

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie et environnement

Thème

*Etude de la dynamique de l'eau et de la végétation du bassin
versant de Oued-Saoura en utilisant les moyens de l'observation de
la terre*

Présenté par : **GUETTAA Ismail**

Soutenu publiquement le :
01/10/2020

Devant le jury :

GUEZOUL Omar	Prof.	Président	U.K.M.Ouargla
BOUZID Abdelhakim	MCA	Promoteur	U.K.M.Ouargla
DJILI Brahim	MCB	Examineur	U.K.M.Ouargla

Année universitaire : 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon défunt Père,

Ma Mère, que DIEU te donne santé,

Ma femme qui m'a toujours encouragé et soutenu,

Mes enfants, et très chères frères et sœurs,

Tous ceux qui m'ont appris le moindre mot,

Mes amis et tous ce qui me connaissent de près ou de loin.

Ismaïl.G

Remerciements

Je remercie avant tous, DIEU tout puissant de nous guider et permis la finalisation de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Monsieur **BOUZID Abdelhakim** mon encadreur, qui a bien voulu par son aimable bienveillance dirigé ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mes profonds respects.

Mes remerciements les plus profonds s'adresse aussi à Monsieur **GUEZOUL Omar** pour l'honneur qu'il mon fait en acceptant de précéder le jury.

Mes plus grands respects à Monsieur DJILI Brahim, qui à bien voulu fait part du jury d'examinassions.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements à Monsieur Mustapha MEHALI, amis et collègue du CDARS, pour ses précieux conseils en encouragements.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Table des matières

Introduction	1
1 Présentation de la zone d'étude.....	3
1.1 Localisation géographique :.....	3
1.2 Caractérisation de la zone d'étude.....	6
1.2.1 Climat :.....	6
1.2.1.1 Précipitations :	6
1.2.1.1 Températures :	10
1.2.2 Hydrologie :.....	13
1.2.3 Géologie	13
1.2.4 Végétation :	16
2 Matériels et méthodes :	19
2.1 Matériels utilisés :	19
2.1.1 Données utilisées :.....	19
2.1.1.1 Données topographiques :.....	19
2.1.1.2 Images satellitaires :.....	21
2.1.2 Logiciels :.....	23
2.1.3 Ordinateur :	23
2.2 Méthodes d'analyse :	23
2.2.1 Analyse morphométrique :	23
2.2.1.1 Comblent les lacunes :	25
2.2.1.2 Direction des flux :	25
2.2.1.3 Accumulation des flux :	26
2.2.1.4 Définition des écoulements :	26
2.2.1.5 Liaison des écoulements :	27
2.2.1.6 Ordre d'écoulement :	27
2.2.1.7 Ecoulement vers entité :.....	27
2.2.1.8 Délimitation du bassin versant :	27
2.2.1.9 Conversion du bassin versant en entité :.....	27
2.2.1.10 Calcul des pentes :	27
2.2.1.11 Exposition :	28
2.2.1.12 Indice de Beven :	28
2.2.2 Télédétection (traitement d'imagerie satellitaire) :	30
2.2.2.1 Stackage :.....	30
2.2.2.2 Mosaïquage :	31
2.2.2.3 Etude de végétation :	32

2.2.2.4	Etude de l'eau :	33
2.2.2.5	Calcul du dynamique :	33
3	Résultats et discussion	36
3.1	Résultats de l'analyse morphométriques :	36
3.1.1	Délimitation du bassin versant de Oued -Saoura:	36
3.1.2	Morphologie du bassin versant :	36
3.1.3	Pentes	41
3.1.4	Orientation des reliefs	41
3.1.5	Indice IBK	41
3.2	Etude de la dynamique	46
3.2.1	La végétation	46
3.2.2	L'eau :	48
3.3	Discussion générale :	54
	Conclusion	56

