

## Potentiel de la télédétection sur la cartographie des inondations de la haute vallée de la Medjerda

### [ Potential of remote sensing on flood mapping of the upper valley of the Medjerda ]

*Olfa HAJJI<sup>1</sup>, Sahar ABIDI<sup>2</sup>, Ahmed EZZINE<sup>3</sup>, and Emna SILINI<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Engineer High School of Mjez el-bab, University of Jendouba, Tunisia

<sup>2</sup>Silvo-Pastoral Institute of Tabarka, University of Jendouba, Tunisia

<sup>3</sup>Centre national de la cartographie et de la télédétection, Tunisia

---

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study is part of the project of floodplains delimitation of Medjerda based on remote sensing, specifically the section between Ghardimaou and the dam of Sidi Salem. The watershed studied is located northwest of Tunisia, characterized by an elongated shape. Indeed, morphologically, it is bordered on his sides by high reliefs that prevent the flow of many rivers that converge therefore in the basin.

The soil texture is mainly characterized by a dominance of complex units of soil and not much evolved alluvial contribution soil. Following the flood phenomenon hitting multiple cities around Medjerda during the last century, in this context, our study aims to map and delineate inundated areas by remote sensing method based on Landsat satellite images and supervised classification by ENVI. Remote sensing, GIS and ENVI were enlisted to mapping areas at risk of flooding in the study site. Thus that around 50% of the total area of the zone was touched by the flood of 2003, and around 40% of the total area was affected by the flood of 2010.

**KEYWORDS:** Flood risk, remote sensing, supervised classification, High Medjerda valley.

**RESUME:** La présente étude s'insère dans le cadre du projet de délimitation des zones inondables de la Medjerda en se basant sur la télédétection, plus précisément du tronçon compris entre Ghardimaou et barrage Sidi Salem. Le bassin versant étudiée se situe au nord-ouest de la Tunisie, caractérisée par une forme allongée. En effet, sur le plan morphologique, il est bordé de part et d'autre par des reliefs élevés qui empêchent l'écoulement des nombreux cours d'eau qui convergent donc dans le bassin. Sur le plan pédologique la texture des sols est principalement caractérisée par une dominance des unités complexe de sol et des sols peu évolué d'apport alluvial. Suite au phénomène d'inondation qui à toucher plusieurs villes autour de la Medjerda pendant le dernier siècle, dans ce contexte, notre étude a pour but de cartographier et délimiter les zones à risque par la méthode de télédétection en se basant sur des images satellitaires Landsat et sur la classification supervisée par l'ENVI. La télédétection, l'ENVI et les SIG ont été mis à contribution pour la cartographie des zones à risque d'inondation dans le site d'étude. C'est ainsi qu'environ 50 % de la superficie totale de la zone est soumis au risque pour la crue de 2003, et environ 40% de la superficie totale est touché pour les crues de 2010.

**MOTS-CLEFS:** Risque d'inondation, télédétection, classification supervisée, haute vallée de la Medjerda.

## 1 INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, les inondations représentent l'une des catastrophes naturelles (environ 34% des catastrophes naturelles) la plus destructrices qui résultent de la conjonction d'un grand nombre de facteurs naturels et anthropiques. Ce phénomène cause toujours des dégâts importants surtout au niveau des zones urbanisées suite au débordement des oueds et des réseaux d'évacuation des eaux pluviales. Le phénomène des inondations de crue est ancien en Tunisie. À travers l'histoire, on compte par dizaines le nombre de fois où des régions qui ont été touchées. Les événements les plus connues et les mieux décrits, sont ceux enregistrés depuis le début du siècle passé et particulièrement après les années 1950. Durant ce dernier siècle, et particulièrement pendant la période qui précède la construction du barrage sidi Salem. Plusieurs villes de la Medjerda, le plus important cours d'eau de la Tunisie, ont été menacées par des inondations très importantes. Les crues enregistrées sur le bassin versant du secteur d'étude, qui s'étend entre la station hydrométrique de Ghardimaou et barrage sidi Salem, ont entraîné des inondations dans certaines régions. Pour diminuer l'effet de ces fortes crues il est nécessaire de délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte des caractéristiques morphologique et géométrique du bassin hydrologique de la zone mis en question. C'est dans ce contexte que la présente étude est réalisée, avec pour objectif de cartographier et délimiter à partir du couplage des données de télédétection et l'ENVI (Environnement pour visualiser des images) ainsi à l'aide d'un système d'information géographique les zones à risque d'inondation de la haute vallée de la Medjerda. Le présent travail s'intègre dans le cadre du contrat programme de la recherche du CNCT " Imagerie Multi-sources et Multi-dates pour l'étendue du risque d'inondation du bassin versant de l'oued Medjerda". Ce projet a pour objectif l'évaluation des capacités des imageries radar et optique à détecter les zones inondés et inondables du bassin versant de la Medjerda.

## 2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est située à la partie haute de la Medjerda (figure 1), qui s'étend entre la station hydrométrique de Ghardimaou et le barrage de Sidi Salem.

