acteur doit donc répondre à la problématique en gardant ses propres intérêts à l'esprit (SOFIES, 2009).

- **Concepts et terminologie**

##### ***Les actions***

Une action est une représentation de l'élément de solution qui contribue à la décision (par exemple, une région, un site, un investissement, une offre..., etc.; constituent des actions);

quand les actions sont exclusives, on pourra utiliser le terme variantes (en anglais alternatives) (T. BOUMEDYEN, 2010)

### ***Les attributs***

Les attributs correspondent à des caractéristiques des alternatives. Les attributs permettent d'évaluer les niveaux des objectifs.

### ***Le critère***

Un critère est constitué de quelques bases de décision qui peuvent être mesurées et évaluées. C'est l'indication sur laquelle une décision est fondée. Les critères peuvent être de deux sortes : facteurs et contraintes.

### ***La pondération***

La pondération représente l'importance relative accordée à chaque critère par rapport à l'ensemble des critères. Elle peut donc s'exprimer sous forme de coefficient (par exemple : 0.7), pourcentage (par exemple : 70 %), nombre de points (par exemple : 70 points sur 100) ou par tout système équivalent, Ainsi, un des avantages de la comparaison par paires revient à la relative facilité d'estimer l'importance d'un poids par rapport à un autre (Conchita Ghislaine et all, 2011).

Les méthodes les plus connues, sont:

- WSM (méthode des sommes pondérées, Weight Sum Method).
- WPM (méthode des produits pondérés, Weight Product Method).
- AHP (analyse hiérarchique des procédés, Analytic Hierarchy Process).
- ELECTRE (ELimination Et Choix TRaduisant la REalité).
- PROMETHEE (méthode d'organisation des classements préférentiels pour les évaluations d'enrichissement, Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations).
- TOPSIS (technique pour la préférence d'ordre par similitude à la solution idéale, Technic for Order Performance by Similarity to Ideal Solution).
  
- **Les différents problématiques multicritères**

La problématique peut être perçue comme étant une orientation de l'investigation qu'on adopte pour un problème de décision donné. Elle exprime les termes dans lesquels le décideur

ou l'homme d'étude pose le problème et traduit le type de la prescription qu'il souhaite obtenir (T. BOUMEDYEN, 2009).

Pour (Roy, 1996) les problèmes réels peuvent être formulés à l'aide des méthodes d'analyse multicritère, selon quatre formulations de base : problématique de choix, notée  $P_\alpha$ , la problématique de tri ou d'affectation notée  $P_\beta$ , et la problématique de rangement noté  $P_\gamma$  (Amir NAF et Caty WEREYI, 2007)

**Tableau 26. Identification des types de problématique** (Amir NAF et Caty WEREYI, 2007)

Problématique	Objectif	Résultat
$P_\alpha$	Eclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action.	Un <b>choix</b> ou une procédure de sélection.
$P_\beta$	Eclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction des normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un <b>tri</b> ou une procédure d'affectation
$P_\gamma$	Eclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou une partie (les «plus satisfaisantes») des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un <b>rangement</b> ou procédure de classement
$P_\delta$	Eclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Une <b>description</b> ou une procédure cognitive

- **Etapes de l'analyse multicritère**

L'analyse multicritère se déroule selon les étapes suivantes:

1. Etablir le contexte de la problématique
2. Identification des options à étudier
3. Identification des objectifs et des critères pour l'évaluation
4. Création d'un comité d'expert
5. Pondération des critères
6. Attribution de notes pour les différents critères
7. Combinaison des poids et notes pour un résultat synthétique
8. Examen des résultats

9. Si nécessaire, réadaptation des poids
10. Analyse de sensibilité (SOFIES, 2009).

### 3.3.3. Présentation des quelques méthodes d'analyse multicritère

#### 3.3.3.1. La méthode ELECTRE I

Cette méthode proposée par (Roy, 1968) permet de résoudre les problèmes multicritères de *choix*. Ils ont ainsi initialisés toute une série de méthodes, dites de surclassement basées sur des comparaisons d'actions deux à deux, de plus cette information est facilement accessible au décideur, elle fournit donc des résultats solides. Cette méthode permet d'identifier le sous-ensemble d'actions offrant le meilleur compromis possible. Souvent utilisée dans le choix de projets concurrents, afin d'identifier le sous-ensemble de projets le plus performant sur la base des critères considérés. Dans le cas de la méthode Electre I, on définit de vrai-critères, on retrouve également une notion de concours dans cette méthode ; retenir les meilleurs. On considère un ensemble  $A$  de  $m$  actions, qui représentent l'objet de la décision, dont le but est d'identifier un sous-ensemble d'actions offrant un meilleur compromis parmi l'ensemble de départ (Amir NAF et Caty WEREYI, 2007).

##### *Démarche à suivre*

On définit pour chaque critère une fonction d'évaluation  $g_j$  (où  $j=1$  à  $n$ ,  $n$  est le nombre de critères), pour chaque critère, on évalue un poids  $k_j$  qui augmente avec l'importance du critère. L'indice de concordance pour deux actions  $a$  et  $b$  est noté par  $C(a, b)$ , compris entre 0 et 1, il mesure la pertinence de l'assertion «  $a$  surclasse  $b$  », comme suit :

- **Etape 1** : A chaque couple d'actions  $(a, b)$  ; on associe l'indice de concordance suivant:

$$C(a, b) = \frac{\sum_{\forall j: g_j(a) \geq g_j(b)} k_j}{K} \quad \text{Avec } K = \sum_{j=1}^n k_j$$

- **Etape 2** : A chaque couple d'actions  $(a, b)$  ; on associe l'indice de discordance suivant :

$$D(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{si } \forall j, g_j(a) \geq g_j(b) \\ \frac{1}{E} * \text{MAX}_j [g_j(b) - g_j(a)] & \end{cases}$$

$E$  est l'étendue de la plus grande échelle associée à l'un des critères.

- **Etape 3** : Construire les relations de sur-classement :

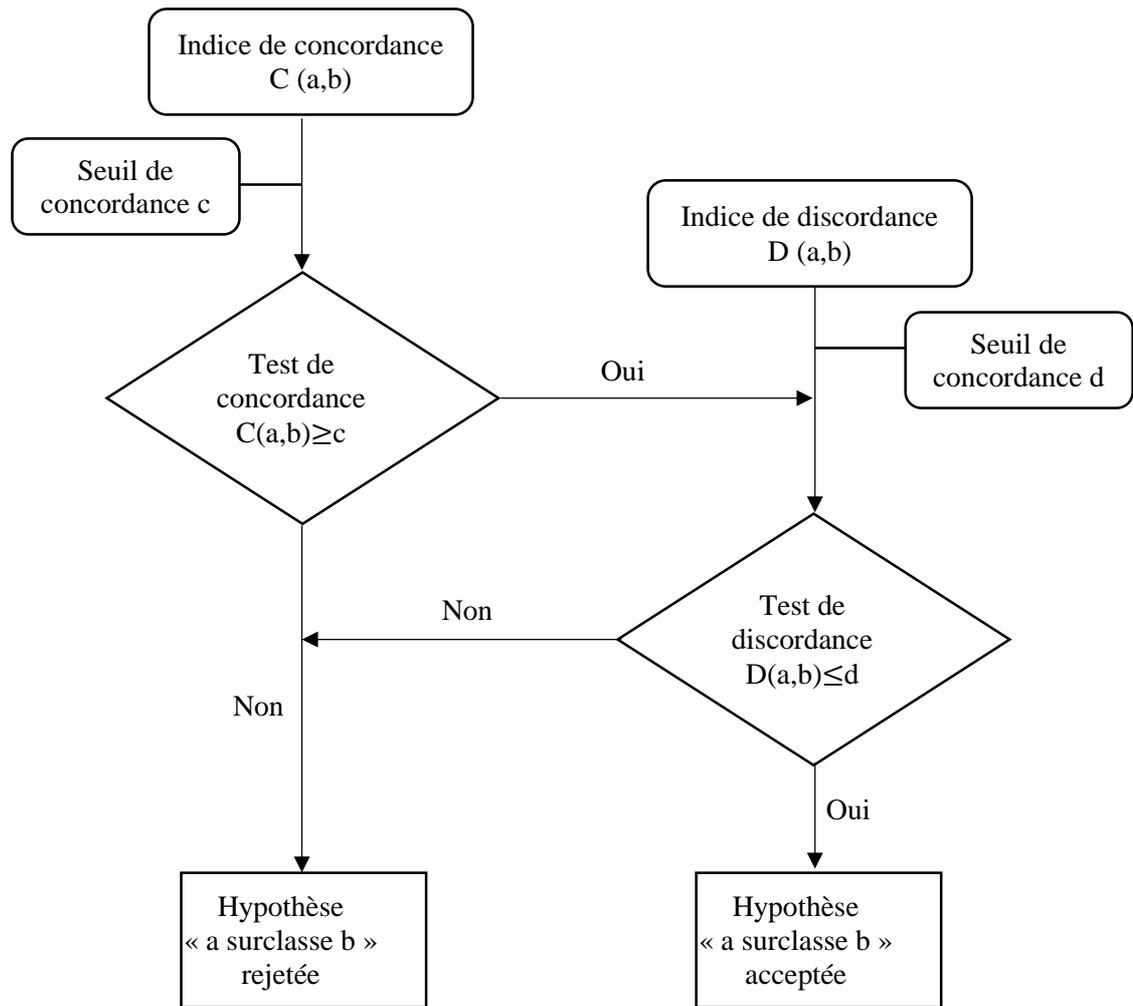


Figure 76. Organigramme établissant les sur-classements (A. HAMMAMI, 2003)

On conclut au sur-classement de  $a_k$  par  $a_i$  si un test de concordance et un test de non discordance sont satisfaits :

$$Si \quad (C(a, b) \geq c) \quad et \quad D(a, b) \leq d \quad \Leftrightarrow \quad aSb$$

Si l'un ou l'autre des tests ou les deux ne sont pas satisfaits, on se trouve dans une situation d'incomparable.

$$Si \quad (C(a, b) \leq c) \quad ou \quad D(a, b) \geq d \quad \Leftrightarrow \quad aRb$$

$c$  : est le seuil de concordance : il est relativement grand /  $c \in (1/2, 1)$

$d$  : est le seuil de discordance : il relativement petit.

- **Étape 4** : Exploiter les relations de sur-classement :

Cette étape consiste à déterminer le sous-ensemble d'actions  $N$  appelé noyau tel que toute action qui n'est pas dans  $N$  est surclassée par au moins une action de  $N$  et les actions de  $N$  sont incomparables entre elles (A. HAMMAMI, 2003).

### **3.3.3.2. La méthode d'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP)**

Méthode AHP développée en 1971 par « Thomas L. Saaty ». La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, à procéder ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions (S. BELLAJ, 2009).

Elle se distingue par sa façon de déterminer les poids des critères ; elle procède par combinaisons binaires de chaque niveau de la hiérarchie par rapport aux éléments du niveau supérieur. Cette méthode a été utilisée dans des domaines aussi variés : la planification du transport, gestion de l'urbanisme, fixation des prix, l'achat d'un véhicule, le choix de systèmes de production dans des industries et plusieurs autres (Salem CHAKHAR, 2006)

#### *Avantage de la méthode AHP*

- ✓ Sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- ✓ La comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- ✓ Et la facilité de son support informatique (G. GUESDON, 2011)

#### *Fondements de la méthode*

**Étape01** : Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions.

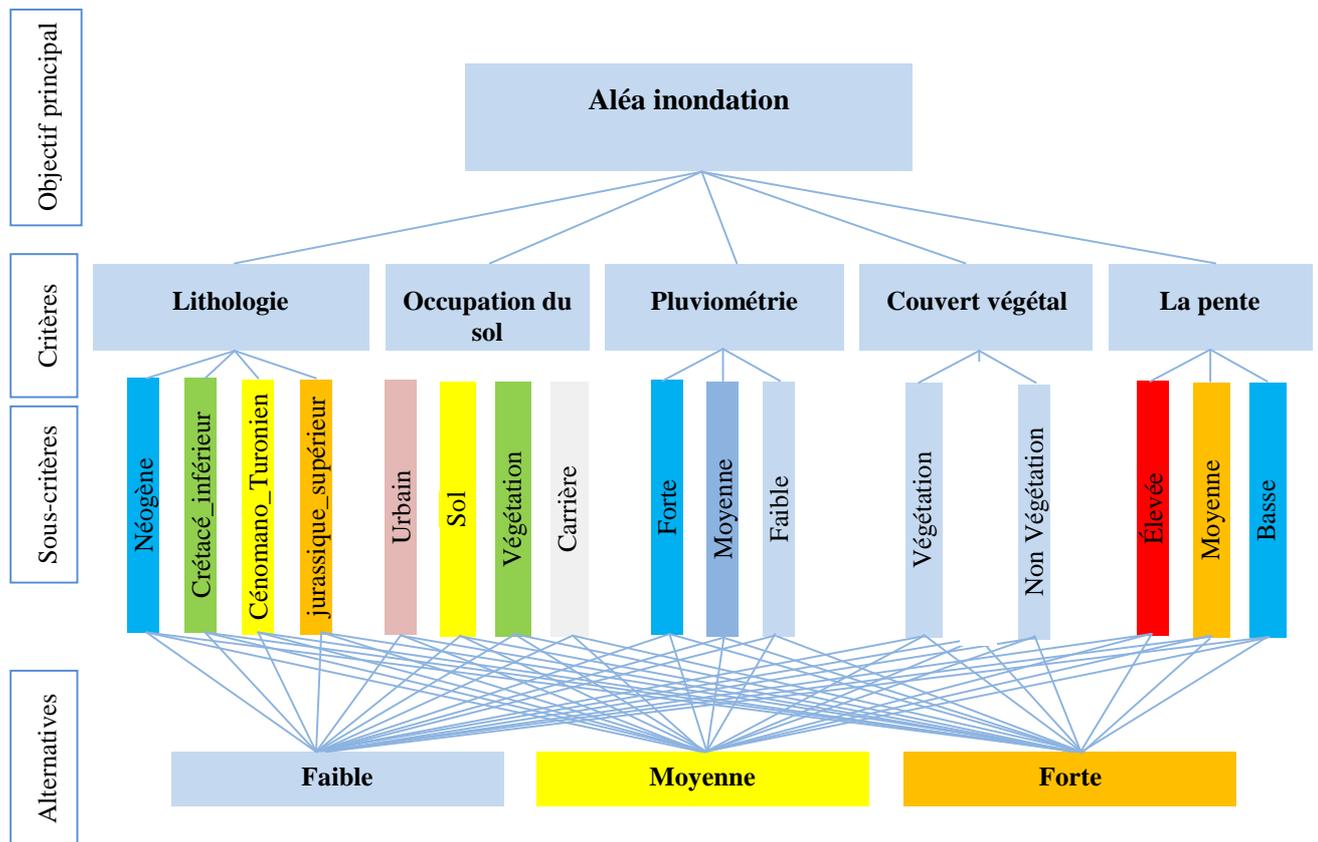


Figure 77. Structure hiérarchique de l'aléa inondation, selon la méthode AHP

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

$$P_c(E_A, E_B) = \frac{1}{P_c(E_B, E_A)}$$

Tableau 27. Échelle de Saaty

Jugement verbal	Evaluation numérique
Extrêmement plus important	9
	8
Très fortement plus important	7
	6
Fortement plus important	5
	4
Modérément plus important	3
	2
Importance égale	1

Source: Saaty, 1991

La réciprocité, veut dire que si l'élément A se voit attribué par l'un des chiffres du tableau 27, lorsqu'il est comparé à l'élément B, B aura donc la valeur inverse lorsqu'on le compare à A. A chaque nœud éclaté en n éléments, il faut réaliser  $\frac{n(n-1)}{2}$  comparaisons par paire.

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

Les critères sont comparés sur une échelle allant de 1 à 9, comme le recommandent Saaty & Vargas (1991) ; où 1 implique qu'il n'y a pas de préférence entre les deux critères et 9 signifie qu'un facteur est extrêmement favorisé par rapport à un autre. Cela produit une matrice carrée dans laquelle les lignes et les colonnes sont les critères.

**Étape 4 :** Vérifier la cohérence des jugements. On calcule, tout d'abord, l'indice de cohérence IC, donnée par l'équation

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

Où :  $\lambda_{max}$  est la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires et n est le nombre d'éléments comparés. On calcule le ratio de cohérence (RC) définit par :

$$RC = 100 \cdot \frac{IC}{ACI}$$

Où : ACI est l'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille. Les valeurs de l'ACI, sont exposées dans le tableau suivant :

**Tableau 28. Indice de cohérence moyen**

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

Source: Saaty & Vargas, 1991.

Une valeur de RC inférieure à 10% (Saaty & Vargas, 1991) est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

**Étape 5 :** Établir la performance relative de chacune des actions.

$$Pk(e_i^k) = \sum_{j=1}^{nk-1} P_{k-1}(e_i^{k-1}). Pk(e_i^k/e_i^{k-1})$$

Où :  $n_{k-1}$  est le nombre d'éléments du niveau hiérarchique k-1, et  $P_k (e_i^k)$  est la priorité accordée à l'élément  $e_i$  au niveau hiérarchique k (Saaty & Vargas, 1991). Dans notre étude nous avons sélectionné la méthode AHP 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 permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie.

### **3.4. Phase VI : Cartographie du risque d'inondation**

#### **3.4. 1.Méthodologie d'analyse**

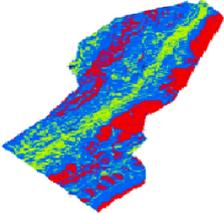
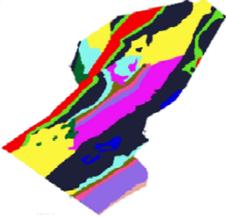
De nombreuses recherches et articles ont été réalisés sur les risques d'inondation, Pour estimer l'aléa d'inondation, on utilise les facteurs suivants : la lithologie, le sol, la pente, la pluie, l'occupation des sols. Différentes pondérations ont été attribuées à chacun de ces facteurs.

Le tableau 3.15 résume les paramètres liés à la combinaison des critères définissant le risque d'inondation au niveau de la commune d'El-Bayadh, suivi de l'extraction du bassin versant Oued El Biod après l'obtention du résultat de cette combinaison.

Donc 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 78.

Concernant la carte des pentes, la carte lithologique et la carte pluviométrique restent inchangés pour les deux dates, par contre, pour la carte d'occupation des sols et la carte d'indice de végétation, nous avons deux correspondants aux deux dates, Donc on va élaborer deux cartes d'aléa d'inondation pour 2001 et 2014.

**Tableau 29. Paramètres déclenchant de risque inondation**

Type de données	Aperçu	Méthode d'intégration spatiale
Carte des pentes		<p><b>Par bassins-versants</b></p> 
Carte lithologique		
Carte de pluviométrie		
Carte d'occupation des sols (2001 ; 2014)		
Carte NDVI (2001 ; 2014)		

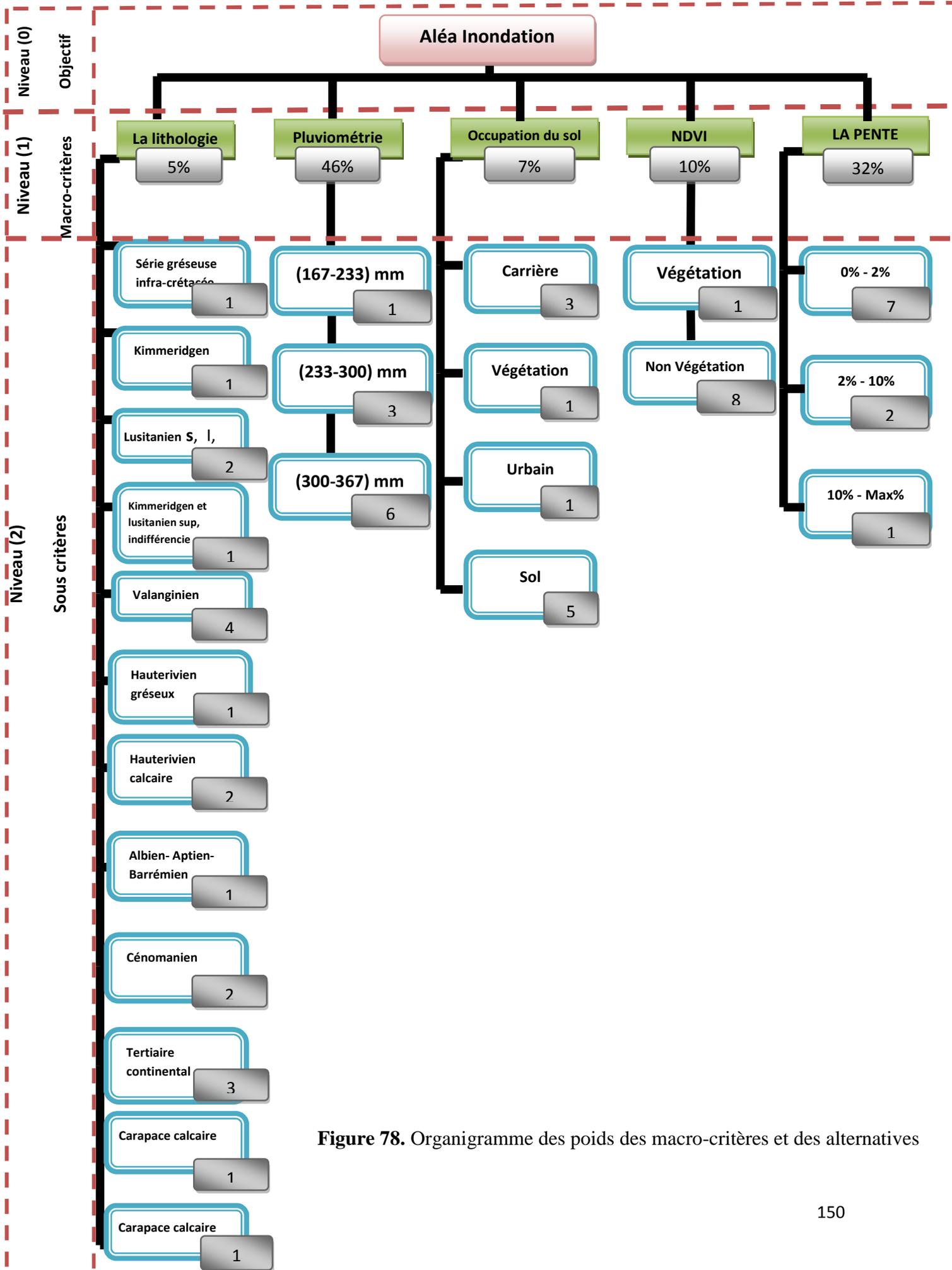
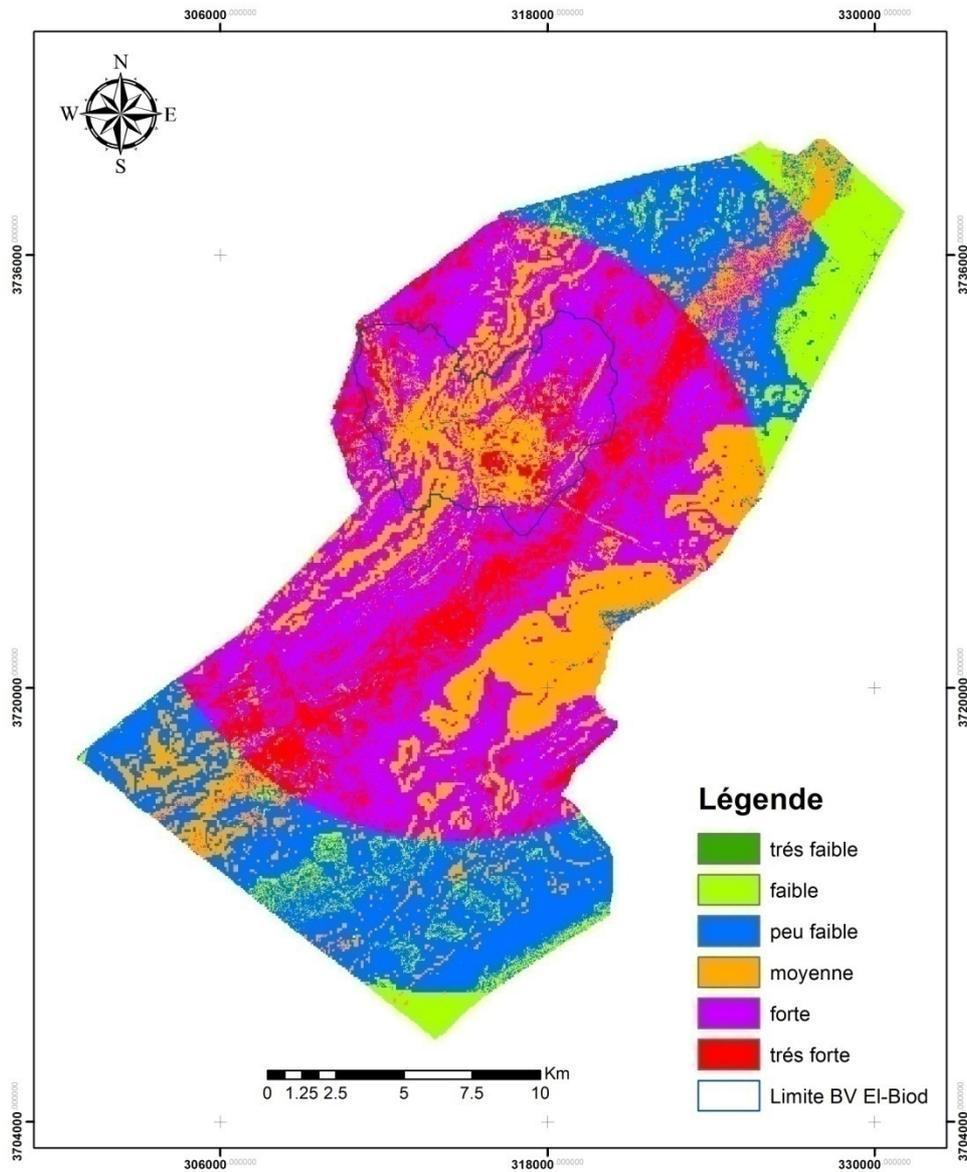


Figure 78. Organigramme des poids des macro-critères et des alternatives

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



**Figure 79.** Carte du risque d'aléa inondation de la commune d'El-Bayadh (2001)

La carte du risque inondation obtenue par fusion, est d'une représentation par classes qui expriment le degré du risque, mais également une représentation de pixels hétérogènes fusionnés ce qui rend l'interprétation difficile pour les non experts. Pour résoudre ce problème, nous avons choisi des unités spatiales d'intégration géographique qui sont les limites des bassins versants.

### 3.4.2. Présentation des résultats

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

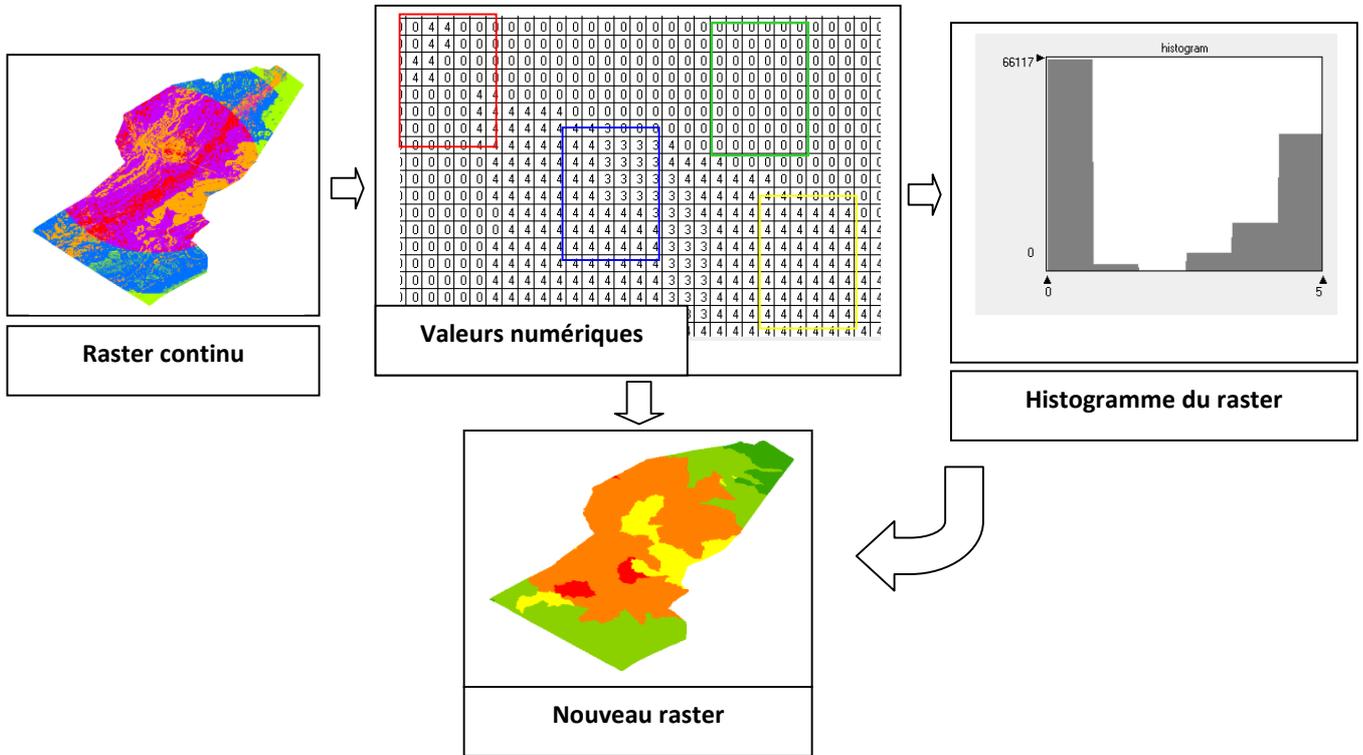
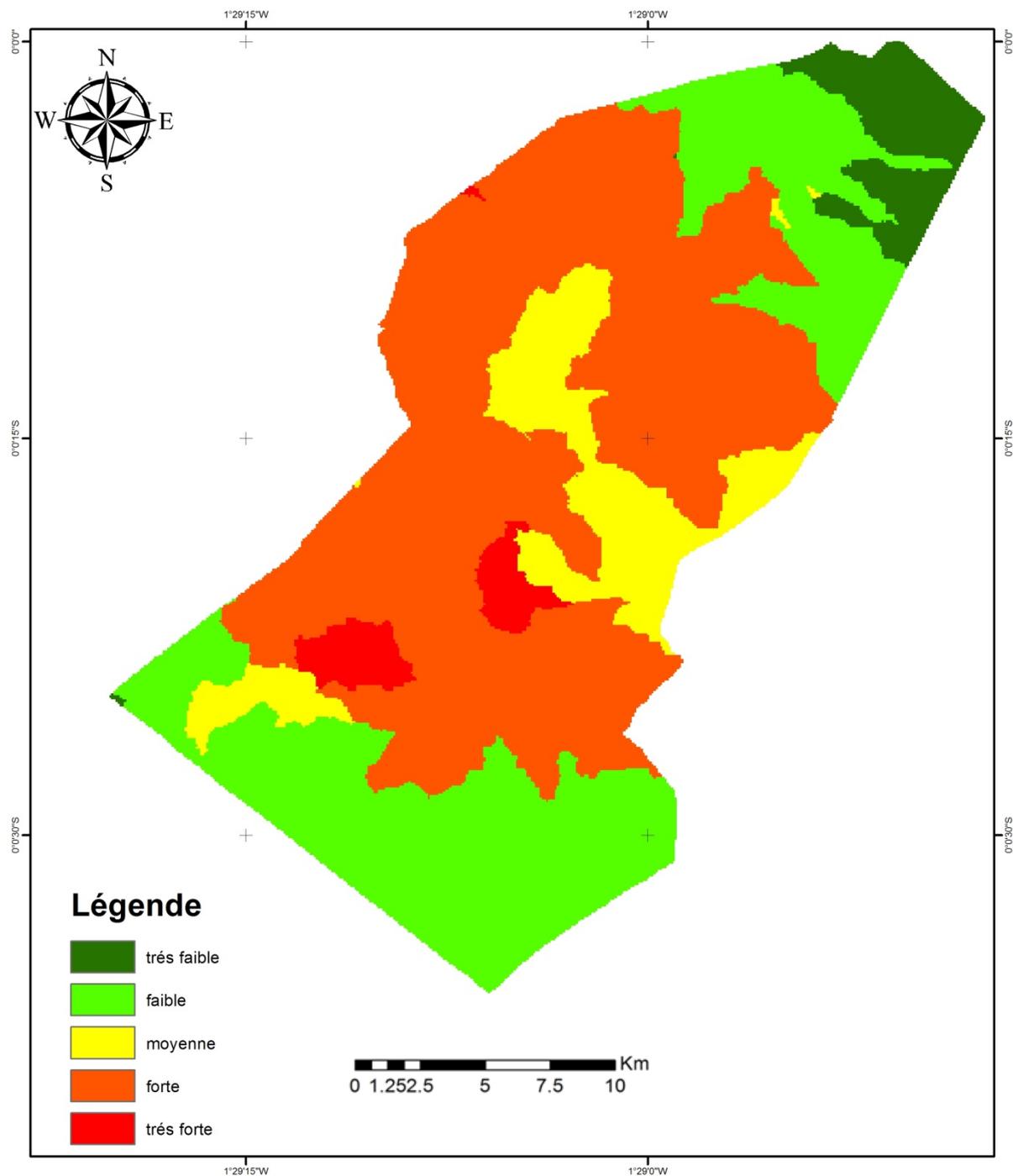


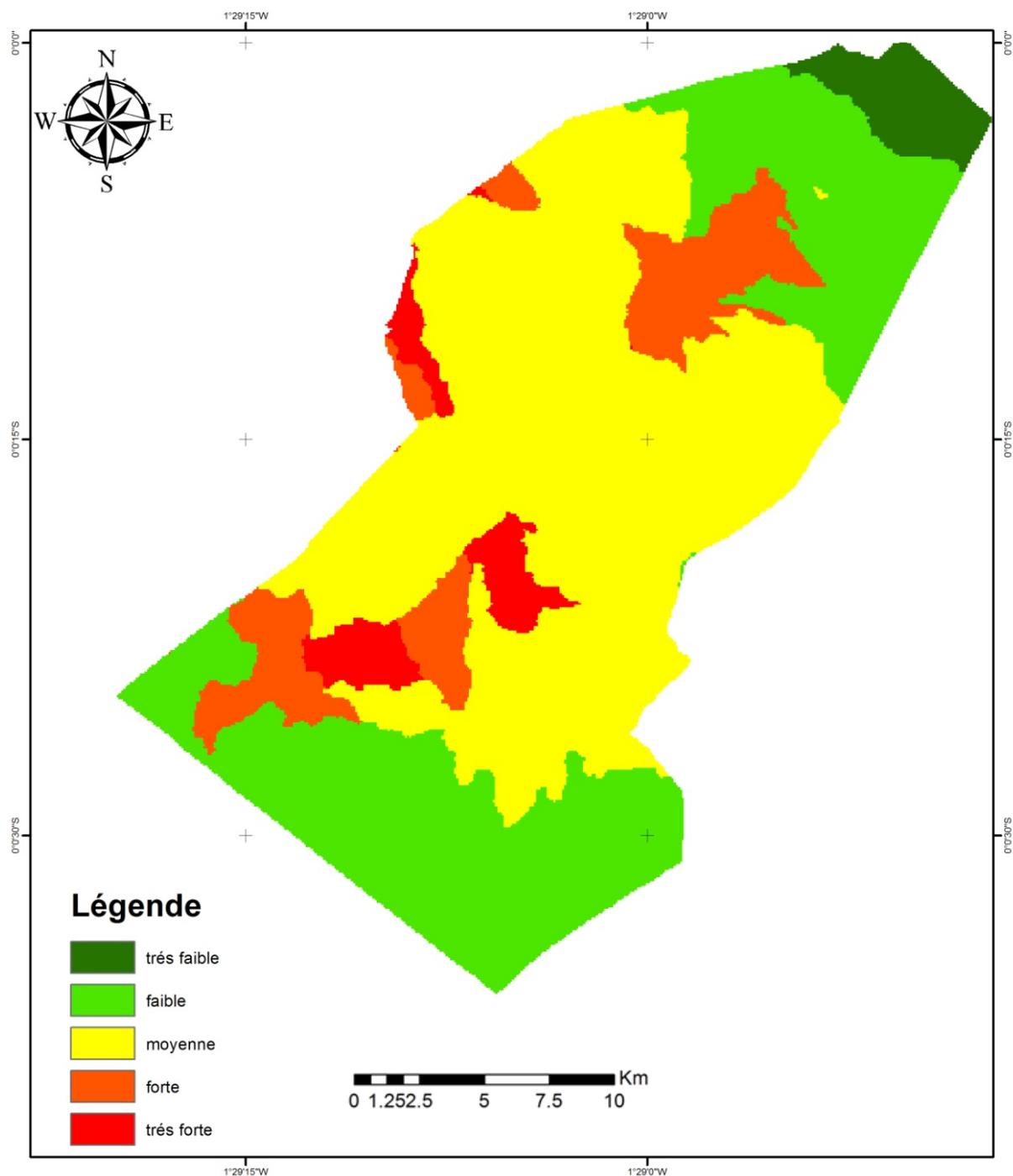
Figure 80. Principe d'intégration des valeurs par bassins versants



**Figure 81.** Carte d'aléa d'inondation par bassins versants de la commune d'El-Bayadh (2001)

Les figures 81 et 82 représentent les résultats de la combinaison spatiale multicritère pour les deux dates avec intégration de l'information sur le risque par bassin-versant.

La lecture des cartes des deux dates fait apparaître 5 classes de terrains qui se diffèrent en termes de risque, autrement dit, elle représente une carte de prise de décision à l'échelle communale d'où les terrains sont bien classés et identifiés.



**Figure 82.** Carte d'aléa d'inondation par bassins versants de la commune d'El-Bayadh (2014)

### **Conclusion du troisième chapitre**

L'objectif principal de ce chapitre était dans un premier temps d'analyser le risque géographiquement, c'est-à-dire identifier les paramètres déclenchant le risque d'inondation dans la commune d'El-Bayadh et plus précisément dans le bassin-versant oued El-Biod qui est une zone touchée par l'inondation d'octobre 2011.

L'utilisation de l'analyse multicritère et du SIG permet de combiner ces paramètres pour réaliser les cartes d'aléa inondation, sans prise en compte de la période de retour. La réalisation d'une telle carte malgré sa difficulté, ne pose pas ici un vrai problème, il s'agit alors de bien sélectionner les données et appliquer les prétraitements nécessaires, par la suite l'intégration des poids des classes et sous classes, et enfin le choix de l'unité spatiale permet de faciliter l'interprétation de la carte finale. Les paramètres aggravant le risque d'inondation peuvent changer dans le temps, l'objectif du prochain chapitre est d'étudier ce changement et leur influence sur la carte du risque, autrement dit, faire une étude bi-temporelle.

*Chapitre 4: Étude diachronique  
spatiale des facteurs d'inondation*

**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 une introduction à l'analyse multi-temporelle, après une présentation d'un état des lieux sur les méthodes de détection des changements, à même de les appliquer sur nos données.

**4.1. L'analyse multi-temporelle**

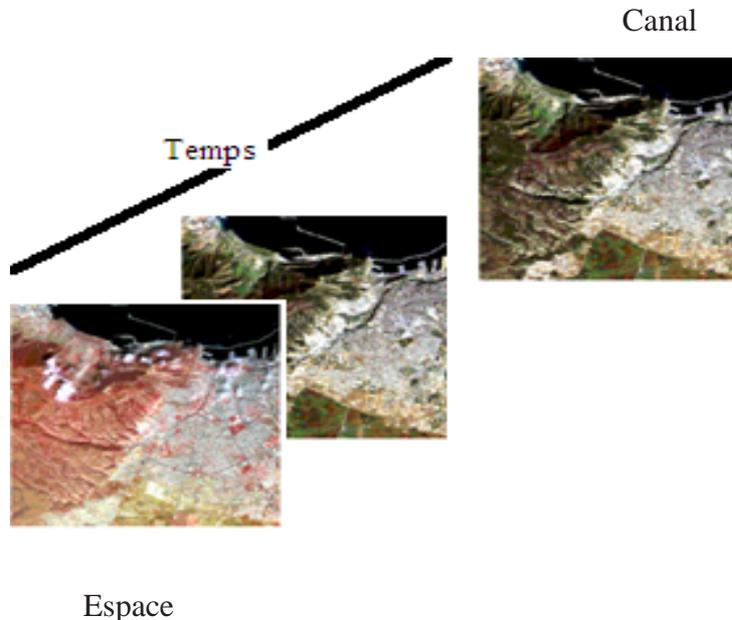
Destinée à comparer des images prises à des dates différentes. Elle nécessite que les images aient la même géométrie d'où le besoin de les corriger géométriquement de manière à ce qu'elles soient superposables. Lorsqu'une zone d'étude se situe à cheval sur plusieurs images, il est nécessaire d'assembler des images, d'où l'importance la aussi de l'ajustement géométrique des données.

Les séries temporelles d'images de télédétection sont des données très riches pour l'étude de l'occupation des sols, soit pour la discrimination d'un état d'occupation des sols, soit pour l'étude de leur évolution.

La principale utilisation actuelle de ces images consiste à sélectionner deux images de ces séries et à étudier leurs différences, afin d'étudier les changements dans la scène. Cependant, le changement dans une scène peuvent être disséminés sur une longue période (ex : l'urbanisation d'une zone peut prendre plusieurs années). (FRANCOIS PETIT JEAN et all, 2003).

L'utilité d'analyse des séries temporelles d'images satellitaires est de résumer l'information organisée selon trois critères (T. NAIZOT et all, 2002):

- L'espace : pixel
- Temps : date d'acquisition
- Les variables : canaux radiométriques



**Figure 83.** Les critères d'analyse des séries temporelles.

#### 4.1.1. Les données multi-temporelles

L'information multi-temporelle est tirée d'une série d'images prises pendant une période de temps. Multi-temporel peut signifier que les images ont été acquises à quelques jours, semaines, mois ou années. La périodicité entre les images est choisie de façon à surveiller un événement évoluant dans le temps. Les séries d'images temporelles (des images prise au-dessus de la même région et dans différentes périodes) constituent une source d'information importante pour les différentes applications comme la surveillance du changement de la couverture du sol ou la croissance urbaine. Cependant, l'information extraite à partir des images multi-temporelles est souvent limitée par plusieurs facteurs :

- L'irrégularité des acquisitions dues aux conditions atmosphériques (ex : présence des nuages ou des brumes).
- Les problèmes de calibration des capteurs.
- La différence dans les conditions géométriques d'acquisition et d'illumination.

- Ce genre d'application exige aussi une uniformité dans la condition d'illumination (angle solaire), c.à.d. la normalisation radiométrique de la série temporelle pour rendre les images comparables en réflectance.

Pour les régions montagneuses, l'analyse multi-temporelle se heurte aux problèmes posés par la non-coïncidence des ombres et des lumières à des dates différentes ; ces problèmes sont surtout sensibles sur les lignes de crête (élévation du soleil), dans les fonds de vallée (différentes ombres portées). (Catherine M, Jean-Francois P, 1984)

#### **4.1.2. Les variabilités spatio-temporelles**

Une zone géographique peut correspondre à un, ou une partie, ou plusieurs objets. Pour la construction d'une ontologie, nous devons rendre en compte de la variabilité des concepts qui sont fonctions de la résolution, du lieu (localisation), et de la date d'observation.

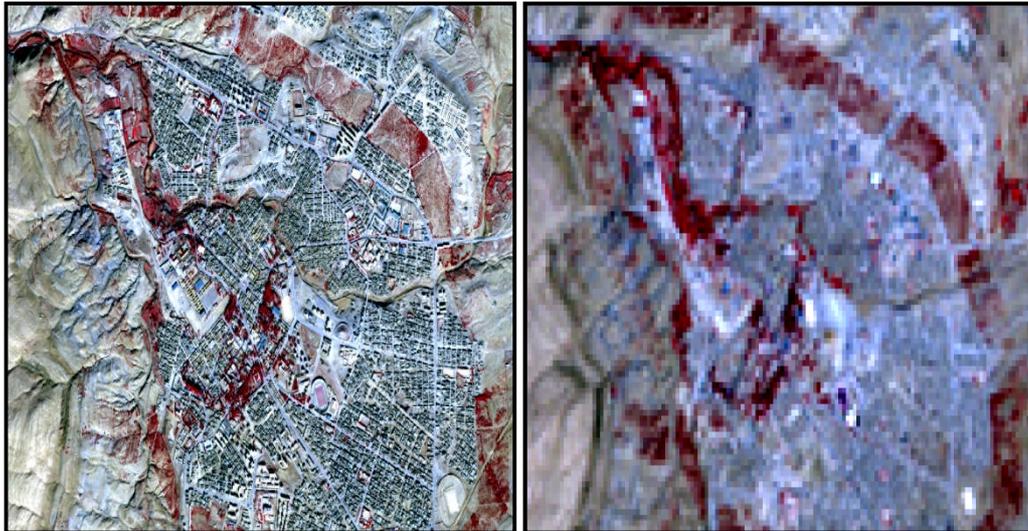
- **Variabilité selon la résolution**

La réponse spectrale d'un objet varie avec la résolution. Exemple d'un objet observé à la résolution 30m dont l'apparence est approximativement différent à la résolution 2.5m.

La figure 84 illustre la différence de résolution entre deux extraits : l'un de l'image Landsat 7 (à droite) et l'autre de l'image spot 5 (à gauche) de notre zone d'étude la ville d'El-Bayadh.

- **Variabilité spatiale**

Les objets varient aussi considérablement avec la localisation à cause de plusieurs facteurs comme par exemple l'activité humaine ; le relief et le climat ...etc.



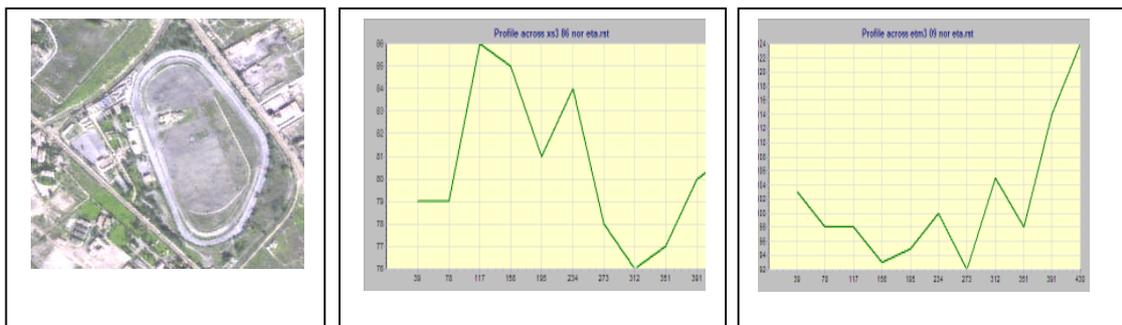
Canaux Spot5

Canaux TM Landast 7

**Figure 84.** Extraits de compositions TM et Spot5.

#### • Variabilité temporelle

Les espaces géographiques varient beaucoup dans le temps, comme le cas des cultures agricoles au cours de l'année, qui passent suivant la saison du sol nu à un espace végétal. Pour l'objet «1», son profil temporel sur les deux images acquises à deux dates différentes.