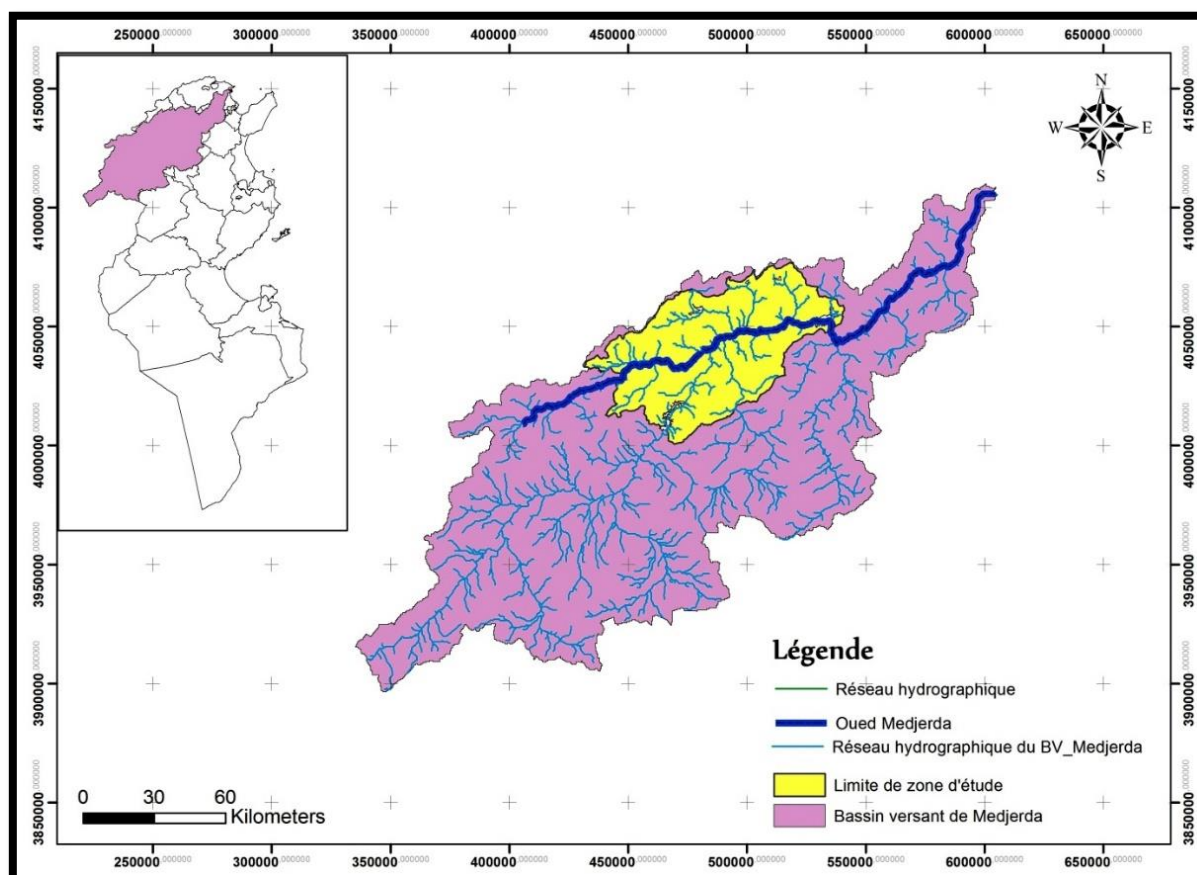


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Les principaux affluents déversant dans ce bassin versant sont:

- Au niveau de la Rive gauche Oued Rarai s'écoule sur 15 km et draine une superficie de 370 km<sup>2</sup>; Oued Bouhertma déverse du barrage Bouhertma, il conflue près Bou Salem avec l'oued Medjerda après un parcours de 64 km et il draine un bassin versant de 390 Km<sup>2</sup>.
- Au niveau de la Rive droite Oued Mellègue découle du barrage Mellègue, il parcourt une distance de 317 km avant de confluer près de Jendouba, avec l'oued Medjerda à 140 m d'altitude. Aussi Oued Tessa qui se jette dans la Medjerda à quelques kilomètres en aval de l'oued Mellègue, Il conflue avec l'oued Medjerda dans la plaine de même nom à 133 m d'altitude après un parcours de 143 km.

Le secteur d'étude dans la haute vallée de la Medjerda inclus cinq stations hydrométriques (Fig.2):

- Station de Tessa
- Station de Ghardimaou
- Station de Rarai
- Station de Jendouba
- Station de Bou Salem

Comme elle inclut ainsi six grands barrages:

- Barrage Kasseb du gouvernorat de Beja
- Barrage Bou Herthma du gouvernorat de Jendouba
- Barrage Sidi Salem du Testour, Medjez el Bab du gouvernorat de Beja
- Barrage Mèlègue du gouvernorat d'El Kef
- Barrage Beja du gouvernorat de Beja

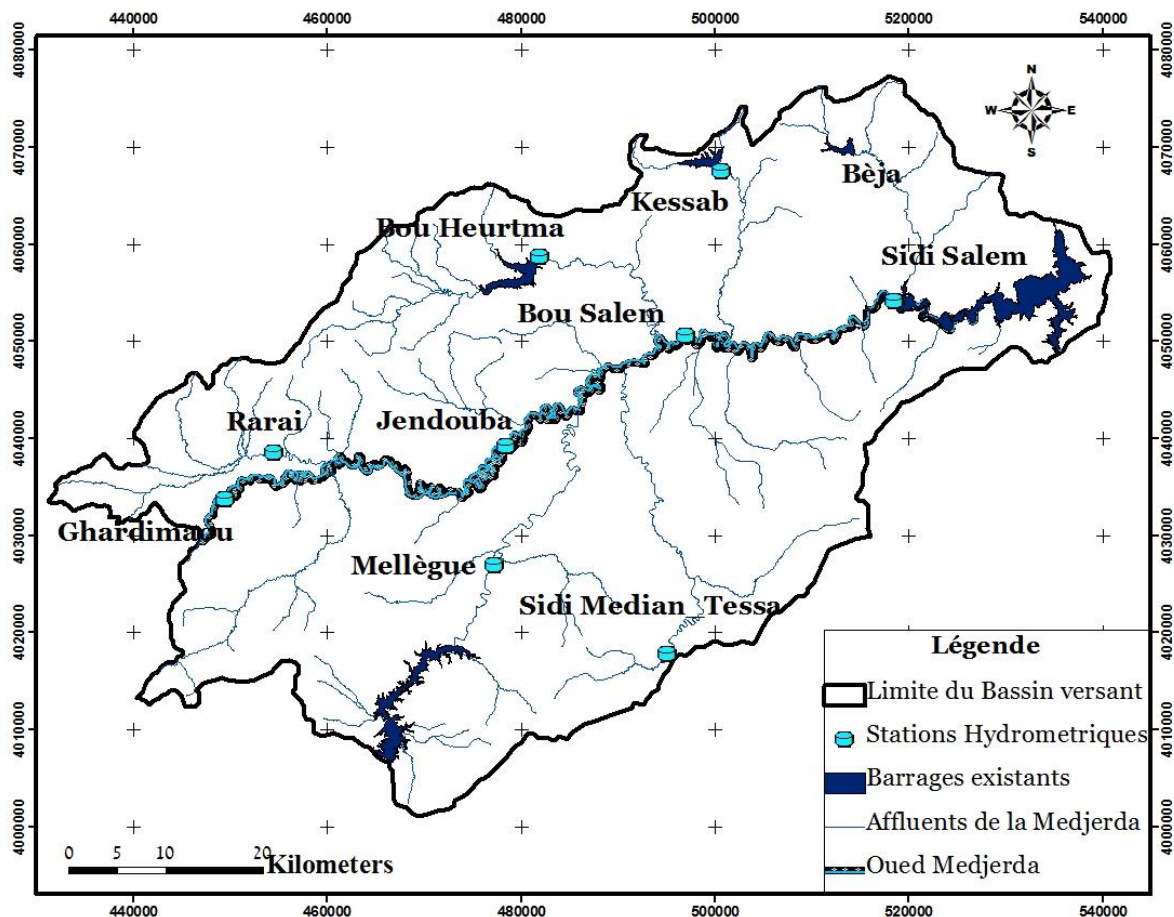


Fig. 2. Station hydrométrique et grands barrages de Beja, Jendouba et El Kef

Le bassin versant de notre zone d'étude est caractérisé par un périmètre de 367 Km et une superficie égale à 4121 Km<sup>2</sup>.

A partir du modèle numérique (MNT) présenté ci-dessous (fig.3), on constate que l'altitude de bassin versant de notre zone d'étude varie d'une altitude minimale de 66 m vers une altitude maximale de l'ordre de 1091 m, ce qui nous permet de classer notre zone d'étude comme une zone à forte altitude.