Objet 1

**Figure 85.** Profils temporels sur l'image

#### 4.1.3. Traitement des séries temporelles

L'utilisation quantitative des séries temporelles d'images satellites nécessite des phases de traitement géométrique et radiométrique pour rendre les images superposables et comparables en vue de détecter les changements comme : les séries d'images acquises à haute résolution spatiale et temporelle constituent une source d'information importante

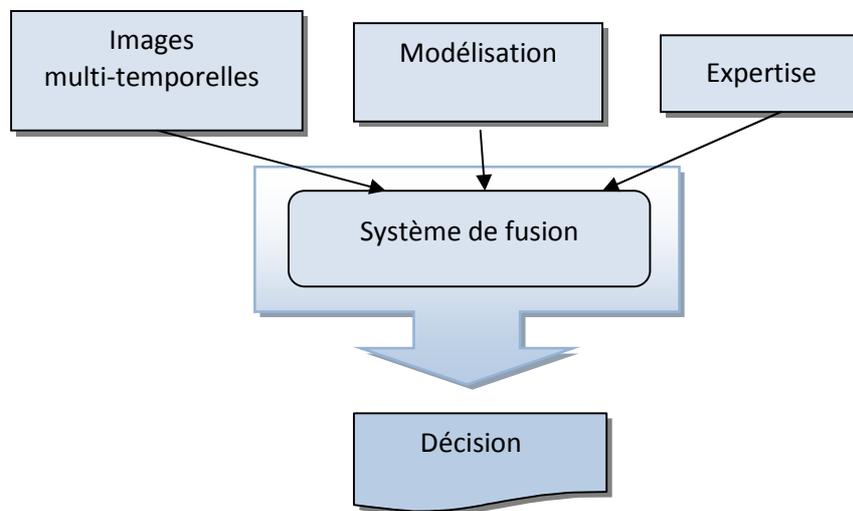
pour les applications agricoles. Ces données sont en particulier très utiles pour optimiser la détection des changements.

Cependant, l'information extraite à partir des images multi-temporelles est souvent limitée par plusieurs facteurs :

- L'irrégularité des acquisitions dues aux conditions atmosphériques (ex : présence des nuages ou des brumes) ou au manque de programmation,
- Les problèmes de calibration des capteurs,
- La différence dans les conditions géométriques d'acquisition et d'illumination,
- La confusion entre les réflectance des surfaces différentes.

Il s'agit de deux phases principales : la première consiste à normaliser radiométriquement la série temporelle pour rendre les images comparables en réflectance, et la deuxième repose sur l'extraction des informations multi-sources.

Une fois la normalisation radiométrique réalisée, on détermine à partir des images les signatures temporelles. On construit ensuite, en se basant sur ces signatures, des indicateurs bi-dates et multi-dates. Les indicateurs de changement multi-dates sont calculés en utilisant plusieurs techniques.



**Figure 86.** Phases du traitement en contexte multi-temporel

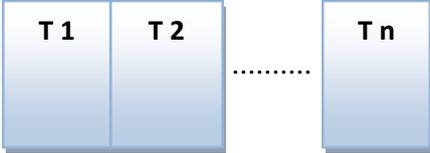
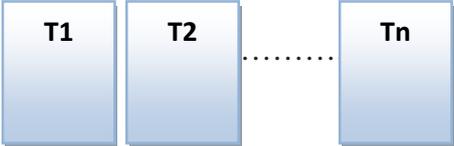
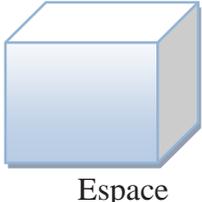
#### 4.1.4. Extraction de l'information sur le changement

Il n'y a pas de solution générale au problème de l'extraction de l'information, mais plutôt un ensemble d'outils mathématiques et algorithmiques que l'on peut combiner ensemble pour résoudre des problèmes spécifiques. Nous citons quelques uns de ces outils ci-dessous.

- **Le seuillage** est l'opération de segmentation la plus simple. Elle consiste à extraire des régions dont l'intensité lumineuse est supérieure à un seuil fixé. La surface d'une telle région est ainsi définie par une fonction implicite et s'appelle une iso-surface (ou surface d'iso-intensité).
- **L'analyse multi-échelle** des images est un axe de recherche très actif. Il s'agit de construire et d'appliquer une théorie qui permette d'effectuer une analyse de l'image à des résolutions variables. *La morphologie mathématique* propose une théorie et des opérateurs que l'on peut appliquer localement dans les images pour extraire et modifier des formes.
- **Des opérateurs différentiels** peuvent être appliqués dans les images, afin de caractériser des points, des lignes, ou des surfaces singulières. Par exemple, les contours peuvent être définis comme le lieu des points où la norme du gradient de l'intensité lumineuse est localement maximale dans la direction du gradient. Les surfaces ainsi définies correspondent qualitativement aux points de fort contraste d'intensité, et peuvent aider à délimiter certaines structures anatomiques ou pathologiques.
- **L'analyse multi-temporelle** Les modifications temporelles peuvent se détecter à partir d'au moins deux états (à 2 temps différents Etat1 et Etat2, p. ex.) d'un même système. Dans le cas où il n'y a que deux états, on peut effectuer des cartes de différence ou de ratioing. Ceci représente une comparaison dite par paire. Dans le cas où il y a plusieurs définitions d'états (ceci représente une comparaison dite multiple (Etat1, Etat2, .... Etat n). Ce qui correspond à une série temporelle ou encore une série chronologique), les techniques sont potentiellement plus nombreuses, la plus simple est l'animation. La comparaison doit être réalisée sur deux types de données, qualitatives et quantitatives :
  - **Comparaison par pair (image1, images 2) :**
    - a) données quantitatives : différence d'image, rapport de 02 images,...
    - b) données qualitatives : classification croisée,...
  - **Comparaison multiple :(image1, image2,...image n) :** Données quantitatives et qualitatives.

Le tableau suivant synthétise les différentes stratégies en analyse multi temporelle.

Tableau. 30. Les différentes stratégies en analyse multi temporelle

Stratégie	Principe	Schéma explicatif
<b>Accolement</b>	Elle consiste à accoler les tableaux de façon à n'en former qu'un seul comportant. Colonne : <u>les canaux</u> . Ligne : <u>espace</u> <u>Le temps</u> associé à un pixel, ou pour être plus précis la date d'acquisition de l'image à laquelle il appartient, n'intervient plus dans le fonctionnement de l'analyse.	Canal 
<b>Indice</b>	Consiste à résumer l'information apportée par les canaux par une seule variable, en l'occurrence un indice. Comme exemple le NDVI est couramment utilisé à cause de sa corrélation à la biomasse active et prouvée	Temps Espace 
<b>Combinaison</b>	Cherche à révéler préférentiellement les structures temporelles. Soustraire deux images d'une même zone acquises à deux dates différentes	canal 
<b>Partition</b>	Réalise autant d'analyses séparées qu'il y'a de dates d'acquisition, puis la synthèse est effectuée selon une procédure qui peut être visuelle ou numérique	canal 
<b>Multi-tableaux</b>	Apporte une solution à l'analyse triadique partielle qui traite de cubes de données permet de décomposer les sources de variabilité en fonction du triplet (espace, temps, canaux)	canal Temps Espace 

## 4.2. Détection des changements par imagerie spatiale: état de l'art

La détection des changements dans une scène permet l'analyse des phénomènes terrestres, à travers observation. Ces changements peuvent être de différents types, de différentes origines et de durées variables. La détection des 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 des changements : méthodes bi-temporelles, méthodes dites mixtes et méthodes d'analyse des séries temporelles, dans notre cas nous avons opté les méthodes bi-temporelles à cause des données disponibles.

### 4.2.1. 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.

**Tableau 31. Travaux de recherches sur la détection des changements par approche bi-temporelle**

	<b>Travaux de recherches réalisés</b>	<b>Auteurs / Dates</b>
<b>Méthode par différence d'image</b>	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 multi-temporal 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

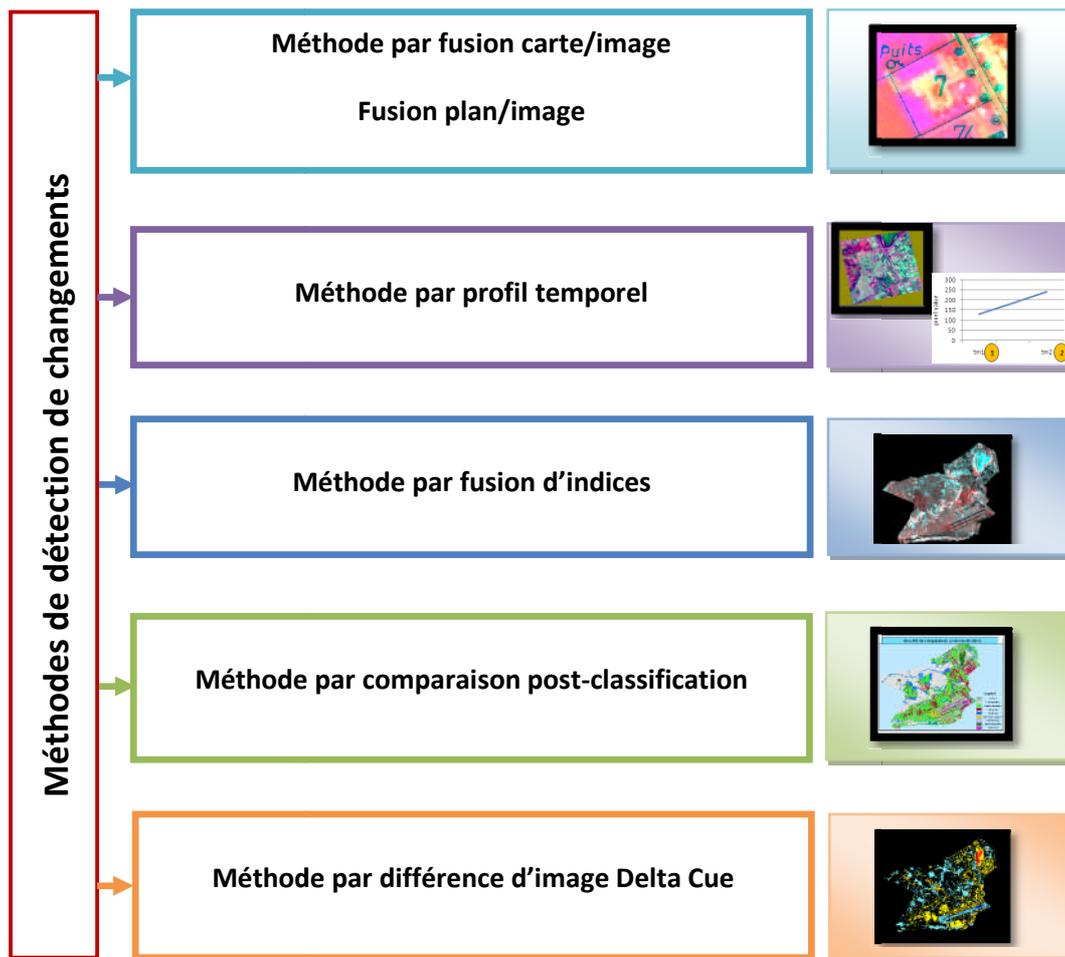
<b>Analyse par vecteur de changement</b>	Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change Vector Analysis	Jin Chen, Peng Gong, Chunyang He, Ruiliang Pu, and Peijun Shi 2003
	Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale 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
<b>Les indices de végétation</b>	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

#### 4.2.2. Détection des changements par imagerie spatiale : Application

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 appliquées pour détecter les changements.



**Figure 87.** Méthodes de détection de changements

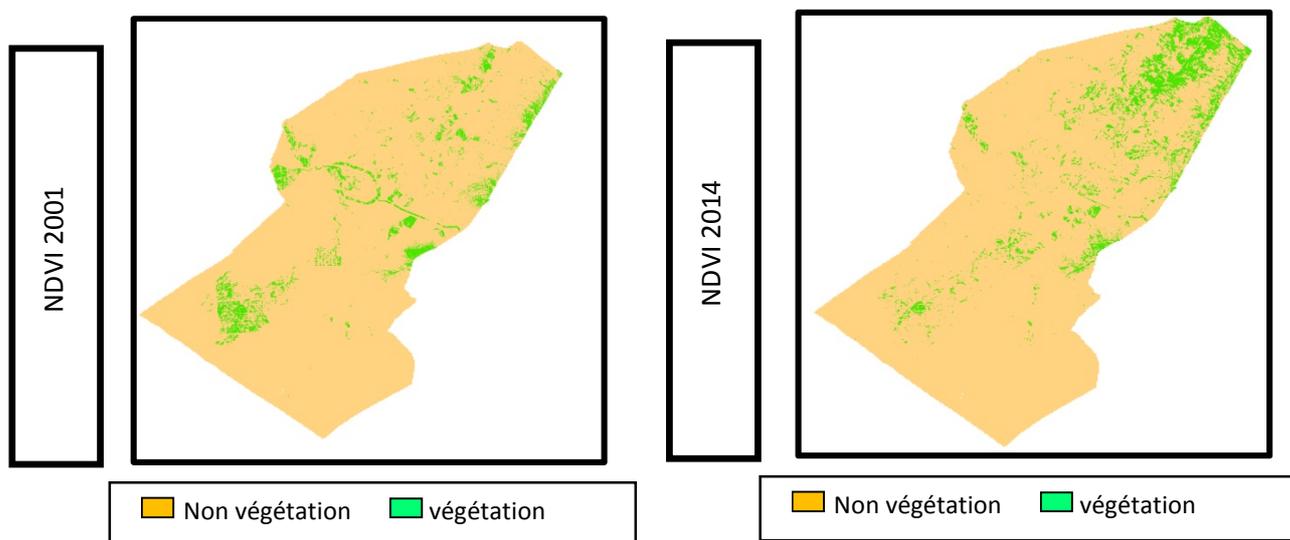
Dans la figure 87, il existe cinq méthodes de détection de changement, dont deux seulement ont été utilisées pour notre cas: Méthode par fusion d'indices et Méthode par comparaison post- classification

#### 4.2.2.1. Méthode par fusion d'indices

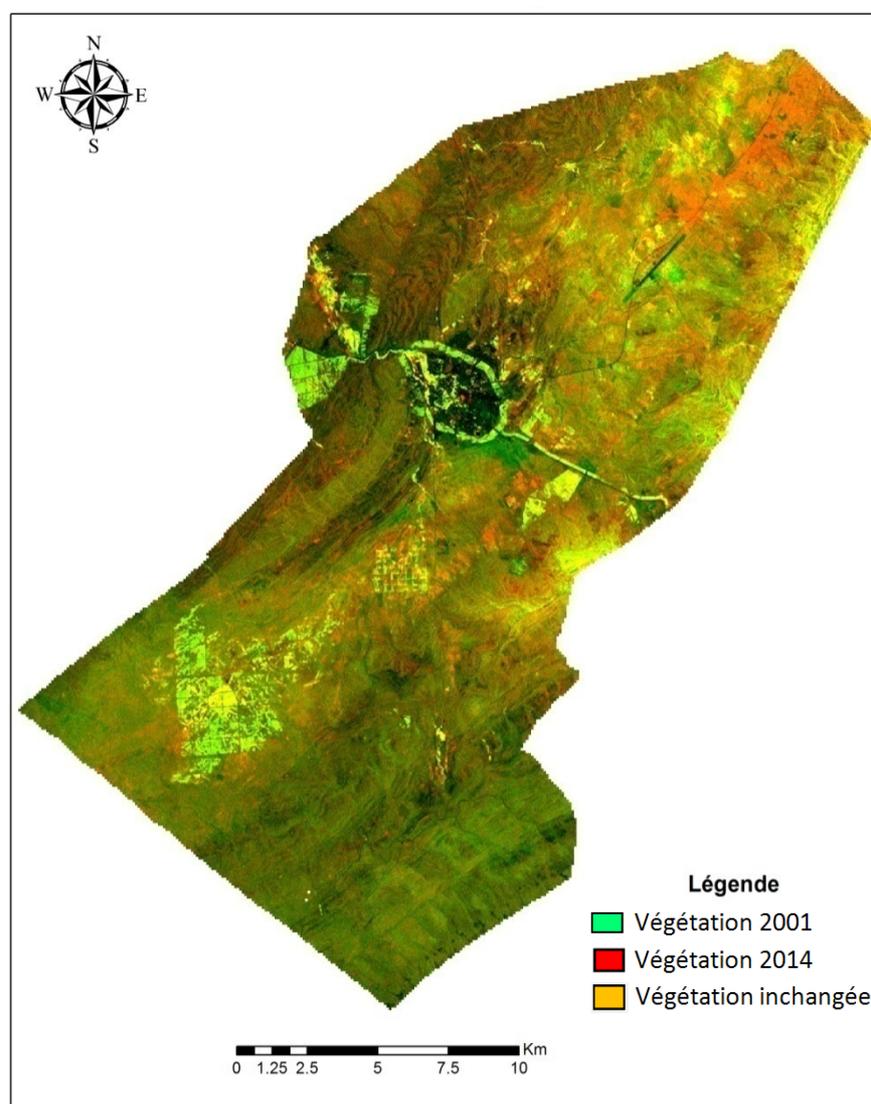
L'indice de végétation exploite la signature spectrale de la végétation (réflectance très élevée dans le proche infrarouge et très basse dans le rouge), cet indice constitue un indicateur relativement fiable de l'activité chlorophyllienne de la végétation.

Nous avons appliqué un traitement sur les indices de végétation calculés à partir de nos images bi-temporelles (voir chapitre 3):

L'interprétation du résultat obtenu (figure 89) nous a permis de cerner la végétation (nouvelle et ancienne) d'une manière globale.



**Figure 88.** Les indices de végétations NDVI 2001 et NDVI 2014



**Figure 89.** Résultat de fusion des indices NDVI 2001 et NDVI 2014

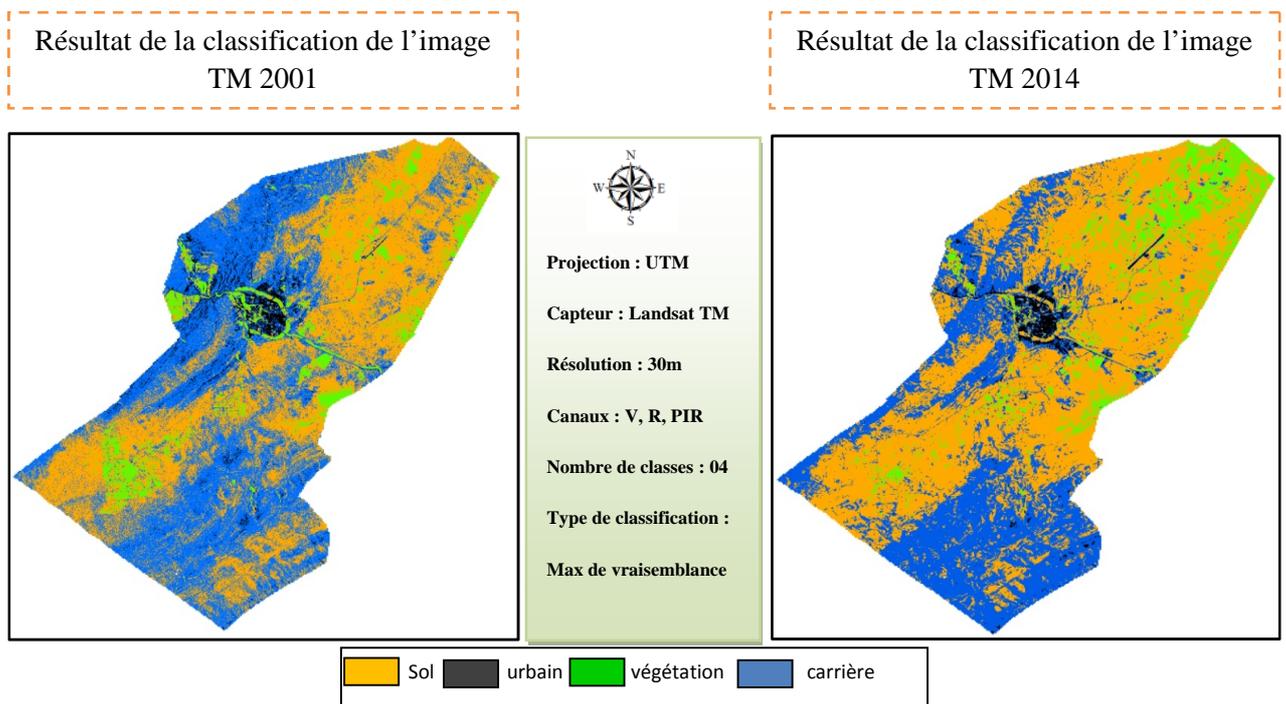
Cette méthode de fusion, présente l'avantage de quantifier le changement, même si la précision n'est pas meilleure car la quantification se fait sur la base d'un seuillage manuel des deux indices.

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

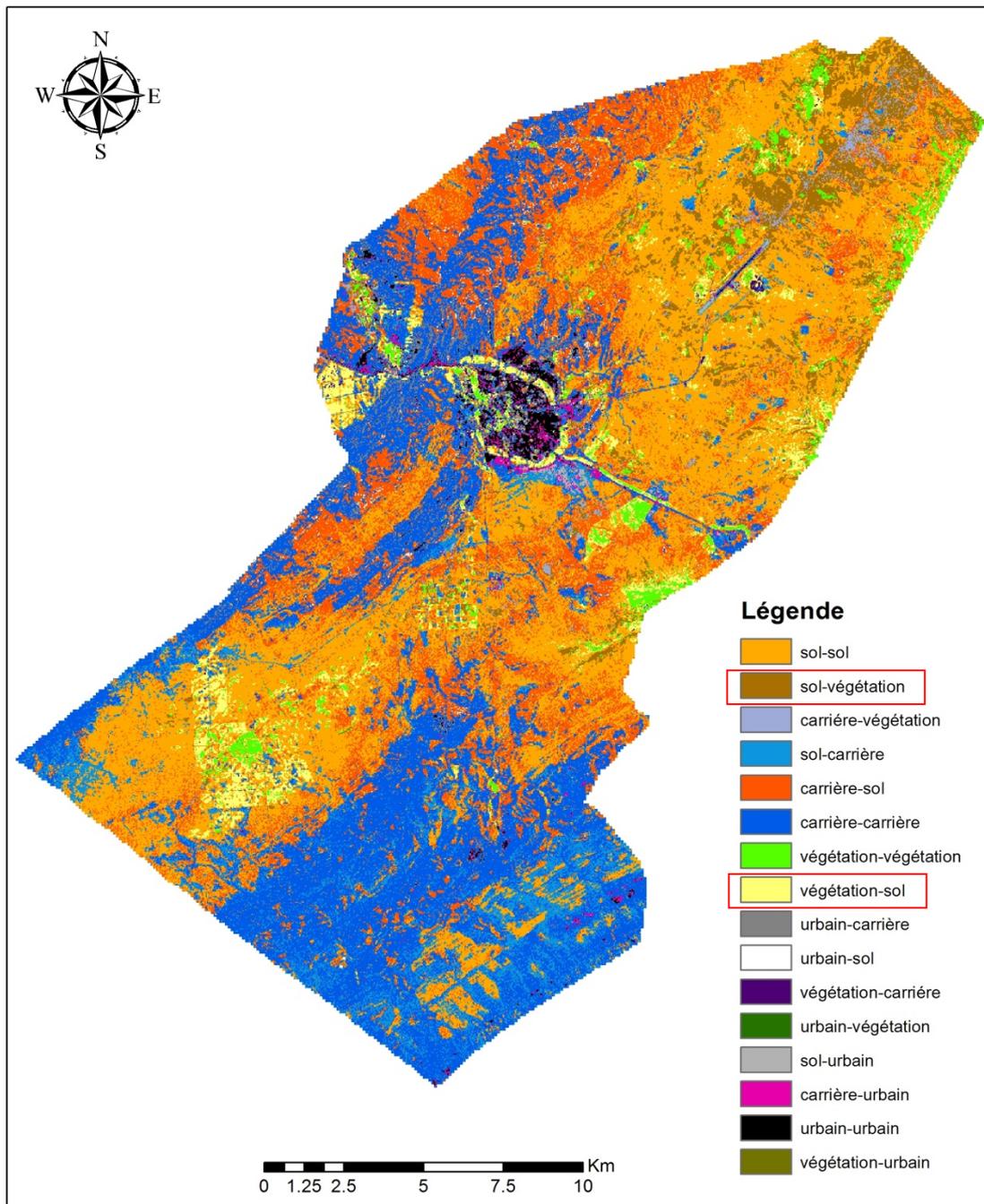
#### 4.2.2.2. Méthode par comparaison poste-classification

Les méthodes par comparaison post-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 90.** Résultat de la classification de l'image TM 2001 et TM 2014



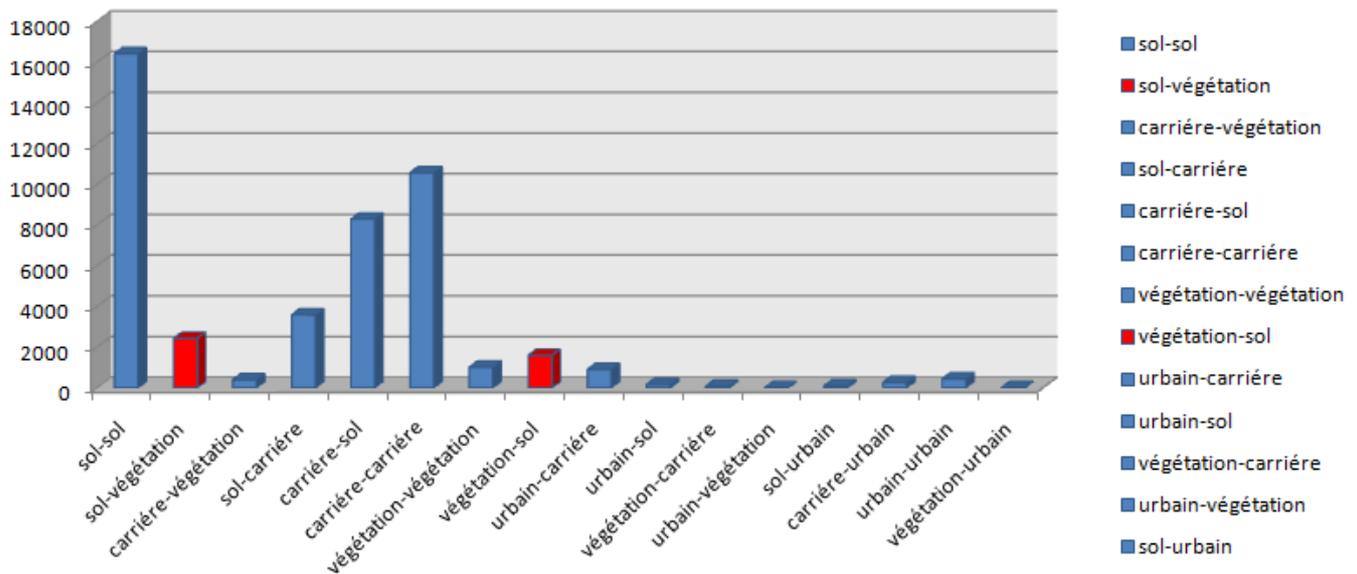
**Figure 91.** Résultat de la comparaison post classification

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

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.

Nous pouvons remarquer que dans les 16 combinaisons, deux d'entre elles correspondent au changement du couvert végétal (signalé en rouge figure 91). La quantification de ce changement en hectares, illustré par la figure ci dessous, peut faire l'objet d'une liaison de ce résultat avec celle de la méthode de fusion d'indice pour détecter le changement du couvert végétale dans notre zone d'étude.



**Figure 92.** Quantification des résultats de l'analyse de comparaison post-classification

#### 4.2.2.3. Synthèse

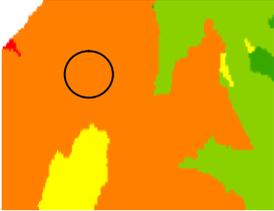
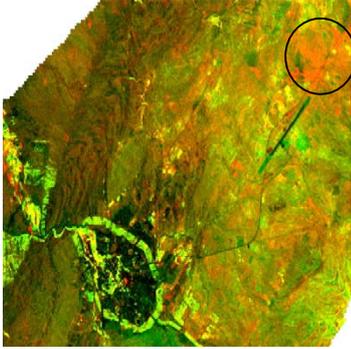
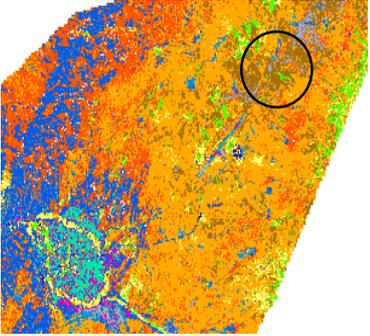
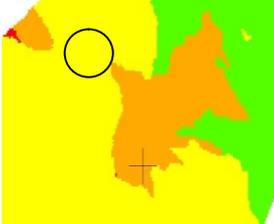
Les méthodes de détection de changements appliquées dans ce chapitre montrent un changement important surtout la couche végétale de la commune d'El-Bayadh avec la prise en compte de l'intervalle entre les deux dates (13 ans). Notre objectif n'est pas de citer les causes de changement mais plutôt de voir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

### 4.2.3. Étude 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 du sol et NDVI.

Pour cela, nous avons choisi deux échantillons et vérifier si le changement est identique et logique ou bien non, et par la suite en faire une conclusion. Le tableau suivant présente le premier échantillon du teste.

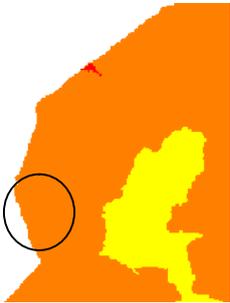
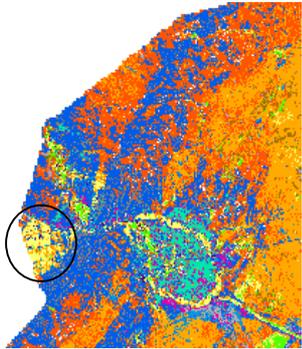
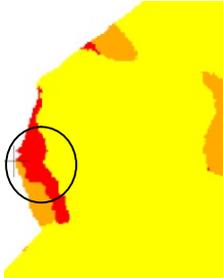
**Tableau 32. Premier échantillon de test**

	Extrait aléa	Extrait fusion d'indices	Extrait post-classification
situation ancienne (2001)			
Situation nouvelle (2014)		Augmentation de la végétation	Combinaison sol-végétation

Dans le premier échantillon et d'après le résultat de fusion d'indices, on remarque qu'il y'a une augmentation de la végétation, un résultat confirmé par la deuxième méthode de détection de changement, c'est-à-dire post-classification. La classe de cet échantillon présente le sol pour la date de 2001 et la végétation pour la date 2014 (la classe de sol transformée en végétation). En d'autres termes, ce changement indiqué dans la carte d'aléas renvoi à l'état d'amélioration du couvert végétal lequel a marqué son influence, en passant de la classe forte à la classe moyenne.

Par contre dans le deuxième échantillon, d'après le résultat de fusion d'indices, on remarque qu'il y'a une dégradation de la végétation, c'est le même résultat de post-classification dont la classe de cet échantillon présente la végétation de 2001 et le sol de 2014 (la classe de végétation transformée en sol). L'influence de ce changement est indiquée par une conversion de la classe forte à la classe très forte dans la carte d'aléas (Tableau 33).

**Tableau 33. Deuxième échantillon de test**

	Extrait aléa	Extrait fusion d'indices	Extrait poste_classification
situation ancienne (2001)			
situation nouvelle (2014)		Dégradation de la végétation	Combinaison végétation-sol

**Conclusion du quatrième chapitre**

Les méthodes de détection de changement que nous avons utilisé ont montré de bons résultats en confirmant le changement sur la couche végétale, lequel influe directement sur la carte d'aléa, par une conversion des classes. Ce changement doit être pris en considération par les décideurs dans les futurs projets d'aménagement.

Dans l'utilisation des cinq paramètres pour l'élaboration de la carte d'aléa, à savoir la pente, les précipitations, la lithologie, l'NDIV et l'occupation du sol, seuls les deux derniers influent sur le changement de la carte d'aléa.

Concernant la lithologie ou la pente, elles ne peuvent pas changer dans un intervalle de 13 ans. Nous avons utilisé la même série homogène de précipitations de 30 ans dans l'élaboration des deux cartes d'aléa, en plus de cela la méthodologie adoptée et les pondérations affectées par l'approche AHP restent les mêmes pour les deux dates. Tous ces fondements impliquent que le changement de la carte d'aléa est causé par le changement de ces deux paramètres, comme prouvés par les échantillons de tests. Ces résultats pourraient représenter un outil pour les décideurs et les utilisateurs mais restent toujours limités par l'échelle, particulièrement l'application à petite échelle (échelle communale).

Pour exploiter ou appliquer l'approche méthodologique à grande échelle, on a besoin de données à grande échelle et à haute résolution, comme le cas de l'image Spot5 que nous avons déjà présenté dans le chapitre 3. Le chapitre suivant, consacré à l'exploitation de cette image, décrit les traitements nécessaires pour les intégrer dans l'approche SIG/AHP, notamment la qualité de l'indice de végétation le plus approprié à cette résolution et à cette zone d'étude, d'autre part à l'algorithme de classification.

*Chapitre 5: La haute résolution et la cartographie de l'aléa inondation*

## **INTRODUCTION**

Notre approche cartographique de l'aléa inondation a été basée sur des images de faible résolution. C'est le cas de Landsat 7 et 8 (30m), dont nous avons dérivé deux produits sous formes de cartes: la carte de l'occupation du sol et la carte de l'indice de végétation.

Concernant l'indice de végétation, nous avons opté pour l'indice de végétation le plus utilisé (l'indice populaire), c'est l'indice de végétation normalisé (NDVI). Tandis que la nature de notre zone d'étude (qui est une zone steppique, où la végétation est éparse), la caractérisation de la végétation par NDVI, nous a posé un problème de précision (faible couvert végétal et effet significatif du sol). Avec la disponibilité d'une image de haute résolution, type Spot5, l'extraction de l'information sur le couvert végétal se fait par calcul de néo-canaux (nouveaux indices), sous forme d'une étude comparative. C'est le premier objectif de ce chapitre. Pour la deuxième carte, la carte d'occupation du sol, sera l'amélioration de sa qualité par le choix d'un algorithme convenable à une image de haute résolution. La classification de type Orienté-Objet peut servir pour donner des résultats optimaux.

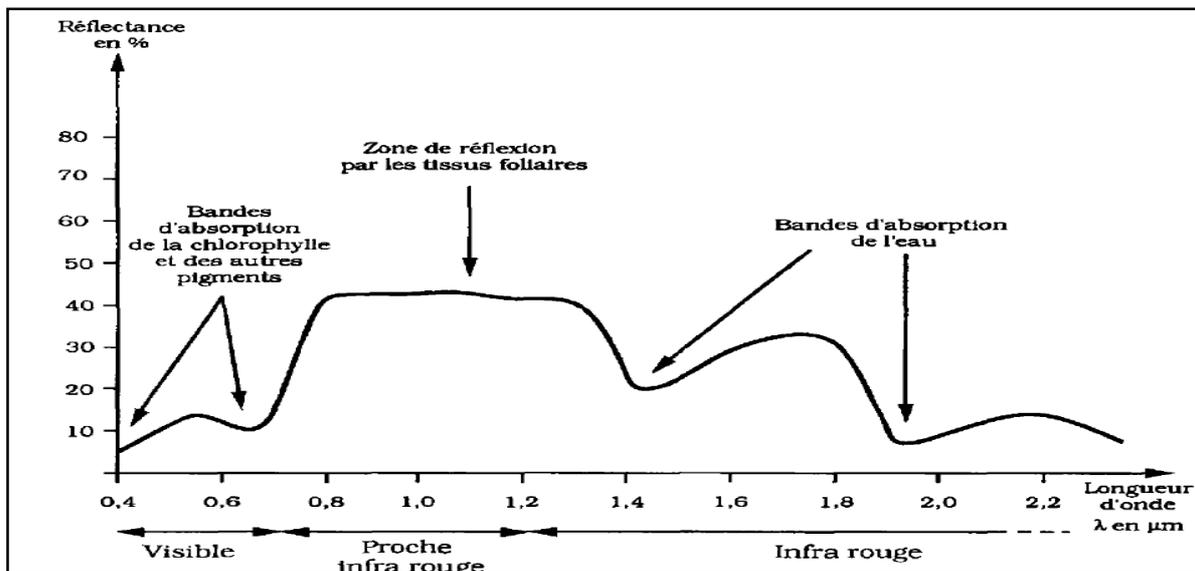
Dans ce chapitre, nous avons présenté un résumé sur les indices de végétation, définis à partir des données de télédétection afin d'appliquer certaines sur nos images (Spot 5 et Landsat 8), afin d'extraire des recommandations concernant l'utilisation des indices de végétation dans les zones steppiques. En deuxième phase, nous avons présenté des concepts méthodologiques sur la classification Orienté-Objet, pour les appliquer sur des images de haute résolution spatiale, comme celles de Spot5.

### **5.1. Comportement spectral des végétaux**

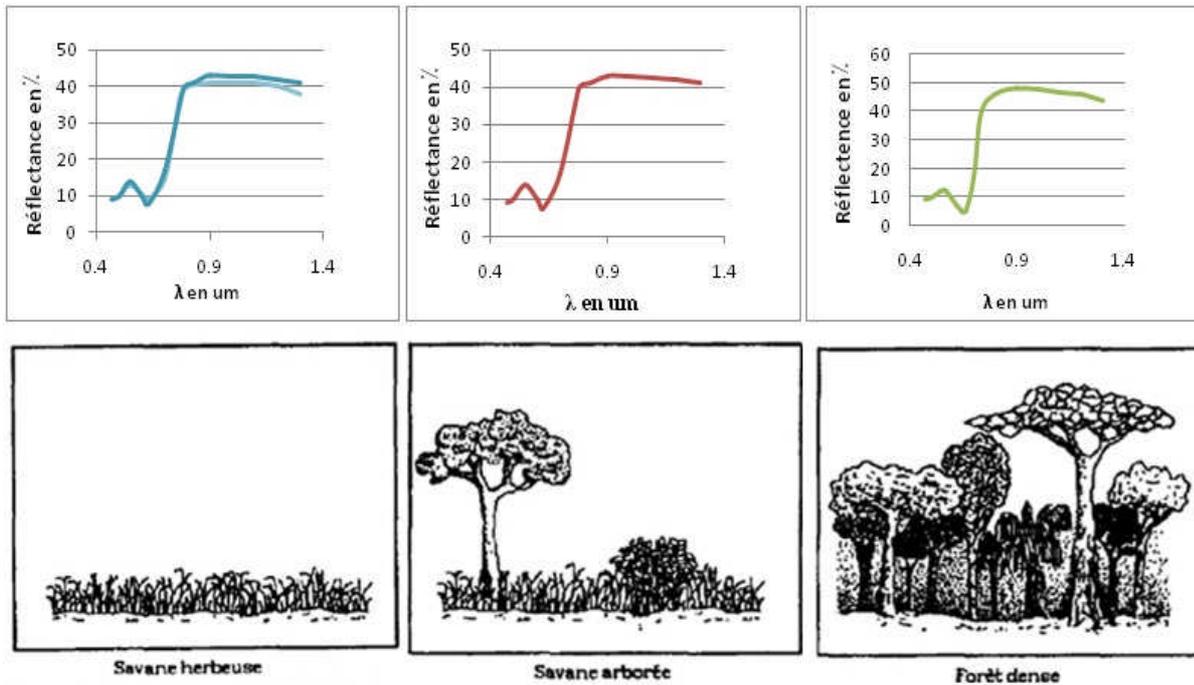
L'allure des courbes de réflexion et d'absorption du spectre lumineux par les végétaux, présentée dans la figure 93, est toujours la même. On observe cependant des variations en fonction des paramètres suivants. Des individus d'espèces différentes présentent des réponses spectrales différentes. A fortiori il faut distinguer les comportements spectraux de peuplements monospécifiques et plurispécifiques. La télédétection doit donc permettre de différencier des couverts végétaux selon leur composition spécifique, c'est-à-dire sur des critères floristiques. De plus, des feuilles isolées, des feuillages ou des ensembles d'individus, simples ou en mosaïque, n'ont pas le même comportement spectral. La configuration géométrique du couvert, par exemple l'orientation des feuilles, le pourcentage de couverture du sol (que l'on assimile souvent abusivement à l'indice de surface foliaire), la structure et la hauteur des végétaux, ont une influence sur les réponses spectrales. Un second critère de

différenciation des couverts végétaux sera donc la physionomie des peuplements observés. Enfin, au cours de leur développement, les végétaux présentent des caractéristiques foliaires et de photosynthèse différentes, notamment en relation avec les variations saisonnières du climat. La phénologie des végétaux est donc aussi un facteur de variation du comportement spectral.

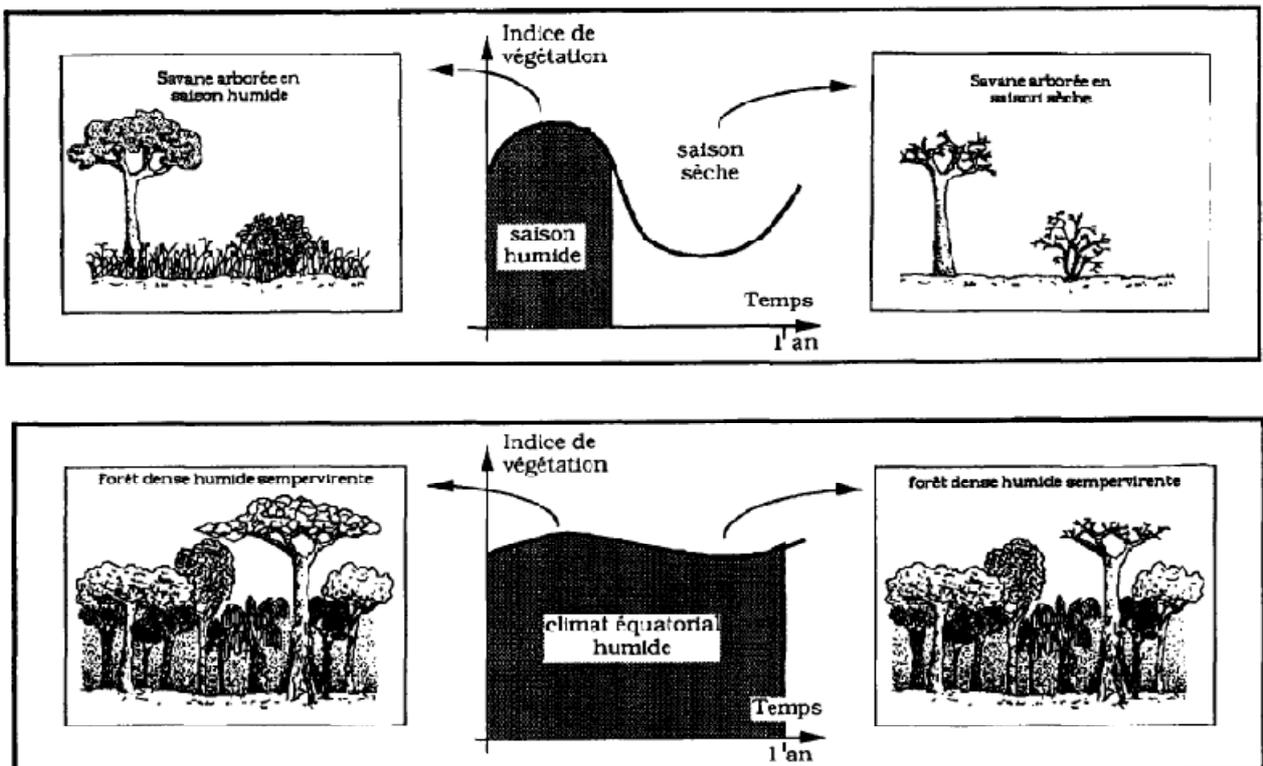
La cartographie de la végétation repose donc sur l'étude des variations spatiales et temporelles des réponses radiométriques des végétaux, comme l'illustrent les figures 94 et 95 (Michel Girard et Colette Girard, 2010).



**Figure 93.** Courbe théorique de réflectance de la végétation verte (Eve J et François B, 1993)



**Figure 94.** Exemple d'utilisation des variations des réponses radiométriques pour la discrimination des couverts végétaux (Eve J et François B, 1993)



**Figure 95.** Exemple d'utilisation des variations temporelles des réponses radiométriques pour la discrimination des couverts végétaux (Eve J et François B, 1993)

## 5.2. Indices de caractérisation de la végétation:

Dans la littérature, il existe une quarantaine d'indices de végétation qui ont été développés pour différentes applications et dans des conditions bien particulières, mais qui peuvent être incompatibles avec le milieu urbain.

Les indices les plus fréquemment utilisés dans la documentation peuvent être classés en quatre catégories, (Anne-marie barbier, 2006), (chrystele latry, 2005):

1. Les indices intrinsèques, qui sont de simples combinaisons linéaires qui n'incluent aucun facteur externe de correction autre que les réflectances mesurée (sans compensation).
2. Les indices reliés à la droite des sols (Baret *et al.* 1993) qui ont été développés afin de minimiser les effets du sol (avec compensation des effets du sol),
3. Les indices avec compensation des effets atmosphériques.
4. Les indices de reconnaissance de la végétation sèche.

### 5.2 .1.Résumé d'indices de végétation définis à partir de données de télédétection

Les indices de végétation (tableaux ci dessous) sont des mesures radiométriques de la variabilité spatiale et temporelle de l'activité photosynthétique de la végétation , cette dernière étant en relation avec les variables biophysiques du couvert telles que l'indice de surface foliaire (LAI), la biomasse totale, la vigueur de la végétation, etc. Ces variables sont elles-mêmes en relation avec l'état hydrique de la végétation. Leur calcul est basé sur des combinaisons, linéaires ou non, de valeur de réflectance ou de luminance acquises dans plusieurs bandes spectrales. Ces variables s'appuient essentiellement sur les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge. Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation, tandis que celles dans le rouge diminuent.

**Tableau 34. Les principaux indices spectraux de la végétation**

Symbole	Nom de l'indice	Auteurs	Année	Caractéristiques
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index	ROUSE et AI TUCKER	1974 1979	sensibilité aux effets atmosphériques, gamme de variation plus faible, mais sensibilité aux variations angulaires de la visée, selon la position vis à vis du soleil
<b>SR</b>	Simple Ratio	ROUSE et AI	1974	saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques
<b>RVI</b>	Ratio Vegetation Index	RICHARDSON et WIEGAND	1977	Corriger les faiblesses de TVI graphiquement
<b>DVI</b>	Différence Vegetation Index	MONGET	1980	forte sensibilité aux variations atmosphériques
<b>TVI</b>	Transformed Vegetation Index	DEERING et AL	1975	essai d'élimination des valeurs négatives, stabilisation de la variance.
<b>TTVI</b>	Thiam's Transformed Vegetation Index	THIAM	1997	Ignorer la première limite de l'équation de CTVI afin d'obtenir de meilleurs résultats.
<b>NRVI</b>	Normalized Ratio Vegetation Index	BARET et GUYOT	1991	Corriger le RVI pour réduire l'effet topographique, illumination des effets atmosphériques et elle crée une distribution normale statistiquement souhaitable.
<b>CTVI</b>	Corrected Transformed Vegetation Index	PERRY et LAUTENSCHLAGER	1984	Corriger les valeurs de TVI

<b>TSAVI 1</b>	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 1	BARET et Al	1989	Une résistance à la haute humidité de sol spécifiquement conçu pour les régions semi-arides et ne fonctionne pas bien dans les secteurs avec la végétation lourde.
<b>TSAVI 2</b>	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2	BARET et Al	1991	Réduire au minimum les effets de l'éclat de sol de fond
<b>MSAVI 1</b>	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 1	QI et Al	1994	Minimiser d'avantage les effets du sol
<b>MSAVI 2</b>	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2	QI et Al	1994	Variation du SAVI plus récente qui tente de minimiser davantage l'effet du sol
<b>SAVI</b>	Soil Adjusted Vegetation Index	HUETE	1988	Il minimise l'influence du sol dans la réponse spectrale des végétaux. De nombreux indices sont issus de celui-ci pour minimiser l'effet du sol (TSAVI, MSAVI...)
<b>WDVI</b>	Weighted Difference Vegetation Index	RICHARDSON et WIEGAND	1977	Maximise le signal de la végétation et minimise l'effet de sol
<b>TSARVI</b>	Transformed Soil Atmospherically Resistant Vegetation Index	BANNARI et Al	1994	Caractérise mieux l'environnement urbain à végétation éparse et moyennement dense indépendamment des effets de sol, de l'atmosphère et de résolutions spatiale et spectrale du capteur.