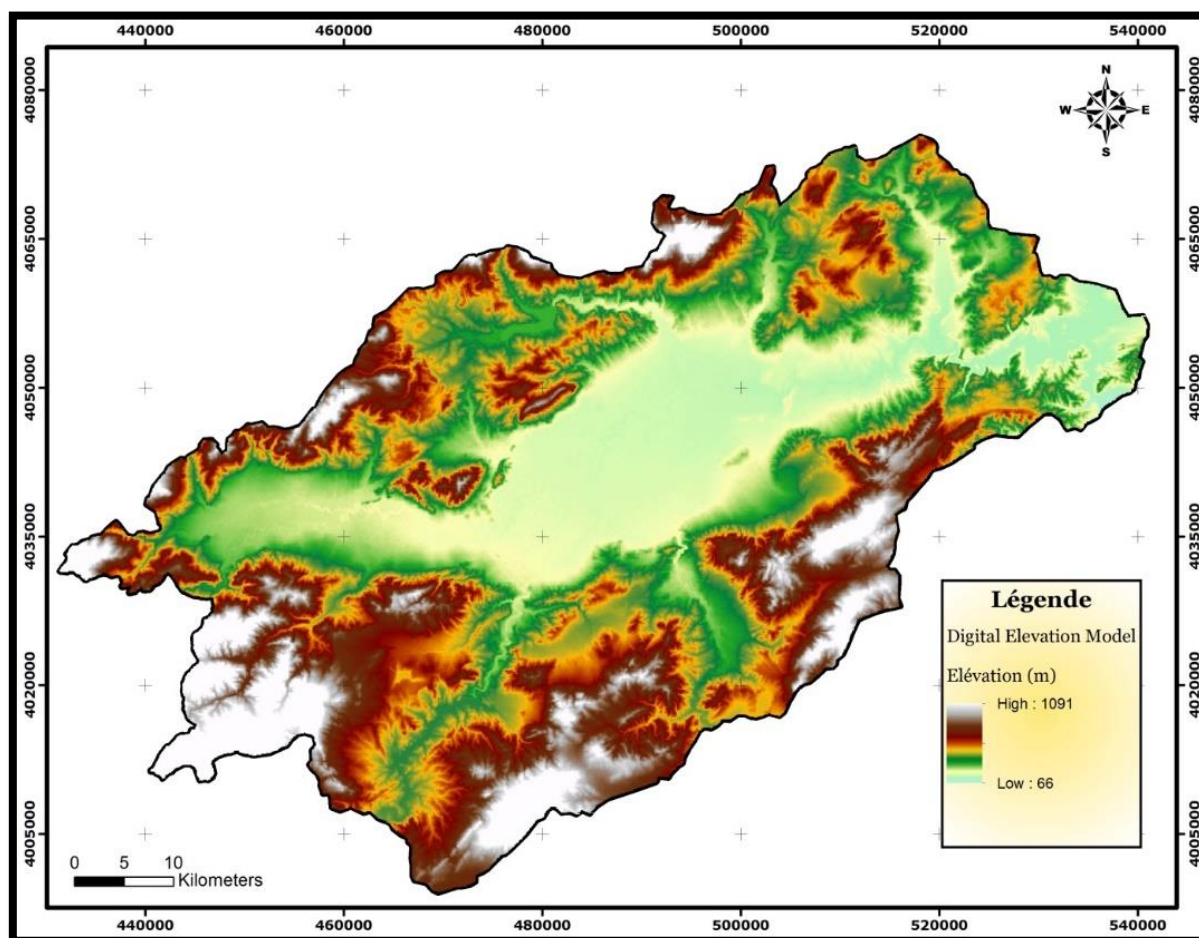


Fig. 3. Modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude

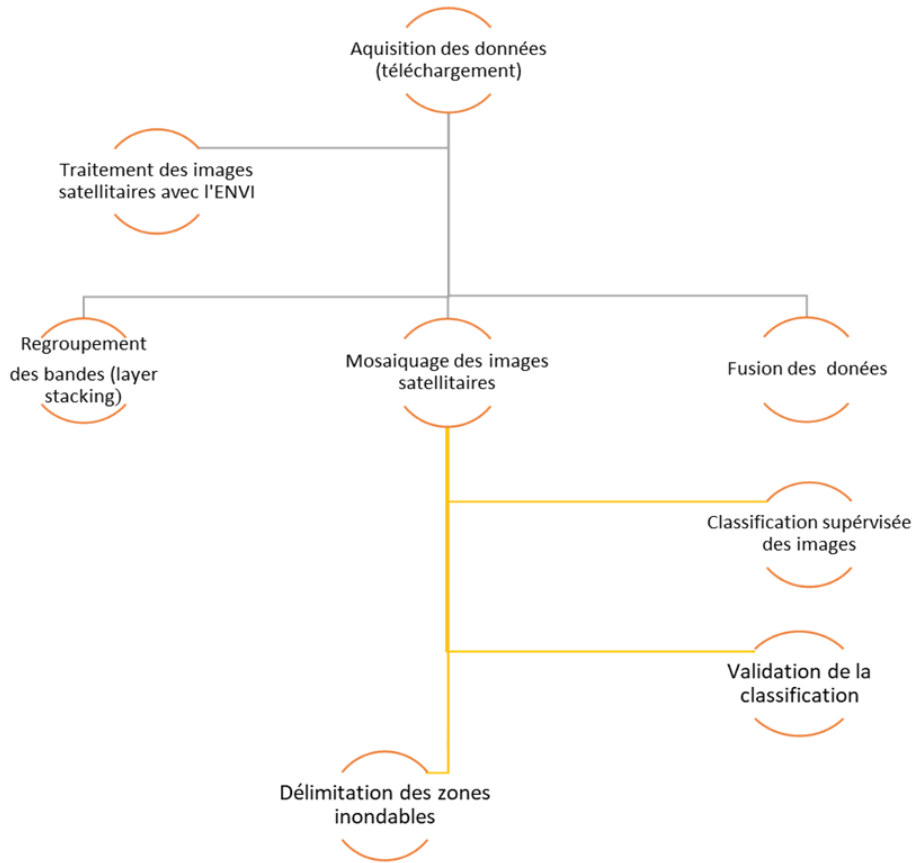
Le réseau hydrographique du bassin versant étudiée est caractérisé par une longueur maximale d'un effluent égale à 137581,498 m et une longueur minimale égale à 374,475 m. Dans le cadre d'occupation de sol et le cadre pédologique, le secteur d'étude est caractérisé par une dominance des sols peu évolués d'apport alluvial et des terrains construits ainsi que des unités complexes de sols.

Dans ce qui suit on va illustrer les différentes opérations établies pour le traitement des images satellitaires afin de délimiter les zones inondables dans notre secteur d'étude.

### 3 MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Une détection et une délimitation des zones inondables nécessite d'effectuer des différentes opérations, dans cette partie on va illustrer l'acquisition des données pour les différentes dates de crue ainsi que la méthodologie de travail adoptée pour le traitement et la classification supervisée des données satellitaires obtenus.

Pour le traitement et la classification des données satellitaires on va adopter la méthodologie de travail suivante:



**Fig. 4. Schéma d’illustration de la méthodologie de travail**

Après le téléchargement des images satellitaires correspondantes aux crues de Janvier 2003 et Novembre 2010, on procède à leur classification par Envi (tab.1). Ensuite elles seront analysées par ArcGis afin de les interpréter et délimiter les zones inondées.

**Tableau 1. Dates des images disponibles pour la délimitation**

Date de l’image avant la crue	Date de l’image après la crue
4 Janvier 2003	21 février 2003
11 Aout 2010	15 Novembre 2010

## 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

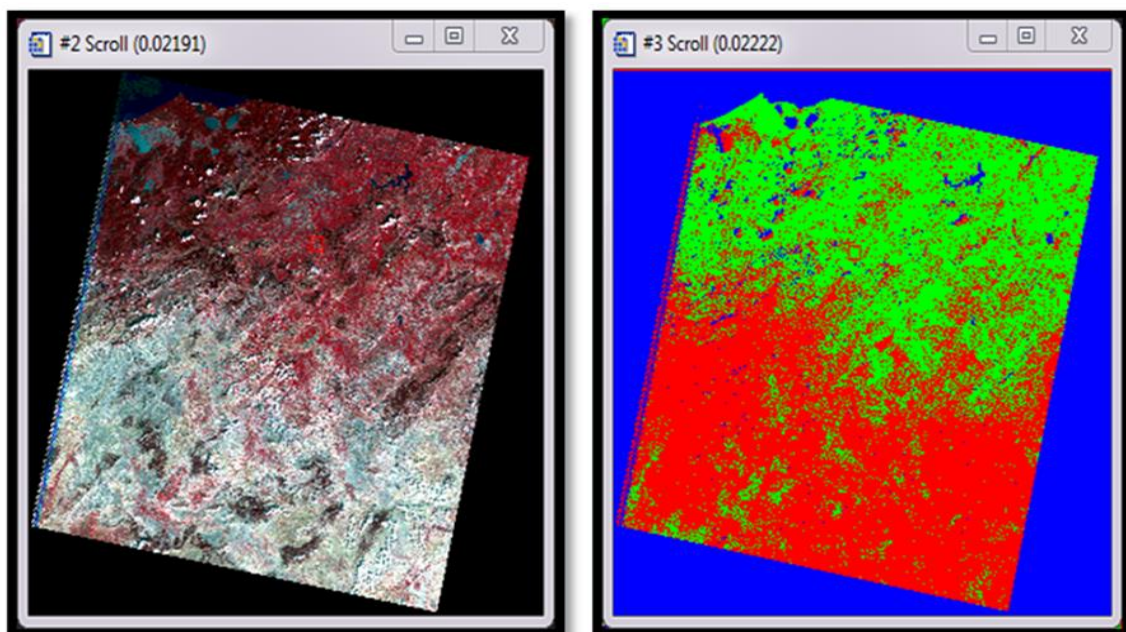
On a utilisé dans cette étude la classification supervisée. Avant de présenter les résultats de classification, on a besoin de choisir la méthode la plus performante. Pour cela plusieurs méthodes de classification ont été testées. On a analysé quatre méthodes de classification appliquées sur les images satellitaires de la crue de 4 Janvier 2003.