<b>GEMI</b>	Global Environment Monitoring Index	PINTY et VERSTRAETE	1992	A pour but une évaluation et une gestion globale de l'environnement sans être affecté par l'atmosphère et le sol.
<b>EVI</b>	Improve Vegetation Index	HUETE	1997	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI et minimise l'effet du sol.

## 5.2.2. Choix et caractéristiques des indices de végétation

### 5.2.2.1. Indice Normal de Végétation de Différence (NDVI)

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

Malgré le développement de plusieurs nouveaux indices adaptés aux comportements des sols, le NDVI, proposé par (ROUSE et al) en 1974 afin de produire un VI spectral qui sépare la végétation verte de son éclat de sol de fond, reste l'indice le plus utilisé. (IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing)

### 5.2.2.2. Indice de Végétation de Différence (DVI)

$$\text{DVI} = \text{PIR} - \text{R}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

Proposer par MONGET en 1980, cet indice présente une forte sensibilité aux variations atmosphériques.

### 5.2.2.3. Indice Rapport Simple (SR)

$$\text{SR} = \text{PIR} / \text{R}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

Proposé par (ROUSE et al) en 1974 pour séparer la végétation verte du fond de sol. Cet indice est produit en divisant simplement les valeurs de la réflectivité contenues dans la bande proche infrarouge par ceux contenues dans la bande rouge.

Caractériser par une saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques.

Exemple : Indice Pigmentaire : XS3/XS2

#### 5.2.2.4. Indice Transformé de Végétation (TVI)

$$\text{TVI} = \sqrt{(\text{NDVI} + 0.5)}$$

Proposé par (DEERING et al) en 1975 modifie l'indice NDVI en ajoutant une constante de 0.5 à toutes ses valeurs et prise de la racine carrée des résultats, le constant 0,5 est présenté afin d'éviter de fonctionner avec des valeurs négatives de NDVI.

#### 5.2.2.5. Indice Rapport de Végétation (RVI)

$$\text{RVI} = \text{R} / \text{PIR}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

Proposé par (RICHARDSON et WIEGAND) en 1977, le RVI est clairement l'inverse du rapport simple standard (SR) comme montré par son expression.

FORSTER (1983) est l'un des pionniers de l'utilisation des données de télédétection spatiale pour déterminer les caractéristiques socio-économiques des quartiers urbains. En utilisant des données issues du capteur MSS de Landsat sur la ville de Sydney, en Australie, il définit un indice de qualité résidentielle basé sur le pourcentage de végétation déterminé à partir d'un indice de végétation de type rapport (RVI). En France, sur la ville de Strasbourg, le RVI donne satisfaction pour séparer le domaine urbain construit du domaine végétal (CNES, 1982).

#### 5.2.2.6. Indice Transformé Corrigé de Végétation (CTVI)

$$\text{CTVI} = ((\text{NDVI} + 0.5) / \text{ABS}(\text{NDVI} + 0.5)) * \sqrt{(\text{ABS}(\text{NDVI} + 0.5))}$$

Proposé par (PERRY et LAUTENSCHLAGER) en 1984, vise à corriger le TVI. Ajouter clairement une constante de 0.5 à toutes les valeurs de NDVI n'élimine pas toujours toutes les valeurs négatives. Dans le NDVI, les valeurs du NDVI peuvent varier entre -1 et 1. Ainsi, le CTVI est prévu pour résoudre cette situation par la division du (NDVI +0.5) par sa valeur absolue ABS (NDVI+0.5) et en multipliant le résultat par la racine carrée de la valeur absolue (racine carrée (NDVI+0.5)) (IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing).

#### 5.2.2.7. Indice Transformé de Végétation de Thiam (TTVI)

$$\text{TTVI} = \sqrt{(\text{ABS}(\text{NDVI} + 0.5))}$$

THIAM en 1997 indique que l'image résultant du CTVI peut être très due « bruyant » à une surestimation de la verdure. Il propose d'ignorer la première limite de l'équation de CTVI afin d'obtenir de meilleurs résultats. Ceci est fait en prenant simplement la racine carrée des valeurs absolues du NDVI dans l'expression originale de TVI pour faire un nouveau VI appeler Index transformé de la végétation de Thiam (TTVI) (IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing).

#### 5.2.2.8. Indice Normal de Végétation de Rapport (NRVI)

$$\text{NRVI} = \text{RVI} - 1 / \text{RVI} + 1$$

Cet indice est une modification du RVI par (BARET et Guyot) en 1991 par lequel le résultat de RVI - 1 est normal au-dessus de RVI + 1. Cette normalisation est semblable en vigueur à celle du NDVI, c.-à-d., elle réduit les effets topographiques, illumination des effets atmosphériques et elle crée une distribution normale statistiquement souhaitable.

#### 5.2.2.9. Indice de Sol Ajuste de Végétation (SAVI)

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{PIR} - \text{R})}{(\text{PIR} + \text{R} + \text{L})} (1 + \text{L})$$

Où : L = facteur d'ajustement

PIR = réflectivité dans la bande proche infrarouge

R = réflectivité dans la bande rouge

HUETE en 1988 démontre qu'il existe une certaine contradiction dans la façon dont les indices NDVI et PVI décrivent le comportement spectral de la végétation et du sol nu.

Par conséquent, il a développé un nouvel indice de végétation appelé SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) qui est un compromis entre les indices de type rapport (NDVI) et les indices de type orthogonal (PVI).

Le SAVI est prévu donc pour réduire au minimum les effets du fond de sol sur le signal de la végétation en incorporant un coefficient d'adaptation constant **L** de sol dans le dénominateur de l'équation de NDVI. **L** varie avec les caractéristiques de réflectivité du sol.

Le facteur **L** choisi dépend de la densité de la végétation souhaiter pour l'analyser. Pour une végétation peu dense, HUETE et AL en 1988 suggéraient l'emploi d'un facteur **L** de 1.0, pour l'intermédiaire 0,5 et 0,25 pour une végétation dense (IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing).

#### 5.2.2.10. Indice Transformé de Végétation du Sol Ajusté (TSAVI 1)

$$\text{TSAVI1} = \frac{\mathbf{a} \cdot ((\text{PIR} - \mathbf{a})(\mathbf{R} - \mathbf{b}))}{(\mathbf{R} + \mathbf{a} \cdot \text{PIR} - \mathbf{a} \cdot \mathbf{b})}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

**R** : réflectivité dans la bande rouge.

**a** : pente de la droite de sol.

**b** : interception de la droite de sol dans l'espace R/PIR.

A partir d'une approche analogue à celle du PVI, (BARET et al) en 1989 transforment le SAVI en (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) (TSAVII).

Ils ont noté du fait que le concept de SAVI est exact seulement si les constantes de la ligne de sol sont  $a=1$  et  $b=0$ . Puisque ce n'est pas généralement le cas, ils ont transformé le SAVI en prenant en compte le concept du PVI. Ils ont proposé une première modification du SAVI indiqué comme TSAVI 1.

Avec de la résistance à la haute humidité du sol, le TSAVII a pu être un très bon indice pour l'usage dans les régions semi-arides. TSAVI1 a été spécifiquement conçu pour les régions semi-arides et ne fonctionne pas bien dans les secteurs avec la végétation dense.

Le TSAVII sert à cartographier la qualité phytosanitaire des espaces naturels en milieu urbain et présente une bonne corrélation avec les températures de surface (CHARBONNEAU et al, 1991).

### 5.2.2.11. Indice Transformé de Végétation du Sol Ajusté (TSAVI 2)

$$\text{TSAVI2} = \frac{a(\text{PIR} - a\text{R} - b)}{(\text{R} + a\text{PIR} - a\text{b} + 0.08(1 + a^2))}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

a : pente de la droite de sol.

b : interception de la droite de sol dans l'espace R/PIR.

La première version du TSAVI 1 fut réajustée afin de minimiser les effets de la brillance du sol de fond par un facteur additif de 0,08 (BARET et GUYOT, 1991). Cette nouvelle version est le TSAVI 2.

### 5.2.2.12. Indice Pondéré de Végétation de Différence (WDVI)

$$\text{WDVI} = \text{PIR} - \gamma\text{R}$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

$\gamma$  : pente de la droite de sol.

Cette indice a été attribué à (RICHARDSON et WIEGAND) (1977), et CLEVERS (1978), (PARKER et PICHON) (1996). Bien que simple, le WDVI est aussi efficace que les autres indices. L'effet de mesurer la bande rouge avec la pente de la droite de sol est de la maximisation du signal de la végétation dans la bande proche infrarouge et de la minimisation de l'effet de l'éclat de sol.

### 5.2.2.13. Indice Modifié de Sol Ajusté de Végétation (MSAVI 1)

QI et Al. (1994) montrent que le facteur d'ajustement  $L$  du SAVI n'est pas une constante, mais plutôt une fonction qui varie inversement avec la présence de la végétation. Afin de minimiser l'effet du sol nu sur le SAVI, ils proposent une version modifiée de l'indice, le MSAVI1 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index).

$$\text{MSAVI 1} = \frac{(\text{PIR} - \text{R})}{(\text{PIR} - \text{R} + L)} (1 + L)$$

Où : PIR : réflectivité dans la bande proche infrarouge.

R : réflectivité dans la bande rouge.

Pour améliorer correctement l'éclat de fond de sol en différents états de couverture de végétation et minimiser la brillance du sol ; **L** est choisi comme une fonction empirique entre le NDVI et le WDV.

$$L = 1 - 2 \cdot \gamma \cdot \text{NDVI} * \text{WDVI}$$

Avec :  $\gamma$ : Pente de la droite de sol.

2 : pour augmenter dynamique de L.

L varie entre 0 à 1

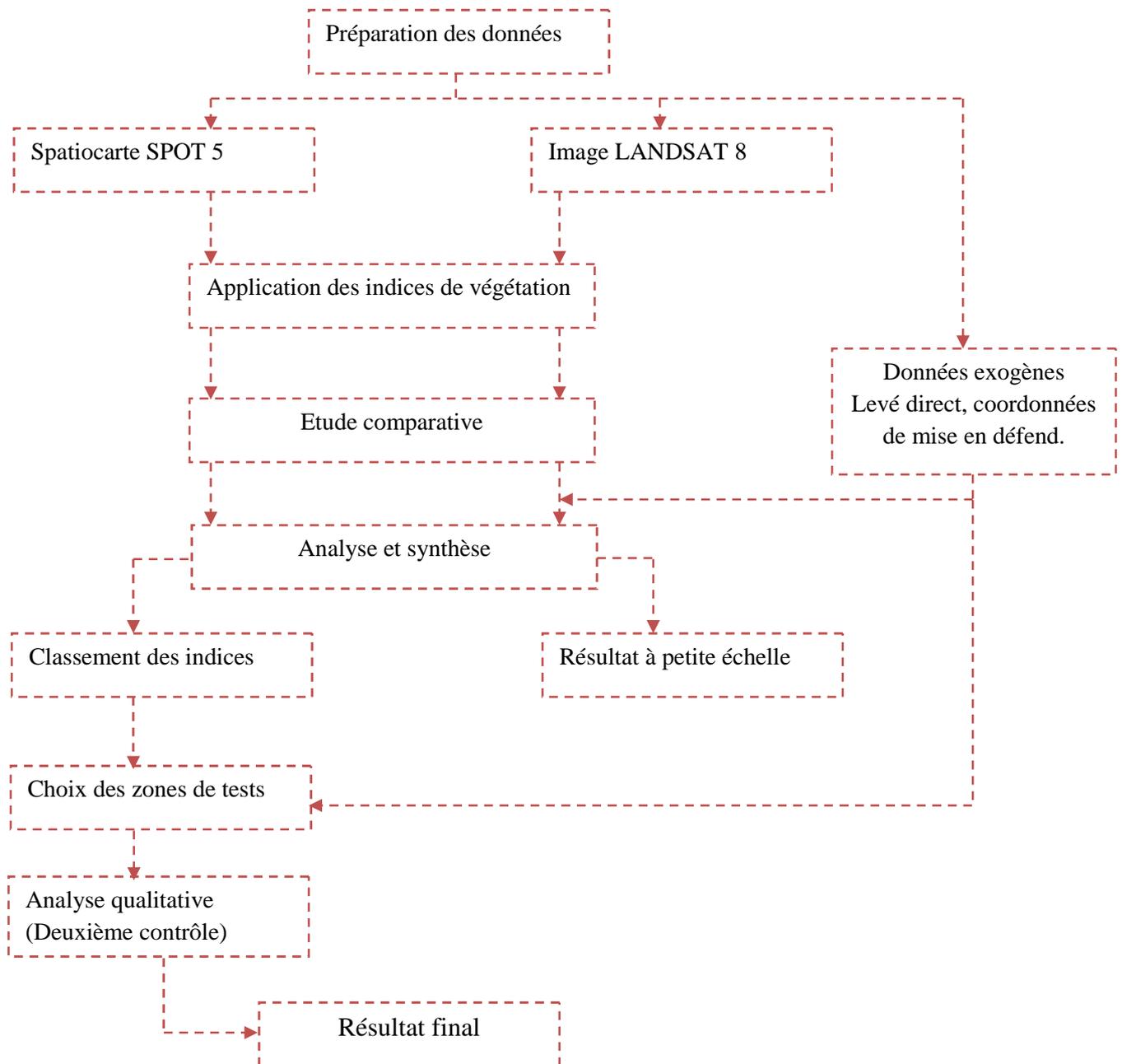
Il existe des dizaines d'indices, pour lesquels on a mentionné quelques-uns, représentent un échantillon. Cette présentation nous a permis de comprendre que l'extraction de l'indice de végétation à partir des traitements classiques, s'accompagne d'erreurs. La méthodologie d'évaluation de ces erreurs, basée sur l'analyse de l'extraction à partir des indices, a permis d'évaluer non seulement les erreurs de confusion mais aussi celles qui sont omises.

A partir de cette revue d'indices (qui peut être complétée si besoin) et l'objectif fixé en termes d'extraction de la végétation steppique, il est possible de distinguer les indices selon différentes catégories, en fonction de la prise en charge de certains paramètres. La prochaine section, va présenter des exemples d'application de différents indices, pouvant servir à la caractérisation de la végétation steppique. Certains indicateurs sont déjà largement utilisés, comme ceux concernant l'INDVI qui, pour certains ont été développés dès les années 1976. D'autres indicateurs sont à affiner, voire à créer pour les images à très haute résolution spatiale.

### **5.3. Extraction de l'information sur le couvert végétal en milieu steppique par calcul d'indices**

Dans cette phase nous avons utilisé deux groupes de traitements: l'un sur l'image LANDSAT8 et l'autre sur l'image SPOT5. Dans le premier groupe, nous avons sélectionné huit indices pour étudier la qualité du NDVI par rapport aux autres indices. Donc, les traitements de ce groupe ont pour but de cartographier la végétation à petite échelle. Contrairement aux indices du premier groupe, les indices du deuxième groupe (sur l'image HR SPOT5) sont basés sur la droite des sols et nécessitent le calcul de certains paramètres, avec l'introduction des données exogènes. L'ensemble des étapes pratiques des différents

traitements effectués sur les indices dont l'objectif est une étude comparative, est présentée dans l'organigramme suivant :

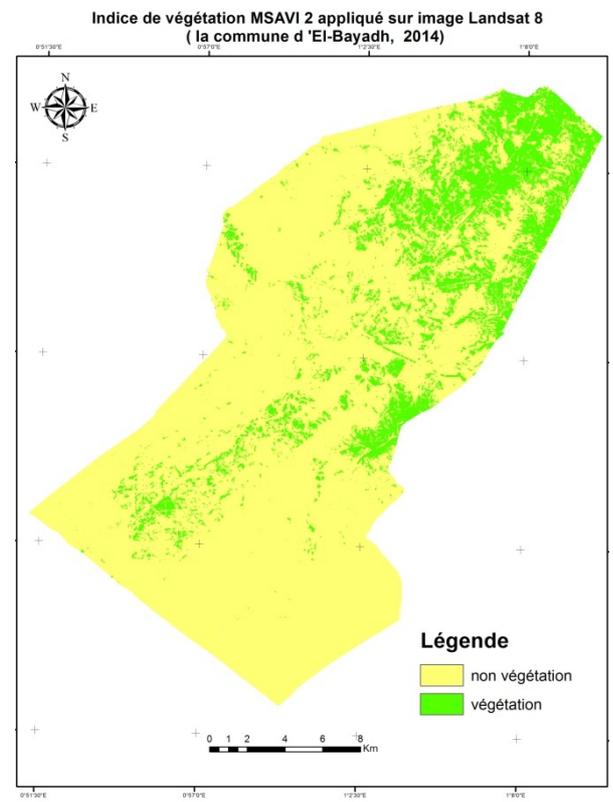
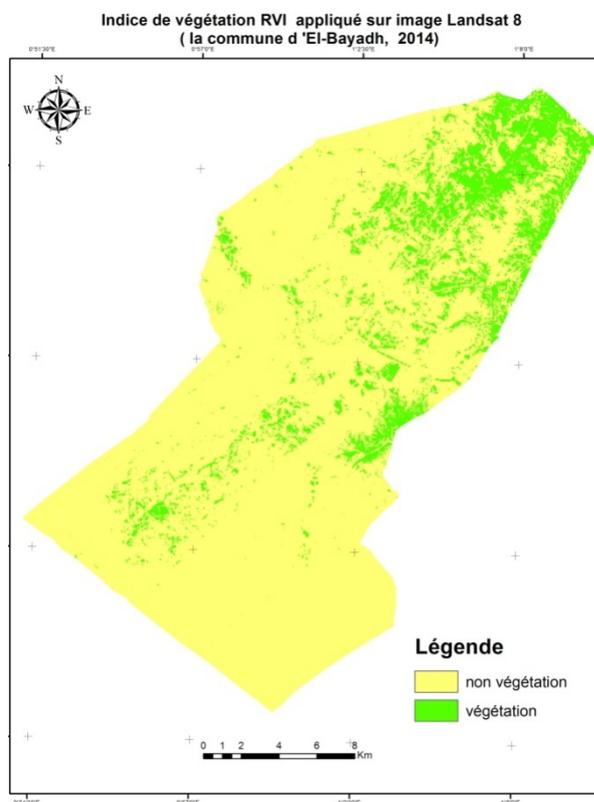
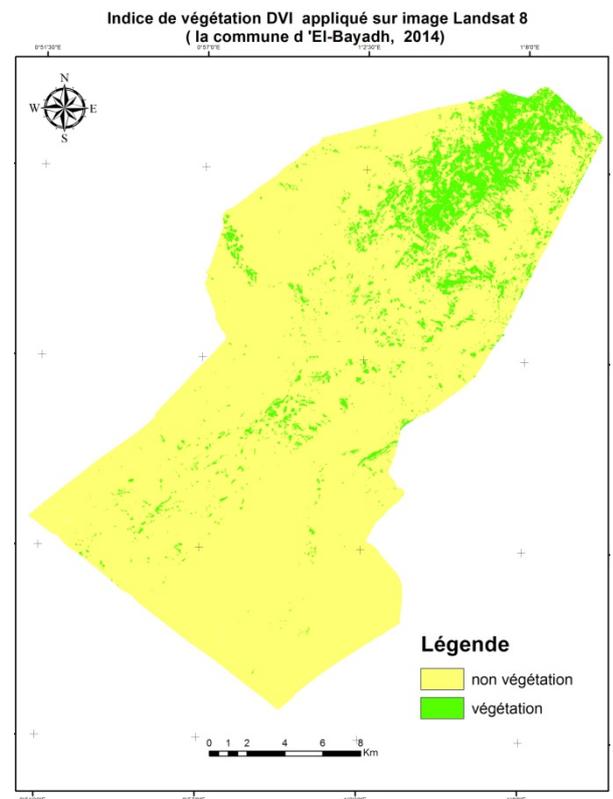
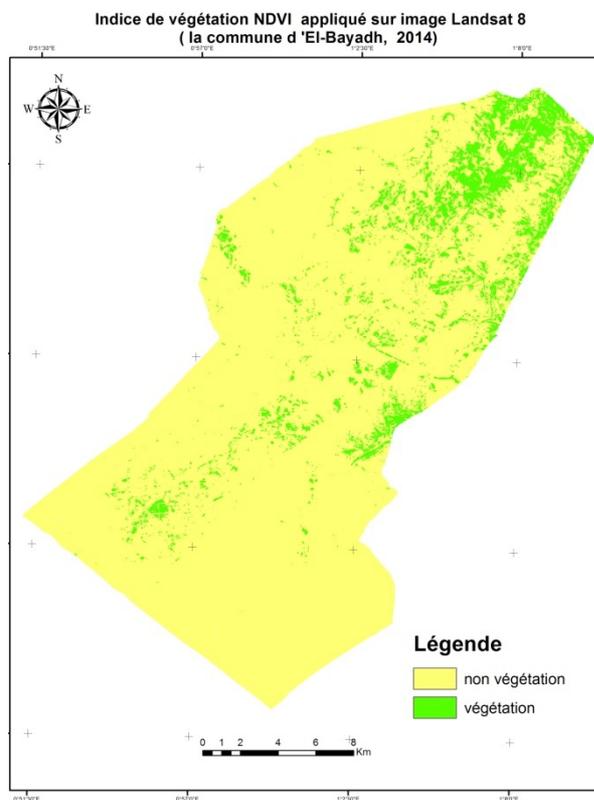


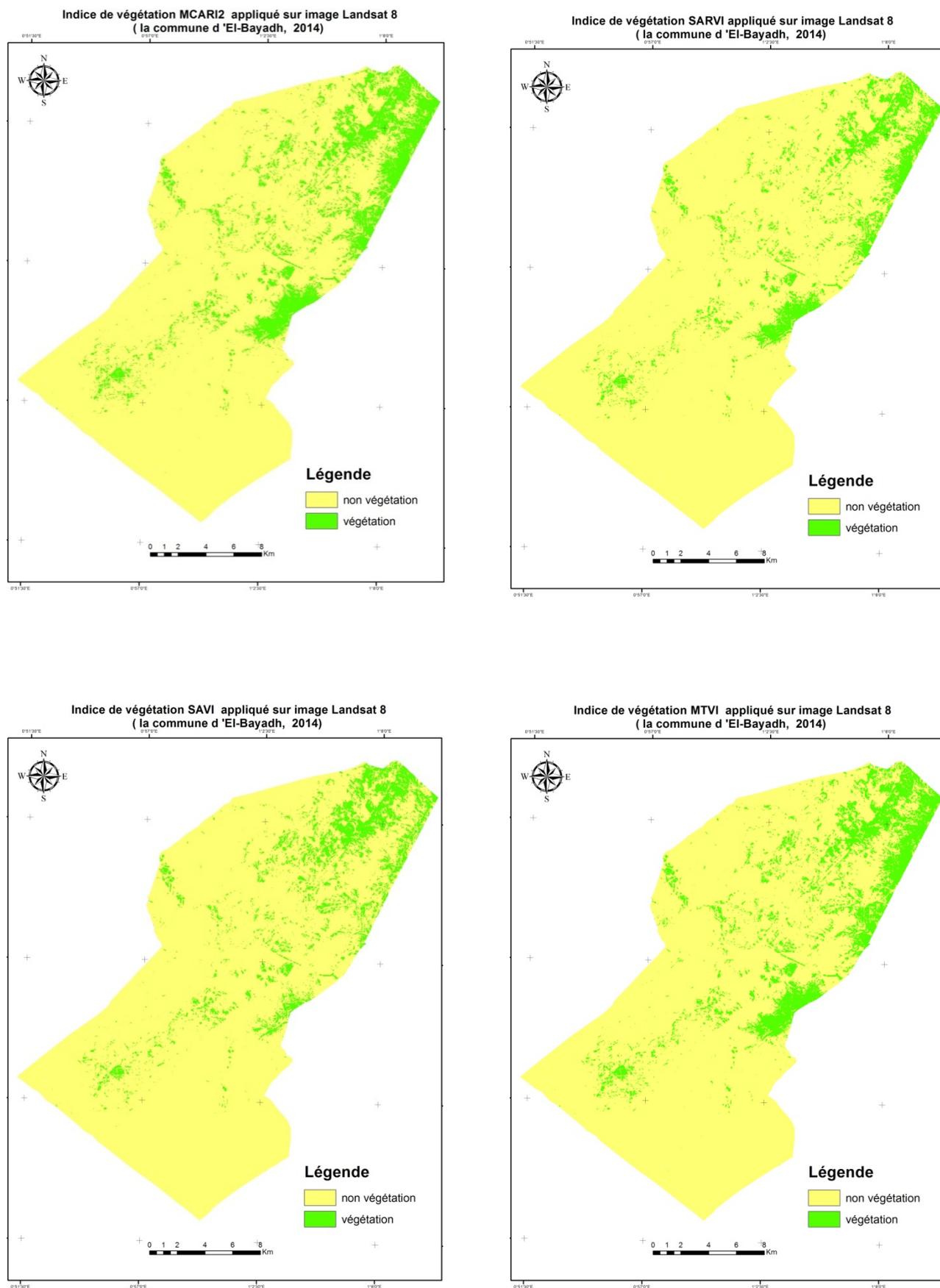
**Figure 96.** Organigramme des étapes pratiques des différents traitements

### 5.3.1. Premier groupe (LANDSAT8)

Notre objectif est d'étudier les indices de végétation sur l'image Spot5, mais nous avons appliqué ce test de premier groupe –sur l'image Landast8- afin d'orienter les utilisateurs de ce type d'image à l'indice le plus efficace. Les indices que nous avons sélectionné sont :

**NDVI, DVI, RVI, MCARI2, SAVI, MSAVI2, MTVI, et SARVI.** Les résultats obtenus sont présentés sous forme de cartes.

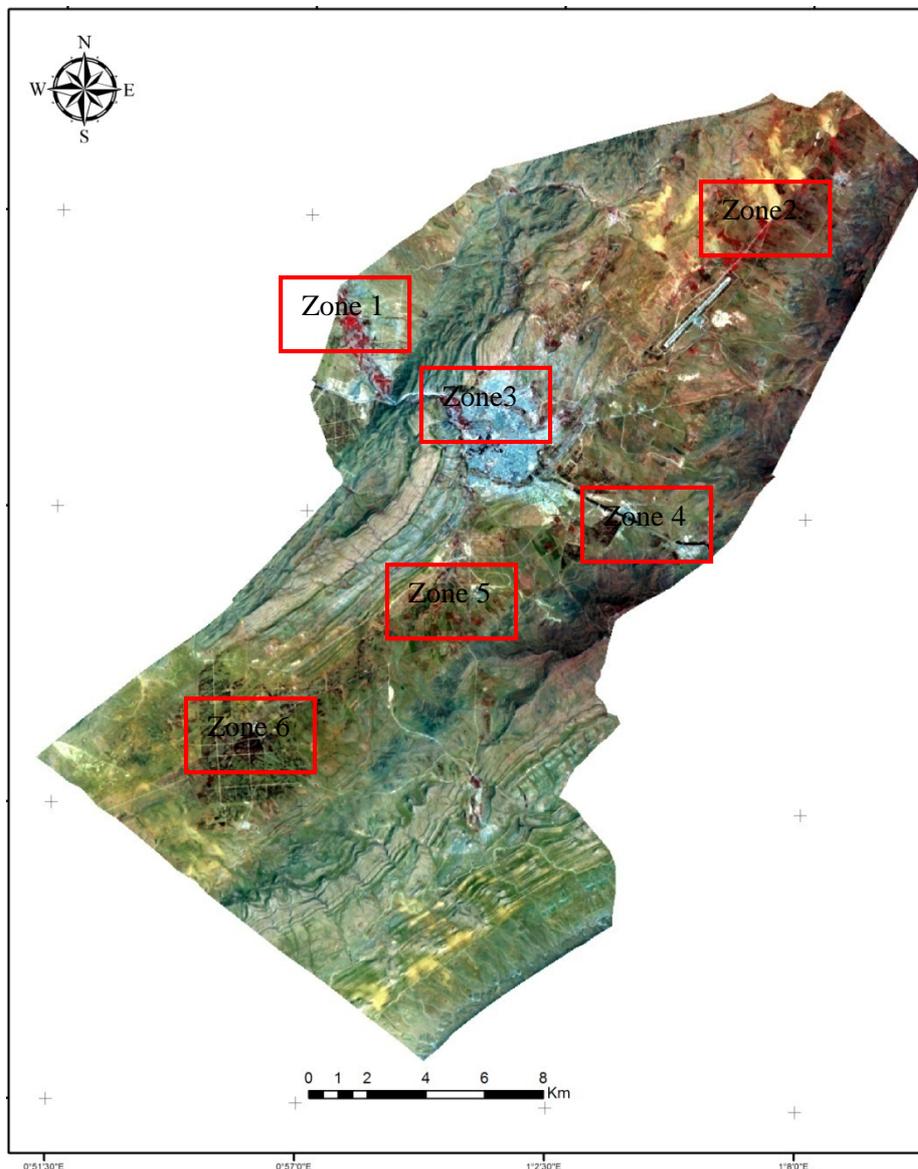




**Figure 97.**Cartes des indices de végétation appliqués sur l'image LANDSAT 8 de la commune d'El-Bayadh

L'étude comparative a été effectuée, entre les indices de végétation pour arriver à un résultat ; on se basant sur des échantillons ou bien des zones de testes, ces zones présentent des zones végétales de la commune d'El-Bayadh :

- Zone1 : végétation à côté du Oued El-Biod
- Zone2 : végétation dans une agglomération
- Zone3 : végétation autour de la ville d'El-Bayadh (barrage vert)
- Zone 4 : végétation à côté de la route nationale, appartient au barrage vert.
- Zone5 : petites parcelles agricoles
- Zone6: grandes parcelles agricoles



**Figure 98.** L'image LANDSAT 8 de la commune d'El-Bayadh avec les zones de tests

### 5.3.2. Analyse des résultats du premier groupe

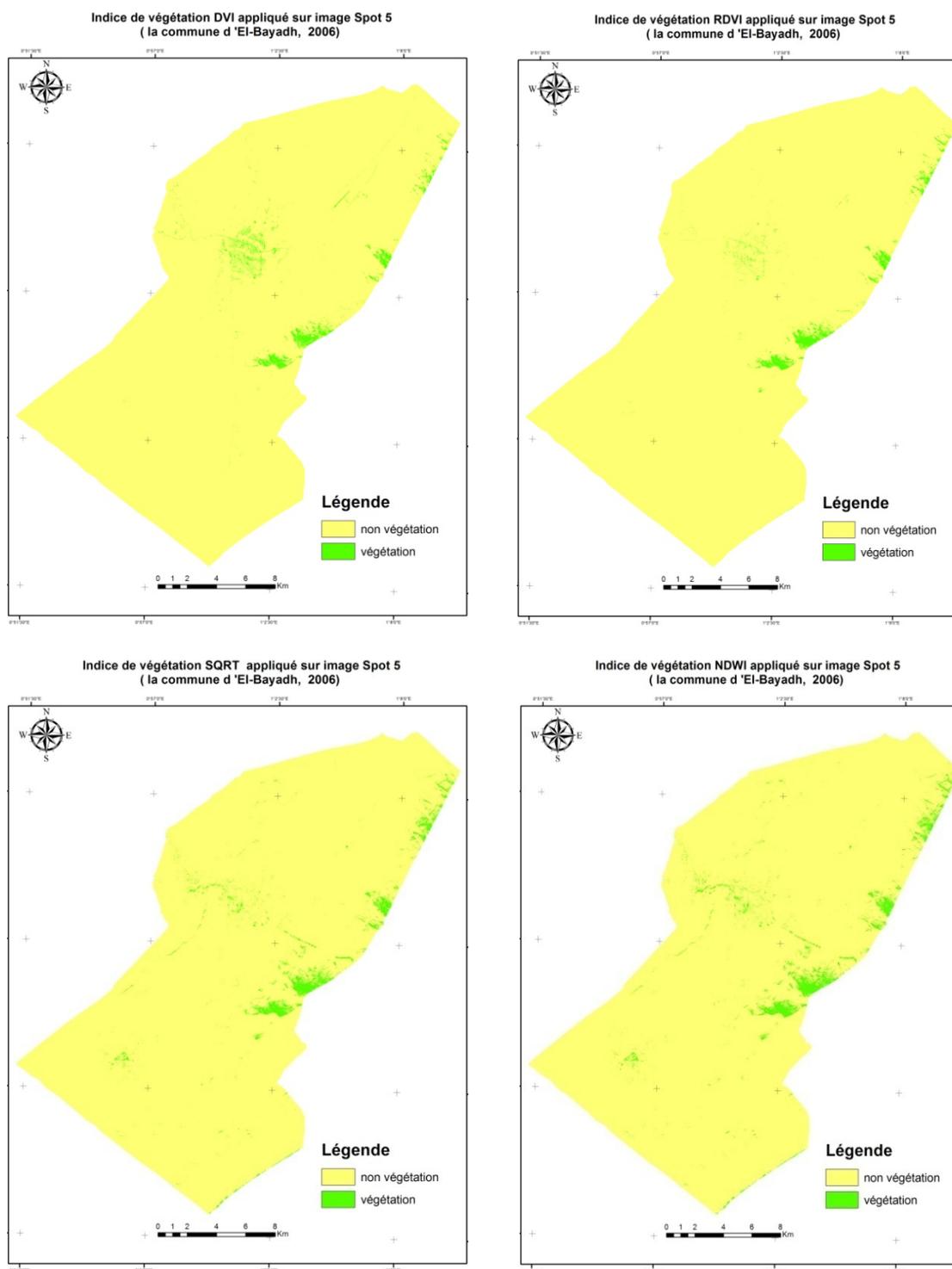
Après l'interprétation visuelle des différents indices, avec l'image brute de LANDSAT 8, on peut tirer un ensemble de remarques:

- L'indice NDVI : une présentation assez précise de la végétation de la zone 1, la zone 4, la zone 5 et la zone 6, par contre une mauvaise représentation, de la végétation, dans la zone 3, une confusion dans la zone 2 et à coté du bas de la montagne (au dessous de la zone 4 avec l'ombre).
- L'indice SAVI : comme NDVI dans toutes les zones, avec une diminution dans le taux de confusion.
- L'indice SARVI : une présentation assez précise de la végétation de la zone 1, la zone 4, la zone 6, par contre une mauvaise représentation de la végétation dans la zone 3, une confusion dans la zone 2, la zone 5 et à coté du bas de la montagne (au dessous de la zone 4 avec l'ombre).
- L'indice RVI : presque comme SARVI, avec une augmentation dans le taux de confusion dans toutes les zones.
- L'indice DVI : une mauvaise présentation de la végétation dans toutes les zones, sauf la zone 1, mais l'avantage de cet indice est qu'il n'y a pas de confusion avec l'ombre.
- Concernant les indices restants MCARI2, MSAVI2 et MTVI: une mauvaise présentation de la végétation dans toutes les zones, avec un taux de confusion élevé, mais on remarque que ces indices présentent la végétation dans la zone 3 mieux que ses prédécesseurs. Une trace du périmètre de la ville d'El-Bayadh correspond au barrage vert, entoure la ville.

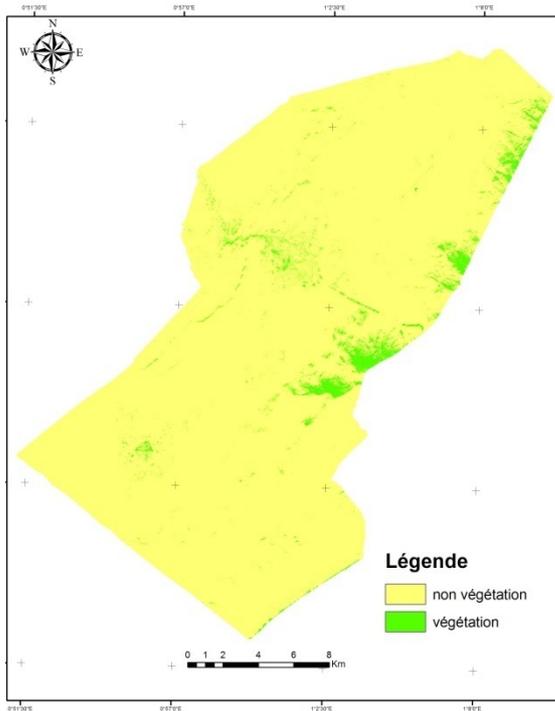
Après cette analyse, on peut dire que les indices NDVI et SAVI sont les mieux représentatifs -comparé aux autres- de la végétation dans notre zone d'étude, avec l'utilisation des images de type Landast 8. La contrainte auquel nous étions confrontés, c'est la présentation de la végétation en milieu urbain. Cette brève étude peut aider les utilisateurs des images de même type (résolution) dans des zones similaires à la notre (zone steppique). Cependant notre but est de cerner la végétation à grande échelle, notamment avec l'image de haute résolution spatiale, type Spot 5. Donc la prochaine étape de notre organigramme c'est l'application des indices de végétation sur l'image Spot 5, dans notre zone d'étude.

### 5.3.3. Deuxième groupe (SPOT5)

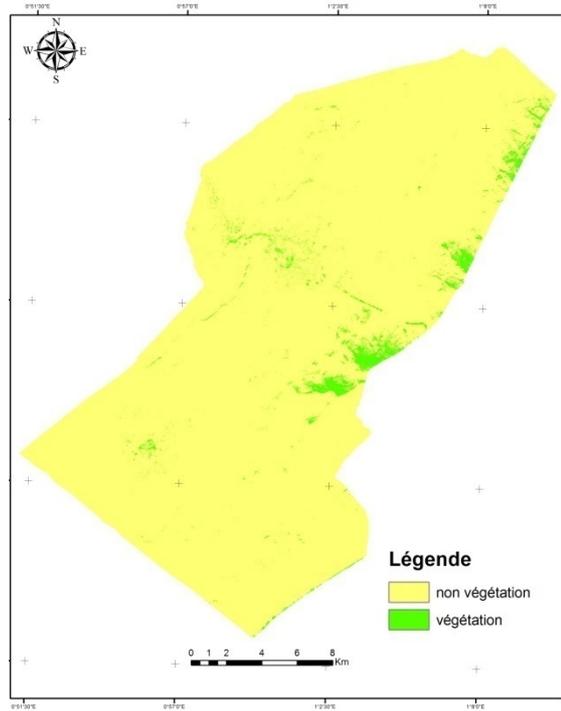
Les indices que nous avons sélectionnés dans ce groupe sont : NDVI, DVI, MCARI2, MSAVI2, MTVI2, NDGI, NDSII, NDWI, RDVI, SARVI, SAVI, SQRT, TNDVI, et WV-VI . Les résultats obtenus sont présentés sous forme de cartes :



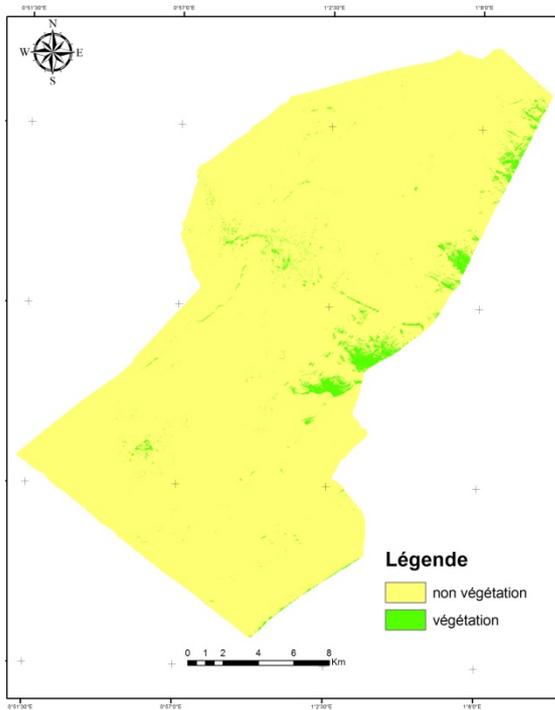
Indice de végétation TNDVI appliqué sur image Spot 5  
(la commune d 'El-Bayadh, 2006)



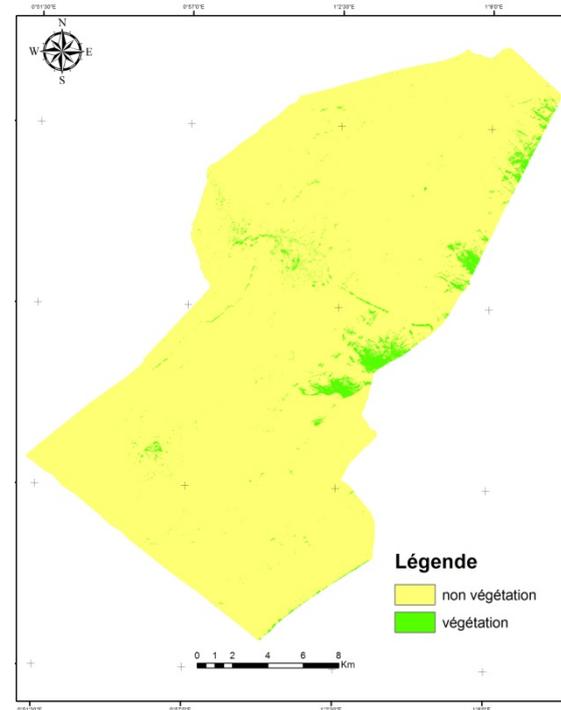
Indice de végétation WV-VI appliqué sur image Spot 5  
(la commune d 'El-Bayadh, 2006)

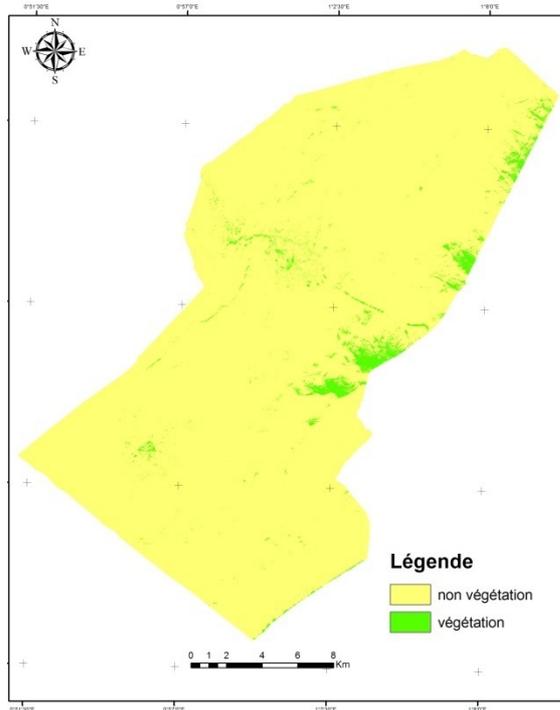
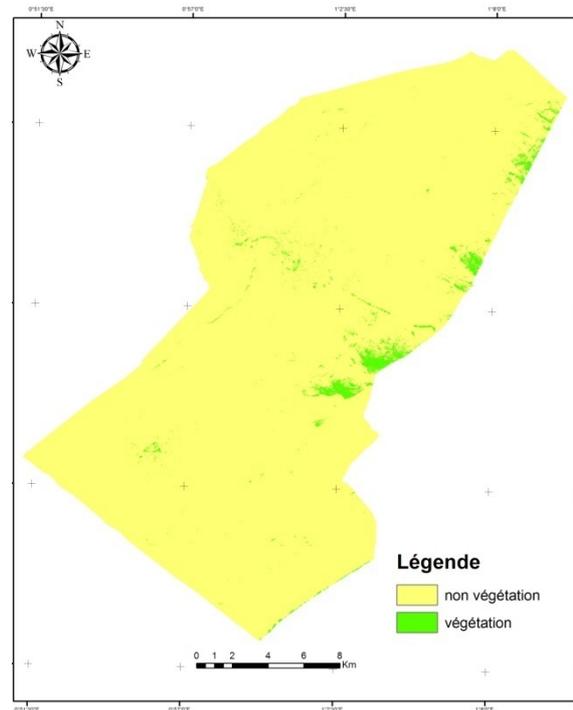
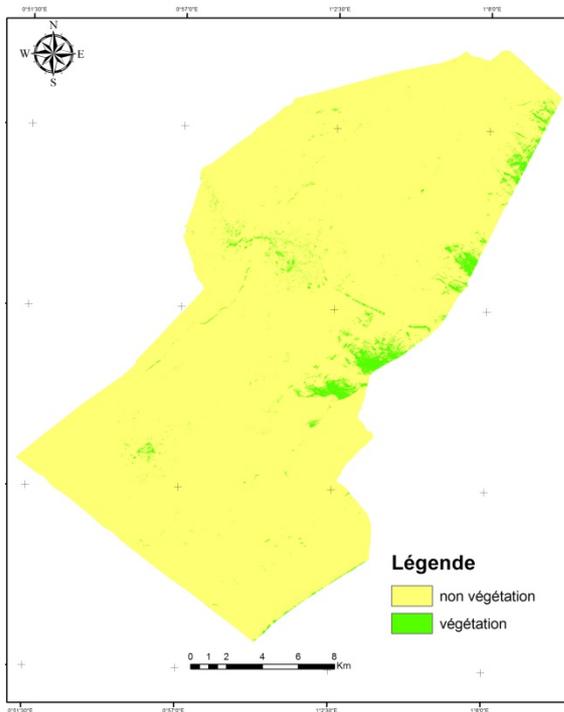
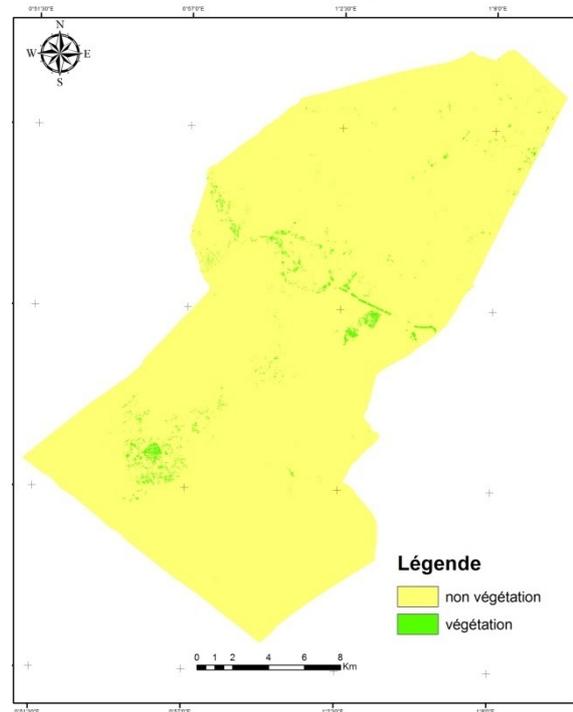


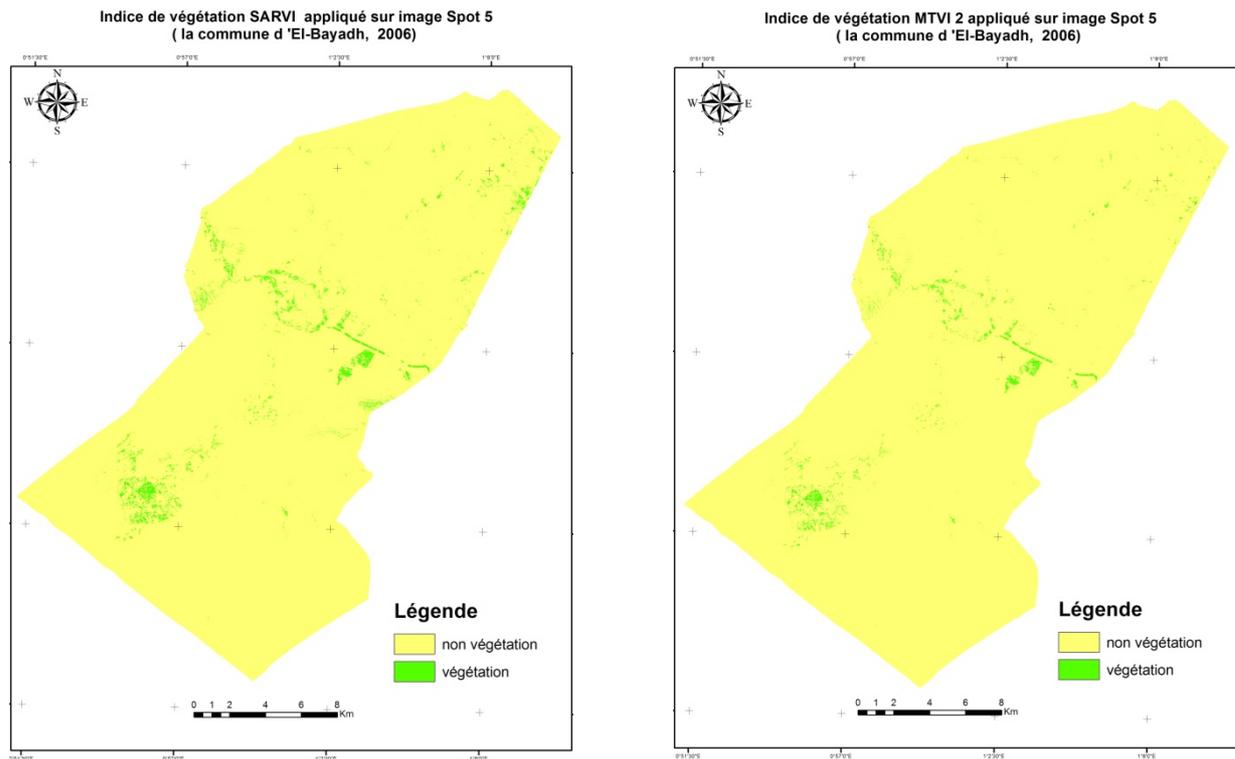
Indice de végétation NDGI appliqué sur image Spot 5  
(la commune d 'El-Bayadh, 2006)



Indice de végétation NDSII2 appliqué sur image Spot 5  
(la commune d 'El-Bayadh, 2006)



Indice de végétation NDVI appliqué sur image Spot 5  
(la commune d'El-Bayadh, 2006)Indice de végétation MSAVI2 appliqué sur image Spot 5  
(la commune d'El-Bayadh, 2006)Indice de végétation SAVI appliqué sur image Spot 5  
(la commune d'El-Bayadh, 2006)Indice de végétation MCARI 2 appliqué sur image Spot 5  
(la commune d'El-Bayadh, 2006)



**Figure 99.** Cartes des indices de végétation appliqués sur l'image SPOT 5 de la commune d'El-Bayadh

#### 5.3.4. Analyse des résultats de deuxième groupe

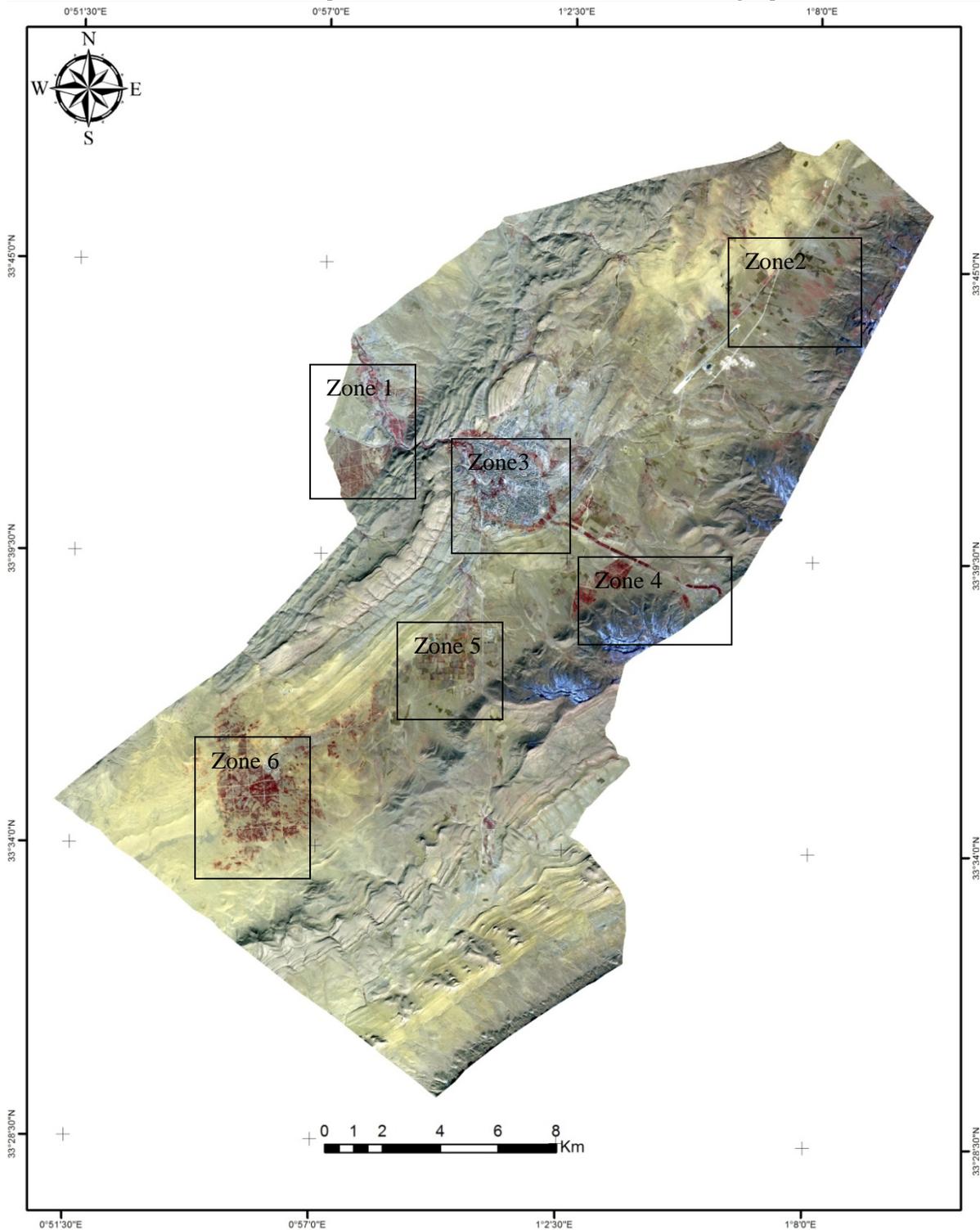
On se basant sur le même principe effectué sur le premier groupe dans l'étude comparative, avec les mêmes zones test, mais cette fois-ici nous prendrons en considération l'échelle.

La photo interprétation peut grouper ces indices en trois séries, en fonction de leur capacité de cerner la végétation dans les six zones test :

La première regroupe les indices de mauvaise représentation, on peut citer DVI, et RDVI. Ces deux derniers n'ont pas pu montrer la végétation dans la majorité des zones (voir figure 99): zone 1, zone 2, zone 5, zone 6, zone 4 une confusion avec la neige. Et dans la zone 3, on remarque une confusion avec les routes.

La deuxième série contient les indices de précision moyenne, il s'agit de : SQRT, NDWI, TNDVI, WV-VI, NDGI, NDSII, NDVI, MSAVI2, et SAVI.

Ces indices présentent la végétation de : la zone 1 et la zone 4 avec une confusion avec le sol et la neige. Pour la zone 3, une légère confusion avec les routes, et dans la zone 6 on enregistre un taux de confusion élevé avec le sol. La végétation dans les zones 2 et 5 est presque inexistante.



**Figure 100.** L'image SPOT5 de la commune d'El-Bayadh avec les zones de testes

Les trois indices qui restent sont les plus efficaces, en termes de présentation de la végétation dans les zones test. Le taux de confusion avec le sol est minimum, et pas de confusion avec l'ombre ; ces indices sont : MTVI2, MCARI2, et SARVI.

On peut dire aussi que ce dernier regroupe les indices de bonne représentativité de la végétation en milieu urbain (la zone 3).

### **5.3.5. Synthèse**

Sont comparés dans cette partie, les indices les plus reconnus et les plus utilisés, basés sur les paramètres de la droits des sols ou des données externes, tels que le SAVI, SARVI, et MSAVI. Cette comparaison nous a permis de déduire que les indices MCARI2, MTVI et SARVI sont les plus performants en les comparant avec le NDVI.

La confirmation de ces résultats par photo interprétation nous a donné une idée générale sur la capacité de ces indices, mais pour atteindre les résultats les plus précis et orienter notre choix sur l'indice optimal, en fonction de type de végétation, nous avons sélectionné des sections parcellaires en chaque zone et comparer les résultats de ces indices en terme de superficie de la végétation.

À la lumière de cette comparaison des trois indices cités précédemment, une idée est dégagée en ce qui concerne les indices les plus performants, à partir des résultats et des interprétations de chacun de ces indices en rapport avec le potentiel de détection du couvert végétal. L'étude qualitative nous permis de juger l'indice SARVI plus appropriés à la caractérisation de plusieurs types de végétation steppique dans notre zone d'étude.

### **5.4. Problématique de classification des images satellitaires à très haute résolution spatiale**

La classification d'images peut être définie comme la division d'une image en différentes classes pour grouper dans une seule d'elles les pixels ayant des propriétés spectrales semblables. La séparation de ces classes se fait habituellement à l'aide de méthodes statistiques ou géométriques; les cibles sont très différentes spectralement, mais pas très précises quand les cibles ont des caractéristiques spectrales presque semblables. Pour bien appliquer ces méthodes de classification des images, il est indispensable de connaître parfaitement les conditions de surface des sites représentatifs de la zone à cartographier.

L'arrivée de l'imagerie satellitaire à très haute résolution spatiale (THRS), ouvre de nouvelles applications en télédétection. Elle permet de favoriser la mise à jour des bases de données géographiques, ce qui est primordial en milieu urbain et rural. De telles bases de données sont extrêmement importantes dans les pays en développement où l'urbanisation progresse rapidement et où les sources de données conventionnelles sont imprécises, difficiles à mettre à jour et d'accès limité.

Le milieu urbain est extrêmement hétérogène tant au niveau spatial qu'au niveau spectral. La complexité spatiale se manifeste par la densité et la diversité des objets s'y trouvant. Au niveau spectral, la variabilité spectrale à l'intérieur d'une catégorie d'objets (ou d'une classe d'occupation du sol) augmente quand la taille de pixel est réduite, comme dans le cas des capteurs à THRS. Par exemple, il devient possible de distinguer les matériaux avec lesquels les toits sont construits grâce à leurs couleurs, mais la confusion entre eux et les routes aura toujours lieu. Cependant, les caractéristiques spectrales des capteurs THRS actuels sont insuffisantes pour la cartographie du milieu urbain, même avec une quantité importante d'informations spectrales obtenues à partir des bandes d'un capteur hyper-spectral, et la classification par pixels n'est pas capable de séparer les classes d'occupation des sols urbains. Cela confirme que l'information spectrale à elle seule, y compris celle obtenue avec des images HRS, est insuffisante pour discriminer les objets urbains (Thi-Thanh et Dong-Chen, 2009).

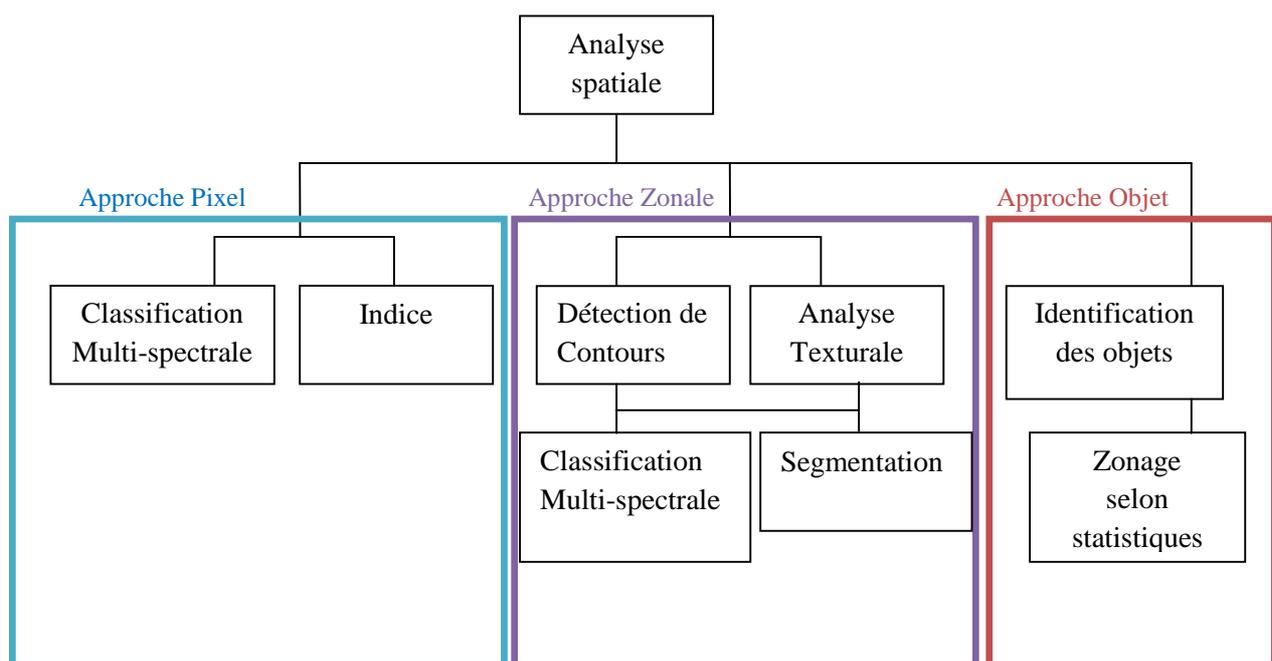
De nouvelles études se sont donc penchées sur une autre approche appelée « orientée objet », qui intègre d'autres types d'informations que les signaux spectraux et qui est basée sur la création d'objets d'image. Plusieurs auteurs montrent que cette approche donne de meilleures cartographies des objets urbains (Blaser, 1992 ; Thi-hanh et Dong-Chen, 2009).

**L'approche orientée objet :** Elle comprend deux étapes principales: la création des objets images, qui est appelée segmentation, et leur classification. La segmentation vise à créer des zones individuellement définies en termes d'homogénéité spectrale, texturale et spatiale (la simplicité géométrique du contour des segments) ou selon des catégories thématiques spécifiques à l'étude. Une fois les objets définis, la classification vise à les regrouper à l'aide d'attributs spectraux (ex : moyenne des niveaux de gris de l'objet), spatiaux (ex : taille de l'objet, critère de forme), structuraux (relation spatiale entre les objets) ou d'autres variables géographiques (ex : altitude, pente, ou densité de population). Le résultat final de l'analyse de l'image dépend grandement de la qualité de la segmentation (Thi hanh et Dong-Chen.2009). La segmentation attire ainsi l'attention de plusieurs chercheurs. Au cours des 40 dernières années, environ 4300 algorithmes de segmentation ont été développés et il existe différentes façons de classer ces algorithmes en catégories (Thi hanh et Dong-Chen.2009), qui peuvent être divisés en trois groupes: détection des régions, détection des contours (ou arêtes) et méthodes hybrides.

Le premier groupe, détection des régions, cherche à identifier des objets qui partagent certaine similarité des propriétés de niveaux de gris, de couleur ou de texture. Les méthodes comme la croissance de région, le seuillage (threshold) multi-niveau ou la décomposition-fusion (split-merge) font partie de ce groupe. Le deuxième groupe, détection des contours, est basé sur la discontinuité des propriétés. La morphologie mathématique, notamment la transformation de bassin-versant ou l'extraction du squelette appartenant à ce groupe de méthodes. Finalement, le troisième groupe, méthode hybride (ou coopérative) de deux groupes de méthodes précédentes, se basent sur les lignes de contour pour faciliter le classement et utilisent l'intensité des pixels pour affiner les lignes de contour des objets à séparer. (Thi-Thanh-Hiên et al .2009).

BLASER décrit mieux l'analyse numérique des images et l'avantage de l'approche orientée objet, il met en évidence la double hétérogénéité spectrale et spatiale du milieu bâti que nous devons analyser pour déterminer les classes. Il explique comment l'hétérogénéité spectrale provient notamment des différents objets qui composent les surfaces bâties, mais que nous retrouvons, en proportions différentes, dans l'ensemble des classes considérées.

L'hétérogénéité est liée à la distribution spatiale et à la forme géométrique des objets. Pour extraire les classes, différentes méthodes de traitement d'images sont proposées, basées sur une approche pixel, une approche zonale ou une approche par objet (Blaser, 1992).



**Figure 101.**Méthodes d'extraction de classes selon Blaser

**L'approche pixel** n'est utilisable que dans le cas où les surfaces à extraire représentent les mêmes caractéristiques spectrales dans l'ensemble de la zone. Or, comme le milieu construit est un milieu spectralement et spatialement hétérogène, nous ne trouvons pas de classes de bâti où les valeurs radiométriques sont représentées de façon homogène, sauf dans les surfaces entièrement construites. Parmi les approches pixel, nous distinguons la classification multi-spectrale et le calcul. Les méthodes de classification multi-spectrale devront être écartées d'emblée pour étudier un tel milieu hétérogène. En fait les classes de construit, composées du même types d'objets, se chevauchent dans l'espace spectral. De même pour le calcul d'indices, un indice homogène ne peut être déterminé pour une surface construite par une approche pixel (Blaser, 1992).

**L'approche zonale**, quant à elle, est basée sur l'utilisation d'une fenêtre mobile. Une surface bâtie est définie par une délimitation spatiale dans l'espace géographique, comportant partout les mêmes caractéristiques. La délimitation spatiale n'est pas connue a priori et elle doit être intégrée à l'analyse du milieu construit. Si a priori les critères ne sont pas définis par rapport aux limites entre deux surfaces bâties en densités différentes, la fenêtre de traitement chevauche très souvent les deux surfaces. L'image ainsi produite apparaît floue suite à un lissage, ou présente un effet auréolaire suite au calcul d'un indice de texture. Ainsi aux limites, y'auras des mixels, dont l'information radiométrique originale ne peut plus être récupérée. Les surfaces bâties ont des tailles et des formes variables. La fenêtre d'auscultation doit donc pouvoir s'adapter à leur géométrie. Pourtant certaines méthodes de zonage n'admettent que des fenêtres de tailles fixes, carrées ou rectangulaires.

Les contours peuvent être déterminés explicitement par prétraitement, pour créer d'abord une image contenant les contours. Le problème consiste à extraire les contours. Si deux surfaces bâties adjacentes sont homogènes, mais spectralement bien distinctes, il suffit d'un simple critère de gradient pour extraire les contours. Or entre un milieu homogène et un milieu hétérogène, ainsi qu'entre deux milieux hétérogènes de densités de bâti différentes, le critère du gradient ne peut plus être appliqué. En fait, l'amplitude du gradient entre la luminance d'un du barrage vert et la luminance d'une toiture de maison peut être suffisamment élevée pour identifier dans un canal donné. Pour éviter ce genre de problème, d'autres critères doivent être utilisés pour extraire les contours, soit des critères basés sur l'information spectrale et spatiale.

Pour calculer un indice statistique de premier ordre, tel qu'une moyenne, ou pour analyser un indice de texture basé sur l'auto-corrélation, les limites entre surfaces bâties doivent être prises en compte.

**L'approche objet** alors, n'est possible qu'en haute résolution spatiale, même si les limites exactes des objets, ainsi que leurs formes, ne peuvent être identifiées ou quantifiées. Les classes peuvent alors être caractérisées à travers les statistiques sur le nombre et les types d'objets, contenus dans chaque classe. Cette approche exige aussi le recours à une fenêtre d'auscultation. A nouveau, dans les situations où la fenêtre chevauche sur deux surfaces bâties de densités différentes, l'appartenance d'une des surfaces à une classe de bâti, par exemple, ne peut pas être déterminée. Ceci engendre une bande de pixels non-classés entre les deux surfaces, égale à la taille de la fenêtre (Blaser, 1992).

Dans les sections qui suivent, l'approche Orienté-Objet sera présentée avec plus de détails; la segmentation, et les indices qui favorisent cette classification, permettant d'avoir un résultat de classification Orienté-Objet adéquat pour notre étude.

À partir de l'image SPOT5 l'étude de la classification Orienté-Objet, a été réalisée sur l'ensemble de territoire de la ville d'El-Bayadh (un extrait d'image SPOT 5, afin de maîtriser les règles de connaissance) qui présente un paysage steppique avec la présence des zones urbaines, la végétation et les routes.

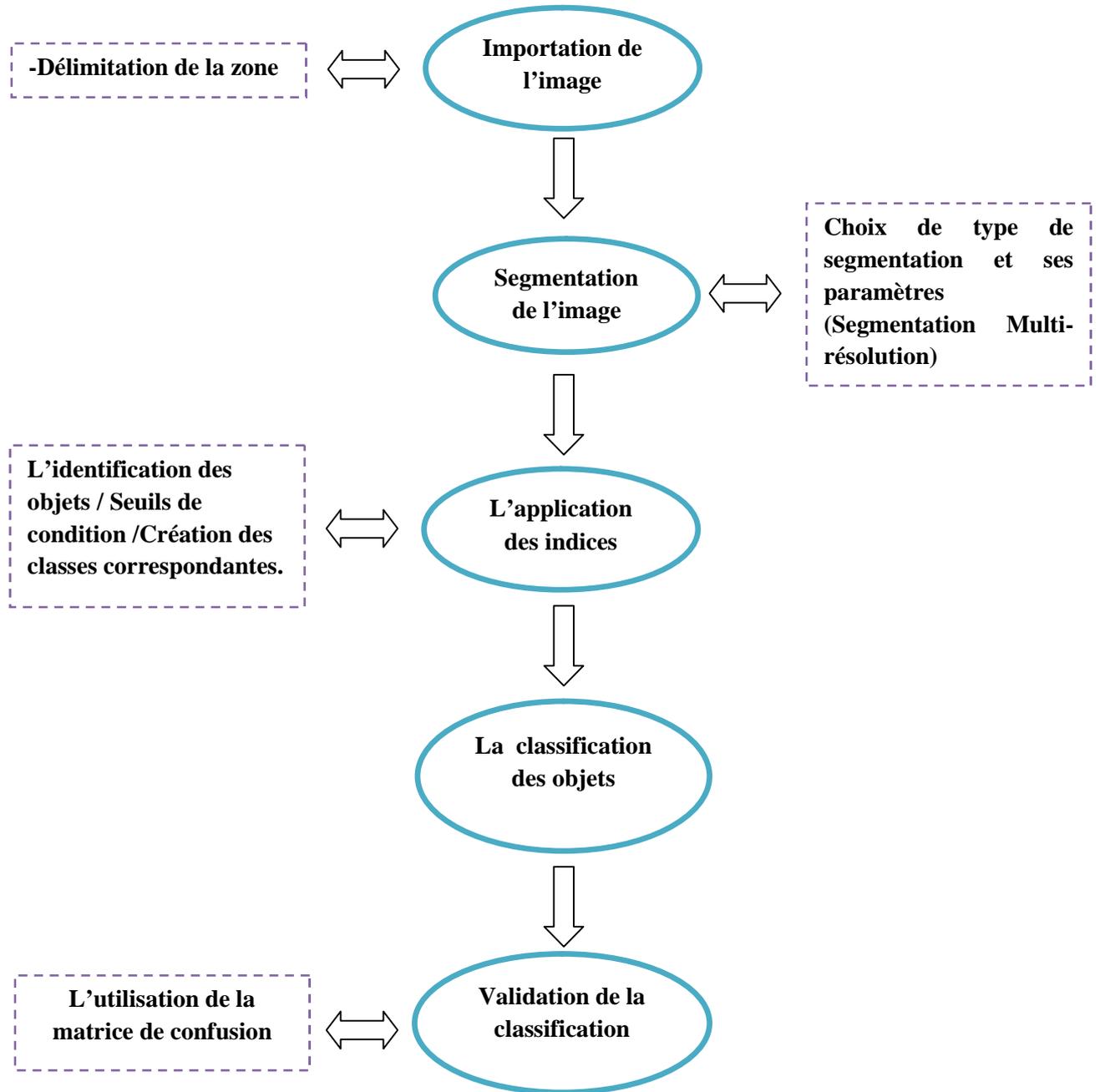


**Figure 102.** La ville d'El-Bayadh (extrait de l'image SPOT 5)

L'approche présentée ici est basée sur la méthode descendante, dont laquelle nous tâtonnons sur les paramètres des algorithmes de segmentation afin d'extraire les propriétés des objets et appliquer la classification adéquate (c'est le cas d'une approche basée sur des règles de connaissance). Cette approche sera utilisée pour identifier les bâtiments, les routes, la végétation, les sols nus, les ombres, d'un environnement urbain en voisinage d'une zone steppe. Il s'agit d'une classification très complexe, complexité relevée par la présence des objets divers, naturels et artificiels. En outre, l'objet bâtiment dans un milieu urbain, n'a pas la même forme géométrique ni la même réponse spectrale. Ainsi que pour l'objet route, on observe parfois une confusion au niveau de la texture entre les chemins (piste, sols nus) et les routes tel qu'on connaît (chaussée).

#### **5.4.1. L'approche Orienté-objet démarche méthodologique**

Contrairement à l'approche classique «pixel à pixel», la démarche Orientée-objet ne traite pas le pixel de manière isolée, mais en regroupant des pixels au sein d'objets interprétés en se basant sur leurs valeurs spectrales, leur taille, leur forme, leur contexte. Dans notre étude, le logiciel utilisé pour la classification Orientée-objet de l'image SPOT5 est eCognition developer V9. Il impose un traitement en trois principales étapes d'où, après l'importation des données vectorielles (si disponible) et matricielles prétraitées (corrections géométriques, radiométriques, géo-référencement) au sein d'un projet, l'image fait l'objet d'une segmentation et d'une classification. L'organigramme général suivant présente les étapes de notre approche proposée.



**Figure 103.** Organigramme général de l'approche Orientée-objet appliqué

#### **5.4.1.1. Importation des données**

La première étape a pour but de préparer les données mobilisées lors de la classification. Le logiciel eCognition prend en compte le géo-référencement des données et peut gérer des données spectrales du type ortho-photographies ou images satellitaires, mais également des couches thématiques en format vecteur et raster porteuses d'informations complémentaires pour aider à la classification.

#### **5.4.1.2. Segmentation de l'image**

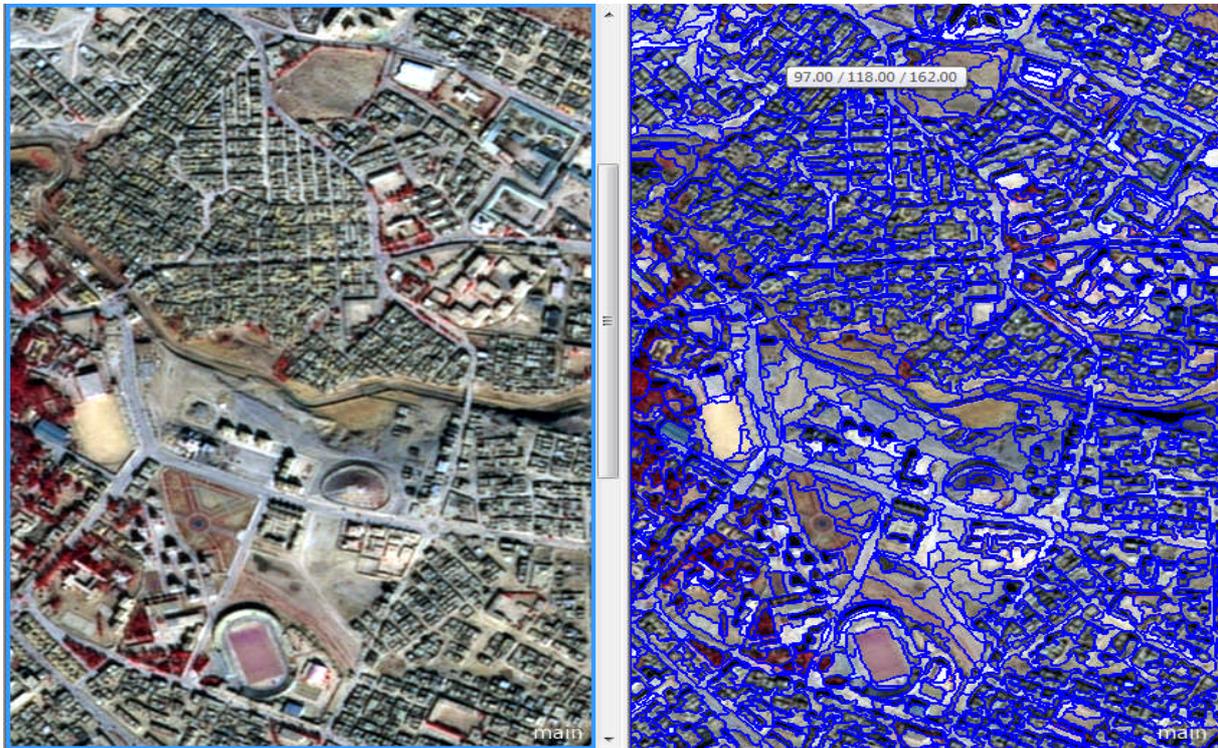
Cette étape consiste à effectuer une segmentation de l'image pour générer des objets, Au cours des itérations, les pixels sont progressivement fusionnés à leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands, en respectant un seuil d'hétérogénéité prédéfini. Quand ce seuil est atteint, le processus de fusion s'arrête.

La procédure permet d'aboutir à la production d'objets adjacents de taille et de forme similaires bien répartis dans l'espace. Nous avons définis le seuil adéquat d'hétérogénéité (après plusieurs essais) qui est calculé en fonction de plusieurs paramètres tels que la couleur, qui renvoie à la valeur spectrale des objets, et la forme, qui correspond à la texture des objets auxquels on peut attribuer un poids relatif.

Le critère de forme se subdivise en deux autres critères: le lissage, qui permet d'optimiser le résultat de la segmentation en fonction de la bordure lisse des objets, et la compacité des objets. Le critère de taille permet au processus de segmentation de s'arrêter. Plus ce paramètre est élevé, plus les objets sont grands.

On peut faire varier le poids des différents canaux, spectraux ou thématiques, au sein de la segmentation en fonction de leur importance ou pertinence pour le résultat final (Benz et al, 2004) ce qui permet une bonne identification. eCognition propose quatre types d'algorithmes pour la segmentation. Notre choix s'est porté sur la segmentation multi-résolution qui autorise d'une part une analyse multi-échelle de l'image et d'autre part l'utilisation de données de source et de nature diverses (Baatz & Schäpe, 2000). La segmentation multi-résolution permet de transcrire les dépendances hiérarchiques que l'on peut observer dans le monde réel, et de constituer une information supplémentaire pour l'identification d'objets et la classification d'une image. En effet, chaque objet créé «connaît» son voisinage, son contexte.

La segmentation multi-résolution permet également de traiter simultanément des données de source, de nature et de résolution différentes. Cela nous permet de classifier les objets selon le critère de voisinage avec d'autres classes. Après plusieurs essais de segmentation multi-résolution, nous parviendrons à trouver les paramètres parfaits présentant des objets semblables aux objets réels présents dans l'image. La figure 104 présente le résultat.



**Figure 104.** Le processus de segmentation

#### 5.4.1.3. L'identification des objets par l'application des indices

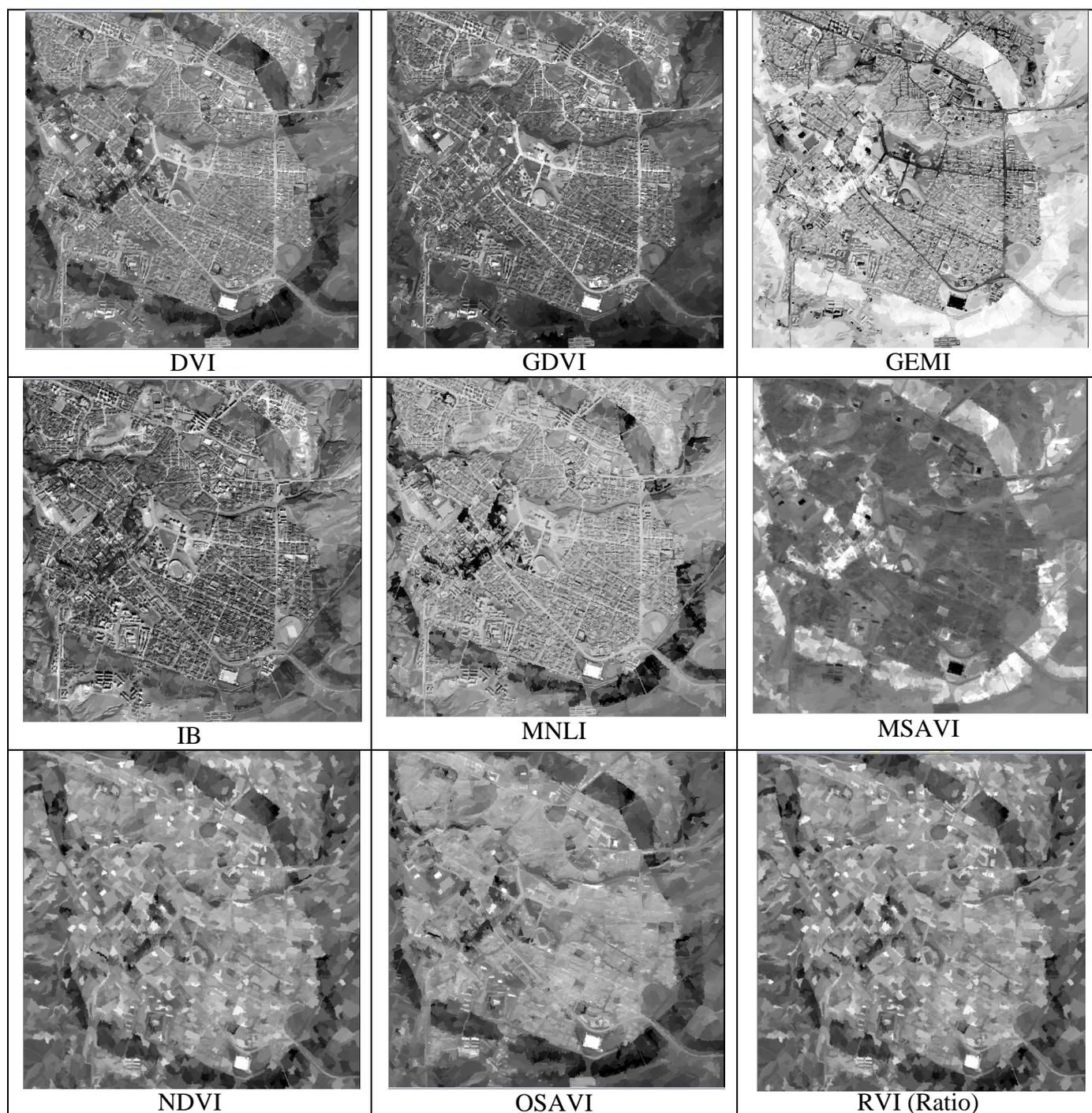
Afin de classifier les objets obtenus, tout d'abord, nous avons à utiliser des indices pour les identifier et faire la distinction. Les indices disponibles sont classés selon leur nature, notamment de radiométrie, de forme, de texture, de relation de voisinage (contexte), de relation avec la classification, et y'en a les indices personnalisés que nous avons introduit (NDVI, SAVI, etc...).

Tableau 35. Extrait des indices utilisés pour l'identification des objets.

Les indices personnalisés	Les indices de texture
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vector features</li> <li>Object features <ul style="list-style-type: none"> <li>Customized <ul style="list-style-type: none"> <li>Create new 'Arithmetic Feature'</li> <li>Create new 'Relational Feature'</li> <li>Arithmetic Feature 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>DVI</li> <li>GDVI</li> <li>GEMI</li> <li>IB</li> <li>MNLI</li> <li>MSAVI</li> <li>NDVI</li> <li>OSAVI</li> <li>RATIO</li> <li>SAVI</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vector features</li> <li>Object features <ul style="list-style-type: none"> <li>Customized <ul style="list-style-type: none"> <li>Type</li> <li>Layer Values</li> <li>Geometry</li> <li>Position</li> <li>Texture <ul style="list-style-type: none"> <li>Layer value texture based on sub-objects</li> <li>Shape texture based on sub-objects</li> <li>Texture after Haralick <ul style="list-style-type: none"> <li>GLCM Homogeneity</li> <li>GLCM Contrast</li> <li>GLCM Dissimilarity</li> <li>GLCM Entropy</li> <li>GLCM Ang. 2nd moment</li> <li>GLCM Mean</li> <li>GLCM StdDev</li> <li>GLCM Correlation</li> <li>GLDV Ang. 2nd moment</li> <li>GLDV Entropy</li> <li>GLDV Mean</li> <li>GLDV Contrast</li> <li>GLCM Homogeneity (quick 8/11)</li> <li>GLCM Contrast (quick 8/11)</li> <li>GLCM Dissimilarity (quick 8/11)</li> <li>GLCM Entropy (quick 8/11)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Les indices de géométrie	Les indices de forme
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vector features</li> <li>Object features <ul style="list-style-type: none"> <li>Customized <ul style="list-style-type: none"> <li>Type</li> <li>Layer Values</li> <li>Geometry <ul style="list-style-type: none"> <li>Extent <ul style="list-style-type: none"> <li>Area (Pxd)</li> <li>Border length (Pxd)</li> <li>Length (Pxd)</li> <li>Length/Thickness</li> <li>Length/Width</li> <li>Number of pixels</li> <li>Rel. Border to Image Border</li> <li>Thickness (Pxd)</li> <li>Volume (Pxd)</li> <li>Width (Pxd)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vector features</li> <li>Object features <ul style="list-style-type: none"> <li>Customized <ul style="list-style-type: none"> <li>Type</li> <li>Layer Values</li> <li>Geometry <ul style="list-style-type: none"> <li>Extent</li> <li>Shape <ul style="list-style-type: none"> <li>Asymmetry</li> <li>Border index</li> <li>Compactness</li> <li>Density</li> <li>Elliptic Fit</li> <li>Main direction</li> <li>Radius of largest enclosed ellipse</li> <li>Radius of smallest enclosing ellipse</li> <li>Rectangular Fit</li> <li>Roundness</li> <li>Shape index</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

Les indices introduits (transformations) suivants, sont parmi ceux qui ont été appliqués, afin de tester l'identification des objets, soit le DVI, GDVI, NDVI, GEMI, IB, MNLI, MSAVI, OSAVI, et le Ratio, Présentés dans le tableau 36.

Tableau 36. Test des indices introduits dans eCognition.



#### 5.4.1. 4. Classification de l'image

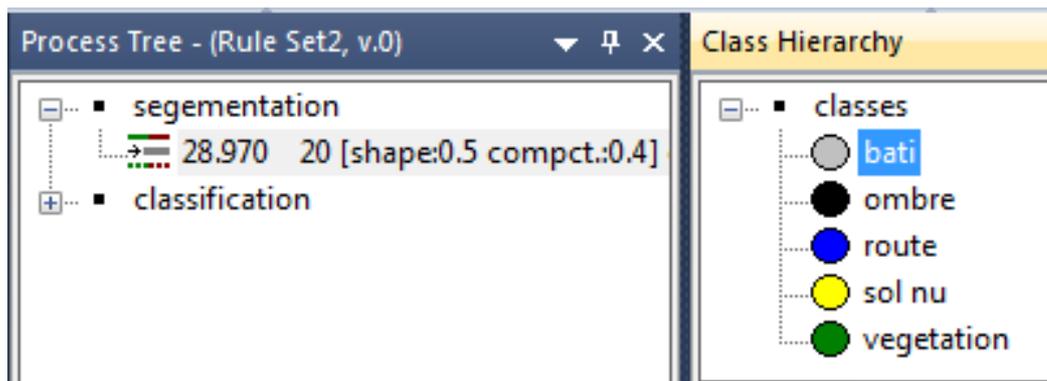
Le tableau 37 présente l'ensemble de règles de connaissance utilisées pour le processus de classification, l'identification des objets par chaque indice est faite par seuillage, qui peut être définis après plusieurs essais jusqu'à trouver le seuil qui identifie les objets de la même classe, cela peut être ensuite introduit à l'algorithme comme une condition, et comme ils sont

nombreux ( $\geq 70$ ), nous avons présenté ceux qui nous avaient servis à identifier des objets avec un minimum de confusion.

**Tableau 37. Les règles de connaissance utilisées.**

Classe	indices	condition	Remarque
<b>Végétation</b>	Cotumised: SARVI	Si SARVI >0	-Bonne détection de tout type de végétation -Manque de quelques objets Végétation en voisinage
<b>Bâti</b>	Texture: GLCM, Ang, 2 <sup>nd</sup> Moment, All direct°	Si GLCM < 0.05	-bonne détection du bâti -manques de quelques objets bâtis
<b>Bâti</b>	Texture : GLDV Entropy, all direct°	Si GLDV $\geq 3.38$	-récupération de quelques objets bâtis manqués
<b>Ombre</b>	Texture : GLCM Mean, all direct°	Si GLCM Mean < 60	-détection quasi-parfaite de l'objet Ombre
<b>Sol Nu</b>	Texture : GLCM Contrast, All direct°	Si GLCM Contrast < 55	-bonne détection des objets Sol Nu - peu d'objets Sol Nu manqués
<b>Route</b>	Texture : GLCM correlation, All Direct°	Si GLCM correlation $\leq 0.6$	-bonne détection de route -mauvaise distinction entre route et cours d'eau ou les lignes de crête
<b>Route</b>	Géométrie : Length/ Width	Si (Length/ Width) $\geq 5$	-Récupération des objets route ratés.

Après avoir introduit les indices, nous les avons appliqués un par un, pour identifier chaque objet et reconnaître sa classe, ensuite, la classification a fait l'objet d'une exécution en utilisant l'algorithme de classification « assign class » une fonction d'appartenance, qui permet de faire l'attribution de chaque objet identifié à sa classe correspondante basée sur les règles de connaissances. Les classes que nous avons pu identifier sont : végétation, sol nu, route, bâti, ombre, la figure 105 présente la hiérarchie des classes formées.



**Figure 105.** La hiérarchie des classes

Le résultat de ce processus se présente sous forme de zones colorées couvrant les objets sur la scène, les figures suivantes présentent le résultat de l'attribution de chaque objet à sa classe correspondante.