### 4.1 CHOIX DE LA MÉTHODE DE CLASSIFICATION

On a analysé quatre méthodes de classification appliquées sur les images satellitaires de la crue de 4 Janvier 2003.

#### 4.1.1 RÉSULTAT DE LA CLASSIFICATION MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

La première méthode de classification testée est celle de vraisemblance. Elle se base sur des méthodes probabilistes. Le logiciel calcule la probabilité de chaque pixel de l’image d’appartenir à telle ou telle classe à partir des sites témoins définis sur l’image courante. La totalité de l’image est ensuite classée sur la base de ces statistiques.

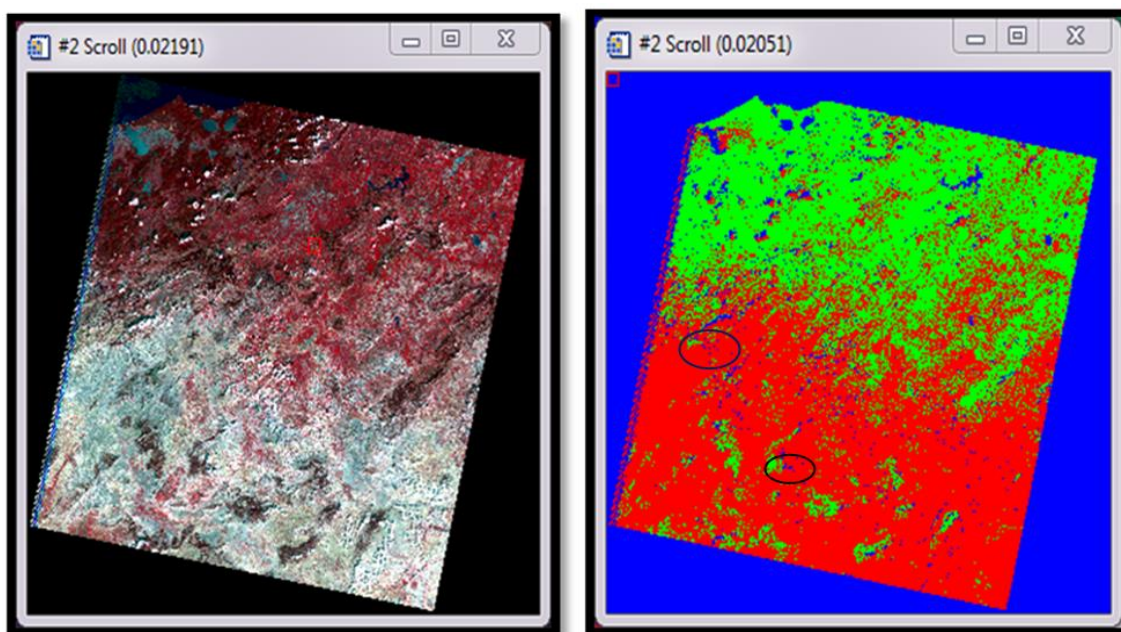


*Fig. 5. Images de la zone avant et après la classification avec le maximum de vraisemblance*

Ici on distingue bien les zones d'eau en bleu. Ces zones sont réellement des zones d'eau. Cette méthode est retenue.

#### 4.1.2 RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION DE DISTANCE MINIMALE

Dans cette méthode-ci, on définit plutôt le "centre de gravité" de chacune des classes, et les vecteurs spectraux correspondant aux pixels de l'image sont affectés à la classe dont le centre de gravité est le plus proche. Seul le vecteur moyen dans chaque segment de signature de classe est utilisé.

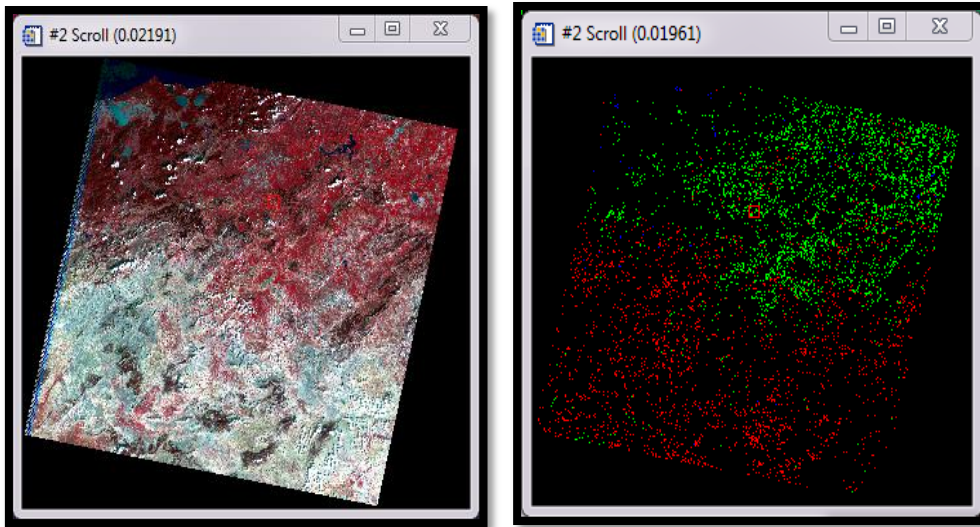


*Fig. 6. Images de la zone avant et après la classification avec la méthode de distance minimale*

On distingue des zones bleues que réfère ordinairement aux zones d'eau mais elles ne sont pas des zones d'eaux. Cette méthode est donc éliminée.

#### 4.1.3 RÉSULTAT DE LA CLASSIFICATION PARALLÉLÉPIPÈDE

Règle de décision servant à la classification et dans laquelle les valeurs radiométriques des pixels candidats sont comparées aux limites supérieure et inférieure.