**Figure 106.** Classe Végétation

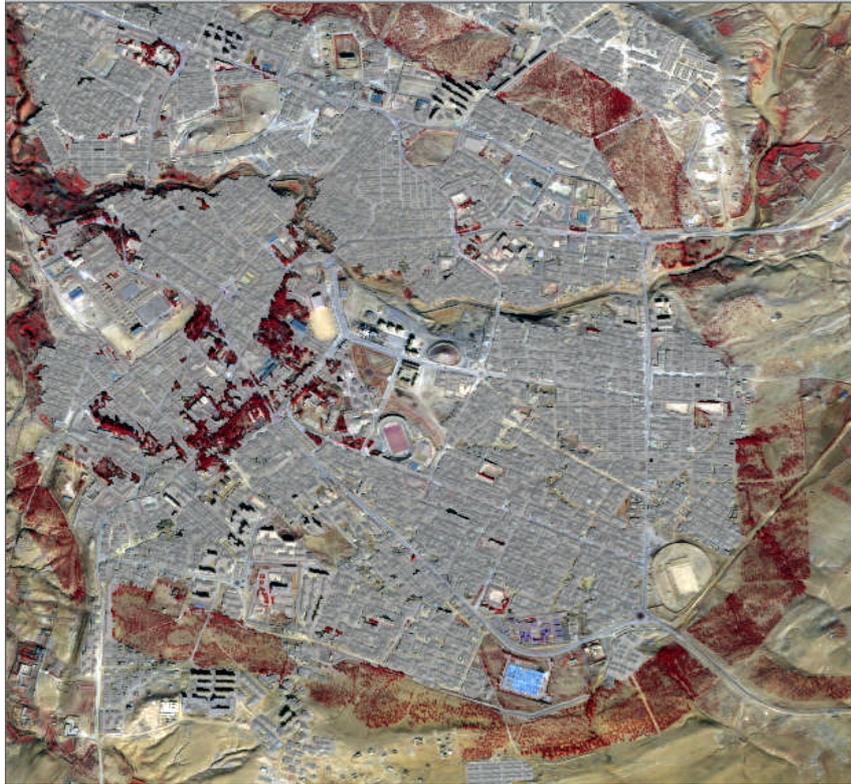


Figure 107. Classe Bâti

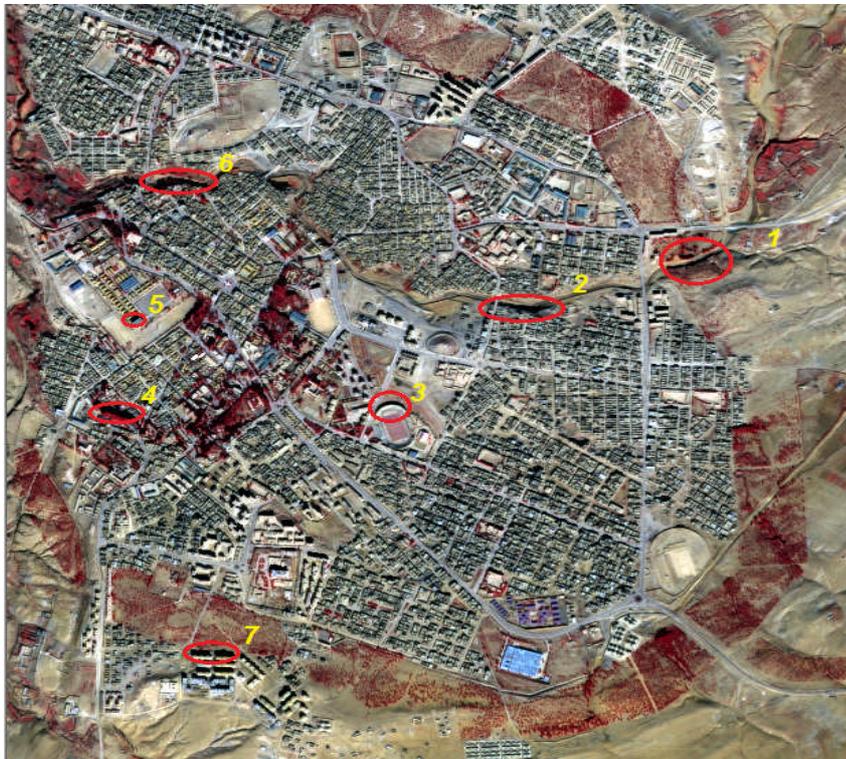
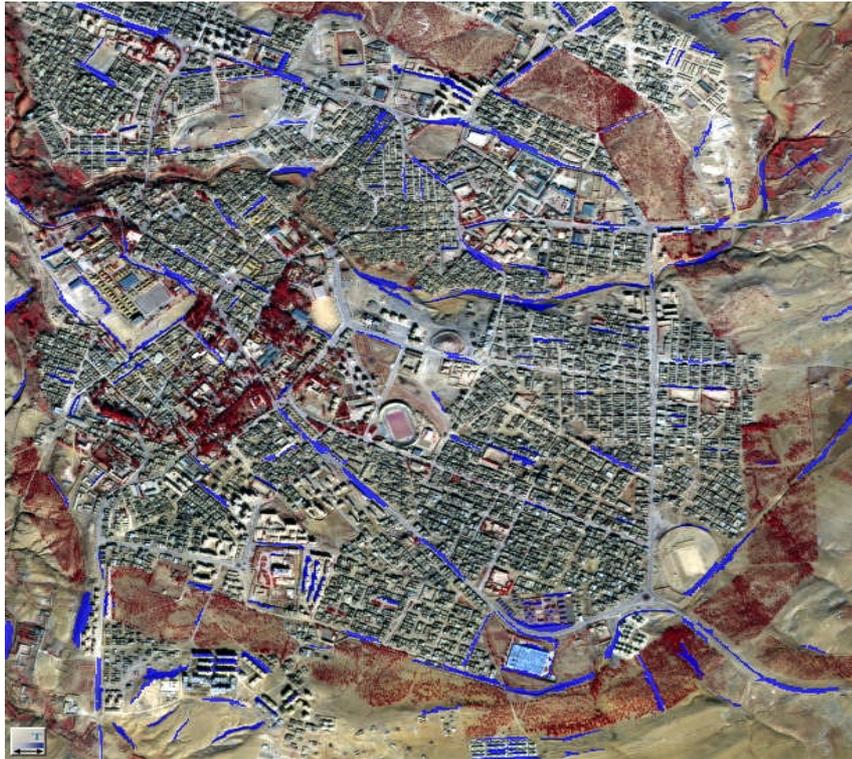
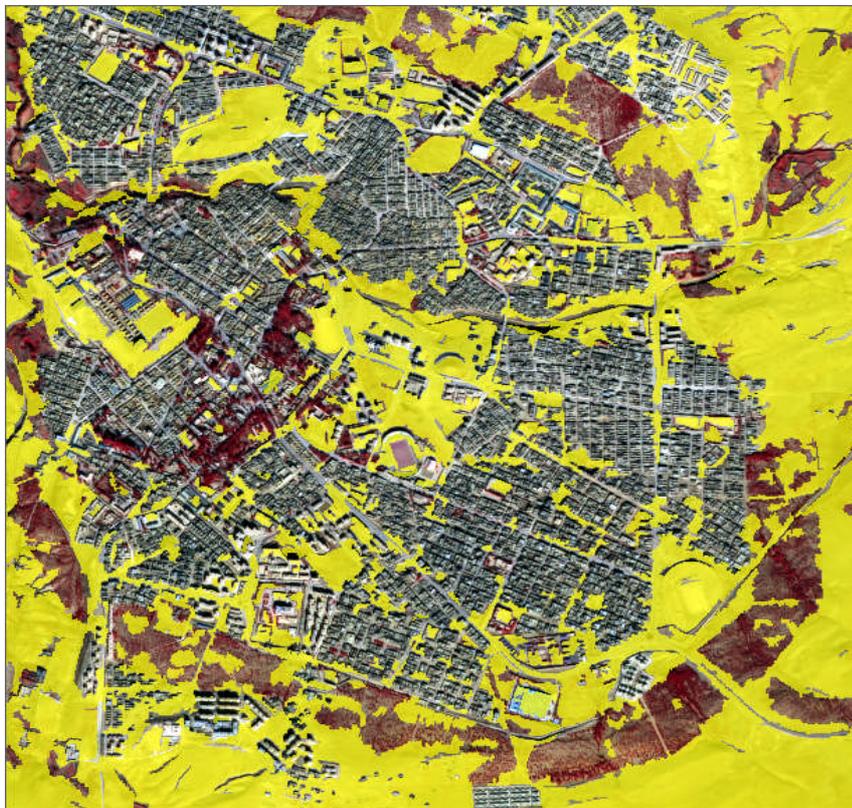


Figure 108. Classe Ombre, encadré et numéroté



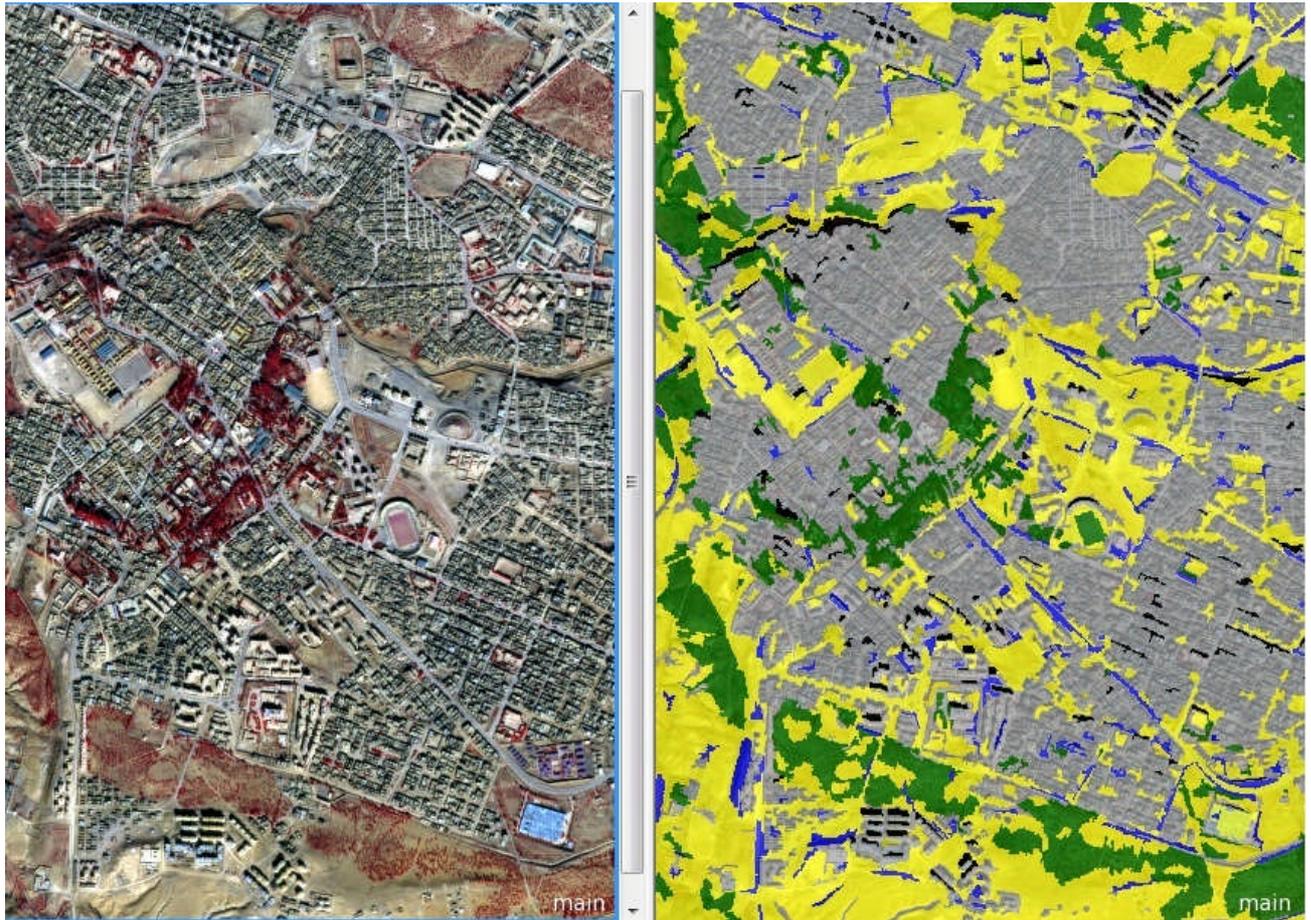
**Figure 109.**Classe route



**Figure 110.**Classe Sol nu

### 5.4.1. 5.Evaluation de la classification

Après avoir réalisé la classification d'image, il faut pouvoir évaluer la qualité du résultat. L'évaluation de la précision d'une classification est importante car elle permet de juger la fiabilité de l'information que l'on souhaite utiliser. Pour ce faire, nous pouvons commencer par une interprétation visuelle, comparant la scène avec la classification obtenue (la figure 111).

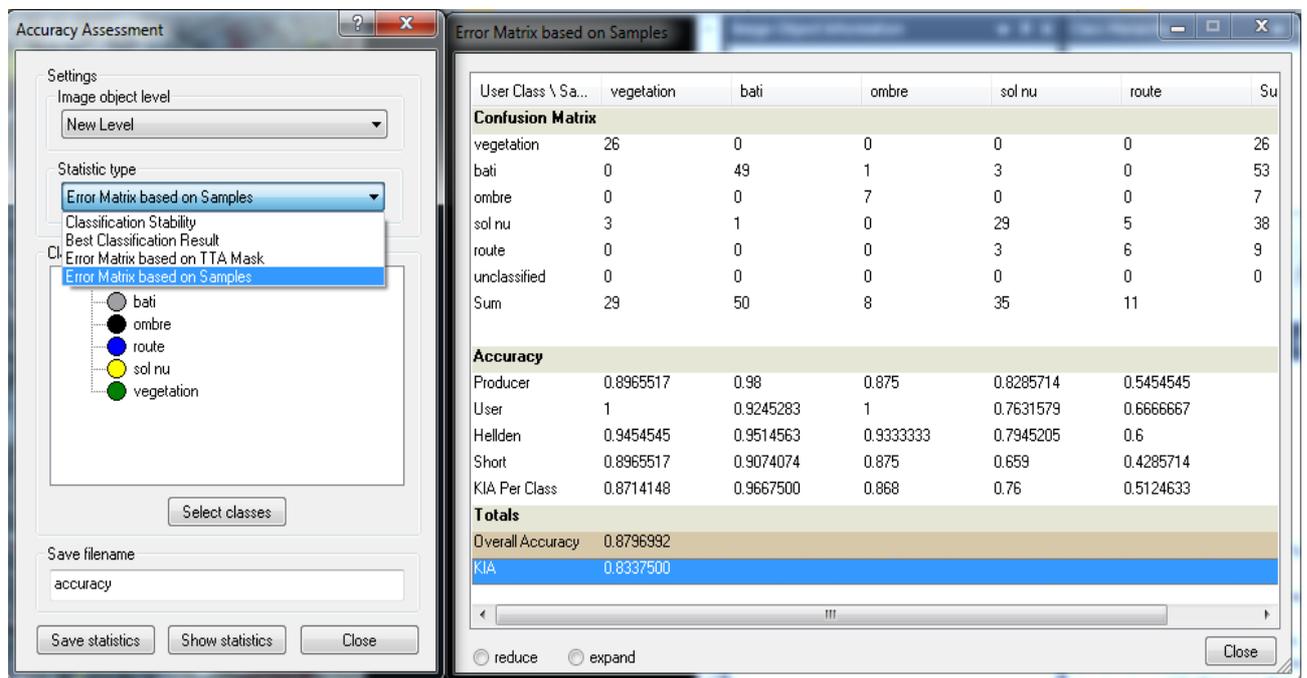


**Figure 111.** Comparaison entre la scène et la classification obtenue

L'approche la plus largement utilisée est la matrice de confusion. Derrière ce terme technique, on compare simplement deux informations : les classes obtenues par la classification et les classes correspondantes à des données de référence. Ces données de référence, considérées comme correctes, consistent le plus souvent en une interprétation visuelle d'une image de meilleure résolution que celle qui est classifiée (STÉPHANIE BONNET et al, 2011).

La classification a été vérifiée à partir de la matrice de confusion basée sur des échantillons et de l'indice Kappa (Kappa index of Agreement KIA) qui compare la proportion correcte observée à la proportion correcte liée à la chance.

La précision globale de la classification correspond à la détermination de l'accord entre les données de référence et les données classifiées. À cet effet, Plusieurs échantillons de l'étude ont été choisis au hasard et leur accord avec la réalité sur le terrain a été analysé. Puis, la matrice de confusion a été générée (figure 112). Cette dernière n'inclut pas seulement l'exactitude de producteur et de l'utilisateur, mais aussi les statistiques kappa sont mentionnés.



**Figure 112.**La matrice de confusion de la classification des objets

(En colonne se trouve la couche vérité et en ligne la couche issue de la classification. L'exactitude absolue (Overall Accuracy) et l'indice Kappa sont exprimés en proportion).

## 5.5. Synthèse

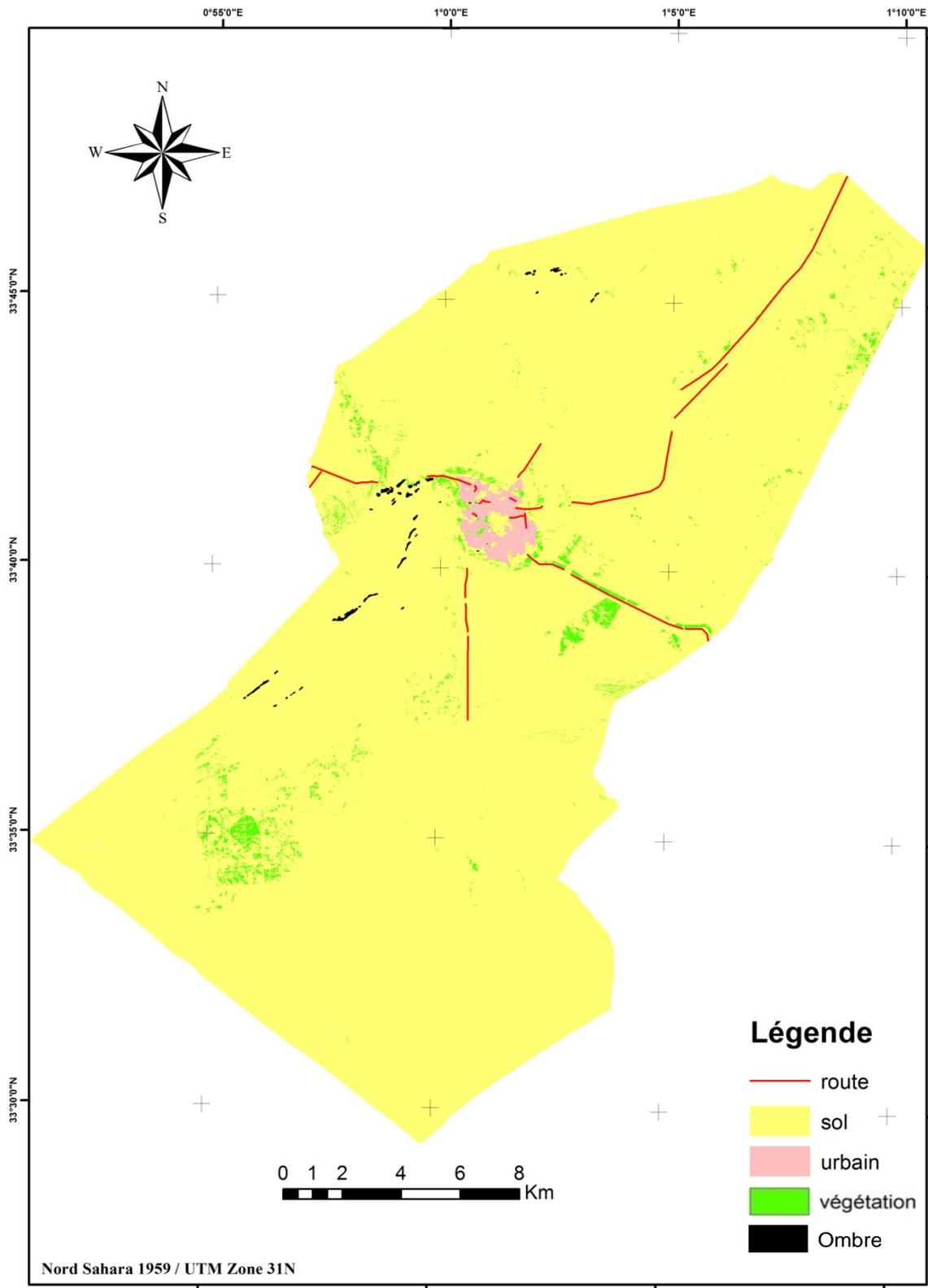
Par l'analyse de la matrice de confusion nous voyons clairement que la végétation a été bien identifiée et classée grâce à l'indice SARVI. Par contre, certains objets ont été mal-classés, souvent la route, le sol nu, qui peuvent parfois avoir les même valeurs spectrales (piste et sol nu), cette confusion se manifeste aussi entre les toitures (bâti) et les chaussées.

La matrice de confusion, aussi, montre une confusion en bâti, qui a été pris pour sol nu. Cela peut être justifié par le manque de la couche bleu dans l'image obtenue, qui aurait pu contribuer à l'introduction de plusieurs indices permettant d'identifier les objets, cela a limité considérablement la compétence de notre approche.

Le résultat de l'approche Orientée-objet nous a permis de constater les différentes occupations de sol, qui a été évalué à 88% de précision globale avec un indice de Kappa égale à 0.83%. Un indice kappa supérieur à 0,8 serait intéressant, Toutefois, elle reste encore basse pour des objets « complexes » tels que les bâtiments, les routes.

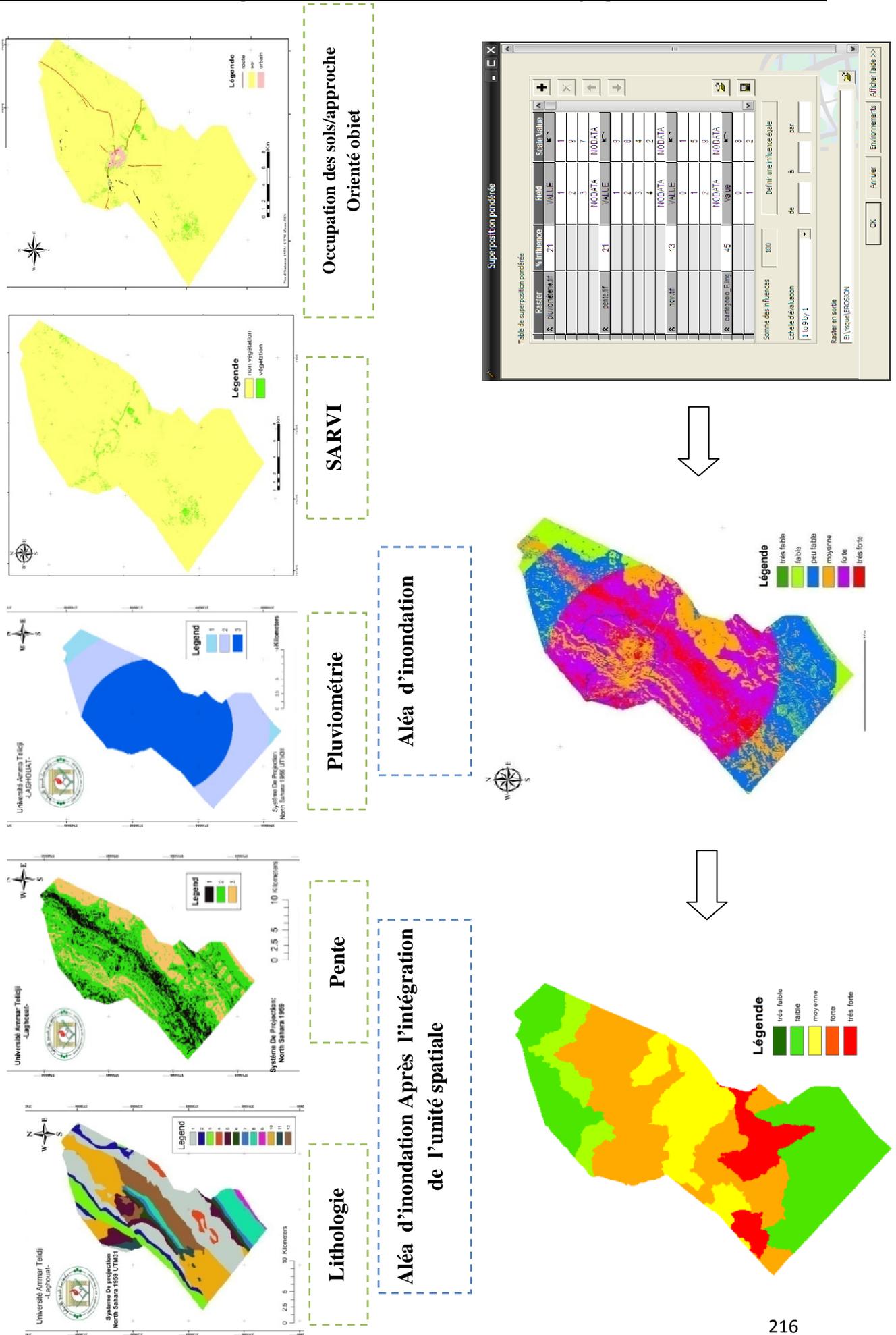
De plus, la qualité des règles de connaissances est dépendante de la méthode de segmentation, et étant donné une scène de 2,5 m de résolution spatiale manquée de la couche bleu, nous n'avons pas pu refaire la classification pour pouvoir améliorer les résultats.

Après les résultats d'amélioration obtenus de l'indice de végétation par l'utilisation de l'indice SARVI, d'une part, et l'utilisation de l'approche Orientée- objet pour la cartographie de l'occupation du sol, d'autre part, nous pouvons suggérer que l'utilisation des images de haute résolution ou très haute résolution, dans un projet de cartographie à grand échelle dans une zone steppique, ne devrait pas s'appuyer sur l'indice de végétation NDVI et l'approche de classification supervisées car il serait difficile d'atteindre les résultats souhaités.



**Figure 113.** Carte d'occupation des sols de la commune d'El-Bayadh obtenus par la classification Orientée-objet

Figure 114. Schéma synoptique de la réalisation de la carte d'aléa d'inondation améliorée sur la base des facteurs aggravants



### **Conclusion du cinquième chapitre**

Notre approche cartographique de l'aléa inondation, développée dans le troisième chapitre, reste valable. Il suffit de changer les entrées (input)- dans ce cas le NDVI et la carte d'occupation du sol- pour arriver à un résultat amélioré en terme de précision et échelle (résolution). Les pondérations déterminées par l'approche AHP resteront valables, nous prendrons en considération le nombre de sous classes.

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur l'utilisation des indices de végétation, en milieu steppique, pour l'identification et l'extraction de la végétation. Cette tendance nous a guidé à tester quelques indices d'une part, et d'autre part de faire une analyse globale et locale de ces indices pour objectif de faire ressortir les indices jugés performants, en ce qui concerne la caractérisation de la végétation, en milieu steppique.

Nous avons testé d'autre volet dans ce chapitre, il s'agit d'appliquer la classification type Orienté-Objet sur une image de haute résolution SPOT5 (2.5 m), on s'appuyant sur des règles de connaissance, qui se basent sur d'autres paramètres de l'image, autre que la valeur radiométrique, tel que la texture, la couleur et la forme. Ces règles de connaissances sont valables pour d'autres images de même résolution, et sur la même zone d'étude. À titre d'exemple, l'image du satellite algérien ALSAT 2, qui va ouvrir des grandes perspectives pour l'exploitation de ses images et dans différents domaines, comme l'agriculture, l'urbanisme, suivi des risques et le cadastre.

Dans la deuxième partie nous avons étudié l'apport de la télédétection et les SIG dans la mise en place d'une approche méthodologique de cartographie d'aléa inondation ; l'influence de changement des paramètres aggravant sur la carte d'aléa. La question qui se pose: comment exploiter cette carte dans le domaine d'aménagement et dans l'urbanisme ? La réponse de cette question fait l'objet de la troisième partie de cette thèse, dont nous avons utilisé la carte d'aléa dans le choix de la zone d'extension urbaine, de la ville d'El-Bayadh.

La troisième partie composé de deux chapitres, l'un comprend un questionnaire sur l'événement désastreux d'inondation du 01 octobre 2011 et des discussions sur les solutions proposées, à partir de cet événement ; l'autre contient une approche d'aménagement basé sur l'analyse spatiale par l'intégration de la carte d'aléa dans ce processus.

## CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

Plusieurs études sur le risque lié aux inondations ont été déjà réalisées, dont la totalité d'entre elles l'ont traité beaucoup plus dans un angle hydrogéologique. Pour notre cas, nous avons exploité les données spatiales issues de la télédétection et nous les avons combinées dans un SIG afin de mettre en place un prototype de cartographie de l'aléa « inondation ». Toutefois, des prétraitements de ces données sont exigés avant leur intégration. Pour arriver à l'objectif principal recherché par cette thèse -l'étude bi-temporelle-, il nous a été indispensable d'utiliser des données de deux dates différentes avec un intervalle de 13 ans. Des pondérations sont affectées à ces données traitées par l'approche AHP. L'analyse multicritères et le SIG permet de combiner ces données pour réaliser les cartes de l'aléa inondation sans la prise en compte de la période de retour.

En outre, les données que nous avons appelé « paramètres aggravant le risque d'inondation », peuvent changer dans le temps. L'étude de ce changement et son influence sur la carte des risques implique l'utilisation des méthodes de détection de changement. Les résultats obtenus montrent que le changement qui touche la couche végétale influe directement sur la carte de l'aléa, par une conversion des classes. Cependant ces premiers résultats, sont obtenus à partir de données de faible résolution, il s'agit des paramètres issus des images de type LANDAST (30 m de résolution) mais ils peuvent être exploités dans des projets à l'échelle communale. L'approche méthodologique reste toujours valable même si on utilise des données de haute résolution, tout comme l'image Spot5. Cependant, pour certains paramètres, tel que l'indice de végétation et l'occupation des sols, il faudrait sélectionner leurs algorithmes de calcul les plus appropriés à cette résolution et pour cette zone d'étude.

Cette tendance nous a guidé à tester quelques indices d'une part, et d'autre part d'en faire une analyse globale et locale dont l'objectif est de faire ressortir les indices jugés performants, en ce qui concerne la caractérisation de la végétation en milieu steppique.

En outre, la classification type Orienté-objet présente un saut qualitatif dans les méthodes de classification des images de haute résolution et de très de haute résolution. Pour notre cas, on s'est appuyé sur des règles de connaissance se basant sur d'autres paramètres de l'image, autre que la valeur radiométrique, telles que la texture, la couleur et la forme. Ces règles de connaissance sont valables pour d'autres images de la même résolution et sur la même zone d'étude à l'instar des images du satellite algérien ALSAT 2.

## **TROISIEME PARTIE**

### **Scénario de l'inondation de l'oued El-Biod et Approche d'aménagement**

## **TROISIEME PARTIE**

### **Scénario de l'inondation de l'oued El-Biod et Approche d'aménagement**

Plusieurs événements catastrophiques liés aux inondations sont enregistrés dans la wilaya d'El-Bayadh, dont la dernière date du 01 Octobre 2011 à travers le débordement de l'Oued El-Biod. Sur le plan cartographique, nous avons établi, dans la partie précédente, notre modèle de cartographie d'aléa inondation. Dans cette partie, nous allons aborder le coté aménagement de l'espace de la commune d'El-Bayadh. Sur ce, on mettra en évidence l'intervention des décideurs après l'inondation sous forme d'un questionnaire élaboré dans les jours qui ont suivi la catastrophe. Après six ans environ, nous sommes retournés dans les zones affectées pour procéder à une analyse descriptive et évaluer les solutions apportées après la catastrophe.

Dans le deuxième chapitre de cette partie nous allons présenter notre approche d'aménagement, et avec plus de précision, le choix d'une zone d'extension urbaine, en se basant sur des critères techniques et réglementaires afin d'obtenir un résultat optimal.

*Chapitre 6: Analyse de l'inondation  
d'oued El-Biod et ses conséquences  
socio-économiques*

## **Introduction**

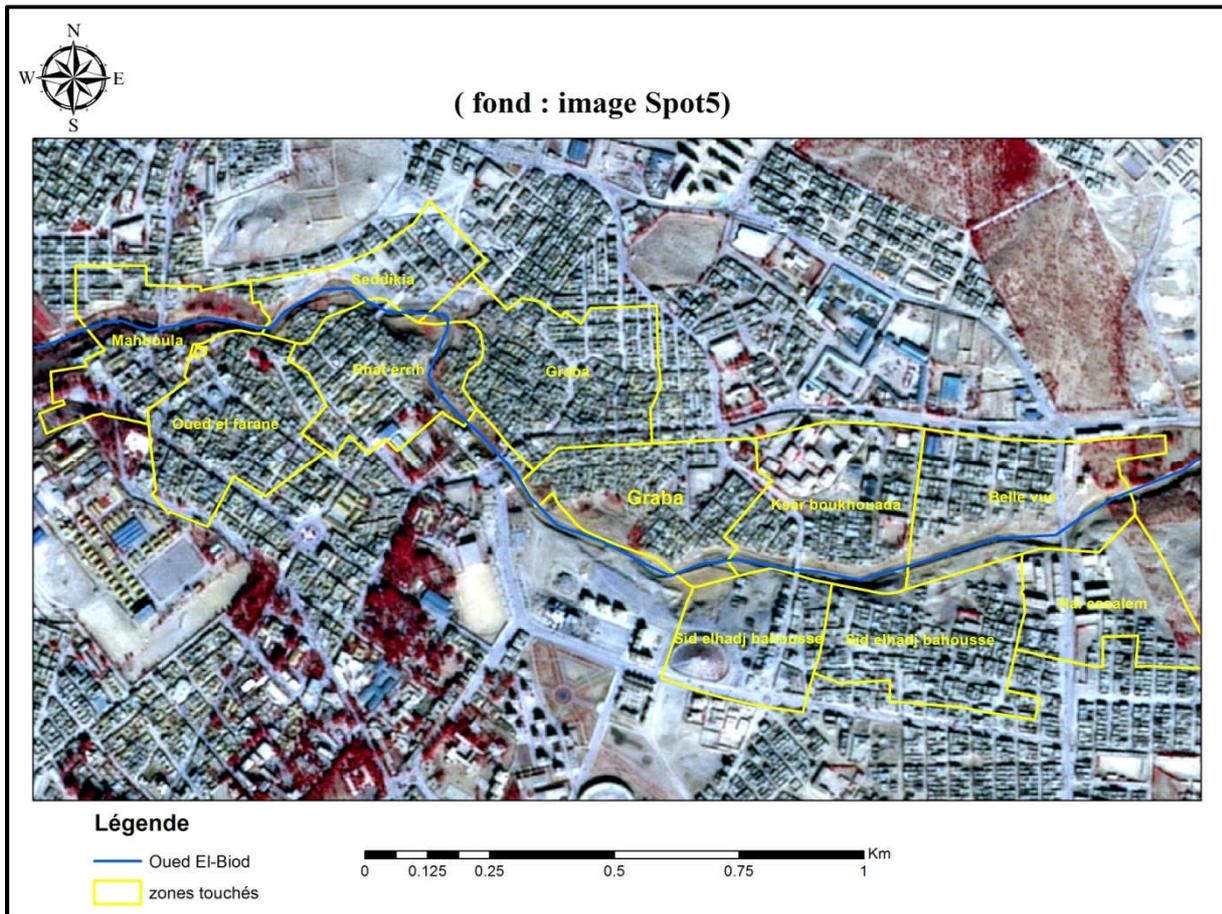
Les inondations du 01 Octobre 2011 de l'Oued El-Biod ont été enregistrées dans la mémoire des habitants de la commune d'El-Bayadh, avec beaucoup de douleur, compte tenu de pertes humaines et matérielles engendrées. Dans ce chapitre, nous essayerons de mettre en évidence les conséquences de la catastrophe, comme nous aborderons aussi le volet des interventions survenues après cette catastrophe. Pour atteindre cet objectif, nous allons nous servir des données collectées sous forme d'un questionnaire ayant touché plusieurs sources pour ensuite les structurer et les réviser afin de les utiliser dans notre étude critique.

Comme nous l'avons mentionné dans la présentation de l'Oued El-Biod, lequel traverse le centre ville de la commune d'El-Bayadh, et en raison de l'étendue des zones touchées, nous avons choisi l'un des quartiers les plus touchés pour la concrétisation de notre étude.

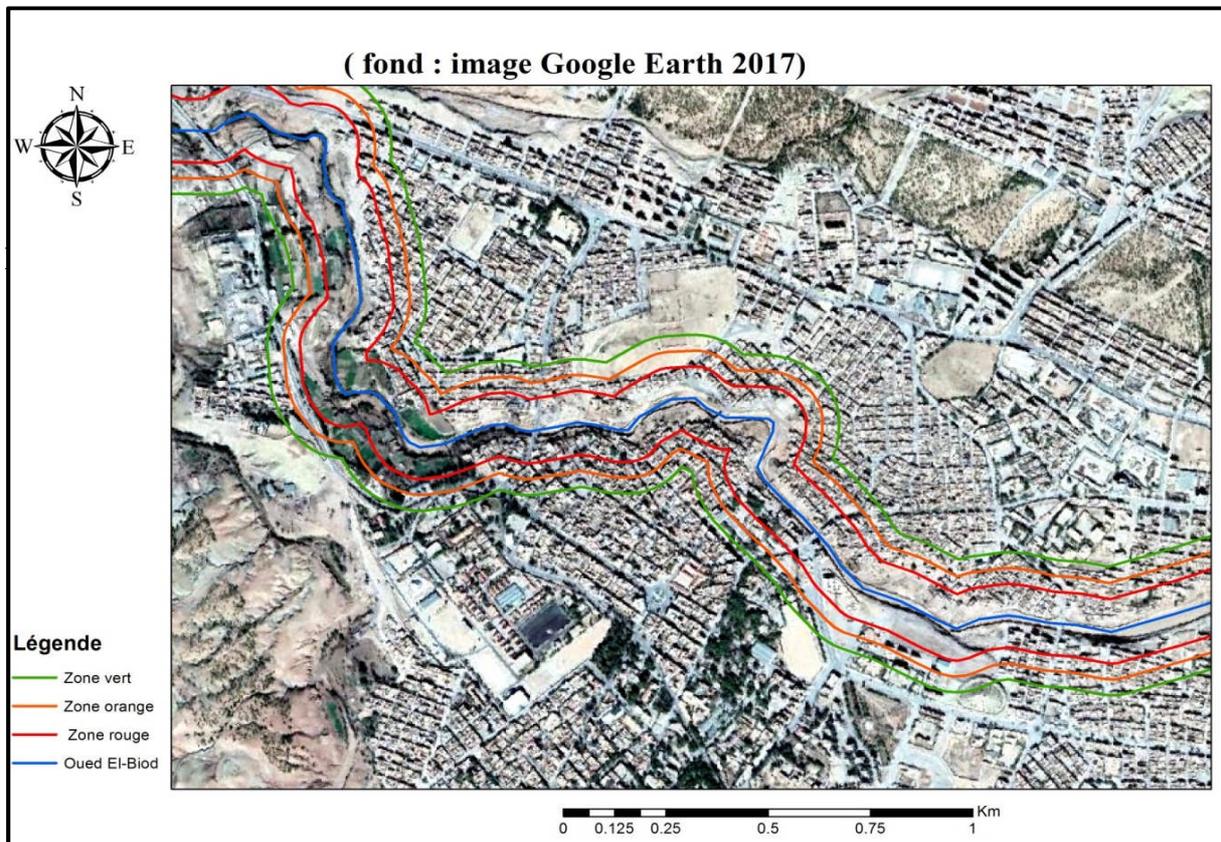
### **6.1. Analyse du risque d'inondation d'Oued El-Biod (Événement du 1/10/2011)**

#### **6.1.1. Pré-visualiser les dégâts du risque de l'Oued El-Biod**

Une semaine avant les inondations du 01 octobre 2011, la région d'El-Bayadh avait enregistré une précipitation moyenne journalière de 30mm, une situation ayant affecté la couche superficielle des sols devenue imperméable, du fait de sa saturation. Cependant, le jour de la catastrophe, les précipitations ont atteint 110 mm, ce qui a engendré le débordement de l'Oued El-Biod à travers la totalité des quartiers jouxtant l'Oued, à l'instar de Ksar boukhouadha, Graba, Hamr zeghba, Rhat errih, Mahboula, Seddikia, Hai essalem, Oued el farane, le petit pont et Belle vue (Figure 115).



**Figure 115.** Localisation des quartiers touchés autour d'oued El-Biod



**Figure 116.** Localisation des trois classes de risque autour d'oued El-Biod (servitude)

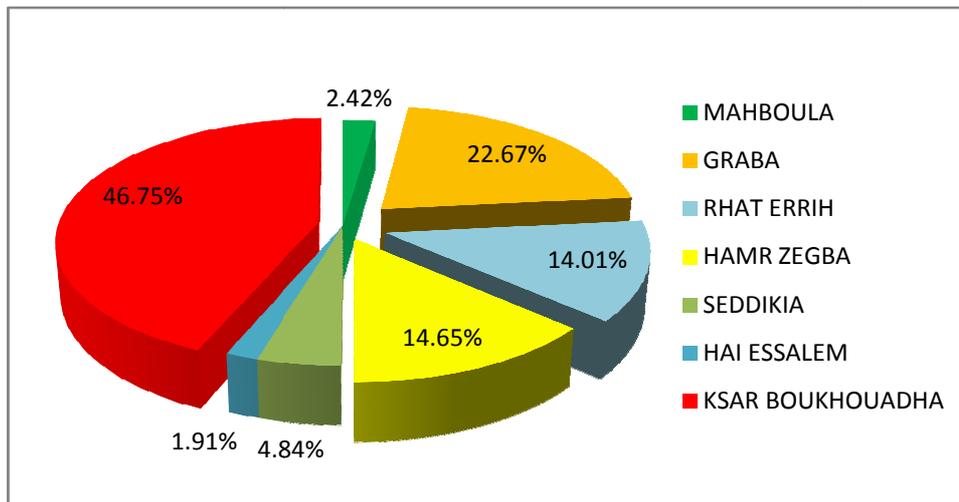
L'enquête menée durant la première semaine d'octobre 2011, en relation avec les dégâts enregistrés sur les constructions, ressort trois classes de vulnérabilité : Rouge, Orange et Vert (figure 116).

En matière de recensement, les données présentées dans cette section sont celles qui ont été collectées à travers tous les quartiers touchés par les différents services de la wilaya ayant œuvré sur le terrain au lendemain des inondations, Il contient des informations liées à la population sinistrée d'une part, et la propriété foncière, d'autre part. Pour notre part, on va opter pour une présentation par quartier afin d'analyser l'ampleur de la catastrophe.

**Tableau 38. Nombre de logements touchés classés par quartier et nature de dégât**

Nature de bien	Localisation (Quartier)	Nature du dégât	Nombre de logement	
<b>HABITATION</b>	<b>MAHBOULA</b>	Effondrement	9	
		Dégât Partiel	10	
	<b>GRABA</b>	Effondrement	26	
		Dégât Partiel	152	
	<b>RHAT ERRIH</b>	Effondrement	44	
		Dégât Partiel	66	
	<b>HAMR ZEGBA</b>	Effondrement	6	
		Dégât Partiel	109	
	<b>SEDDIKIA</b>	Effondrement	25	
		Dégât Partiel	13	
	<b>HAI ESSALEM</b>	Effondrement	0	
		Dégât Partiel	15	
	<b>KSAR BOUKHOUADHA</b>	Effondrement	120	
		Dégât Partiel	247	
	<b>TOTAL</b>		<b>EFFONDREMENT</b>	<b>196</b>
			<b>DEGAT PARTIEL</b>	<b>589</b>

A la lecture des résultats de l'enquête reportés sur le tableau, on déduit une variation des dégâts d'un quartier à un autre. En effet, les quartiers les plus affectés par l'inondation sont ceux de Ksar boukhouadha et Graba, lesquels, à eux seuls, représentent presque 70 % de la totalité de l'assiette affectée.



**Figure 117.** Répartition de dégât logement par quartier

Cette répartition effectuée sur la base du recensement effectué dans les trois jours qui ont suivi l'inondation, a tenu compte uniquement du nombre d'habitats touchés sans se référer à la surface occupée.

D'après le sectionnement du cadastre, le quartier le plus affecté par les inondations est « Ksar boukhouadha », avec une surface de 105 603,42 m<sup>2</sup>. En termes de dégâts occasionnés, cela représente 46.75%. Par contre, au quartier de « Graba », qui occupe une surface de 201 126.43 m<sup>2</sup>, les dégâts étaient à hauteur de 22.67%. Cet écart enregistré entre les deux sites est dû au fait que le quartier de « Ksar boukhouadha » présente une forte concentration de logements d'une part, et d'autre part la majorité de ces logements sont situés dans la zone rouge et orange.

Une autre remarque peut être tirée de ces données concernant le quartier de « Seddikia », avec une superficie de 56741.7 m<sup>2</sup>, lequel et malgré sa situation de proximité avec l'Oued El-Biod, il n'a pas enregistré de lourdes pertes. Cela est dû au fait qu'il est situé sur une zone élevée, ce qui explique l'influence de la pente sur le phénomène de l'inondation.

L'estimation du montant général des dégâts occasionnés, effectuée par une commission de la cellule de crise installée au lendemain de la catastrophe et qui basée sur une évaluation unitaire; l'unité correspond à **2 800 000.00 DA** dans le cas d'effondrement et **800 000.00 DA** dans le cas d'un dégât partiel, était de **1 020 000 000.00 DA**.

### **6.1.2. Premier niveau d'intervention : Evacuation vers les établissements publics**

Dès la remontée du niveau des eaux dans l'Oued El-Biod, les résidents ont quitté leurs domiciles respectifs. Les services de la protection civile sont intervenus, aux premiers instants, pour évacuer les personnes prises au piège par les inondations, lesquelles se sont produites dans la soirée, vers 17 heures, moment qui a réduit l'ampleur du désastre par rapport aux conséquences que nous aurions enregistrés si c'était en pleine nuit

Dès lors, les populations sinistrées ont été prises en charge par leurs familles respectives qui n'ont pas été touchées par les inondations. Le lendemain, les autorités locales les ont invités à rejoindre des établissements publics, réquisitionnés à cet effet, à l'instar du CEM Iben khaldoune, du lycée Boukhoubza mhamed, de l'école primaire Boucherit, et de l'école primaire El-fath. Le tableau suivant montre le nombre de familles et leur répartition par établissement.

**Tableau 39. Nombre de personne évacués par établissement**

établissements publics	Nombre de famille
<b>CEM IBEN KHALDOUNE</b>	471
<b>LYCEE BOUKHOUBZA MHAMED</b>	193
<b>ECOLE PRIMAIRE BOUCHERIT</b>	106
<b>ECOLE PRIMAIRE EL-FATH</b>	48
<b>TOTAL</b>	<b>818</b>

Par ailleurs, en plus de ces recasements effectués, environ 1450 personnes touchées par ces inondations ont été réparties dans les quartiers adjacents à la vallée où l'on a enregistré des dégâts partiels.

Devant cette situation, les autorités locales ont rapidement pris les mesures urgentes nécessaires afin d'assurer un meilleur recensement des personnes touchées par l'inondation, qui a été à l'origine de la perte de leurs maisons et de tous leurs biens, comme les meubles, les vêtements, les matelas et même des documents et fournitures, et ce afin de pouvoir bénéficier d'un logement ou d'une aide d'urgence.

**Figure 118.**Exemple des dommages de l'inondation d'El-Bayadh (Cliché A. GUERROUDJ, 2011)

Ces mesures n'étaient pas des objectifs à long terme, puisque le plus important était de fournir le plus rapidement possible des logements aux populations sinistrées, sans prendre en compte le côté interaction habitant-quartier dans cette opération. L'essentiel était de recaser un maximum d'habitants. Nous reviendrons sur ce point dans la section 6.1.3.2.

Un processus basé sur les résultats des enquêtes et les statistiques précédentes, recommande deux facteurs sur lesquels il faudrait agir : L'évaluation du degré des dommages et la nature juridique des biens.

Afin de réaliser une meilleure étude possible, nous avons choisi un quartier qui a été sévèrement touché, soit le quartier de « Ksar boukhouadha ». Deux facteurs seront pris en considération, à savoir l'évaluation du degré des dommages enregistrés ainsi que la nature juridique des biens. Pour ce faire, nous devons réviser les données avant de compléter notre étude critique.

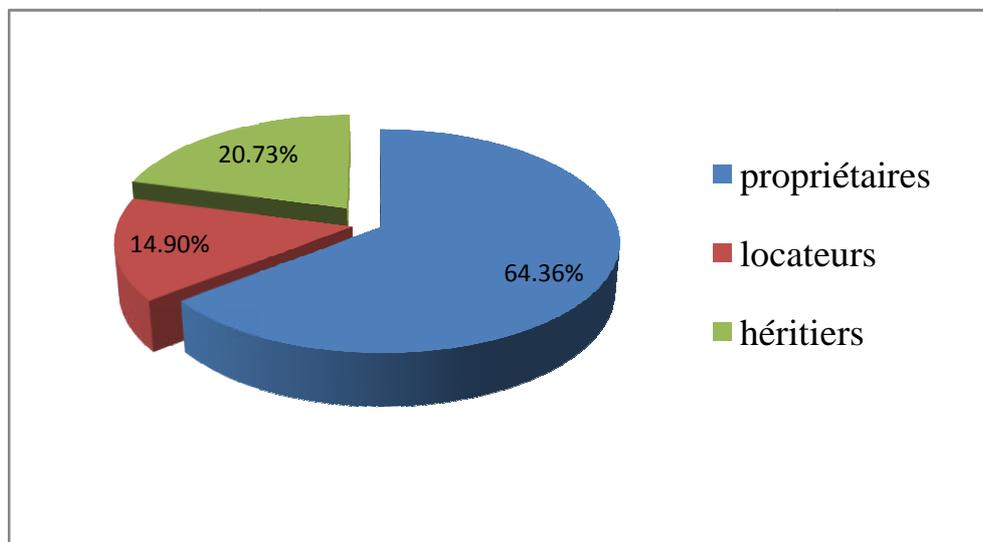


**Figure 119.** Quartier Ksar boukhouada

### 6.1.3. Deuxième niveau d'intervention

#### 6.1.3.1. Cas du quartier Ksar boukhouadha

Dans ce quartier, on s'est basé sur les mêmes paramètres, comme nous l'avons déjà cité, à savoir le degré des risques et la nature juridique de l'immeuble démolie. L'enquête menée dans ce quartier a confirmé **275** familles sinistrées dont le pourcentage des dégâts était supérieur à 80%. La répartition de modalité de propriété se présente comme suit : 177 propriétaires, 41 locataires et 57 héritiers.



**Figure 120.** Répartition de la nature juridique des immeubles touchés dans quartier Ksar boukhouada

Pour ces trois catégories, il serait logique que la priorité soit accordée aux propriétaires qui habitent dans leurs immeubles au cours de l'inondation. Pour les héritiers, une unité de logements sera prévue à la place de chaque immeuble touché, indépendamment du nombre d'héritiers. Quant au troisième cas, qui a constitué un problème majeur, le propriétaire d'origine demande une indemnisation, alors que le locataire demande son droit au logement. D'une autre manière, les autorités locales étaient confrontées à une situation d'une double

indemnisation pour chaque immeuble endommagé. Le tableau 40 illustre les informations collectées lors des enquêtes menées.

**Tableau 40. Extrait du fiche d'enquête globale du quartier Ksar boukhouada après restructuration**

Nom et Prénom	Age/ Date de Naissance	Situation Familiale	N <sup>bre</sup> de Personne	Nature juridique	Dégât
/	68 ans	V	4	P	04 Décédé Défavorable
/	59 ans	M	9	P	Défavorable
/	1952	V	11	Hr	Défavorable
/	43 ans	M	6	Hr	Défavorable
/	66 ans	M	4	Hr	Défavorable
/	56 ans	M	8	P	Défavorable
/	90 ans	M	13	p	Défavorable
/	40 ans	M	4	L	Défavorable
/	75 ans	M	9	p	Défavorable
/	67 ans	M	21	p	Défavorable
/	40 ans	V	3	p	Défavorable
/	57 ans	M	6	p	Défavorable
/	80 ans	V	3	Hr	Défavorable
/	54 ans	M	7	p	Défavorable
/	79 ans	D	3	p	Défavorable
/	80 ans	V	1	Hr	Défavorable
/	74 ans	V	4	Hr	Défavorable

(V: veuve, M : Marié, D : Divorcé, C : Célibataire, P : Propriétaires, L : Locateurs, Hr : Héritiers)

Devant cette situation et compte tenu de la préoccupation des résidents et la nécessité d'accélérer les procédures d'octroi de logement, même les héritiers ont exigé un logement pour chacun d'eux. Ils s'étaient basés sur le fait que leurs immeubles d'origine étaient plus vastes à natures différentes. Ils parlent de passage d'un immeuble individuel vers un immeuble collectif.

Un désordre s'installe et conduit à des spéculations générant des cas d'infiltrations de faux sinistrés et introduits dans les listes de bénéficiaires. A titre illustratif, lors de l'enquête, une

famille composée de trois sous familles, classée dans la catégorie de locataires, bénéficie de trois logements. En revanche, dans un logement d'héritiers de 200 mètres carrés où habitaient quatre familles, celles-ci ont bénéficié d'un seul appartement de 70 mètres carrés !

Cependant, s'il existait un fichier national du logement, avec l'utilisation du SIG, de telles situations auraient pu être évitées. Notre objectif dans cette section est non seulement d'expliquer la situation mais de donner une approche d'aménagement basée sur des données de différentes sources, afin de trouver une solution optimale en termes d'aménagement et d'urbanisation. D'ailleurs, la carte d'aléas élaborée dans la partie 2 peut servir dans ce type d'application, comme c'est le cas pour la carte des pentes et d'autres cartes dans le sens de déterminer les cartes d'aptitude à l'aménagement.

#### **6.1.3.2. Attachement des habitants aux anciens quartiers**

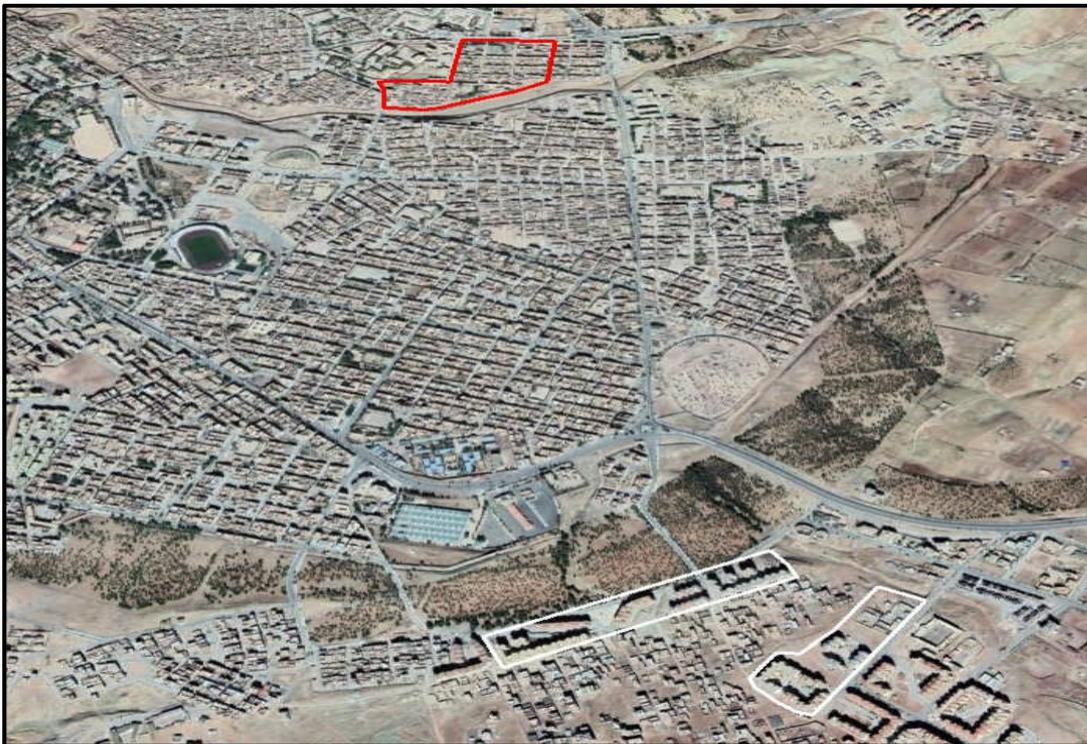
La population habite le quartier Ksar boukhouadha depuis longtemps, comme c'est le cas pour les autres quartiers populaires, à l'instar de Graba situé proche de l'Oued El-Biod, Cela est dû principalement à l'existence de sources d'eau tout le long du lit de ce Oued, et ce depuis l'époque coloniale.

Les habitants ont utilisé l'eau dans leur vécu quotidien pour des besoins divers, en plus de leur activité basée essentiellement sur le filage et la laine. Dans le passé, le quartier de Graba contenait plus de deux sources d'eau, ce qui explique la concentration de la population dans ce quartier.

Selon les déclarations de résidents âgés, le phénomène d'inondation a déjà touché cette zone en 1953 et le niveau de l'eau avait carrément immergé l'ouvrage d'art (le pont) qui existait déjà à cette époque. Seulement, cela n'a pas détourné la population de leur détermination à y rester, un fait qui renvoi à un attachement sentimental.

Le même scénario s'est répété ces dernières années, alors que la plupart des personnes sinistrées avaient bénéficié de logements, qu'elles ont déserté par la suite pour revenir finalement dans leur quartier d'origine. Par ailleurs, dans le cas du quartier Ksar boukhouadha, on a remarqué que la majorité des habitants affectés sont des personnes âgées, dont la moyenne d'âge est d'environ 50 ans (voir Tableau 40).

Devant ces faits avérés, plusieurs questions restent posées concernant l'efficacité des procédures envisagées par les autorités quant à l'évacuation de ces zones de leurs populations.



**Figure 121.** Localisation de la zone de relogement (en blanc) par rapport au quartier inondé (en rouge)

La figure 121 illustre la localisation des zones d'évacuation au niveau de la ville d'El-Bayadh, lesquelles se situent à coté du barrage vert, à une distance de 1870 m du quartier inondé Ksar Boukhouadha. En cours de construction, la population affectée par les inondations a été contrainte de rejoindre ce quartier même si les travaux de raccordement au gaz naturel restent

inachevés, dans une région connue très froide, et ce en plus de l'absence des équipements d'accompagnement.

Aussi, il est noté que les procédures d'octroi de logement dans la nouvelle ville (zone en blanc dans la figure 121), pour les habitants propriétaires d'immeubles classés dans la zone rouge ou orange (servitude présentée dans la figure 116), se sont faites sans aucun document prouvant la propriété des immeubles touchés ; une faute légale qui pourrait être à l'origine d'un désordre sur le plan foncier.

## **6.2. Conséquences économiques**

### **6.2.1. Impact sur le marché foncier**

À travers la classification des logements affectés par les inondations, il était clair que les autorités locales allaient démolir les habitations situées dans la zone rouge et certaines situées dans la zone orange, par mesure de précaution d'une part, et d'autre part, pouvoir fournir les subventions nécessaires pour les restaurations des logements qui se trouvent dans la zone classée vert et certains classés en orange et qui ont besoin seulement de travaux de restauration partielle et d'entretien; un classement effectué par le comité de la cellule de crise sur la base d'une étude d'évaluation.

Selon ces procédures, la majorité des habitants ont procédé à la vente de leurs maisons après s'être assurés qu'ils allaient bénéficier de logements. Certains ont pris la subvention et ont ensuite mis leurs maisons à vendre. Sur ce, la chance de trouver un acheteur potentiel était plus grande pour les immeubles situés dans la zone verte le prix au mètre carré a chuté de moitié ou plus, c'était en fonction du degré des dégâts enregistrés et la proximité par rapport au lit de l'Oued. Aussi, nous avons remarqué que durant ces deux dernières années, soit cinq ans après l'inondation, même les immeubles situés dans la zone rouge ont été proposés à la vente. D'un autre côté, les locations se sont rétablies dans les zones qui n'ont pas été touchées,

à l'instar de celles se trouvant loin du centre ville, où l'excès de demandes a fait augmenter le prix du loyer. Lors de notre enquête, nous avons noté plusieurs observations dans les quartiers inondés.

En effet, des maisons situées dans la zone rouge ont été reconstruites sans autorisation, puis proposées à la location (figure 122), au moment où d'autres habitations présentant des façades donnant sur les avenues principales ont été dotées d'espaces commerciaux, proposés à leur tour à la location (figure 123). D'autre part et devant tous ces écarts, les autorités ont curieusement procédé à l'aménagement de certaines routes adjacentes à la vallée inondable (figure 124), une situation qui a favorisé la réaction des populations à procéder à la reprise de leurs biens perdus lors des inondations. Pour les autorités locales, et faute de budget, l'opération d'indemnisation ne pouvait toucher tous les sinistrés.



**Figure 122.** La reconstruction des maisons dans la zone rouge (Cliché A. GUERROUDJ, 2018)



**Figure 123.** Construction des magasins proche de la zone de servitude (Cliché A. GUERROUDJ, 2018)



**Figure 124.** Revêtement des routes adjacentes à la vallée (Cliché A. GUERROUDJ, 2018)

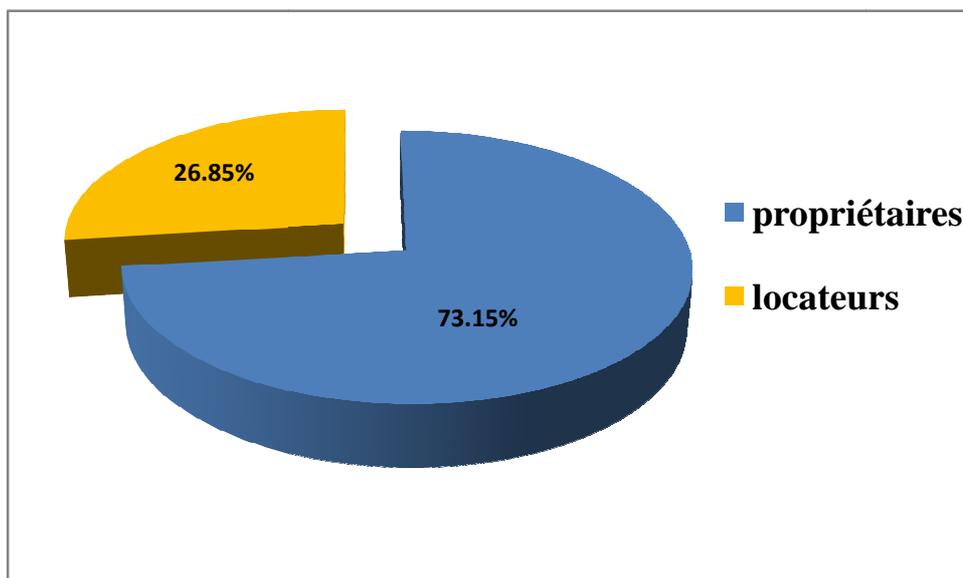
### 6.2.2. Cadre économique

Dans ce cadre, on parlera, d'une façon générale, de l'impact de l'inondation d'oued El-Biod sur l'activité commerciale et les commerçants dans les zones touchées, et ce en se basant sur des fiches d'enquête établies dès l'événement survenu le 01 octobre 2011. Le tableau 41 illustre le type d'information récolté lors de l'enquête, qui représente un bilan des commerçants sinistrés.

**Tableau 41. Extrait de la liste nominatif globale des commerçants sinistres**

NOM et PRENOM	DATE DE NAISSANCE	PRODUIT VENTE	N° R.C	ADRESSE	Nature juridique
	08/05/1974	matériaux de construction	08A3118003	KSAR BOUKHOADA	/
	28/03/1972	commerce multiple	/	RUE ARDALLAH N°251/09	locataire chez HAMADI SLIMANE
	28/09/1977	matériaux de construction	10A3119325	RUE LARBI BENAMEUR N° 26	propriétaire
	/	kms	08A3118391	RUE BOUKAMOUMA BOUZID	locataire chez DJOUHRI ATALLAH
	18/05/1982	coiffeur	320101871	KSAR BOUKHOADA	Propriétaire
	03/02/1980	cordonnier	/	KSAR BOUKHOADA	Propriétaire
	06/09/1971	vente de chaussures	/	KSAR BOUKHOADA	Propriétaire

Ainsi, la liste globale montre un nombre de 108 commerçants sinistrés, dont 79 sont des propriétaires et le reste, soit 29, sont des locataires. La figure 125 illustre le pourcentage de la nature juridique des locaux des commerçants sinistrés, pour tous les quartiers touchés par l'inondation au niveau de la ville d'El-Bayadh.

**Figure 125.**Répartition de la nature juridique des locales des commerçants

En l'absence d'inventaire récent pour la propriété des commerçants et en l'absence de registre de commerce pour 57 cas, la compensation des commerçants n'a pas été prise en compte, sauf pour les propriétaires qui avaient des livrets fonciers, où l'indemnisation a touché uniquement les constructions, sans toucher les marchandises perdues. Même les magasins ont été soumis à la classification par type de dommage, parce qu'ils font partie du quartier mais pas aussi important, donc ils ont été directement restaurés avant que l'activité ne reprenne, une situation qui a concerné même ceux qui sont situés dans la zone rouge. Les photos suivantes illustrent certains magasins, pendant l'inondation et leur situation actuelle.

**Tableau 42. Exemple des magasins touchés avant et après l'inondation**

L'état du local après l'inondation (03/10/2011)	L'état actuel du local (20/04/2018)
	
	



### Conclusion du sixième chapitre

Malgré les procédures légales et les outils réglementaires qui rentrent dans la politique de gestion des risques d'inondation en Algérie, et compte tenu des dégâts humains et matériels de ce phénomène naturel, ces procédures restent insuffisantes. Le cas que nous avons vu dans ce chapitre, à savoir l'inondation d'oued El-Biod, en est un exemple type, les interventions des autorités locales n'étaient pas des objectifs à long terme, seulement des mesures d'urgence et ce type d'opérations laisse des effets négatifs sur le plan organisationnel, sur l'indemnisation des sinistres et sur le marché de l'immobilier. Après presque six ans, les conséquences de ces mesures montrent l'inefficacité des interventions, car n'ayant pas abouti au passage du droit immobilier des immeubles touchées vers le domaine public, en contrepartie d'une compensation accordée pour les sinistrés. Les zones de servitude, notamment la zone rouge et une grande partie de la zone orange, doivent être soumises à un aménagement spécial:

- *Recalibrage du cours d'eau* : Il s'agit de modifier la géométrie du lit du cours d'eau (abaissement de la ligne de fond, augmentation de la section en travers) pour modifier la valeur de la crue de plein bord.

- *Reboisement* : Le processus de reboisement est basé sur : La nature du sol ; la qualité de la plante efficace et le type de climat. La végétation favorise la rétention, ralentit les temps de réponse et atténue les volumes ainsi que les débits de pointe mesurés sur le bassin-versant.

Du point de vue aménagement, les solutions classiques sont limitées, en termes de temps et d'aide à la décision. L'approche SIG/AMC peut aider dans de tels cas. D'ailleurs, dans le dernier chapitre on abordera cette approche d'aménagement, par l'intégration de la carte d'aléas comme contrainte, avec d'autres données comprises dans une étude qui traitera de la totalité de la commune d'El-Bayadh.

*Chapitre 7: Approche d'aménagement  
et détermination des terrains  
aménageables*

## **Introduction**

Du point de vue exhaustivité de l'information, la collecte d'un maximum de données, tel qu'il est exigé dans les études d'urbanisme, est une procédure qui semble avantageuse pour un bon diagnostic du territoire à étudier, mais du point de vue technique, la multiplicité des données pose un problème de qualité et de la manière de leur combinaison. Aménager avec précision ? Une question qui trouve réponse dans ce chapitre, par la présentation des étapes de traitement des données issues de la deuxième partie de ce présent document dans le cadre d'une étude d'aménagement de la commune d'El-Bayadh. Des données que nous avons déjà traitées, tel que la carte d'aléa inondation, laquelle sera intégrée dans un projet d'aménagement d'une zone à urbaniser - zone d'extension- de la commune d'El-Bayadh. Pour atteindre cet objectif, des fonctions avancées d'analyse spatiale ainsi que des combinaisons par principe de pondération d'analyse multicritères sont utilisées.

Avant cela, il faut mettre au point le PDAU de la commune d'El-Bayadh dans sa situation actuelle par rapport à son état initial, sous la forme d'une étude comparative en termes d'aménagement qui concerne beaucoup plus les zones touchées (les zones de servitude) et les précautions qui doivent être prises en considération avant la révision du PDAU. Sur ce, cette étude comparative abordera deux zones : les zones affectées par l'inondation de 2011, soit les quartiers cités dans le chapitre précédent, et la zone d'extension urbaine. Et pour finir, nous présenterons notre approche sur le choix de la zone d'extension, par l'intégration de différentes données spatiales dans un SIG, et ce pour mieux comprendre cette problématique, tout en essayant de présenter brièvement l'état de l'urbanisme en Algérie et l'utilisation du SIG dans ce domaine.

### **7.1. L'urbanisme en Algérie : état des lieux**

Dans cette phase, nous avons essayé de comprendre les outils et instruments d'urbanisme essentiels qui constituent la politique urbaine en Algérie, et de mettre à jour les différentes étapes décisives qui ont agi sur cette politique, en insistant sur les effets qui influent sur la production de l'espace.

L'urbanisme en Algérie est lié à la colonisation française. Son évolution en Algérie a été marquée et continue à l'être par les expériences et les modèles français.

Ainsi, l'urbanisation en Algérie a eu des conséquences négatives, notamment sur les terres agricoles, sur le foncier, tout en causant aussi des déséquilibres régionaux et l'enregistrement d'insuffisances des infrastructures et des équipements.

La réalisation des projets urgents en l'absence d'une planification a engendré un déséquilibre régional. L'adoption de nouvelles règles d'urbanisme, parallèlement à la libération du marché foncier a été enregistré durant la période 1990 à nos jours. Les nouveaux instruments d'urbanisme sont caractérisés par une gestion plus économe des sols et une nouvelle vision de l'aménagement du territoire ainsi que le retour de la planification spatiale.

Cette nouvelle période a été marquée par la mise en place de deux instruments d'aménagement et d'urbanisme différenciés et complémentaires, entre autres le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS), ce qui a permis la réorganisation de l'espace et la maîtrise du « développement anarchique », par le biais d'une gestion mieux adaptée (S. Faycal, 2009).

## **7.2. L'apport du Système d'Information Géographique dans l'urbanisme**

De par son importance dans la vie des populations, la ville constitue l'établissement humain, le centre socio-économique et le centre culturel, où toutes les activités humaines se concentrent. Avec le développement économique et social, la vitesse de développement de la ville augmente. L'urbanisme ne peut plus suivre la voie traditionnelle, mais il a besoin d'une nouvelle adaptation à l'époque pour stocker un grand nombre d'informations géographiques de la ville. L'urbanisme est lui-même soumis à l'application complète du SIG, à travers la collecte, le traitement, l'analyse, l'affichage d'un grand nombre d'information géo-spatiales et les informations d'attributs.

Le SIG, comparé aux moyens de l'urbanisme, présente la plus grande quantité d'informations, les meilleures précisions sur les informations géographiques et la plus puissante analyse spatiale. Basé sur ces avantages, l'urbanisme utilise le SIG pour prévoir plus précisément l'avenir des villes, renforcer les techniques scientifiques et assurer sa propre rationalité. En conséquence, l'application du SIG dans l'urbanisme est le produit de l'époque (J. LI, 2011).

Sur des territoires plus importants, comme les intercommunalités ou les agglomérations, le SIG peut permettre de gérer beaucoup plus de données, à savoir la voirie, les espaces verts et les arbres, les lignes de transport public, le mobilier urbain, les périmètres de la politique de la ville, ainsi que les réseaux communautaires (eau, assainissement, éclairage public...).

### **7.2.1. Les domaines d'applications du SIG dans l'urbanisme**

Le SIG fournit une nouvelle technique pour l'urbanisme. Comme un support technique, le SIG est principalement appliqué dans différents domaines de l'urbanisme.

#### 1) Analyse du milieu urbain en temps réel

Les fonctions du SIG fournissent des avantages à l'urbanisme, tel que les requêtes spatiales, les statistiques sur les bases de données et même en termes de cartographie pour ressortir des statistiques, des cartes thématiques dans l'environnement actuel, les conditions naturelles et les autres aspects. Sur ce, l'utilisation du SIG, la télédétection et l'analyse multicritères permet de donner une idée à même de comprendre la situation actuelle.

#### 2) Analyse prédictive du milieu urbain

Les données du milieu urbain sont en constante évolution, la mission d'urbanisme doit refléter le futur du développement urbain, et offre des données détaillées pour les décideurs. L'utilisation du SIG peut prévoir des domaines, tels les catastrophes urbaines, l'utilisation du territoire, la simulation du paysage et d'autres aspects du développement durable. Les résultats de prévision peuvent fournir plusieurs scénarios comme aide à la décision.

#### 3) La visualisation et l'exportation des résultats de la planification

La fonction de cartographie du SIG peut élaborer des cartes thématiques avec les différents types de données (Précipitations...), et de présenter en trois dimensions les résultats (Débordement des Oueds...).

Avec le développement des fonctions du SIG dans l'urbanisme, plusieurs domaines sont concernés, à savoir: l'évaluation de l'occupation du sol, l'aménagement de l'espace urbain, les études d'agglomérations, les infrastructures municipales et le transport, la recherche du développement durable, l'affichage des résultats des projets d'urbanisme (J. LI, 2011).

### **7.2.2. Qu'entend-on par « extensions urbaines » ?**

Aujourd'hui, les extensions urbaines prennent souvent la forme controversée de zones pavillonnaires ou d'activités peu économes d'espace et sans lien avec la ville existante. On a longtemps opposé extension et intensification urbaines. Mais penser la ville de demain, c'est justement savoir articuler ces deux processus de manière complémentaire. Dans la mesure où ces extensions urbaines sont maîtrisées et pensées globalement en cohérence avec le territoire, elles sont l'occasion de créer des « morceaux de ville » et ainsi de développer une offre

urbaine nouvelle. Pour réussir un réel « morceau de ville » en extension, il est nécessaire de réunir plusieurs conditions :

- Le respect du site
- Le lien avec le territoire
- Une certaine densité
- Une diversité des fonctions
- Une mixité sociale.

Une extension urbaine peut se concevoir à différentes échelles qui vont de l'îlot au quartier, voire à la ville. Les réponses apportées en termes de dessertes, de trame urbaine, de mixités et de formes architecturales seront à combiner avec les différentes échelles de l'opération (M. N. Adam,2010).

En outre, la conception des extensions urbaines denses doit reposer sur plusieurs principes :

- ✓ L'articulation avec la ville existante ;
- ✓ Le choix de la localisation, en tenant compte du site et des équilibres territoriaux ;
- ✓ La qualité des espaces publics et la présence renforcée de la nature dans la ville ;
- ✓ Une approche environnementale globale, y compris paysagère ;
- ✓ Une desserte adaptée aux différentes échelles de déplacements.
- ✓ Prendre en compte les risques

Pour être complet et réussi, un projet d'extension urbaine doit ainsi conjuguer une densité soutenue et des formes urbaines adaptées, de la mixité sociale et fonctionnelle. L'articulation de tous ces éléments contribuera à une bonne intégration de ces nouveaux projets et de leurs habitants. Dans la continuité des villages et des agglomérations, c'est-à-dire dans le prolongement de l'espace déjà construit et aménagé. On ne peut parler de continuité si le secteur destiné à être construit et séparé des parties déjà urbanisées par une coupure importante (espace agricole ou naturel, voie importante ou obstacle difficilement franchissable) (A. Darley et G.Zunino,2010).

### **7.3. Étude diachronique du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) de la commune d'El-Bayadh**

Comme nous l'avons cité précédemment, l'étude du PDAU sera basée sur le choix de deux dates, avant et après l'inondation de 2011. Ce n'est pas une étude bi-temporelle dans le sens exact mais on va limiter cette étude au rôle de la carte des risques dans la révision du PDAU. Selon les textes législatifs, en ce qui concerne les règles générales visant à organiser la production du sol urbanisable, la formation et la transformation du bâti ; la loi 29/90 relative à l'aménagement et l'urbanisme présente l'un des plus importantes lois d'organisation de l'urbanisme en Algérie, cependant les articles de cette loi ne discutent pas de la prise en compte des cartes de risques lors de la mise en place du PDAU.

Dans notre cas, nous avons effectué l'étude comparative, entre le PDAU de 2006 et le PDAU de 2016, avec un intervalle de dix ans, dont le milieu de cette série représente la date de l'inondation, soit 2011.

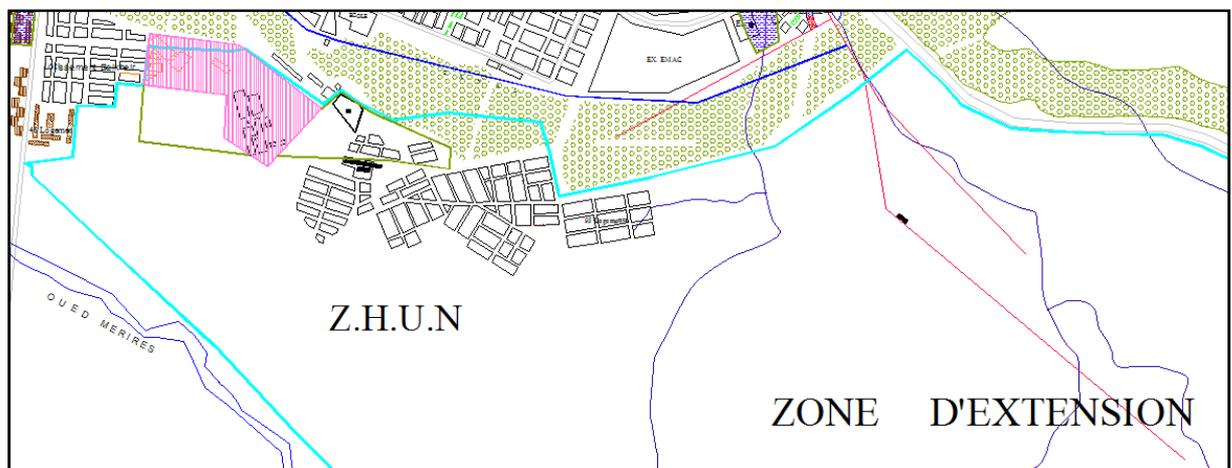
#### **7.3.1. Analyse des orientations du PDAU de 2006**

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de 2006 a été réalisé par le bureau d'études et de réalisations en urbanisme URSA, en plus de la révision de ce plan, il contient la carte des zones à risques qui comporte quatre classes :

- *Classe 1 : Risque d'inondation provoquée par le débordement d'oued* : Cette classe comprend les zones limitrophes de l'oued El-Biodh, avec une bande, d'une largeur d'environ 35 m de part et d'autre du quartier « Belle vue », et 40 m dans le quartier de Graba, avec la même largeur pour le quartier d'oued el farane, allant jusqu'à l'oued Merires pour finir avec une bande d'environ 70 m dans l'exutoire. En plus de ces quartiers, cette classe contient des zones non affectées par l'inondation de 2011, à l'instar de la zone étendue de la route de Rogassa, passant par le sud du quartier ouled yahia jusqu'à la sortie nord vers Saida.
- *Classe 2 : Risque d'inondation provoquée par la stagnation des eaux pluviales* : d'après l'URSA, cette classe nécessite une étude spécifique. Ainsi, quatre zones sont délimitées dans cette classe. Il s'agit des parties des quartiers, Sanaouber, Elanaseur et la cité de 50 logements, qui sont liés par un facteur commun du fait qu'ils se situent à côté du barrage vert , alors que la quatrième zone concerne une école primaire située

dans le quartier « Belle vue », sur une distance d'environ 200 m de la bordure de l'oued El-Biodh.

- *Classe 3 : Risque de glissement de terrain* : Il s'agit de terrains en pente et argileux, tel que le quartier Seddikia, la partie limitrophe avec l'oued El-Biodh, du quartier « petit pont » et « Hai essalem » jusqu'à l'exutoire, et un lycée dans le quartier « Belle vue ». Le problème qui se pose, c'est que dans ces zones à quartiers relativement anciens, on remarque l'insertion d'un quartier appartenant à l'extension urbaine (ZHUN), comme il est illustré dans la figure 126. Dans ce cas, quelle est l'utilité des études de révision du PDAU si elles ne sont pas prises en considération dans la réalité ?



**Figure126.** La zone d'extension de la commune d'El-Bayadh - extrait du PDAU 2006-

*Classe 4 : Risque d'inondation et glissement de terrain* : Il s'agit ici de la partie jouxtant l'Oued El-Biodh du Hai Essalem et du quartier petit pont, laquelle fait partie aussi de la classe précédente, à savoir la classe trois.

Selon l'URSA, ces deux dernières classes (*Classe 3 et Classe 4*) nécessitent une étude géotechnique et des actions appropriées.

En plus de ces classes de risque, le PDAU ressort une proposition de la zone d'extension urbaine et les terrains aménageables. Assiégée par le barrage vert, la ville d'El-Bayadh nécessite une extension au-delà de la limite de ce premier. Ce choix a été porté sur la partie sud de la ville, vers Aflou, limitée par le barrage vert et le Djebel de Bouderga, sur une assiette foncière de 15 hectares.

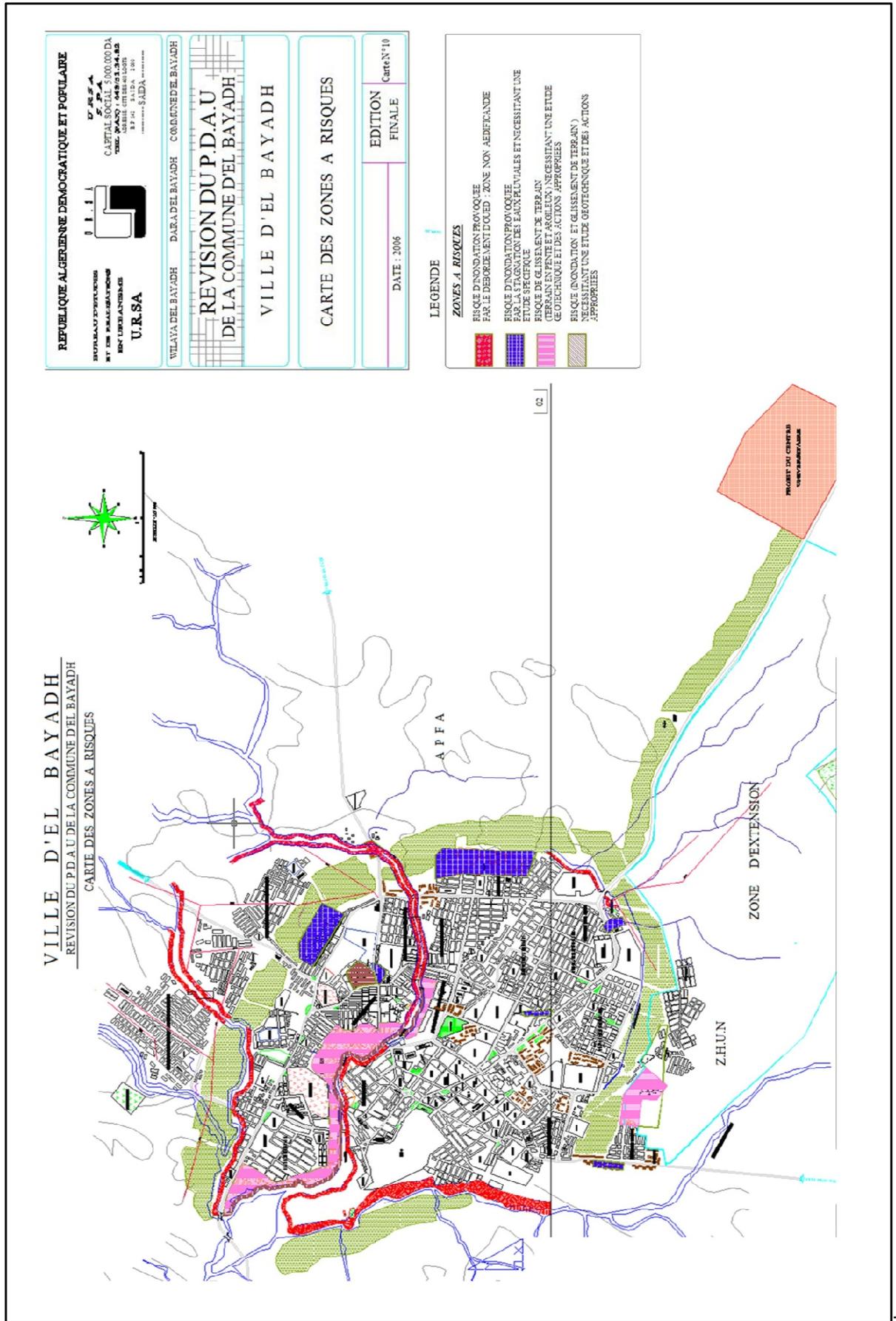


Figure 127. PDAU de la commune d'El-Bayadh année 2006

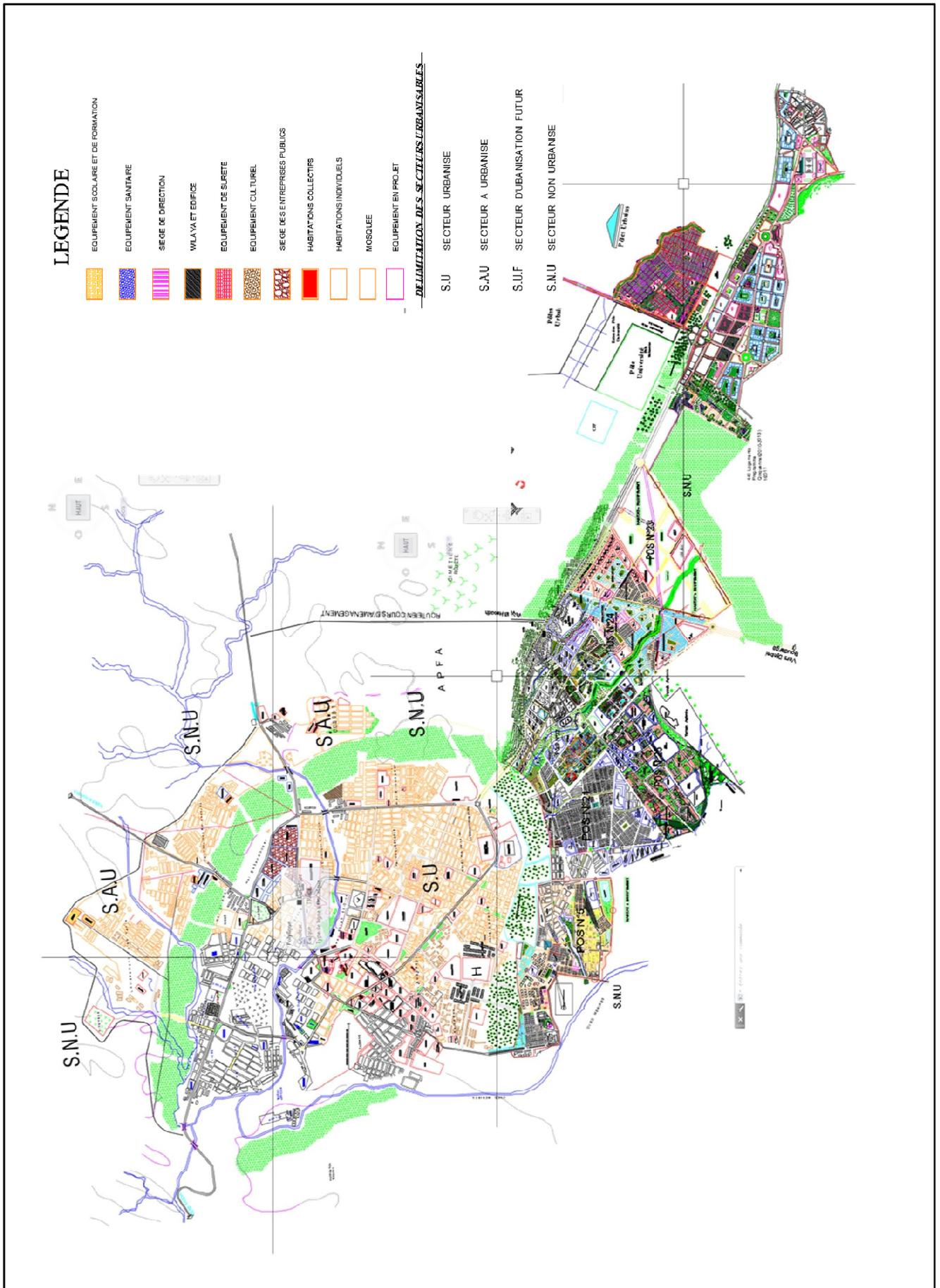


Figure 128. PDAU de la commune d'El-Bayadh année 2016

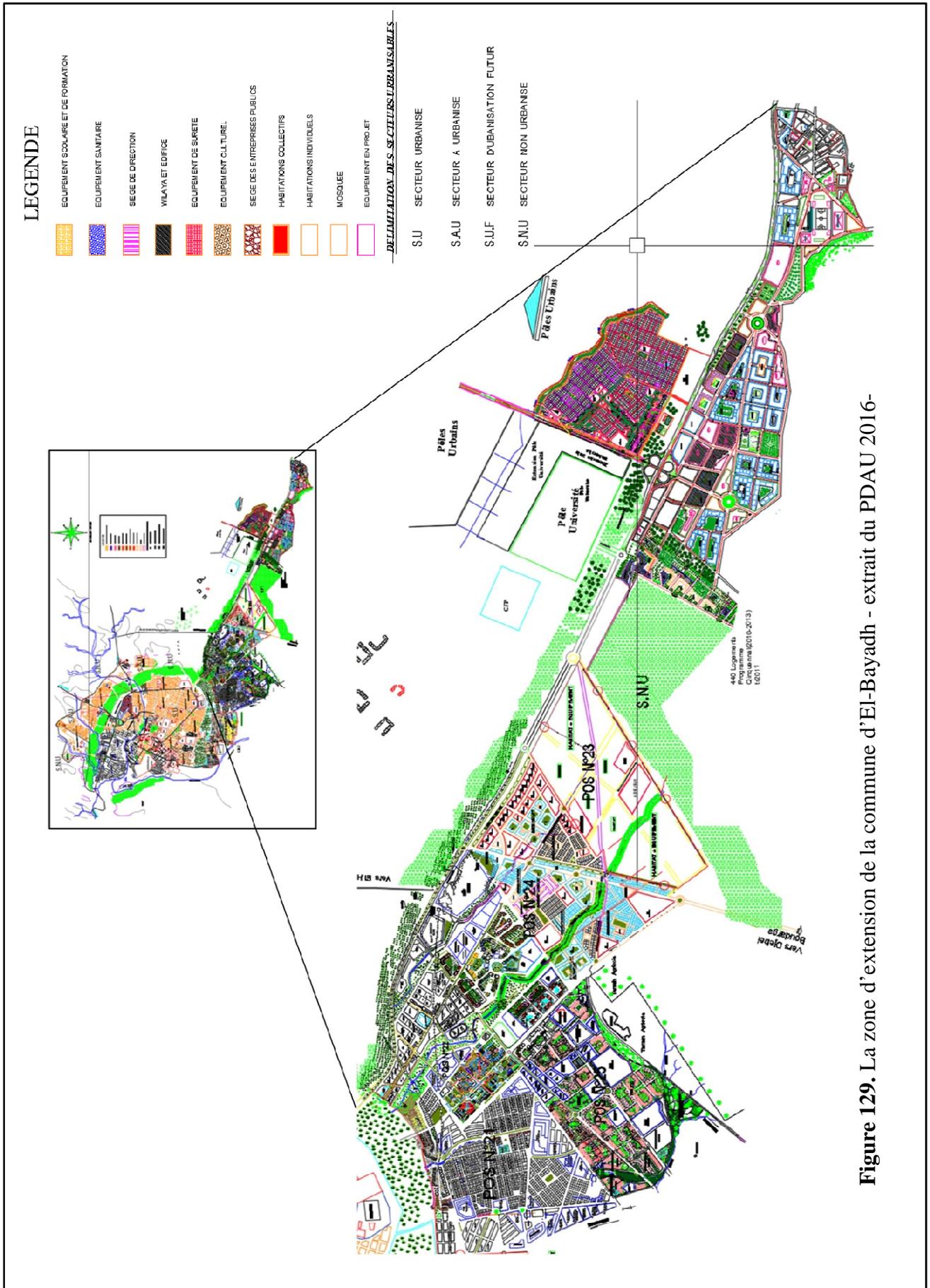


Figure 129. La zone d'extension de la commune d'El-Bayadh - extrait du PDAU 2016-

### **7.3.2. Étude du PDAU 2016**

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de l'année 2016, en cours d'approbation, a été réalisé par le bureau d'études URSA. Cependant, cette étude représente une continuité du plan 2006 qui fait ressortir uniquement la zone d'extension urbaine, où on relève les équipements et les logements, en d'autres termes les prévisions du PDAU 2006 n'ont pas pris en considération les risques, ni dans les zones touchées par l'inondation de 2011, ni encore moins dans les terrains aménageables. Ce qui constitue une menace pour le retour du scénario des inondations dans ces nouvelles zones figure 129.

Cette étude diachronique du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme montre certains points faibles dans la révision de ce dernier. Nous avons constaté l'absence de la notion de superposition spatiale des différents couches thématiques – la notion du système de référence, ainsi que le choix mal étudié de l'assiette foncière, à l'instar de l'implantation d'une nouvelle cité dans une zone à risque (figure 126). Pour que ce choix soit fiable, notre proposition repose sur l'intégration des différents paramètres sous forme de couches thématiques dans un SIG. Ces paramètres sont liés aux assiettes telles que la pente, la carte d'aléa inondation, ainsi que des facteurs règlementaires comme la nature juridique. La combinaison des résultats nous permettra la mise au point d'un choix optimal du site à exploiter.

La section suivante présente notre approche du choix de la zone d'extension urbaine et les terrains aménageables par l'utilisation de la carte d'aléas inondation, et d'autres données, dans un prototype SIG/AHP. Le résultat constituera, dans les prochaines étapes de notre travail, une réflexion et à titre comparatif de ce qui a été fait dans le PDAU 2016.

### **7.4. Détermination des terrains aménageables pour l'extension urbaine de la commune d'El-Bayadh**

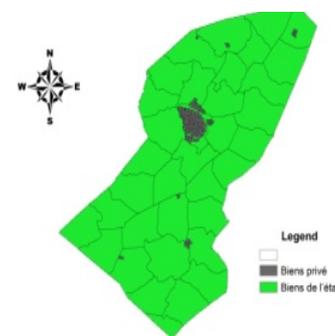
L'approche méthodologique développée et présentée dans cette partie consiste en l'application du processus de triple fusion servant à:

- Etablir la carte d'aptitude à l'aménagement en tenant compte des lois promulguées en ce qui concerne la gestion du sol et les contraintes à respecter,
- Etablir la carte d'aptitude à l'aménagement en tenant compte des propriétés physiques liées au sol et aux risques naturels,
- Etablir la carte d'aptitude à l'aménagement en tenant compte des deux cartes produites,

### 7.4.1. Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs liés aux assiettes foncières

Il s'agit ici de rechercher les terrains appropriés à l'aménagement selon les critères liés aux indicateurs à l'intérieur de la commune d'El-Bayadh. Pour cela, plusieurs critères ont été intégrés dans le processus décisionnel sous forme des couches thématiques et des images raster. Ces facteurs sont pondérés relativement l'un par rapport à l'autre selon le degré d'importance de chacun dans l'opération d'établissement de la carte d'aptitude à l'aménagement.

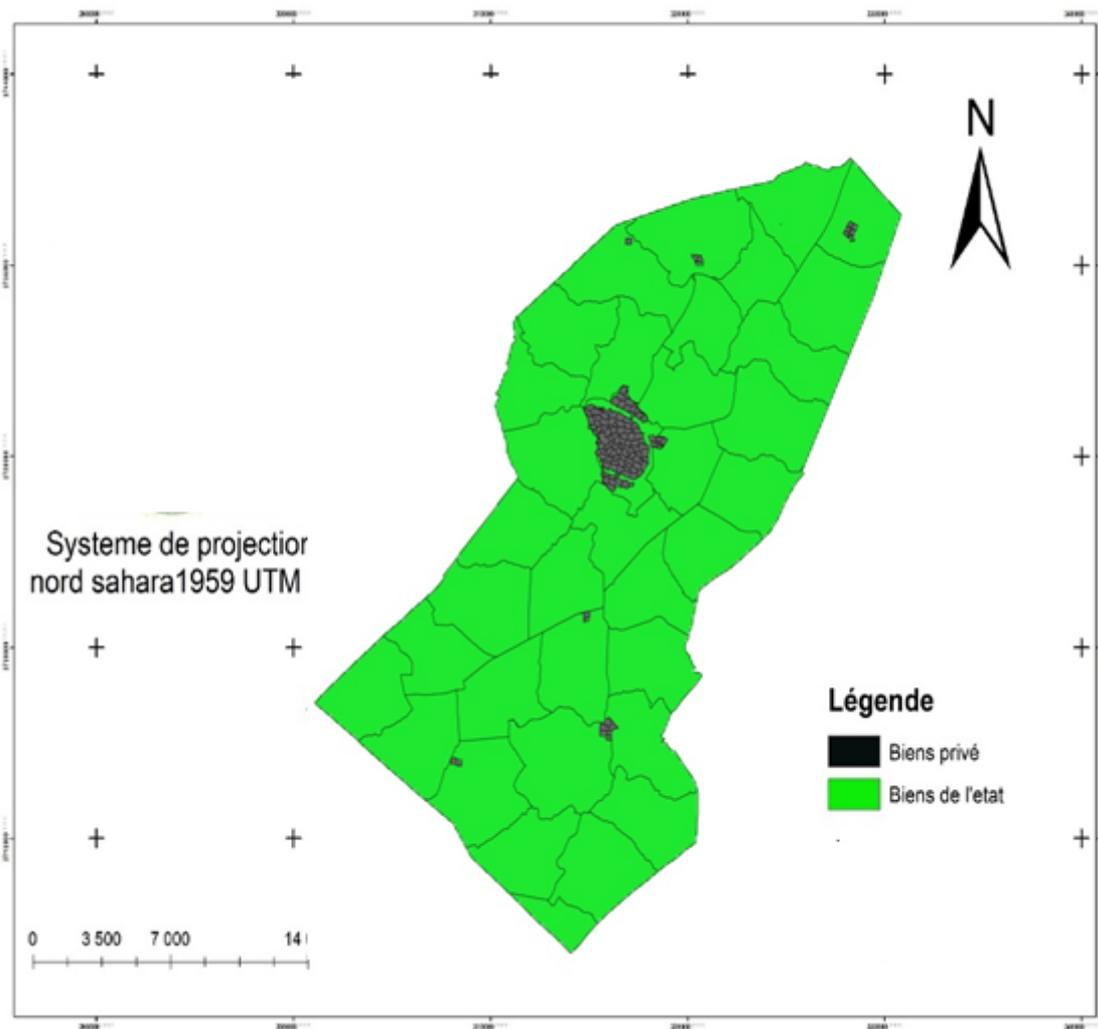
**Tableau 43. Paramètres de combinaison par AHP**

Méthode de combinaison	Facteurs	Méthode d'intégration spatiale
<b>Combinaison par la méthode AHP</b>	Carte lithologique	<p><b>section cadastrale</b></p> 
	Carte des pentes	
	Carte d'occupation des sols	
	Carte d'aléas inondation	

Ces cartes sont déjà présentées dans le chapitre II de la deuxième partie, il reste la présentation du plan cadastrale qui est composé de sections urbaine, rurale et steppique, et ce en rapport avec la nouvelle notion d'établissement du cadastre en Algérie.