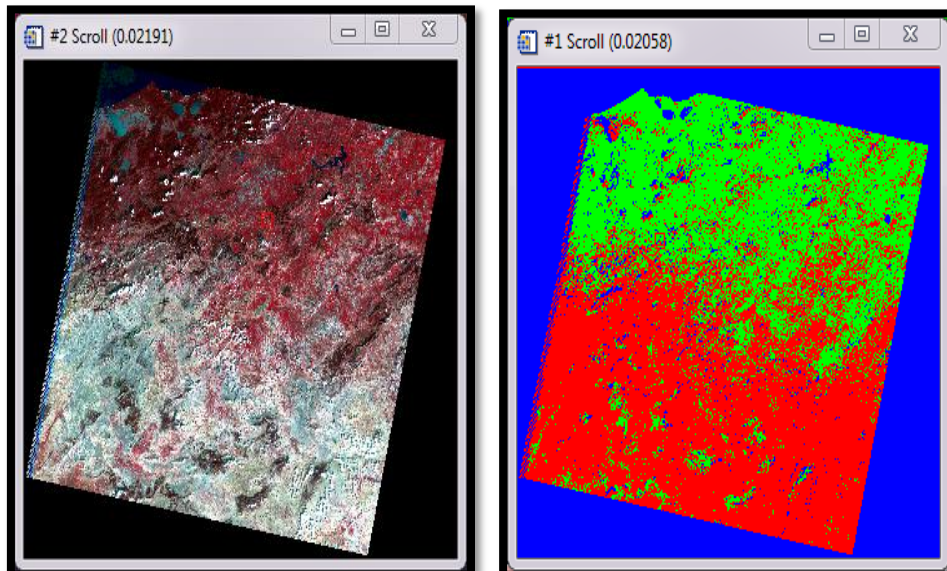


*Fig. 7. Image de la zone avant et après la classification parallélépipède*

L'image résultante de la classification parallélépipède n'est pas claire. On ne peut pas détecter les zones d'eaux. Cette méthode de classification est éliminée.

#### 4.1.4 RÉSULTAT DE LA CLASSIFICATION DE LA DISTANCE MAHALANOBIS

Règle de décision de classification similaire à la règle de décision par minimum de distance, excepté que la matrice de covariance est utilisée dans cette équation.



*Fig. 8. Image de la zone avant et après la classification Mahalanobis*

Les résultats de cette classification sont similaires à ceux de la méthode de distance minimale. On élimine cette méthode aussi.

En comparant les résultats obtenus par les différents types de la classification supervisée, celle la plus précise et la plus claire c'est la classification de maximum de vraisemblance, pour cela on va continuer notre classification seulement avec ce type pour avoir des résultats plus précis.

#### 4.2 DÉLIMITATION DES ZONES INONDABLES

La délimitation des zones inondables a été réalisée en entrant les résultats des différentes classifications, obtenu à l'aide de l'ENVI, dans l'ArcGis en se référant à notre zone d'étude seulement.

##### 4.2.1 RÉSULTATS DE CLASSIFICATION DE LA CRUE DE FÉVRIER 2003

Les cartes ci-dessous (fig.9 et 10) présentent les résultats de classification des images satellitaires de la crue de Février 2003 et les zones inondées.

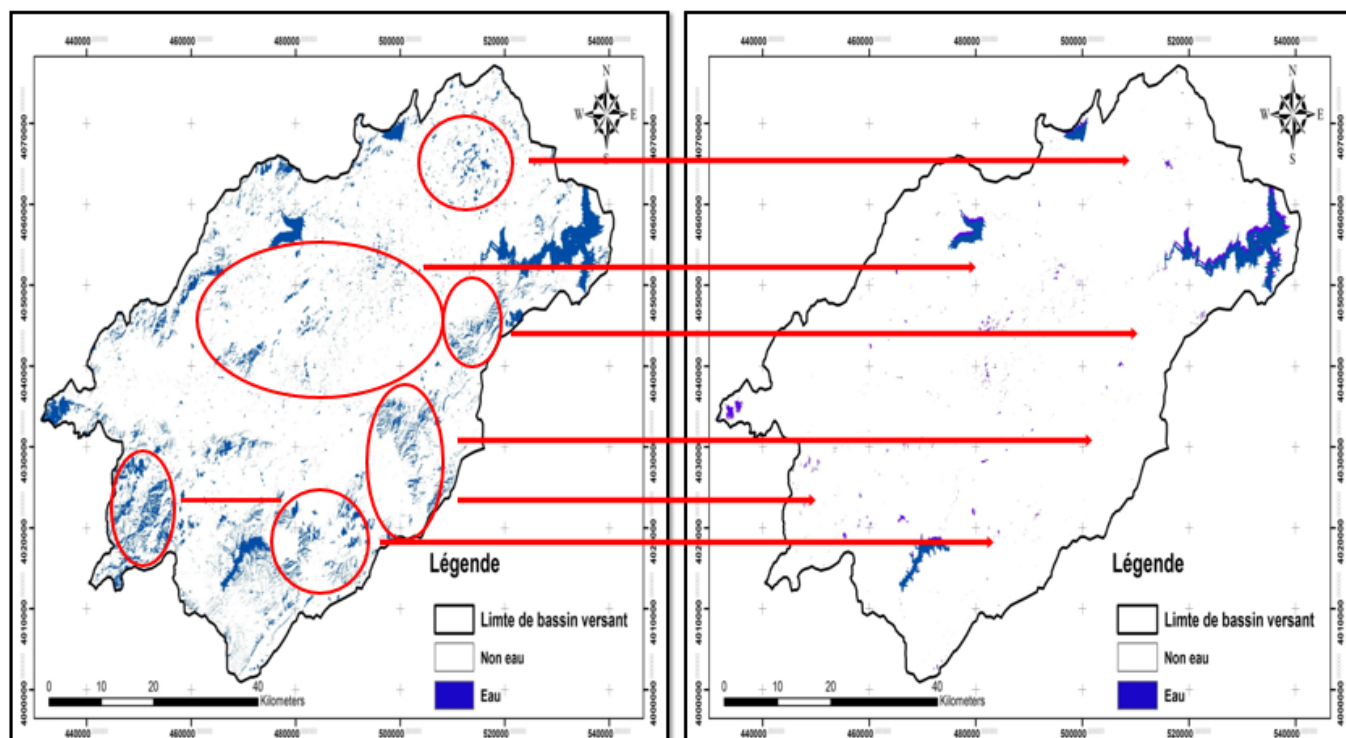


Fig. 9. La zone d'étude après la crue de 2003 .10 La zone d'étude avant la crue de 2003