- **Carte de la nature juridique : Plan cadastral**

Des données en relation avec les sections steppiques ont été récupérées auprès de la direction du cadastre de la wilaya d'El-Bayadh, sous forme numérique avec les zones à exclure. Les sections sont structurées en couches indépendantes, transformées en format raster et binarisées.



**Figure 130.** Limites des sections cadastrales et nature juridique.

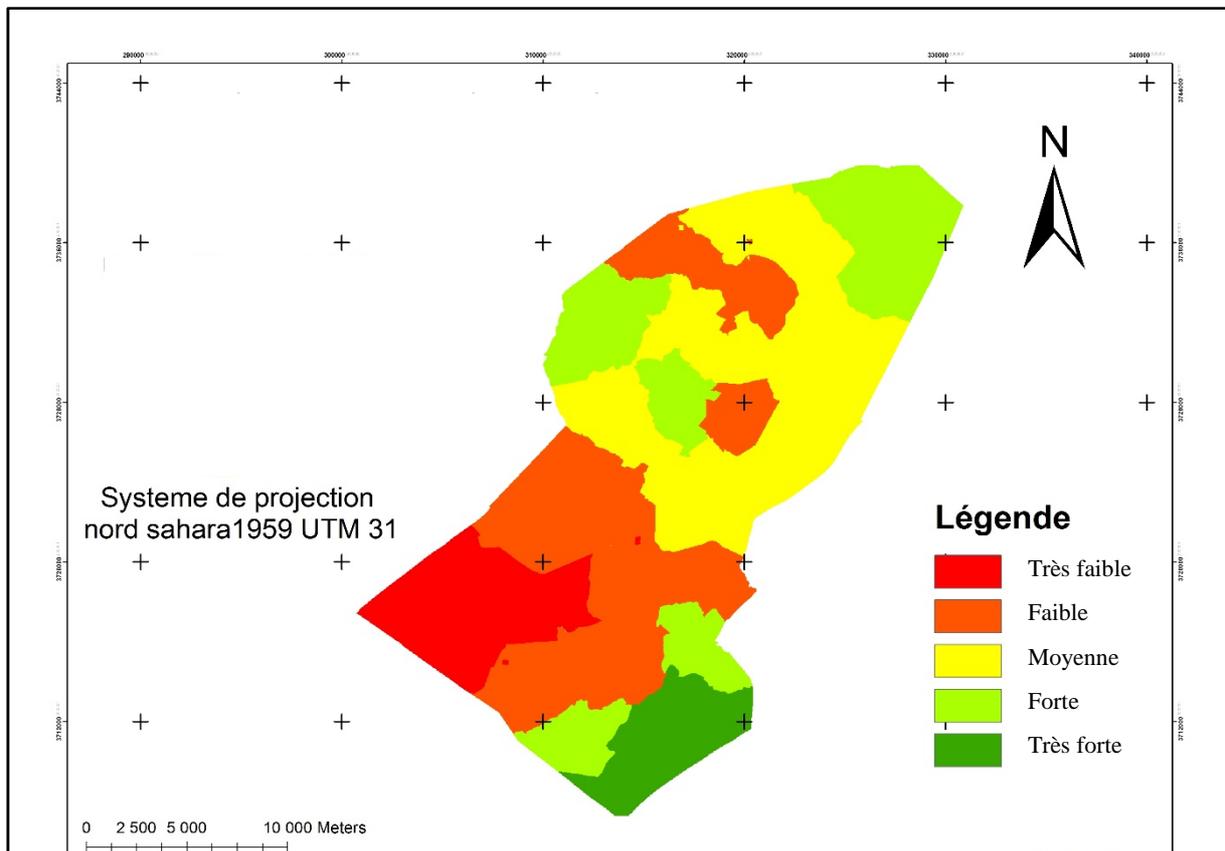
#### 7.4.2. Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs règlementaires

La deuxième application sur l'établissement de la carte d'aptitude à l'aménagement correspond à la recherche des terrains selon les principes généraux d'aménagement. Pour sa réalisation, nous avons opté pour certains critères de reclassification en format binaire. Deux facteurs entrepris dans le processus d'établissement de cette carte, à savoir le couvert végétal (carte NDVI) et la nature juridique (plan de sectionnement du cadastre). L'organigramme suivant présente le processus d'établissement de la carte d'aptitude selon les indicateurs.



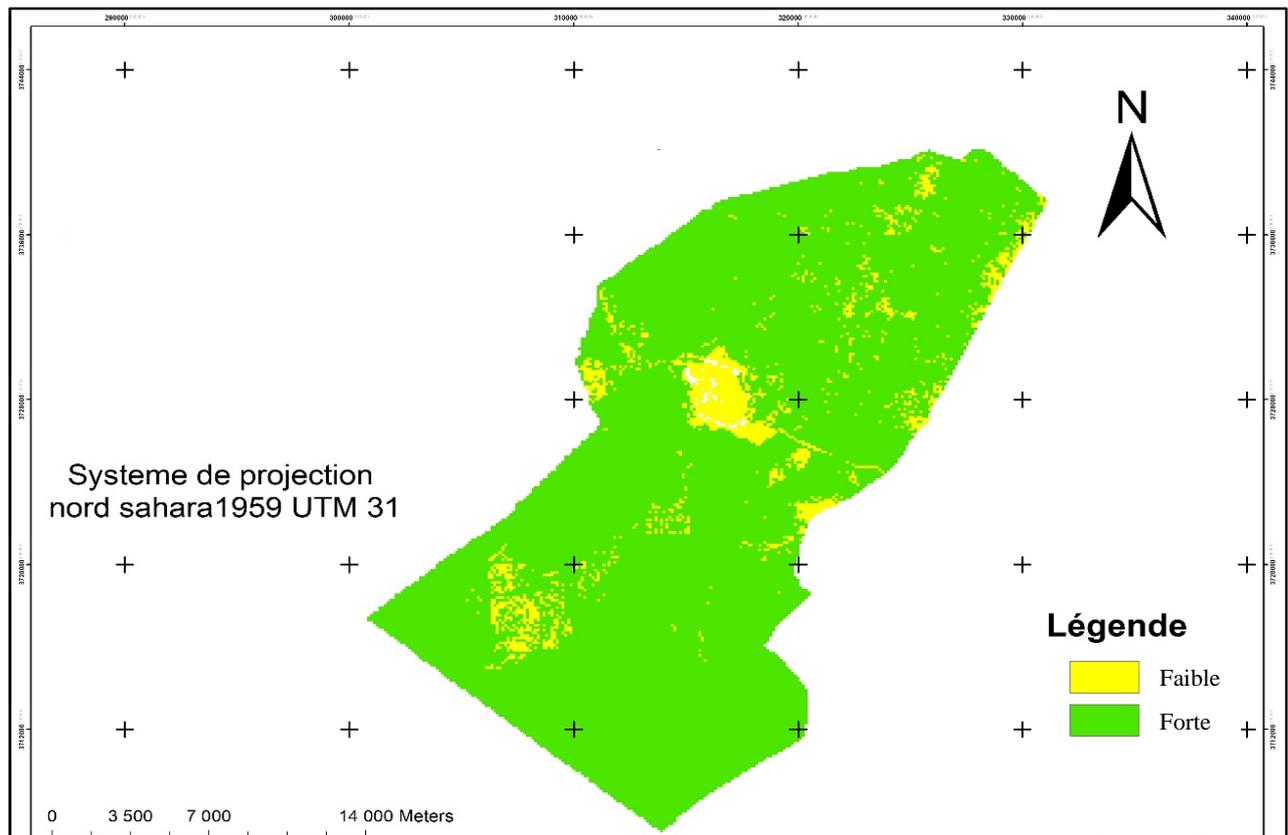
**7.4.3. Résultats et analyse**

La carte ci-dessous représente la combinaison spatiale multicritère réalisée sous ArcGIS. Elle constitue le premier résultat de fusion. La lecture de la carte montre qu'il y'a 5 classes de terrains qui diffèrent en termes d'aptitude à l'aménagement, suivant les critères liés aux assiettes. Les terrains sont bien classés et identifiés, du faible à la forte aptitude.



**Figure 132.** Carte d'aptitude à l'aménagement de la commune d'El-Bayadh par section cadastrale selon les facteurs liés aux assiettes.

Le résultat obtenu de la seconde fusion montre deux classes de terrains obtenues par la combinaison, la modeste aptitude et la bonne aptitude à l'aménagement, selon les principes généraux d'aménagement.



**Figure 133.** Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs règlementaires.

La dernière étape du processus d'établissement de la carte d'aptitude à l'aménagement de la commune d'El-Bayadh est la combinaison des deux cartes d'aptitude issues des résultats précédents, selon leur degré d'importance par rapport à l'objectif final.

la troisième fusion permet de raffiner la précision de détermination des assiettes foncières du fait qu'elle fait la liaison entre ce qui est propriété intrinsèque des terrains et l'aspect de leur organisation selon les lois, où a adopté comme unité d'intégration spatiale la section cadastrale. La figure ci-dessous présente la carte d'aptitude finale à l'aménagement du territoire de notre zone d'étude.

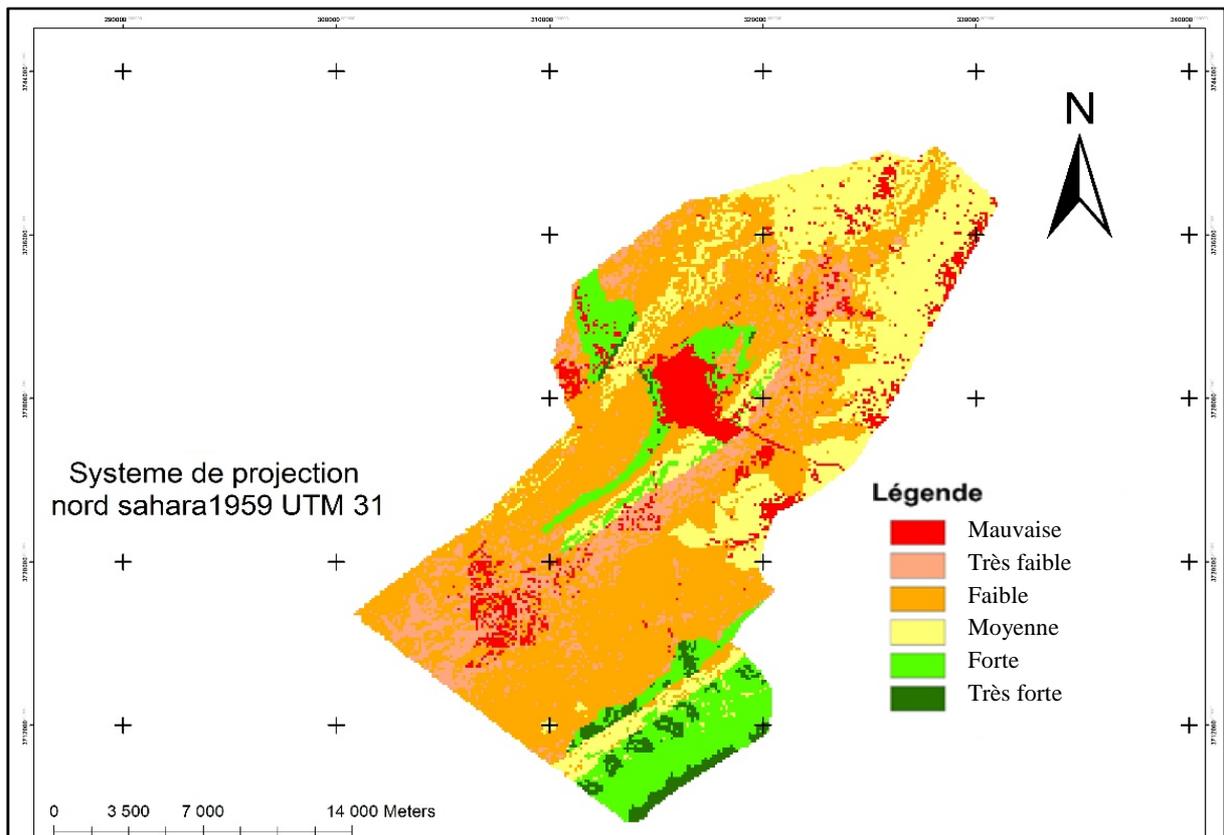


Figure 134. Carte d'aptitude à l'aménagement final de la commune d'El-Bayadh.

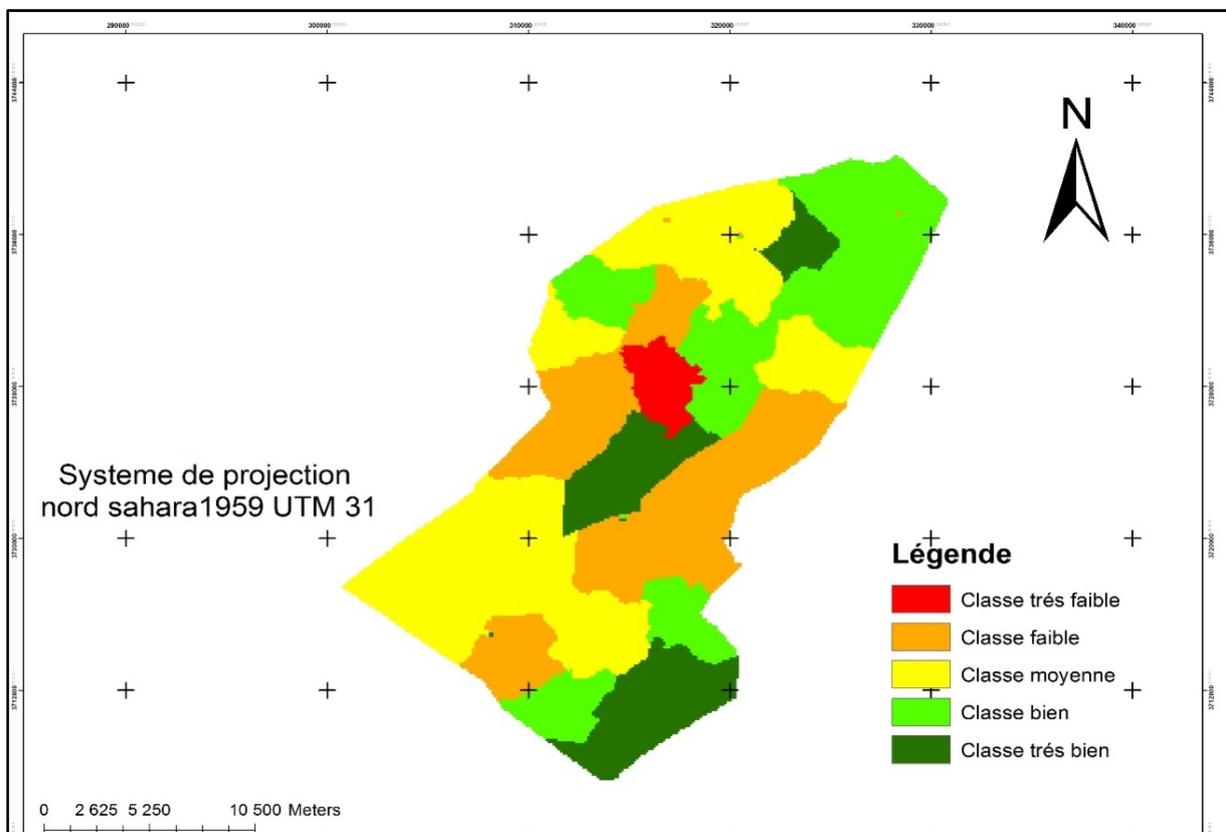


Figure 135. Carte d'aptitude à l'aménagement de la commune d'El-Bayadh par section cadastrale

Selon la démarche suivie, la figure 135 représente le résultat de la combinaison spatiale multicritère réalisée sous ArcGIS. Les cinq classes obtenues indiquent le degré d'aptitude des terrains à l'aménagement en respectant les critères liés aux assiettes et aux principes d'aménagement. Autrement dit, elle représente une carte de prise de décision à l'échelle de la commune d'El-Bayadh.

### **7.5. Aménagement de précision à grande échelle**

Le plan d'occupation des sols (POS) est un instrument de planification. Il est introduit par un règlement accompagné de documents graphiques. Il fixe de façon détaillée, pour les secteurs concernés, la forme urbaine, l'organisation, les droits de construction autorisée et exprimée en m<sup>2</sup> de plancher hors œuvres ou en m<sup>3</sup> de volume bâti, les types de constructions autorisées et leur usage. Il détermine les règles concernant l'aspect extérieur des constructions. Il délimite les espaces publics, les espaces verts, les emplacements réservés aux ouvrages publics et aux installations d'intérêt général ainsi que les tracés caractéristiques des voies de circulation. Il définit les servitudes, précise les quartiers, rues, monuments et sites à protéger, à rénover ou à restaurer. Il localise les terrains agricoles à préserver et à protéger. Le POS se traduit par un règlement accompagné des documents suivants :

- La note de présentation dans laquelle sera justifiée la comptabilité des dispositions du POS avec celles du PDAU, ainsi que le programme retenu pour la ou les communes concernées en fonction de leur perspective de développement.
- La partie de règles fixant pour chaque zone homogène et en tenant compte des dispositions particuliers applicables à certaines parties des territoires, telles que définie par la loi 90-29 susvisée: la nature et la destination des constructions autorisées ou celles interdites, les droits de constructions attachées à la propriété du sol exprimée par le COS, ainsi que le CES, et toutes les servitudes éventuelles.
- La surface du plan net.

Dans les applications qui suivent, nous allons rechercher les terrains appropriés à l'installation des différents équipements issus de l'analyse des besoins de la population. Notre objectif dans le cadre aménagement urbain est l'implantation de la nouvelle ville et ses différents équipements affiliés.

### 7.5.1. Sites d'implantation des équipements

La figure ci-dessous représente la zone sélectionnée pour la création de la nouvelle ville d'EL-Bayadh –zone à aménager-, issue de la carte d'aptitudes finale à l'aménagement (Figure.136). La parcelle a été modifiée selon l'état d'occupation actuelle (image Google Earth 2017) avec une surface de 9, 191,641.89 m<sup>2</sup>. Cette zone est caractérisée par, un relief globalement plat, une nature juridique appartenant aux biens de l'État, et sa proximité avec la ville mère.



**Figure 136.** Parcelle d'aménagement de la nouvelle ville de la commune d'El-Bayadh

Pour l'analyse des besoins en équipements nous nous sommes basés sur le recensement national de 2015 de la commune d'El-Bayadh, tout en prenant en considération le taux de croissance qui était proche de 4%. Sachant que la population de la commune d'El-Bayadh, à la fin 2015, était de 120 948 habitants, cette situation traduit une évolution importante de la population dans la mesure où en 44 ans, elle a doublé à un rythme moyen annuel absolu de 5.167 habitants, selon les différents recensements de la population effectués depuis l'indépendance. Le tableau suivant montre les statistiques de recensement de la commune d'El-Bayadh à la fin de l'année 2015.

**Tableau 44. Répartition de la population de la Commune d'El-Bayadh par groupe d'âge et par sexe (Estimation fin 2015)**

<b>Groupes d'âges</b>	<b>Masculin</b>	<b>Féminin</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
00 - 04 ans	7 887	7 644	15 531	12.84
05 - 09 ans	7 582	7 524	15 106	12.49
10 - 14 ans	7 708	7 622	15 330	12.68
15 - 19 ans	6 979	6 858	13 837	11.44
20 - 24 ans	6 150	6 124	12 275	10.15
25 - 29 ans	5 341	5 195	10 536	8.71
30 - 34 ans	4 523	4 316	8 839	7.31
35 - 39 ans	3 146	3 153	6 298	5.21
40 - 44 ans	2 675	2 662	5 337	4.41
45 - 49 ans	1 922	1 984	3 906	3.23
50 - 54 ans	1 358	1 270	2 628	2.17
55 - 59 ans	1 310	1 287	2 597	2.15
60 - 64 ans	1 153	1 103	2 256	1.87
65 - 69 ans	761	733	1 495	1.24
70 - 74 ans	588	570	1 158	0.96
75 - 79 ans	352	331	683	0.57
80 - 84 ans	390	436	826	0.68
85 ans et plus	1 166	1 145	2 311	1.91
<b>Total Général</b>	<b>60 991</b>	<b>59 957</b>	<b>120 948</b>	<b>100.00</b>

Notre but dans cette section est de proposer une stratégie pour optimiser l'espace disponible. Tenant compte du manque d'information concernant le côté budgétaire, nous allons faire l'édification de besoin en logements, en se basant sur un recensement approximatif de 20 000 habitants qui ont besoin de logement. En s'appuyant sur la grille d'insertion des équipements collectifs et la fonctionnalité d'analyse spatiale du SIG, nous déterminerons les besoins en équipements et leurs emplacements optimaux.

### 7.5.2. Carte des Réseaux

- Réseau routier

Le réseau routier est l'ensemble des voies de circulation terrestres permettant le transport par véhicules routiers, et en particulier, les véhicules motorisés (automobiles, motos, autocars, poids lourds...). Nous avons fait la mise à jour du réseau routier sur la base de l'image Google Earth 2017.

- **Réseau AEP**

L'adduction d'eau regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux vers les lieux de consommation. Il existe deux types d'adduction :

- l'adduction gravitaire, où l'écoulement de l'eau à des pressions importantes est causé par la différence des niveaux hydrauliques : l'altitude de la source est supérieure à l'altitude du point de consommation, et se déplace donc grâce à la force de gravitation. C'est le Principe du château d'eau .
- l'adduction par refoulement où la pression sur le réseau et l'acheminement de l'eau se fait à l'aide de pompes à l'intérieur de stations de pompage.

- **Réseau d'Assainissement**

Un réseau d'assainissement est un système de collecte des eaux usées où toutes les eaux (eaux usées domestiques et eaux pluviales) transitent par une seule et même canalisation et se mélangent. Une alternative à ce système est la construction de réseaux séparatifs où l'eau de pluie et les eaux usées possèdent chacune d'elles son réseau d'évacuation, séparé mais relié vers l'exutoire.

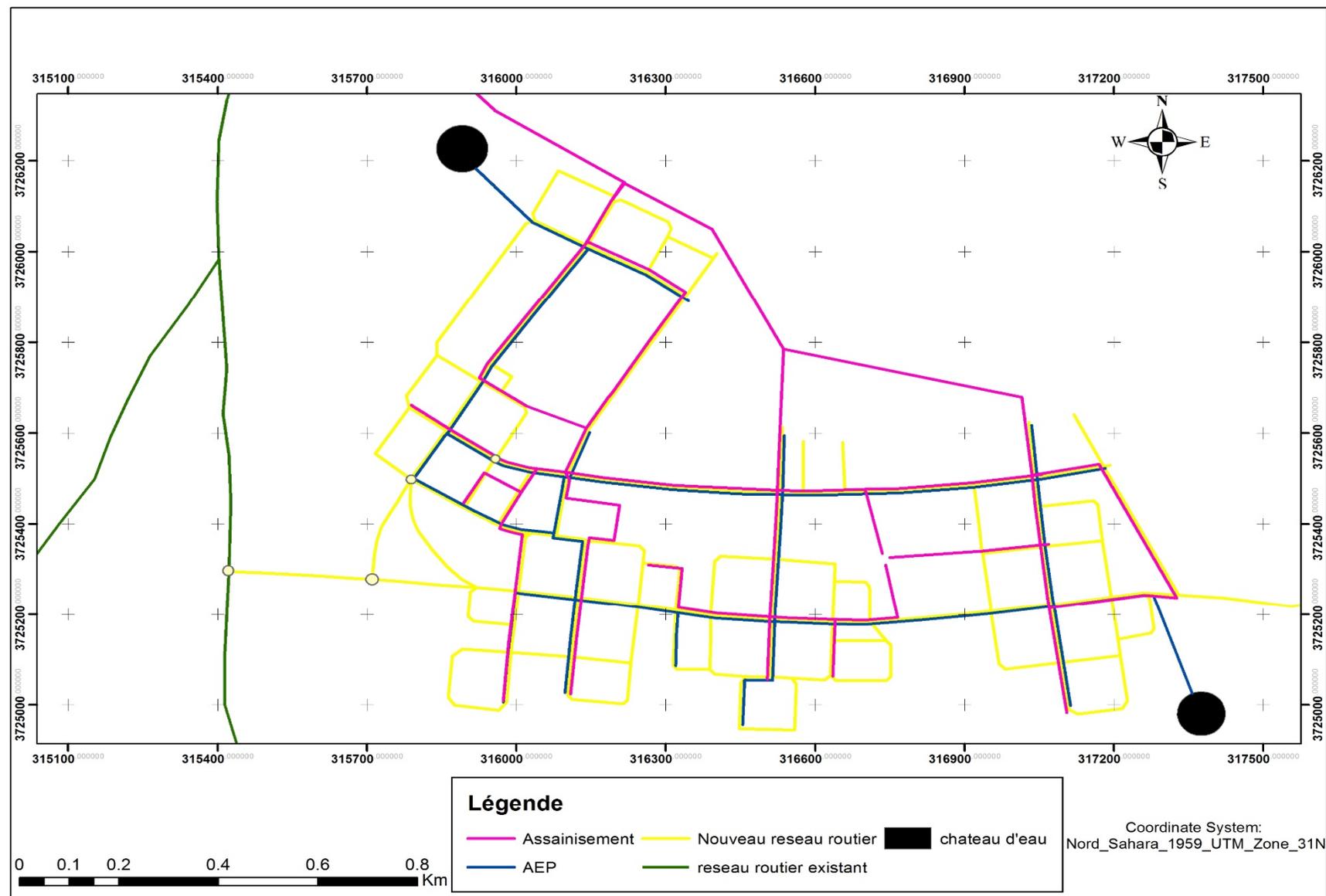


Figure 137. Carte des réseaux de la nouvelle ville d'El-Bayadh

### 7.5.3. Aménagement des équipements

#### ○ Zones Réservés

On distingue trois types de zones réservées sur cette carte :

**Zone 1 :** Réserve aux grands projets et équipements (Hôpital, administration publique....) Leur emplacement est centré entre l'ancienne ville d'El-Bayadh et la nouvelle ville (l'extension urbain).

**Zone 2 :** Réserve pour les bâtis prévisionnels.

**Zone 3 :** Cette surface est répartie sous forme de lotissements.

Les trois zones sont présentées dans la figure 138.

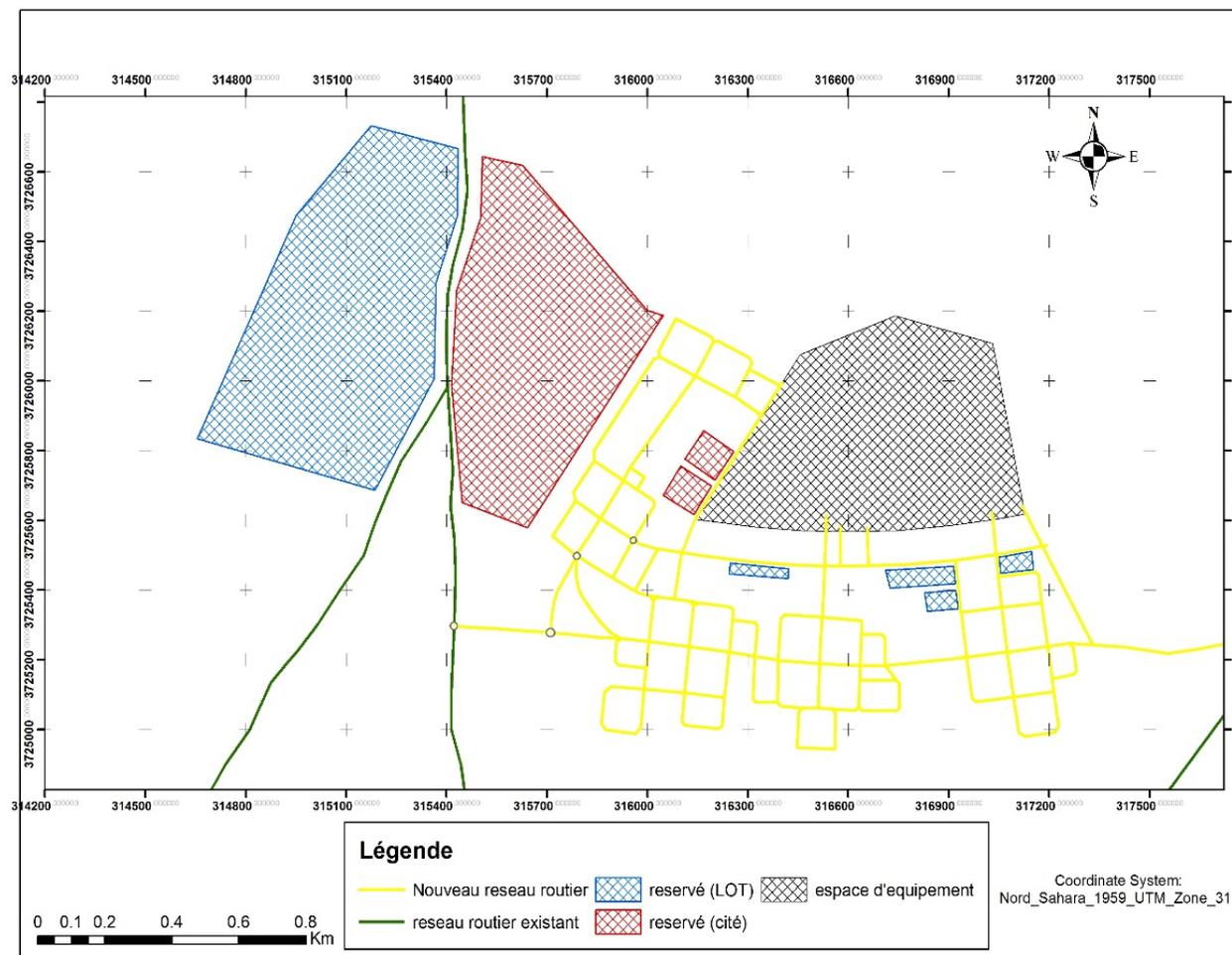


Figure 138. Carte des zones Réserves de la nouvelle ville d'El-Bayadh

o Zone urbanisée

A ce stade, notre recherche de sites s'oriente au niveau de l'agglomération et de sa périphérie. Ceci est justifié par les critères ou les recommandations générales d'instauration de ces équipements. La carte ci-dessous représente l'aménagement de tous les équipements nécessaires sur la nouvelle ville d'EL-Bayadh pour une population estimée à 20 000 habitants.

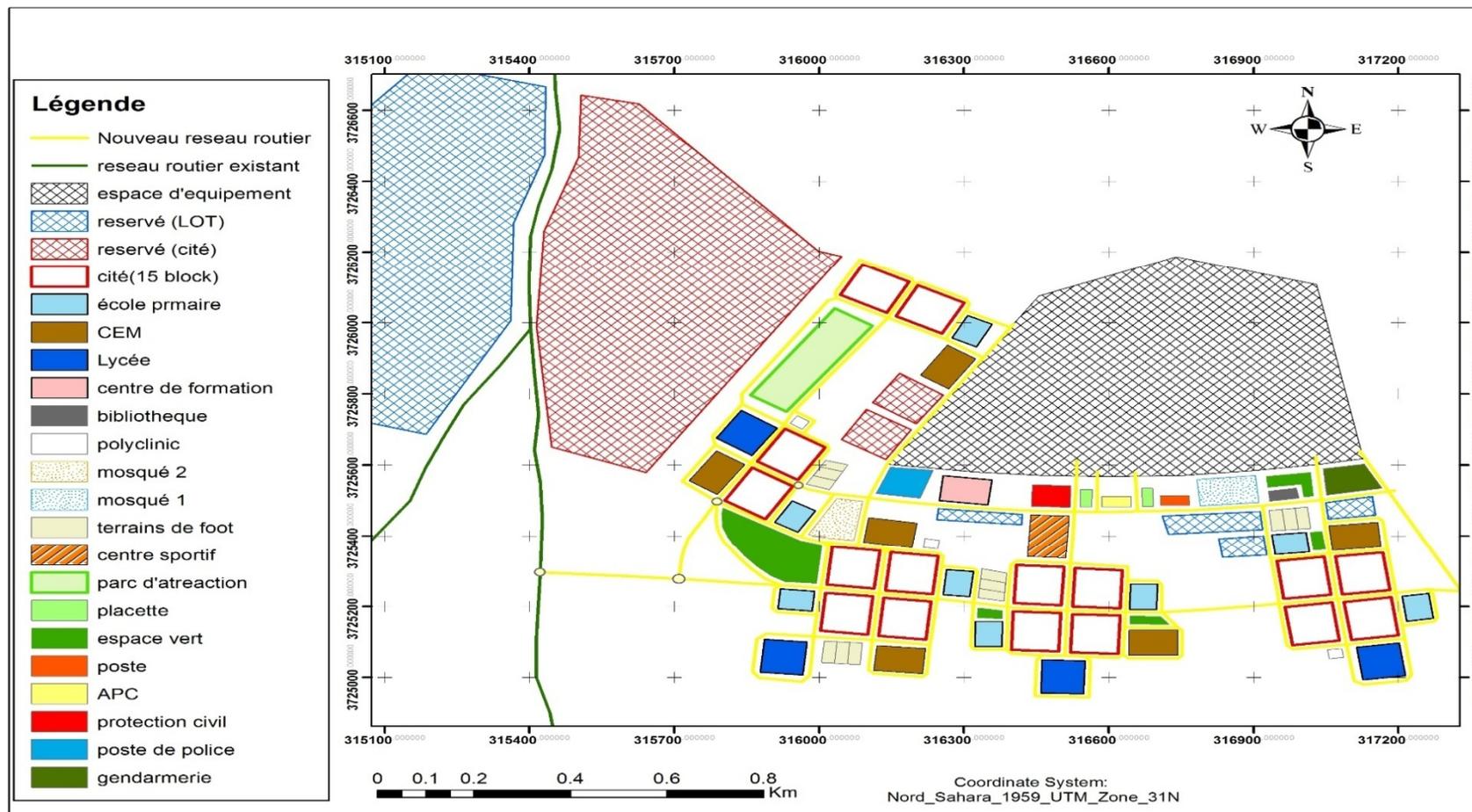


Figure 139. Carte d'aménagement des équipements de la nouvelle ville d'El-Bayadh

## **7.6. Synthèse**

La comparaison des résultats obtenus par le prototype SIG/AHP concernant le choix de l'assiette foncière la plus appropriée à l'aménagement et les terrains aménageables montre un accord avec celle des prévisions du PDAU 2006 et ce qui a été réalisé en PDAU 2016. La remarque qui pourrait être tirée du PDAU 2006 et du PDAU 2016, elle a trait au choix de l'extension urbaine qui est toujours basé sur deux principaux critères : La proximité de l'ancienne ville et la nature juridique. Du point de vue gestion et planification, cette proposition est acceptable, mais l'opération reste toujours lente pour arriver à ce choix. Ce n'est pas le cas dans l'approche SIG/AHP où les critères sont introduits au début et les résultats sont toujours valables relativement au poids des critères.

Cependant, l'implantation des différents équipements affiliés à la nouvelle ville fait l'objet d'un différend entre le PDAU et ce qui a été proposé par l'approche SIG/AHP. Dans le premier, on trouve une récurrence des cités avec le même style, sans la prise en compte des équipements, ce qui se traduit par une crise dans les équipements de l'éducation, à l'instar de la nouvelle ville « Cheikh Bouamama » où l'on a enregistré de mauvaises infrastructures et l'absence d'espaces de loisirs.

Par contre, l'approche SIG/AHP donne l'emplacement optimal des équipements affiliés, en se basant sur les critères de la grille des équipements établis par la direction du logement et des équipements, où chaque cité est implantée avec ses propres équipements ( éducation ,santé, ..), en plus de la réservation d'assiettes foncières pour de grandes infrastructures éventuellement prévues entre l'ancienne ville et l'extension opérée, sans oublier la gestion simplifiée de l'espace par des requêtes spatiales.

### **Conclusion du septième chapitre**

Pour aménager le territoire communal, il faut d'abord constituer une équipe pluridisciplinaire à missions et objectifs communs: Organiser dans l'espace les équipements projetés issus de l'estimation des besoins de la population. Dans la philosophie d'urbanisme, chacun a son regard du futur de la ville et des priorités par rapport aux besoins. Ce genre de différence, ne constitue pas des contradictions pour la simple raison que toute variante doit respecter des principes d'aménagement. En conséquence chacune a ses avantages et ses inconvénients.

Pour résoudre le problème de la densité urbaine, nous nous sommes basés sur plusieurs facteurs pour ressortir l'extension urbaine, ou bien créer des morceaux de ville. Notre application développée, SIG/AHP, cherche à trouver des solutions pour respecter ces principes mais avec une justification du choix de l'assiette foncière. A cet effet, nous avons utilisé le système d'information géographique avec l'analyse multicritères pour résoudre ce problème, lequel nécessite la prise en compte des critères qui concernent la gestion du sol, les contraintes à respecter et d'autres critères législatifs.

D'après l'approche admise dans le processus de la recherche des terrains pour l'extension de la ville d'El-Bayadh, la solution combinée SIG/AHP présente des avantages, comme:

- Le choix des terrains selon le maximum de paramètres ;
- La maîtrise de l'ensemble du territoire communal par la connaissance de toutes ses caractéristiques ;
- L'élargissement de l'intervalle de choix en termes d'assiettes ;
- L'organisation précise selon le schéma de structure validé pour la région.

## CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

L'inondation du 01 octobre 2011 de l'oued El-Biod compte parmi les inondations les plus désastreuses vécues ces dernières décennies en Algérie. Compte tenu des dégâts humains et matériels engendrés par ce phénomène d'inondation d'une part, et les procédures légales qui rentrent dans la politique de gestion de ce risque d'autre part. Les précautions et les interventions des autorités locales ne peuvent pas être considérées comme des objectifs à long terme. L'inefficacité de ces interventions en témoigne certainement. Le cas que nous avons traité dans ce travail, à travers certains points, confirme la nécessité de la prise en considération de la qualité de ces interventions. Parmi ces aspects, le passage du droit immobilier des immeubles touchés vers le domaine public, moyennant une compensation accordée pour les sinistrés. En parallèle de cette procédure, les zones de servitude doivent être soumises à un aménagement pour les protéger contre le glissement de terrain et les inondations.

Récemment, une stratégie nationale de lutte contre les inondations a été élaborée dans le cadre d'un programme de partenariat et de coopération avec l'Union européenne et rendue publique le 17 novembre 2018. L'ANRH a signé une convention de coopération avec l'ASAL pour l'élaboration de 30 plans de prévention contre les inondations, alors que le ministère de l'intérieur avait octroyé une enveloppe financière de 47 milliards de dinars pour la prise en charge des dégâts occasionnés par les dernières inondations.

Les résultats de ces interventions doivent être exploités dans le cadre de l'urbanisation et l'aménagement des villes algériennes et la cartographie des inondations doit être dynamique et sert de support prévisionnel nécessaire à la maîtrise de ce phénomène. L'exemple du choix de la zone d'extension pour la ville d'El-Bayadh confirme que les solutions et les outils classiques sont limités. Malgré sa richesse en informations géographiques, le PDAU présente toujours des inconvénients en termes d'instruments d'aide à la décision en temps réel, à savoir la gestion de l'espace géographique avec précision et la prise en compte de tous les critères du choix de terrains aménageables. L'utilisation de la combinaison SIG/AHP permet de résoudre un problème de cette nature. Cette combinaison présente une approche d'aménagement basée sur l'intégration des données nécessaires comme la carte de l'aléa inondation. En outre, elle présente des avantages par rapport aux solutions classiques, telles que la maîtrise de l'ensemble des composantes naturelles et humaines de l'espace géographique et le choix des assiettes foncières selon un maximum de paramètres.

## CONCLUSION GENERALE

Au cours de la décennie écoulée, l'Algérie, similairement aux autres pays du monde, a connu des inondations qui paraissent à notre avis plus meurtrières et dévastatrices que celles survenues dans les pays du bassin méditerranéen. A travers ce travail, 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 de lutte contre ce phénomène reste traditionnel et ne répond pas au besoin actuel. L'objectif principal de cette recherche est dans un premier temps d'analyser le risque sous une approche géographique, autrement dit, identifier les paramètres aggravant le risque d'inondation dans une ville steppique d'El-Bayadh (nord-ouest de l'Algérie), touchée sévèrement par l'inondation d'octobre 2011.

L'utilisation de l'analyse multicritère dans un 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 représente 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 de 2001 et de 2014) afin de suivre l'évolution des facteurs favorisant ou atténuant le phénomène à étudier. Aussi, cette étude de changement nous a permis d'identifier les endroits susceptibles d'être touchés par l'inondation et déterminer leur niveau de risque. Une comparaison entre les cartes d'aléa a été faite par la suite pour faire la liaison : *facteur risque & prise de décision*.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte dans la cartographie d'aléa inondation : les précipitations, la pente, la lithologie, l'occupation du sol et le couvert végétal. Cette modélisation géographique est similaire à l'équation de l'érosion hydrique des pays méditerranéens ; la différence est dans l'estimation de la pondération de chaque paramètre. Notre approche est basée sur l'analyse multicritère notamment l'approche AHP, cette approche permet de déterminer les poids des alternatives (classes : paramètres) et macrocritères (sous classes) qui donne des résultats plus précis. Il est possible d'ajouter d'autres paramètres dans la modélisation dont dépend de la région d'étude. Mais sur le plan physique, les cinq paramètres cités auparavant résument l'aléa inondation. Nous avons fait une étude bitemporelle dans la cartographie aléa inondation en se basant sur les images TM (2001 et 2014). Ces résultats ont été représentés dans une cartographie à petites échelle. Cette approche de traitement est dédiée aux utilisateurs de ce type d'images parce que nous avons trouvé des difficultés dans l'acquisition des données à grande échelle et à haute résolution.

Notre approche de cartographie de l'aléa inondation a été basée sur la combinaison de certains paramètres avec des pondérations bien déterminées, fonctionnant comme un filtre de plusieurs entrées et une seule sortie présentant la carte d'aléa.

La lecture des cartes élaborées fait apparaître cinq classes de terrains qui se différencient en termes de risque, autrement dit, elle représente une carte de prise de décision à l'échelle communale où les terrains sont bien classés et identifiés. Cette démarche méthodologique reste valable même si on change la qualité des entrées (l'échelle, la résolution, la précision). Dans ce contexte, nous avons effectué des traitements d'amélioration de la carte d'aléa par l'amélioration de la qualité de l'image satellitaire. On parle de spatioscarte type SPOT5 de 2.5 m de résolution. Deux types de traitements ont été effectués : l'amélioration de la qualité du couvert végétal et l'amélioration de la carte d'occupation du sol. En ce qui concerne la qualité de la couverture végétale, il existe dans la littérature plusieurs indices qui cernent la végétation. Notre principal objectif est de sélectionner le meilleur qui représente la végétation steppique avec précision. Pour arriver à cet objectif, une étude comparative entre 16 indices a été exécutée et les résultats montrent que l'indice que nous avons déjà utilisé dans le cas des images TM (NDVI), n'est pas le meilleur. L'étude qualitative nous permet de juger l'indice **SARVI** approprié à la caractérisation de plusieurs types de végétation steppique dans notre zone d'étude.

Dans le deuxième volet de traitement, l'amélioration de la carte d'occupation du sol par une méthode de classification des images satellitaires de haute et très haute résolution a été adoptée. Il s'agit de la classification orientée-objet. Ainsi, l'objectif était de développer une approche de classification orientée-objet assez robuste pour la cartographie des zones steppiques. Dans cette étude, des algorithmes arithmétiques, de géométrie, de texture et contextuel ont été testés pour la cartographie de la zone d'étude. Contrairement aux algorithmes des méthodes de classification traditionnelles (par exemple le Plus proche voisin et Minimum distance), cette approche multi-stratégique est très cohérente, elle peut être réutilisée pour d'autres zones, sans avoir modifié l'ensemble des règles de connaissance. Le processus de classification utilisé a donné des résultats très satisfaisants. La possibilité d'effectuer une classification basée sur une segmentation améliore évidemment le résultat obtenu par des méthodes classiques. En outre, l'utilisation des fonctions d'appartenance basée sur le seuillage permet de réduire le nombre de pixels mal classés. Par conséquent, l'application de l'analyse orientée-objet (l'approche de l'analyse de segmentation multi-résolution) sur les données de haute résolution multi-spectrale de SPOT 5 a montré des

## Conclusion générale

résultats très prometteurs. La discrimination entre les différentes classes de la confusion était possible à l'aide de l'information spectrale et contextuelle fournis par les échantillons issus de l'image segmentée. Toutes les étapes de l'analyse de l'image pourraient être enregistrées comme une procédure complète sous forme d'un ensemble de règles de connaissances. Ainsi, cet ensemble de règles peut être appliqué à d'autres données du même type (le cas de satellite ALSAT 2A) pour résoudre un problème particulier et ouvre des perspectives pour démontrer la faisabilité de créer des règles de connaissances des objets géographiques en milieu urbain et steppique. Tous ces traitements dont l'objectif est de cartographier l'aléa inondation, sont indispensables pour arriver à une cartographie de risque inondation où la notion de la vulnérabilité est indispensable. Le plan cadastral avec son information juridique représente l'un des données qui nous a permis de réaliser la carte du risque d'inondation par la combinaison de ce dernier avec la carte d'aléa.