Par ailleurs la comparaison entre les deux cartes obtenues, avant la crue et après la crue, a mis en évidence qu'approximativement les zones menacées par l'inondation présentent 50% de toute la surface de la zone d'étude.

La zone la plus touchées par le phénomène d'inondation correspond à celle qui est au centre de notre secteur d'étude qui comprend essentiellement: Bou Salem, Ouled Arfa, Ettataouer, Laachechia, Ez Zouania, etc..., cette zone convient particulièrement à la plus faible élévation du secteur d'étude, ces zones sont peu urbanisées et peu aménagées ce qui les rend plus facile à être touché.

Au nord de secteur d'étude près du barrage Kasseb de Béja on remarque que cette zone n'a pas touché par l'inondation grâce à sa forte élévation de terrain

Au Nord-Est, à l'amont près de barrage Sidi Salem, correspond à des faibles élévations de terrain ce qui lui rend susceptible d'être affecté et menacés comme c'est déjà montré sur la Carte.

Au Sud-Ouest, à l'aval près du barrage Mellègue, cette zone est caractérisée par une élévation moyenne de terrain, et d'après la carte de délimitation du secteur d'étude cette zone est peu menacée par le phénomène d'inondation principalement tout près de Henchir Arama et Nebeur.



Les zones ayant les plus faibles élévations de terrain sont celles les plus affectés par l'inondation de crue tant que celle avec une forte élévation ne sont pas généralement touchées ou menacées, ainsi on peut conclure que les zones les plus risquées sont celles qui sont peu urbanisées ou peu aménagées.

#### 4.2.2 RÉSULTATS DE CLASSIFICATION DE LA CRUE DE NOVEMBRE 2010

Les cartes ci-dessous présentent les résultats de classification des images satellitaires de la crue de Février 2003 et les zones inondées.

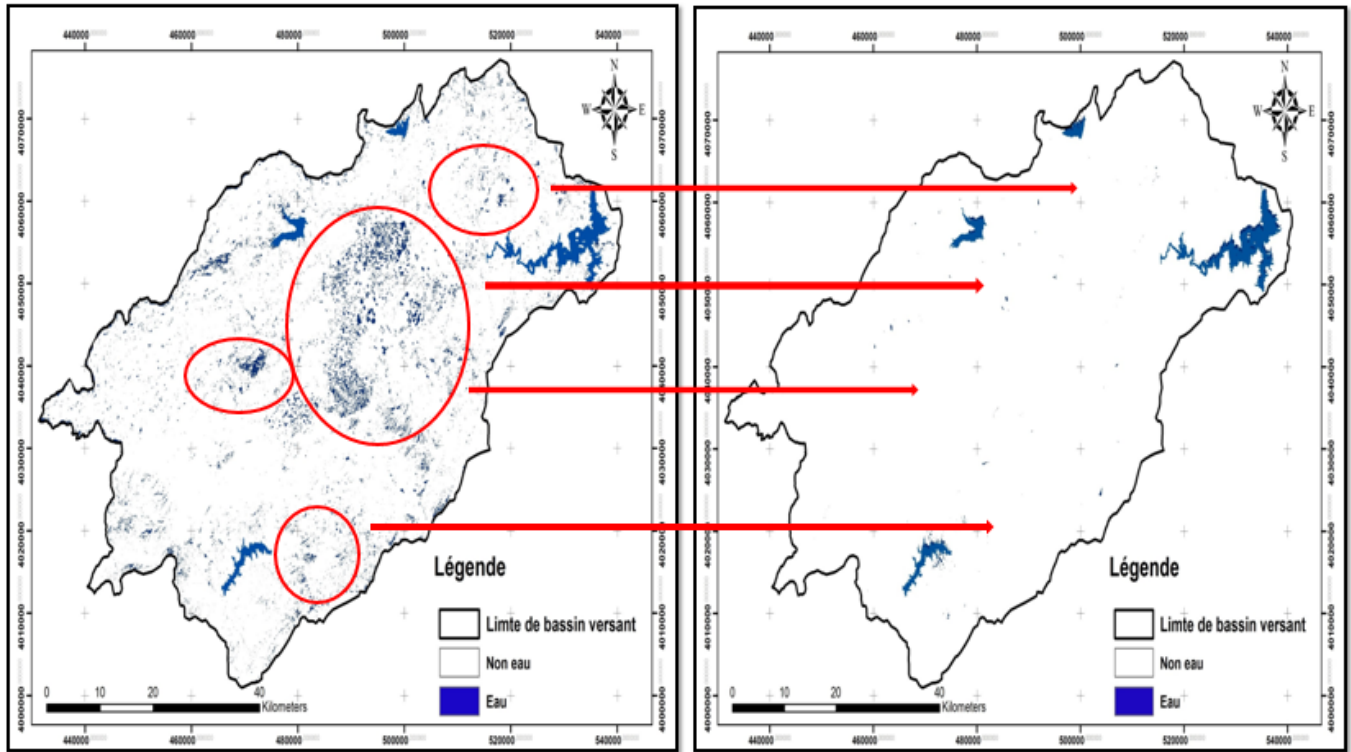


Fig. 10. La zone d'étude après la crue de 2010 .12 La zone d'étude avant la crue de 2010

La comparaison entre les deux cartes obtenues, avant la crue et après la crue, a mis en évidence qu'approximativement les zones menacées par l'inondation présentent 40% de toute la surface de la zone d'étude.

Pour la crue de 2010 la zone la plus touché par l'inondation est celle aussi au centre du secteur d'étude qui est caractérisé par une très faible élévation de terrain, cette zone comprend Bou salem, Ouled Arfa, El Hnancha, Ettataouer etc...

Le même cas que celui de crue de Février 2003, les zones ayant une faible ou moyenne élévation de terrain ont été touchés par le phénomène d'inondation : principalement au Sud-Ouest, à l'amont près de barrage Mèllegue, la zone tout près de Hinchir Arama et Nebeur a été affecté Ainsi au Nord-Est, à l'aval près de barrage Sidi Salem, une surface moyennement touchée.

Pour le Nord-Ouest de secteur d'étude le même cas que celui de crue de 2003. On remarque pour les deux dates de crues presque les mêmes zones ont été sous le risque de l'inondation mais avec une dégradation d'occupation d'eau pour les surfaces, la crue de 2003 à mis sous le risque des zones et des surfaces plus que celle de 2010.

## 5 CONCLUSION

Le bassin versant de l'oued de Medjerda est le plus important en Tunisie. Le phénomène d'inondation a pris naissance essentiellement depuis le dernier siècle en causant des dégâts destructifs et considérables pour les zones existantes sur le bassin versant. Dans ce cadre-là plusieurs villes ont été touchées par ce phénomène.

Le présent travail correspond à une étude du bassin de la haute vallée de la Medjerda qui comprend le tronçon Ghardimaou-Bou Salem- Barrage sidi Salem. Et de délimiter et détecter les différentes zones inondables de secteur d'étude à l'aide d'un traitement minutieux des imageries satellitaires Landsat avec l'ENVI et une délimitation par SIG.

En première partie Une étude bibliographique a été réalisée, dans laquelle nous avons insisté sur le concept de l'inondation et le processus de la télédétection ainsi que ces différentes caractéristiques.

La seconde partie s'est consacrée pour l'étude géomorphologique du bassin qui nous a permis de le caractériser tel que Les résultats obtenus des divers traitements SIG nous ont permis d'établir :

- Les caractéristiques hydrologiques proposées dans ArcGis par l'extension Arc Hydro
- La dynamique des écoulements des eaux de bassin
- Les caractéristiques pédologiques et l'occupation de sol

Notre bassin d'étude est caractérisé par des reliefs relativement forts ainsi qu'une dominance des unités complexes de sol et des terrains construits.

D'autre part une introduction à la méthodologie de travail adoptée pour le traitement des images satellitaires de différentes dates de crues a été faite afin de détecter les zones à risques.

En dernière partie on a élaboré les résultats obtenus des divers traitements des imageries satellitaires Landsat pour la crue de Février 2003 et Novembre 2010 ont permis d'avoir des interprétations considérables pour la cartographie des zones inondables. Pour la détection des zones inondables, on s'est basé sur la comparaison de notre zone pour une date avant la crue et autre après la crue pour les deux dates de 2003 et 2010 afin de mieux viser les zones à risque

La télédétection, la classification supervisée de l'ENVI et les SIG nous ont permis de détecter et délimiter environ 50 % de la superficie totale de la zone qui a été soumise au risque pour la crue de 2003, et environ 40% de la superficie totale est touchée pour la crue de 2010.

### REMERCIEMENTS

Je pense en fin de compte à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

### REFERENCES

- [1] Abidi S., 2017. Contribution à l'étude de la reconstitution et la prévision des crues de la Medjerda à l'amont du barrage Sidi Salem.
- [2] Beloulou L., 2008. Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville d'Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'Etat, hydrologie, université BADJI MOKHTAR-ANNABA, Algérie, 320 p.
- [3] Boubakri R., 2008. Etude de protection contre les inondations de la ville de Hammamet Sud. Projet de fin d'études, INAT, Tunisie, 120p.
- [4] CRED., 2012. Bilan des catastrophes naturelles dans le monde de 1975 à 2004, The OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain, Bruxelles, Belgique.
- [5] Enonzan F. B., 2010. Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées: cas des forêts classées de Dogo-Ketou au Bénin, mémoire pour l'obtention Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS), RECTAS Obafemi Awolowo University Campus.
- [6] Hajji O., 2022: Cours Hydrologie générale, département hydraulique et Aménagements, école supérieure des ingénieurs de medjez el beb.
- [7] LEVIANDIER, T., J. LAVABRE et P. ARNAUD., 2000: «Rainfall Contrast Enhancing Clustering Process and flood analysis.» Journal of Hydrology.
- [8] LILLESAND T.M. and KIEFER R.W., 1994.- Remote Sensing and Photo Interpretation, 3rd. ed. John Wiley & Sons: New York. 750 p. 1994.
- [9] LRHCHA I., 2011. Cours pratique de télédétection: méthodes et techniques de traitement d'images satellitaires à partir du logiciel ENVI.
- [10] [www.icem-freinet.net](http://www.icem-freinet.net)
- [11] [www.risquesenvironnementaux-collectives.oree.org](http://www.risquesenvironnementaux-collectives.oree.org)
- [12] [www.mementodumaire.net](http://www.mementodumaire.net)
- [13] [www.risque-meteo.ac-versailles.fr](http://www.risque-meteo.ac-versailles.fr).
- [14] [www.lehollandaisvolant.net](http://www.lehollandaisvolant.net)

- [15] [www.risque-meteo.ac-versailles.fr](http://www.risque-meteo.ac-versailles.fr).
- [16] [www.risque-meteo.ac-versailles.fr](http://www.risque-meteo.ac-versailles.fr).
- [17] Basics of remote sensing, [www.grindgis.com](http://www.grindgis.com)
- [18] Comment fonctionne la télédétection, [www.slideplayer.fr](http://www.slideplayer.fr).
- [19] <http://www.sciencesphysiques2010.esy.es/>
- [20] [www.memoireonline.com](http://www.memoireonline.com)