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 catastrophe. Nous estimons que les résultats 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 méthodes de détection des changements appliqués indiquent une transformation importante surtout la couche végétale. Ce changement est tracé dans la carte d'aléa par une conversion des classes de risque. Ce paramètre doit être pris en considération par les décideurs dans les projets d'aménagement de l'espace et la création de nouveaux périmètres urbains. C'est ce qui a été discuté dans la troisième partie : l'intégration de la carte d'aléa dans les projets d'aménagements tel que la création d'une extension urbaine de la ville d'El-Bayadh, et l'aménagement de la zone de servitude touché par l'inondation d'octobre 2011.

Cette étude pourrait permettre la sensibilisation des décideurs et des acteurs institutionnels locaux à l'utilisation des SIG et de l'imagerie spatiale, des outils qui seraient d'un apport incontournable pour une gestion rationnelle et efficiente de l'espace urbain. Les techniques SIG et l'analyse multicritère notamment l'approche AHP que nous avons appliqué, nous ont offert des synthèses utiles à la compréhension des mécanismes de production de l'espace urbain de la commune d'El-Bayadh qui devraient jouer un rôle de plus en plus important dans la prise de décision en matière de politique et de planification urbaine.

L'intégration de l'information cadastrale (la nature juridique) permet d'améliorer la précision et la fiabilité des informations pour deux raisons :

## Conclusion générale

- Son contenu informatif exhaustif, détaillé et d'une rigueur métrique élevée.
- Son rôle dans la réduction du nombre d'intervenants dans le processus d'élaboration du PDAU, en les remplaçant par le cadastre. Cette réduction a pour effet direct, la réduction de la marge d'erreur.

Contrairement à l'approche DAO, toutes les données doivent être géoréférencées dans le même système spatial (la référence spatiale). Le prototype SIG/AMC développé présente l'avantage de combiner les données en mode raster comme en mode vectoriel. Les paramètres liés à la normalisation des unités spatiales sont prises en compte afin de confier plus de rigueur au support décisionnel. Quelque soit l'étendue du territoire communal étudié, l'approche combinée SIG/AMC, présente l'avantage de la maîtrise totale de chaque mètre carré. Notre solution donne l'état de santé du foncier à l'échelle d'une unité de distance de l'ordre du pixel.

Les algorithmes développés dans le sens de détermination du degré d'aptitude, sont basés sur les principes théoriques et pratiques nécessaires pour l'aménagement :

- **Les assiettes aménageables selon les différents indicateurs :** les indicateurs pris en compte sont ceux exigés par la réglementation en vigueur dans les cahiers des charges, à savoir les indicateurs géophysiques, environnementaux et de nature juridique.
- **Les lois promulguées dans le cadre de définition des servitudes :** toutes les servitudes dans le territoire communal ont été prises en compte et intégrées sous formes d'images booléennes limitant l'espace d'intervention des aménageurs.
- **La fusion des données :** cadastrales et d'aménagement, permet de rajouter par rapport à la connaissance d'aptitudes des assiettes des équipements à installer, l'information à l'échelle d'îlot de propriété.
- **Délais de prise de décision :** la fusion du troisième niveau nous a permis de produire une carte d'aptitude de plusieurs critères, l'information de décision est prise en temps réel, ce qui permet de résoudre un grand problème pour les aménageurs.

## Bibliographie

**Aidoud A, Lefloch E, et Le Houerou HN, 2006** « Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse », vol. 17, n° 1-2, pp 19-30.

**Amir NAF et Caty W**, Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type ELECTRE, 2007, cours ingénierie financière – université de Strasbourg

**Bahlouli, 2001** « Les risques majeurs et l'aménagement du territoire », Colloque international, 15 et 16, Alger.

**Baret F, 1993**, « About the soil line concept in remote sensing ». Adv Space Res.

**BELLAAJ S, 2009** « l'adaptation aux risques liés aux stratégies d'externalisation: cas des entreprises industrielles tunisiennes », paris, France: école doctorale cognition, langage, interaction - université de paris 8 – Vincennes- saint - dénis.

**Bencherif S, 2011** « L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne », thèse de doctorat, Agro Paris Tech, Institut des Sciences et Industrie du Vivant et de l'Environnement.

**Benguerai A, 2011** « Evolution du phénomène de désertification dans le sud oranais (Algérie) ». Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 129p.

**Benmelik S, Bouaziz N, 2006** « Contribution de l'étude de la problématique de dégradation des écosystèmes oasiens par les effets de la désertification et l'ensablement (cas de Beni Abbés) », Mémoire d'ingénieur d'état Pathologie des écosystèmes. C.U. Mascara.

**Bensaid A, 2006** « SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie) » Thèse doctorat en Géographie, université Grenoble 1.

**Bensouiah R, 2003** « La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l'échec de la politique environnementale », 21p. 15<sup>èmes</sup> journées de la Société d' Ecologie Humaine, Marseille.

**Berte C.J, 2010** « Lutte contre l'ensablement, l'exemple de la Mauritanie », étude FAO Forêts organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome 2010, p89.

**Blaser T, 1992** « apport de la télédétection à la conception et à la mise a jour des plans d'aménagement » Thèse doctorat en sciences techniques, école polytechnique de Lausanne.

**Boubchir A, 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.

**BOUMEDYEN T, 2010** « L'analyse Multicritère comme outil d'aide à la décision : Application de la méthode PROMETHEE, Tlemcen » universite abou-bekr-belkaid tlemcen.

**CHAKHAR S, 2006** « Cartographie Décisionnelle Multicritère : Formalisation et Implémentation Informatique », Thèse de doctorat en informatique, Université paris dauphine.

**Chrystele L, 2005** «Création d'un modèle d'occupation de sol pour l'analyse des espaces bâtis, les images satellitaires une solution pour le suivi de la dynamique urbaine?»

**Conchita G, 2011** « SIG et analyse multicritère pour l'aide à la décision en agriculture urbaine dans les pays en développement, cas de Ouagadougou au Burkina Faso », Paris - France: Ecole doctorale sciences sociales

**Cortes A, 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.

**COUDERC R, 1973** « Remarques sur le concept de région appliqué à la steppe de l'Algérie occidentale ».Espace et développement. Paris: CIHEAM. p. 91-101 (Options Méditerranéennes; n. 23)

**Dajoz R, 1970** « Précis d'écologie », Ed. Dunod, Paris, 357 p.

**Damagnez J, 1975** « Economie de l'eau en zone aride : utilisation des eaux de surface », Options Méditer, Vol 28, p35-41.

**Daoudi A, Benterki N, et Benterki S, 2010** « La lutte contre la désertification des parcours steppiques : l'approche du développement agro-pastoral intégré », Colloque ISDA, Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food, Montpellier, 28-30. 11 p.

**Darley A et Zunino G,2010** « Les carnets pratiques: Comment concevoir des extensions urbaines denses? », Ile-De-France: Institut d'aménagement et d'urbanisme.

**DJEBAILI S, 1983** « Carte de l'occupation des terres de l'Algérie. Carte pastorale ». Notice. Biocénoses 132 p.

**El Zerey W, 2012** « La désertification: quel impact sur le développement en Algérie ? Analyse spatio-temporelle». Dar Hanine, Edition et Diffusion- ISBN : 978-9973-9995-5-9

**El Zerey W, Bouiadjra S, Benslimane M et Mederbal K, 2009** « L'écosystème steppique face à la désertification : cas de la région d'El Bayadh, Algérie. », Vertig O - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 9 Numéro 2.

**Eve J et François B, 1993** « Cartes écologiques de la végétation et télédétection satellitaire » les presses de l'université du Québec, Edition AUPELF-UREF, p.247-261.

**Faycal S, 2009** « la repercussion de la politique urbaine en algerie sur l'espace public "cas de la ville de m'sila" », thèse magister université de m'sila.

**Guerroudj Abdelhalim, Hadeid Mohamed, Seddiki Akram, 2017** « Analysis of bitemporal images to follow-up the flooding phenomenon in the western high plains of Algeria», Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Elsevier, volume 139.

**Guerroudj Abdelhalim, Hellalbi Chami, 2008** « Etude comparative entre les spatiocartes et les orth-photplans dans l'établissement du cadastre générale », mémoire d'ingénieur d'état en sciences géodésiques, Centre des Techniques Spatiales- Arzew.

**GUESDON G, 2011** « méthodes et outils aide multicritère à la décision-comparaison de saaty », Québec, Canada: faculté des sciences et de génie - université laval,

**GUYOT G, 1980** « L'érosion éolienne. INRA, station bioclimatologie de montfavet », Département of agriculture Washington.

**HADBAOUI I, 2013** « Les parcours steppiques dans la région de M'Sila : quelle gestion pour quel devenir », Mémoire de Magister en sciences agronomiques, université kasdi merbah Ouargla.

**Hammami A, 2003** « Modelisation technico-economique d'une chaine logistique dans une entreprise reseau », Saint-Etienne, France: Université Jean Monnet.

**Homayouni S, 2005** « Caractérisation des scènes urbaines par analyse des images hyperspectrales » thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris.

**Huetz D.A, 1970,** « La végétation de terre », Masson et Cie Editeurs. Paris.

**Ikhlef N, 2013** « Evaluation d'un projet de lutte contre la désertification. Cas de la localité de Oued El Hallouf, commune de Maamora, wilaya de Saida », Thèse pour l'obtention de titre Master of Science, Série n° 128, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

**J. LI, 2011** « L'application du système d'information géographique dans l'urbanisme, Saint etienne-France », Université Jean Monnet - Saint Etienne.

**Karoui S, 2009** « Improvement of remote sensing multispectral image classification by using independent component analysis », First IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing.

**KHALDOUN A, 1995** « Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha ». Réseau Parcours, pp 59-54.

**KHELIL A, 1997** « L'écosystème steppique : quel avenir ? ». Edition DAHLAB Alger. 184p.

**Kruse F.A, A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, A.F.H. Goetz, 1993** « The spectral image processing system (sips) interactive visualisation and analysis of imaging spectrometer data », Remote sensing of Environment.

**Laborde P, 2005** « Les Espaces Urbaines dans le Monde », Paris : Ed. Armand Colin.

**Landgrebe D, 1999** « Some fundamentals and methods for hyperspectral image data analysis ». In SPIE Int. Symp. On Biomedical Optics (Photonics West), pages 104– 113, San Jose CA.

**Lavauden L, 1927** « Les forêts du Sahara. Rev Eaux For », LXV: 265-77.

**LE HOUEROU H.N, 1977** « Plant sociology and ecology applied to grazing lands research, survey and management in the mediterranean Basin ».

**Le Houerou H.N, 1987** « Les ressources fourragères de la flore nord-africaine », FAO European Cooperative Network on pasture and fodder crop production, Bull. N° 5, C.R.I.A, Extremadura, Badajoz., pp. 127-132.

**LE Houerou H.N, 1995** « Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique- Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes », CIHEAM. Montpellier Série B : Etudes et recherches n° 10-397p.

**Ledoux B, 2006** « La gestion du risque inondation », Edition TEC.DOC, 11 rue Lavoisier-Paris.

**Lund E, Melhus M, Hansen K, Nystad T, Broderstad A, Selmer R, Lund-Larsen PG, 2007** «Population based Study of Health and Living Conditions in Areas with Both Sámi and Norwegian populations-the SAMINOR» study. Int.J.Circumpolar Health. 66(3):187.

**Smmain M.H, 2009** « mutations fonctionnelles d'un village colonial dans la logique de la croissance urbaine de constantine :le cas du khroub », thèse magister université mentouri-constantine.

**Adam M.N,2010** «Comment concevoir des extensions urbaines denses?,» l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France (IAU îdF), L'Île-de-France.

**Merabet A, 2006** «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.

**Moussa O, 2001** « Contribution des images ETM+ de Landsat7 à la mise à jour Cartographique à 1/200 000 Cas de la feuille de M'SILA (Hauts plateaux, Algérie)», Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace en Langue Française.

**NahaL I, 2008** « La Désertification dans le monde Causes-Processus-Conséquences Lutte », Edition l'harmattan, 1 50p.

**NAIZOT T, Y. Auda Corresponding author , A. Dervieux , J. Thioulouse & et M. F. Bellan, 2002** «Une nouvelle analyse multi-temporelle d'images satellitales, les résidus de l'Analyse en Composantes Principales. Un cas d'étude: une série d'images Landsat Thematic Mapper de la Camargue, France », International Journal of Remote Sensing.

**Nedjimi B, Homida M, 2006** « Problématique des zones steppiques algériennes et perspectives d'avenir », Revue du Chercheur 04, p. 13-19.

**Nedjraoui D et Bédrani S, 2008** « La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 8, n 1.2008

**Nedjraoui D, 2011** « Vulnérabilité des écosystèmes steppiques en Algérie.Université des Sciences et de la Technologie H. Boumediène (USTHB) , Algérie,53p.

**Oufella O, et Toabia B, 2005** « Contribution à la cartographie des zones vulnérables aux

inondations : Application de la méthode inondabilité ; Cas de la ville de Sidi Bel Abbas », Revue Semestrielle Scientifique et Technique, Journal de l'Eau et de l'environnement-ENSH Blida.

**Ould el-Moctar, A, 2014** « Le Sable du point de vue de la physique » in S. Boulay & M.-L. Gélard, Vivre le sable ! Corps, matière et sociétés, Techniques & Culture 61 : 28-41.

**Dusseux P, Hubert-Moy L, Nabucet J, 2009** « Evolution de la tache urbaine et de l'occupation des sols sur le département des Côtes d'Armor entre 1985 et 2005 » Agence départementale du développement économique et territorial des Côtes-d'Armor.

**Pouget M, 1980** « Les relations sol-végétation dans les steppes sud algéroises ». Trav. Et. Doc. ORSTOM, Paris, 555 p.

**Aouam R, 2009** « Utilisation de la factorisation en matrices non négatives pour la collecte des statistiques agricoles à partir d'imagerie satellitaire », Centre des Techniques Spatiales.

**Raffaella Balzarini, Paule-Annick, Davoine Muriel Ney, 2011** «Evolution et développement des méthodes d'Analyse spatiale multicritère pour des modèles d'aptitude : l'exemple des applications en Géosciences,» Conférence Francophone ESRI, Versailles, France.

**Rasolofoharinoro et FRANÇOIS BLASCO, 1996** « Analyse et dynamique de la végétation dans la région d'Andasibe-Périnet (Madagascar)» Thèse de doctorat en Biogéographie. Écologie tropicale. Université Toulouse 3

**Regagba Z, 2012** « Dynamique des Populations végétales halophytes dans la région sud -est de Tlemcen. Aspects phytoécologiques et cartographiques », Thèse de doctorat, Université Abou BakrBelkaïd, Tlemcen.

**Rouse Haas R.H., Schell J.A. & Deering D.W, 1974** «Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Fraden S.C., Ivlaranti E.P & Becker M.A», Thfrd ERTS-1 Symposium, NASA SP-351.

**SAHRAOUI A, 2008** « Erosion éolienne et risque d'ensablement dans la région de Barika: Approche quantitative et cartographie automatique », Mémoire de Magister en aménagement des milieux physiques. Université Batna.

**Salomon J-N, 1997** « L'homme face aux crues et aux inondations », Presses Universitaire de Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux.

**SOFIES, 2009** «Analyse multicritères de scénarios de production de tomate pour le consommateur Genevois,» Genève, France.

**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.

**Vallee A, Descourriere S, Farret R, et Gaston D, 2004** « Analyse des Risques et Prévention des Accidents Majeurs », Guide pour la prise en compte du risque inondation, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

**Von Storch and Zwiers, F. W, 1999** «Statistical Analysis in Climate Research», Cambridge University Press, Cambridge, DOI: 10.1002/1097 AID-JOC510.

**Zair M, 2011** « Bilan Ecologique et Socio-économique des reboisements dans la wilaya de Naama et perspectives d'avenir ». Mémoire de Magister, Université Abou BakrBelkaïd – Tlemcen, 165p

### **ETUDES:**

**ANAT, 2003** « Etude prospective et de développement de la wilaya d'El-Bayadh ».

**ANDI, 2013** « Monographies de la Wilaya d'El-Bayadh ».

**Centre Technique El AFAK Contrôle EURL, 2012,** « étude hydrogéologique de la wilaya d'El-Bayadh »

**CERU, 2007,** Centre d'Etudes et de Réalisation en Urbanisme wilaya d'El-Bayadh, direction de l'environnement « plan d'aménagement de la wilaya d'El-Bayadh. (paw) ».

**DERJ A, 2004** « Projet d'étude sur les formes de renforcement de la conservation entre les partenaires au développement dans le cadre de la lutte contre la désertification dans les pays de l'UMA » rapport final, p51.

**DGF (Direction Générale des Forêts), 2004** « Rapport National de l'Algérie sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification ». DGF, Alger, p35.

**DGF, 2010** « Rapport de Direction Générale des Forêts »

**Direction Générale De La Protection Civile d'Alger:** «Les inondation en Algérie»,

**DPAT, 2010** « Monographie de la wilaya d'El-Bayadh».

**Fabre G, 2007** « Ressource en eau des Hauts plateaux Est et Ouest », Ministère de L'aménagement du territoire et de l'environnement, Alger, 7 p.

**FAO, 1988** « Manuel de fixation des dunes ». Cahier FAO: Conservation no 18. Rome.

**FAO, 1992** « Le Rôle de forestière dans la lutte contre la désertification » p 124-126.

**FAO, 2010** « Lutte contre l'ensablement, exemple de Mauritanie ».

**HCDS, 2013** « Haut Commissariat au Développement de la Steppe d'El-Bayadh, études, résultats et réalisations de 2002 à 2013 ».

**INSID, 2011** « Rapport d'Institut National des sols, de l'Irrigation et du Drainage »

**M.A.D.R, 2008** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Note sur la steppe.

**ONM, 2012** « Office National de la Météorologie – El-Bayadh ».

# Annexes

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Limites naturelles de la steppe algérienne.....	11
<b>Figure 2.</b> Carte bioclimatique de l'Algérie.....	12
<b>Figure 3.</b> Etat des parcours steppique.....	16
<b>Figure 4.</b> Répartition des parcours par groupes de formations végétales.....	16
<b>Figure 5.</b> Carte nationale de sensibilité à la désertification.....	22
<b>Figure 6.</b> Effet de l'érosion éolienne et hydrique sur les sols steppiques.....	23
<b>Figure 7.</b> Dayat El Chih avant et après la mise en défens.....	28
<b>Figure 8.</b> Nebkas à flèche de sable et buissonnante.....	34
<b>Figure 9.</b> Formation des Barkhanes par l'action du vent.....	35
<b>Figure 10.</b> Les dunes linéaires.....	35
<b>Figure 11.</b> Cordons longitudinaux.....	36
<b>Figure 12.</b> Dynamique de l'avancée du sable.....	37
<b>Figure 13.</b> Les trois modes de transport éolien de particules.....	38
<b>Figure 14.</b> Inondation de Plaine.....	42
<b>Figure 15.</b> Inondation par remontées des nappes phréatiques.....	43
<b>Figure 16.</b> Inondation par crues torrentielles.....	44
<b>Figure 17.</b> Inondation par ruissellement en secteur urbain.....	44
<b>Figure 18.</b> Inondation de la ville d'El-Bayadh Octobre 2011.....	53
<b>Figure 19.</b> Carte de situation géographique de la wilaya d'EL-BAYADH.....	58
<b>Figure 20.</b> Les zones géographiques naturelles.....	59
<b>Figure 21.</b> Zone de l'Atlas Saharien –Région Boualem.....	60
<b>Figure 22.</b> Zone Prés Saharienne – El Erg Gharbi Bnoued.....	61
<b>Figure 23.</b> Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Bayadh.....	64
<b>Figure 24.</b> Les étages bioclimatiques.....	66
<b>Figure 25.</b> Histogrammes de normalité des stations climatologiques.....	69
<b>Figure 26.</b> Répartition de la pluviométrie mensuelle de la station d'El-Bayadh (1982-2012).....	72
<b>Figure 27.</b> Précipitations moyennes annuelles de la station d'El-Bayadh (1982 - 2012).....	72
<b>Figure 28.</b> Répartition des températures moyennes mensuelles de la station d'El-Bayadh (1980-2012).....	73
<b>Figure 29.</b> Températures moyennes annuelle de la station de d'El-Bayadh (1980-2012).....	74
<b>Figure 30.</b> Diagrammes ombro-thermiques mensuels des stations : El Kheiter, El-Bayadh et Saida.....	75

<b>Figure 31.</b> Diagrammes ombro-thermiques mensuels des stations : Ain Safra, Mecheria et Tiaret.....	76
<b>Figure 32.</b> L'humidité Moyenne à la station d'El-Bayadh.....	77
<b>Figure 33.</b> Répartition de l'épaisseur de la neige au niveau de la station d'El-Bayadh Période 1971-1990.....	79
<b>Figure 34.</b> Population occupée par branche d'activité.....	81
<b>Figure 35.</b> Carte des vents dominants de la wilaya d'El-Bayadh.....	84
<b>Figure 36.</b> Nebkas à flèche de sable (longueur de 15 m, largeur de 10 m et hauteur de 1,2 m).....	85
<b>Figure 37.</b> Nebkas buissonnante d'une forme ovoïde .....	85
<b>Figure 38.</b> Les ripples marks ou rides, Route communale Tousmouline-Meharra.....	86
<b>Figure 39.</b> Classement des terres en termes de superficies pour les différentes classes de sensibilité.....	87
<b>Figure 40.</b> Carte de sensibilité à la désertification d'El-Bayadh.....	88
<b>Figure 41.</b> Carte des communes touchées par l'inondation de la wilaya d'El-Bayadh.....	90
<b>Figure 42.</b> Partie des dégâts de l'inondation de 1/10/2011 Commune d'El-Bayadh.....	91
<b>Figure 43.</b> Réseau hydrographique du bassin versant El-Biod.....	92
<b>Figure 44.</b> Présentation de l'Oued El-Biod.....	93
<b>Figure 45.</b> Profil altimétrique de l'Oued El-Biod.....	93
<b>Figure 46.</b> Schéma synoptique de l'approche méthodologique.....	101
<b>Figure 47.</b> Schéma d'un cube multispectral.....	106
<b>Figure 48.</b> Concept de l'imagerie hyperspectrale.....	106
<b>Figure 49.</b> Représentation d'un pavé hyperspectral.....	107
<b>Figure 50.</b> Différents domaines d'application de l'imagerie hyper/multi spectrale.....	108
<b>Figure 51.</b> Comparaison entre le nombre des bandes spectrales dans les systèmes hyper/multi spectraux .....	109
<b>Figure 52.</b> Les satellites du système Landsat.....	112
<b>Figure 53.</b> L'outil Earth Explorer.....	119
<b>Figure 54.</b> Chemins (paths) et rangées (row) du World Reference System du territoire national.....	120
<b>Figure 55.</b> Les images Landast utilisées.....	121
<b>Figure 56.</b> Le satellite SPOT-5.....	122
<b>Figure 57.</b> La détection stéréoscopique par SPOT .....	122
<b>Figure 58.</b> Extrait de la spatiocarte SPOT5 de la zone d'étude.....	125
<b>Figure 59.</b> Zone de couverture SRTM .....	126
<b>Figure 60.</b> Extrait de modèle numérique de terrain de la zone d'étude.....	126
<b>Figure 61.</b> Extrait de la carte géologique de la zone d'étude.....	127
<b>Figure 62.</b> La carte topographique de la zone d'étude.....	128

<b>Figure 63.</b> Localisation des saltations météorologiques.....	129
<b>Figure 64.</b> Composition colorée, extraction et amélioration de la radiométrie.....	130
<b>Figure 65.</b> Etapes de classification supervisée.....	131
<b>Figure 66.</b> Carte d'occupation du sol de la commune d'El-Bayadh .....	132
<b>Figure 67.</b> Carte d'indice de végétation de la commune d'El-Bayadh.....	134
<b>Figure 68.</b> Amélioration de MNT Gtopo90 .....	135
<b>Figure 69.</b> Etapes d'amélioration du MNT.....	136
<b>Figure 70.</b> Carte des pentes de la commune d'El-Bayadh.....	136
<b>Figure 71.</b> Etapes de délimitation des bassins versants.....	137
<b>Figure 72.</b> Illustration des points cotés et courbes de niveaux digitalisés.....	138
<b>Figure 73.</b> Extrait de la carte géologique de la commune d'El-Bayadh.....	138
<b>Figure 74.</b> Génération de la carte de pluviométrie et extraction à l'échelle de la wilaya.....	139
<b>Figure 75.</b> Carte pluviométrique de la commune d'El-Bayadh.....	139
<b>Figure 76.</b> Organigramme établissant les sur-classements.....	144
<b>Figure 77.</b> Structure hiérarchique de l'aléa inondation, selon la méthode AHP.....	146
<b>Figure 78.</b> Organigramme des poids des macro-critères et des alternatives.....	150
<b>Figure 79.</b> Carte du risque d'aléa d'inondation de la commune d'El-Bayadh.....	151
<b>Figure 80.</b> Principe d'intégration des valeurs par bassins versants .....	152
<b>Figure 81.</b> Carte du risque d'inondation par bassins versants de la commune d'El-Bayadh (2001).....	153
<b>Figure 82.</b> Carte du risque d'inondation par bassins versants de la commune d'El-Bayadh (2014).....	154
<b>Figure 83.</b> Les critères d'analyse des séries temporelles.....	158
<b>Figure 84.</b> Extraits de compositions TM et Spot5.....	160
<b>Figure 85.</b> Profils temporels sur l'image.....	160
<b>Figure 86.</b> Phases du traitement en contexte multi-temporel .....	161
<b>Figure 87.</b> Méthodes de détection de changements.....	166
<b>Figure 88.</b> Les indices de végétations NDVI 2001 et NDVI 2014.....	167
<b>Figure 89.</b> Résultat de fusion des indices NDVI 2001 et NDVI 2014.....	167
<b>Figure 90.</b> Résultat de la classification de l'image TM 2001 et TM 2014.....	168
<b>Figure 91.</b> Résultat de la comparaison post classification.....	169
<b>Figure 92.</b> Quantification des résultats de l'analyse de comparaison post-classification.....	170
<b>Figure 93.</b> Courbe théorique de réflectance de la végétation verte .....	176
<b>Figure 94.</b> Exemple d'utilisation des variations des réponses radiométriques pour la discrimination des couverts végétaux .....	177
<b>Figure 95.</b> Exemple d'utilisation des variations temporelles des réponses radiométriques pour la	

discrimination des couverts végétaux.....	177
<b>Figure 96.</b> Organigramme des étapes pratique des différents traitements.....	187
<b>Figure 97.</b> Cartes des indices de végétation appliqués sur l’image LANDSAT 8de la commune d’El-Bayadh.....	189
<b>Figure 98.</b> L’image LANDSAT 8 de la commune d’El-Bayadh avec les zones de tests.....	190
<b>Figure 99.</b> Cartes des indices de végétation appliqués sur l’image SPOT5 de la commune d’El-Bayadh.....	195
<b>Figure 100.</b> L’image SPOT5 de la commune d’El-Bayadh avec les zones de testes.....	196
<b>Figure 101.</b> Méthodes d'extraction de classes selon Blaser.....	199
<b>Figure 102.</b> La ville d’El-Bayadh (extrait de l’image SPOT 5).....	201
<b>Figure 103.</b> Organigramme général de l’approche Orientée-objet appliqué.....	203
<b>Figure 104.</b> Le processus de segmentation.....	204
<b>Figure 105.</b> La hiérarchie des classes.....	209
<b>Figure 106.</b> Classe Végétation.....	209
<b>Figure 107.</b> Classe Bâti.....	210
<b>Figure 108.</b> Classe Ombre, encadré et numéroté.....	210
<b>Figure 109.</b> Classe route.....	211
<b>Figure 110.</b> Classe Sol nu.....	211
<b>Figure 111.</b> Comparaison entre la scène et la classification obtenue.....	212
<b>Figure 112.</b> La matrice de confusion de la classification des objets.....	213
<b>Figure 113.</b> Carte d'occupation des sols de la commune d’El-Bayadh obtenus par la classification Orientée-objet.....	215
<b>Figure 114.</b> Schéma synoptique de la réalisation de la carte d’aléa d’inondation améliorée sur la base des facteurs aggravant.....	216
<b>Figure 115.</b> Localisation des quartiers touchés autour d’oued El-Biod.....	223
<b>Figure 116.</b> Localisation des trois classes de risque autour d’oued El-Biod (servitude).....	223
<b>Figure 117.</b> Répartition de dégât logement par quartier.....	225
<b>Figure 118.</b> Exemple des dommages de l’inondation d’El-Bayadh.....	227
<b>Figure 119.</b> Quartier Ksar boukhouada.....	228
<b>Figure 120.</b> Répartition de la nature juridique des immeubles touchés dans quartier Ksar boukhouada.....	229
<b>Figure 121.</b> Localisation de la zone de relogement par rapport au quartier inondé .....	232
<b>Figure 122.</b> La reconstruction des maisons dans la zone rouge.....	234
<b>Figure 123.</b> Construction des magasins proche de la zone de servitude.....	235

<b>Figure 124.</b> Revêtement des routes adjacentes à la vallée.....	235
<b>Figure 125.</b> Répartition de la nature juridique des locales des commerçants.....	236
<b>Figure 126.</b> La zone d'extension de la commune d'El-Bayadh - extrait du PDAU 2006-.....	245
<b>Figure 127.</b> PDAU de la commune d'El-Bayadh année 2006.....	246
<b>Figure 128.</b> PDAU de la commune d'El-Bayadh année 2016.....	247
<b>Figure 129.</b> La zone d'extension de la commune d'El-Bayadh - extrait du PDAU 2016-.....	248
<b>Figure 130.</b> Limites de sections cadastrales et nature juridique.....	251
<b>Figure 131.</b> Processus d'établissement de la carte d'aptitude selon les indicateurs.....	252
<b>Figure 132.</b> Carte d'aptitude à l'aménagement de la commune d'El-Bayadh par section cadastrale selon les facteurs liés aux assiettes.....	253
<b>Figure 133.</b> Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs règlementaires.....	254
<b>Figure 134.</b> Carte d'aptitude à l'aménagement final de la commune d'El-Bayadh.....	255
<b>Figure 135.</b> Carte d'aptitude à l'aménagement de la commune d'El-Bayadh par section cadastrale.....	255
<b>Figure 136.</b> Parcelle d'aménagement de la nouvelle ville de la commune d'El-Bayadh.....	257
<b>Figure 137.</b> Carte des réseaux de la nouvelle ville d'El-Bayadh.....	260
<b>Figure 138.</b> Carte des zones Réserves de la nouvelle ville d'El-Bayadh.....	261
<b>Figure 139.</b> Carte d'aménagement des équipements de la nouvelle ville d'El-Bayadh.....	262

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Les effectifs des animaux d'élevage national et de la zone steppique en 2006.....	17
<b>Tableau 2.</b> Programmes et plans de 1962 à 1990.....	30
<b>Tableau 3.</b> Habitations construites en zones inondables en Algérie (extrait).....	53
<b>Tableau 4.</b> Présentation des stations disponibles.....	67
<b>Tableau 5.</b> Résultats du test de Shapiro-Wilk.....	68
<b>Tableau 6.</b> Résultats du test t de Student.....	70
<b>Tableau 7.</b> Statistiques des lacunes enregistrées.....	71
<b>Tableau 8.</b> Humidité relative à la station d'El-Bayadh.....	77
<b>Tableau 9.</b> Durée de l'insolation à la station d'El-Bayadh.....	77
<b>Tableau 10.</b> Evaporation enregistrée à la station d'El-Bayadh.....	78
<b>Tableau 11.</b> Vitesses des vents dans la wilaya d'El-Bayadh (2010-2011).....	79
<b>Tableau 12.</b> Les essences forestières et leur superficie de la wilaya d'El-Bayadh .....	81
<b>Tableau 13.</b> Localisation et conditions des stations.....	83
<b>Tableau 14.</b> Caractéristiques du bassin-versant d'El-Biod.....	94
<b>Tableau 15.</b> Sources de données collectées.....	102
<b>Tableau 16.</b> Sources de données spatiales.....	103
<b>Tableau 17.</b> Capteurs hyperspectraux aéroportés les plus connus.....	110
<b>Tableau 18.</b> Systèmes embarqués à bord des satellites.....	113
<b>Tableau 19.</b> Résolution spectrale et spatiale des 08 bandes d'ETM+ .....	116
<b>Tableau 20.</b> Calendrier de la mise à disponibilité des images selon le type et le capteur.....	118
<b>Tableau 21.</b> Données Landsat utilisées.....	121
<b>Tableau 22.</b> Bandes spectrale de SPOT-5.....	123
<b>Tableau 23.</b> Données SPOT5 utilisées.....	124
<b>Tableau 24.</b> Données cartographiques utilisées.....	127
<b>Tableau 25.</b> Données statistiques utilisées.....	128
<b>Tableau 26.</b> Identification des types de problématique .....	142
<b>Tableau 27.</b> Échelle de Saaty.....	146
<b>Tableau 28.</b> Indice de cohérence moyen .....	147
<b>Tableau 29.</b> Paramètres aggravant de risque inondation.....	149
<b>Tableau 30.</b> Les différentes stratégies en analyse multi temporelle.....	163
<b>Tableau 31.</b> Travaux de recherches sur la détection des changements par approche bi-temporelle....	164

<b>Tableau 32.</b> Première échantillon de test.....	171
<b>Tableau 33.</b> Deuxième échantillon de teste.....	172
<b>Tableau 34.</b> Les principaux indices spectraux de la végétation.....	179
<b>Tableau 35.</b> Extrait des indices utilisés pour l'identification des objets.....	206
<b>Tableau 36.</b> Test des indices introduits dans eCognition.....	207
<b>Tableau 37.</b> Les règles de connaissance utilisées.....	208
<b>Tableau 38.</b> Nombre de logements touchés classés par quartier et nature de dégât.....	224
<b>Tableau 39.</b> Nombre de personne évacués par établissement.....	227
<b>Tableau 40.</b> Extrait du fiche d'enquête globale du quartier Ksar boukhouada après restructuration..	230
<b>Tableau 41.</b> Extrait de la liste nominatif globale des commerçants sinistres.....	236
<b>Tableau 42.</b> Exemple des magasins touchés dans l'ancien état et l'état actuel.....	237
<b>Tableau 43.</b> Paramètres de combinaison par AHP.....	250
<b>Tableau 44.</b> Répartition de la population de la Commune d'El-Bayadh par groupe d'âge et par sexe (Estimation fin 2015).....	258

# Liste des acronymes

<b>Sigle</b>	<b>Désignation</b>
<b>ACP</b>	Analyse en Composantes Principales
<b>AHP</b>	d'Analyse Hiérarchique des Procédés
<b>ANAT</b>	Agence nationale d'aménagement du territoire.
<b>ANRH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
<b>COS</b>	Carte d' Occupation du Sol
<b>ELECTRE</b>	ELimination Et Choix TRaduisant la REalité
<b>EOS</b>	Earth Observing System
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute
<b>GOES</b>	Geostationary Operational Environmental Satellite
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain
<b>MSAVI</b>	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>ONM</b>	Office National de la Météorologie
<b>PDAU</b>	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
<b>S.A.U</b>	Surface Agricole Utile
<b>SAVI</b>	Soil Adjusted Vegetation Index
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission
<b>TSAVI</b>	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
<b>URSA</b>	Bureau d'études et de réalisation en urbanisme de Saïda.

# Table des matières

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## PREMIERE PARTIE

<b>Le Contexte géographique des hautes plaines occidentales algériennes.....</b>	<b>6</b>
--	----------

<b>Chapitre I : La steppe algérienne dans son cadre naturel .....</b>	<b>8</b>
---	----------

Introduction.....	9
-------------------	---

1.1. La steppe Algérienne : limite, et cadre naturelle et humaine .....	9
---	---

1.1.1. Délimitation des zones steppiques.....	10
---	----

1.1.1.1. La bordure sub-steppique située en gros entre les isohyètes 300 et 400 mm.....	10
---	----

1.1.1.2. La région steppique proprement dite.....	10
---	----

1.1.1.3. La région steppique présaharienne.....	10
---	----

1.1.2. Le milieu physique.....	11
--------------------------------	----

1.1.2.1. Le climat.....	11
-------------------------	----

○ La pluviométrie.....	12
------------------------	----

○ Les températures.....	13
-------------------------	----

1.1.2.2. Hydrographie et ressources hydriques.....	13
--	----

1.1.2.3. Le sol.....	14
----------------------	----

1.1.2.4. La végétation steppique.....	14
---------------------------------------	----

1.1.3. Le milieu socio-économique.....	17
--	----

1.1.3.1. La population .....	17
------------------------------	----

1.1.3.2. Le cheptel.....	17
--------------------------	----

1.1.3.3. Occupation des terres et ressources fourragères.....	18
---	----

1.3.4. Les systèmes de production.....	18
--	----

○ L'élevage extensif.....	19
---------------------------	----

○ L'agro-élevage.....	19
-----------------------	----

○ L'élevage hors parcours.....	19
--------------------------------	----

1.2. La dégradation de la steppe : un milieu fragilisé .....	20
--	----

1.2.1. Problématique de la désertification dans la steppe algérienne.....	21
---	----

1.2.1.1. Processus de la désertification.....	22
1.2.1.2. Les causes de la désertification.....	22
1.2.1.3. Les conséquences de la désertification.....	25
1.2.1.4. La lutte contre la désertification.....	26
1.2.1.5. Historique des politiques et actions menées en Algérie dans la lutte contre la désertification.....	29
1.2.2. Phénomène de l'ensablement .....	31
1.2.2.1. Origine, formes et effets de l'ensablement.....	32
1.2.2.2. Formes des voiles éoliennes.....	33
1.2.2.3. Phases de transport du sable et identification des sites ensablés .....	36
1.2.3. Phénomène de l'inondation.....	38
1.2.3.1. Principaux paramètres spécifiant l'aléa « inondation ».....	39
1.2.3.2. Les facteurs aggravants.....	40
1.2.3.3. Types d'inondations.....	41
1.2.3.4. Causes de formation des crues et des inondations.....	45
1.2.3.5. L'homme et l'inondation.....	48
1.2.3.6. Causes et types d'inondations catastrophiques en Algérie.....	49
1.2.3.7. Les événements remarquables d'inondations en Algérie.....	51
1.2.3.8. La politique de gestion des risques d'inondation en Algérie.....	54
Conclusion du premier chapitre .....	55
<b>Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>56</b>
Introduction.....	57
2.1. Cadre géographique de la région.....	57
2.2. Cadre géologique de la région.....	61
2.2.1. Hydrographie.....	62
2.2.2. Pédologie.....	62
2.3. Climatologie.....	65
2.3.1. Le contrôle de la qualité des données pluviométriques annuelles.....	68
2.3.2. Les précipitations.....	71
2.3.3. Les températures.....	73
2.3.4. Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS.....	74
2.3.5. Humidité relative.....	77
2.3.6. L'insolation.....	77

2.3.7. L'évaporation.....	78
2.3.8. L'évapotranspiration.....	78
2.3.9. La neige et les gelées.....	78
2.3.10. Le vent.....	79
2.3.11. Synthèse bioclimatique.....	80
2.4. La végétation.....	80
2.5. Cadre socio-économique.....	81
2.5.1. Démographie.....	81
2.5.2. Economie de la région.....	81
2.5.3. L'élevage.....	82
2.5.4. L'agriculture et la mise en valeur agricole.....	82
2.6. Les risques naturels auxquels la région d'étude est confrontée.....	83
2.6.1. L'ensablement.....	83
2.6.2. La désertification .....	86
2.6.3. Les inondations .....	89
Conclusion du deuxième chapitre.....	94
Conclusion de la première partie.....	95

## **DEUXIEME PARTIE**

<b>L'apport de la Télédétection et Les Systèmes d'Information Géographique dans la cartographie d'aléa inondation.....</b>	<b>96</b>
<b>Chapitre 3: Typologie des données utilisées et Méthodologie de traitements.....</b>	<b>99</b>
Introduction.....	100
3.1. Phases I : Typologie des données utilisées .....	102
3.1.1. Données spatiales.....	102
3.1.1.1. Les caractéristiques de l'imagerie spatiale.....	103
3.1.1.2. Imagerie multi et hyper spectrale.....	105
3.1.1.3. Les capteurs d'imagerie en télédétection hyperspectrale.....	110
3.1.1.4. Les satellites LANDSAT.....	111
3.1.1.5. Le satellite SPOT 5.....	121
3.1.2. Modèle numérique de terrain (SRTM).....	125
3.1.3. Données cartographiques.....	127
3.1.4. Données statistiques.....	128
3.2. Phase II : Prétraitements des données collectées .....	129

3.2.1. Les images Landast .....	130
3.2.1.1. Réalisation de la carte d'occupation des sols .....	131
3.2.1.2. Réalisation de la carte d'indice de végétation.....	133
3.2.2. Modèle numérique de terrain : amélioration et produit dérivé.....	135
3.2.2.1. La carte des pentes.....	136
3.2.2.2. La carte des bassins-versants.....	137
3.2.3. Carte géologique / Topographique .....	138
3.2.4. Données météorologiques.....	138
3.3. Phase III : Fusion des données par approche multicritère.....	140
3.3.1. L'analyse 'spatiale' multicritère.....	140
3.3.2. L'aide multicritère à la décision.....	140
3.3.3. Présentation des quelques méthodes d'analyse multicritère.....	143
3.3.3.1. La méthode ELECTRE I.....	143
3.3.3.2. La méthode AHP (AnalyticHierarchyProcess).....	145
3.4. Phase VI : Cartographie du risque inondation.....	148
3.4.1. Méthodologie d'analyse.....	148
3.4.2. Présentation des résultats.....	152
Conclusion du troisième chapitre.....	155
<b>Chapitre 4: Etude diachronique spatiale des facteurs d'inondation.....</b>	<b>156</b>
Introduction.....	157
4.1. L'analyse multi-temporelle .....	157
4.1.1. Les données multi-temporelles.....	158
4.1.2. Les variabilités spatio-temporelles.....	159
4.1.3. Traitement des séries temporelles.....	160
4.1.4. L'extraction de l'information.....	161
4.2. Détection des changements par imagerie spatiale : état de l'art.....	164
4.2.1. Les méthodes bi-temporelles.....	164
4.2.2. Détection de changements par imagerie spatiale : Application.....	165
4.2.2.1. Méthode par fusion d'indices .....	166
4.2.2.2. Méthode par comparaison poste-classification .....	168
4.2.2.3. Synthèse.....	170
4.2.3. Etude comparative et analyse des résultats.....	171
Conclusion du quatrième chapitre.....	173

<b>Chapitre 5: La haute résolution et la cartographie de l'aléa inondation.....</b>	<b>174</b>
Introduction.....	175
5.1. Comportement spectral des végétaux.....	175
5.2. Indices de caractérisation de la végétation.....	178
5.2.1. Résumé d'indices de végétation définis à partir de données de télédétection.....	178
5.2.2. Choix et caractéristiques des indices de végétation.....	181
5.3. Extraction de l'information sur le couvert végétal en milieu steppique par calcul d'indices.....	186
5.3.1. Premier groupe (LANDSAT8).....	187
5.3.2. Analyse des résultats du premier groupe.....	191
5.3.3. Deuxième groupe (SPOT5).....	192
5.3.4. Analyse des résultats de deuxième groupe.....	198
5.3.5. Synthèse .....	197
5.4. Problématique de classification des images satellitaires à très haute résolution spatiale...	197
5.4.1. L'approche orienté-objet démarche méthodologique.....	204
5.4.1.1. Importation des données .....	204
5.4.1.2. Segmentation de l'image .....	
5.4.1.3. L'identification des objets par l'application des indices.....	204
5.4.1.4. Classification de l'image.....	205
5.4.1.5. Evaluation de la classification.....	207
5.5. Synthèse .....	212
Conclusion du cinquième chapitre.....	217
Conclusion de la deuxième partie.....	218

### **TROISIEME PARTIE**

**Scénario de l'inondation de l'oued El-Biod et Approche d'aménagement ..... 219**

<b>Chapitre 6: Analyse de l'inondation d'oued El-Biod et conséquences économiques.....</b>	<b>221</b>
Introduction.....	222
6.1. Analyse du risque d'inondation d'Oued El-Biod (Événement de 1/10/2011).....	222
6.1.1. Pré-visualiser les dégâts du risque d'Oued El-Biod.....	222
6.1.2. Premier niveau d'intervention : évacuation vers les établissements publics.....	226
6.1.3. Deuxième niveau d'intervention .....	229

6.1.3.1. Cas de quartier Ksar boukhouada.....	229
6.1.3.2. Attachement des habitants aux anciens quartiers.....	231
6.2. Conséquences économiques.....	233
6.2.1. Impact sur le marché foncier.....	233
6.2.2. Cadre économique .....	235
Conclusion du sixième chapitre.....	238
<b>Chapitre 7: Approche d'aménagement et détermination des terrains</b>	
<b>aménageables.....</b>	<b>240</b>
Introduction.....	240
7.1. L'urbanisme en Algérie : état des lieux.....	242
7.2. L'Apport du Système d'Information Géographique dans l'urbanisme.....	242
7.2.1. Les domaines d'applications du SIG dans l'urbanisme.....	243
7.2.2. Qu'entend-on par « extensions urbaines ».....	243
7.3. Étude diachronique du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) de la commune d'El-Bayadh .....	245
7.3.1. Analyse des orientations du PDAU de 2006.....	245
7.3.2. Étude du PDAU 2016.....	250
7.4. Détermination des terrains aménageables pour l'extension urbaine de la commune d'El-Bayadh.....	250
7.4.1. Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs liés aux assiettes.....	251
7.4.2. Carte d'aptitude à l'aménagement selon les facteurs règlementaires.....	252
7.4.3. Résultats et analyse.....	254
7.5. Aménagement de précision à grande échelle.....	257
7.5.1. Sites d'implantation des équipements.....	258
7.5.2. Carte des Réseaux.....	259
7.5.3. Aménagement des équipements.....	262
7.6. Synthèse.....	264
Conclusion du septième chapitre .....	264
Conclusion de la troisième partie.....	266
Conclusion générale.....	267
Bibliographie.....	271
Annexes.....	277
Table des matières.....	286

## الملخص

في العقود الأخيرة ، شهدت السهول العليا في الجزائر تدهور شديد مس التربة ، بسبب عدة عوامل كالفيضانات. الحلول المقترحة لمكافحة هذه الظواهر والحفاظ على طبيعة هذه المناطق لا تزال غير كافية بسبب عدم وجود نموذج لتحديد ومتابعة وتوقع هذه الفيضانات. يسمح استخدام صور الأقمار الصناعية متعددة التواريخ من إنشاء خرائط ديناميكية لمخاطر الفيضانات والتعرية لرصد الخطر جغرافيا قصد دراسة إمكانية التخفيف من هذه المخاطر بشكل حقيقي. لكن المعايير التي تدخل في تعريف هذه الظواهر الطبيعية يمكن أن تتغير بمرور الوقت، وتستند فكرة هذا البحث إلى الرصد المكاني الزماني لهذه التغيرات وتأثيراتها على تباين الخطر. إن دمج بيانات صور الأقمار الصناعية و بيانات الخرائط في نظام المعلومات الجغرافية سيمكن من إنشاء نموذج تنبؤي يسمح بحماية المجال الحضري وتوقع تدخل السلطات المحلية.

**الكلمات المفتاحية:** السهول العليا ، الفيضانات ، الخطر، نظم المعلومات الجغرافية ، النموذج التنبؤي ، المجال الحضري.

## 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. The use of multi-date satellite imagery allows deriving dynamic flood and erosion risk maps for geographically follow the risk hazard to explore practically the possibilities of mitigating these risks. 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:** High Plains, Floods, risk hazard, GIS, predictive model, urban space.