Figure 1: Bassin versant de Oued -Saoura(Debief, 1953)-----	4
Figure 2:Localisation géographique de la zone d'étude (original)-----	5
Figure 3: Carte de cumul pluviométrique annuel du bassin versant de Oued-Saoura (Original)-----	7
Figure 4: Carte de cumul pluviométrique du mois le plus humide du bassin versant de Oued-Saoura (Original)	8
Figure 5 : Carte de cumul pluviométrique du mois le plus sec du bassin versant de Oued-Saoura (Original) -----	9
Figure 6 : Carte de la température moyenne du bassin versant de Oued-Saoura (Original)-----	10
Figure 7: Carte de la température maximale du mois le plus chaud du bassin versant de Oued-Saoura (Original) -----	11
Figure 8 : Carte de la température minimale du mois le plus froid du bassin versant de Oued-Saoura (Original) -----	12
Figure 9: Lithologie de la région d'étude (Sonatrach 2016)-----	14
Figure 10: Carte géologique du bassin versant de Oued-Saoura-----	15
Figure 11 : MNT SRTM V3 Présente des lacune 'no data cells' (NASA, 2020)-----	20
Figure 12 : MNT SRTM V3 Moins préci (voir figure ASTER V2) ci-après (NASA, 2020)-----	20
Figure 13 : MNT ASTER V2 (NASA, 2020)-----	21
Figure 14: Schéma représentatif de la procédure d'analyse morphométrique adoptée (Originale) -----	25
Figure 15 : Schéma représentatif de la procédure Comblent les lacunes (ESRI,2020)-----	25
Figure 16 : Schéma représentatif de la procédure Direction des flux (ESRI,2020)-----	26
Figure 17 : Schéma représentatif de la procédure Accumulation des flux (ESRI,2020)-----	26
Figure 18 : Schéma représentatif de la procédure de calcul des pentes (ESRI,2020) -----	27
Figure 19 : Schéma représentatif de la procédure Exposition (ESRI,2020) -----	28
Figure 20 : capture du modèle utilisé pour le calcul de l'indice IBK (Original) -----	29
Figure 21 : Illustration montrant le processus de Stackage (ESRI,2020) -----	31
Figure 22 : Illustration montrant le processus de mosaïquage (ESRI,2020)-----	31
Figure 23 : Exemple d'absorption des rayons visibles et proches Infrarouges par la végétation -----	33
Figure 24 : Illustration de l'approche de calcul de la dynamique d'un phénomène présenté sous forme de grille (Original)-----	34
Figure 25 : Carte hypsométrique du bassin versant de Oued-Saoura(Original)-----	38
Figure 26 : Carte de délimitation, de réseau hydrographique et de l'ordre d'écoulement du bassin versant de Oued-Saoura(Original)-----	39
Figure 27 : Carte de délimitation du bassin versant de Oued-Saouraet ses principaux affluents (original) -----	40
Figure 28 : Capture (Zoom avant) de l'indice IBK du bassin versant de Oued-Saoura (Original) -----	42
Figure 29 : Carte de l'indice IBK du bassin versant de Oued-Saoura (Original)-----	43
Figure 30 : Carte d'orientation du relief (pentes) du bassin versant de Oued-Saoura (Original)-----	44
Figure 31 : Carte des pentes du bassin versant de Oued-Saoura(Original)-----	45
Figure 32 : Surface de différentes classes de végétation avant et après la crue -----	46
Figure 33 : Pourcentage de différentes classes de végétation avant et après la crue -----	46
Figure 34 : Nombre d'entité des différentes classes de végétation avant et après la crue -----	47
Figure 35 : Nombre d'entité de différentes classes de végétation avant et après la crue -----	47
Figure 36 : Surface de différentes classes d'humidité avant et après la crue -----	48
Figure 37 : Pourcentage de différentes classes d'humidité avant et après la crue -----	49
Figure 38 : Nombre d'entité de différentes classes d'humidité avant et après la crue-----	50
Figure 39 : Variation des surfaces couvertes en eau du Barrage de Djorf-Torba et les principales zones humides du bassin versant de Oued-Saoura suite à la crue étudiée (Original)-----	51
Figure 40 : Carte de la dynamique de végétation de Oued-Saoura (Original) -----	52
Figure 41 : Carte de la dynamique d'humidité de Oued-Saoura (Original) -----	53
Figure 42 : Vue satellitaire du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (août 2014) (original) -----	60
Figure 43 : Vue satellitaire du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (Décembre 2014) (original) -----	61
Figure 44 : Carte du l'NDVI du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (août 2014) (original) -----	62
Figure 45 : Carte du l'NDVI du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (décembre 2014) (original) -----	63
Figure 46 : Carte du l'NDWI du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (août 2014) (original) -----	64
Figure 47 : Carte du l'NDWI du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (décembre 2014) (original) -----	65

Tableau 1: Landsat 8 OLI/TIRS bandes désignations (USGS, 2020) ----- 22
Tableau 2 : Paramètres appliqués pour le traitement et la correction du terrain L1T (USGS, 2020) ----- 22
Tableau 3 : Tableau représentant les classes d'altitude, la surface et le pourcentage correspondant ----- 37

NDVI : L'indice de végétation à différence normalisée

NDWI : L'indice de l'eau à différence normalisée

IBK : Indice de Beven et Kerkby

MNT : Modèle numérique de terrain

NASA : National Aeronautics and Space Administration

SRTM : Shuttle Radar Topographique Mission

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

USGS : United States Geological Survey

Introduction

L'eau constitue la ressource primordiale pour la vie de tous les êtres vivants, l'existence de l'eau favorise le déclenchement des processus vitaux des vivants, commençant par les micro-organismes unis ou pluricellulaires, les végétations primaires, les végétaux, les insectes, les animaux, constituant des écosystèmes plus ou moins stables.

Comme l'existence de l'eau favorise la vie, le manque d'eau est un facteur limitant qui menace tous les écosystèmes existants, limitant le développement de certains et menace l'existence d'autres en fonction de la composition de ces derniers et leurs dépendances à l'eau, les écosystèmes lacustres sont les plus vulnérables contrairement aux écosystèmes des milieux désertiques.

Donc pour bien comprendre le fonctionnement et la dynamique de ces écosystèmes, la connaissance des paramètres contrôlant leur existence (eau en particulier) est inévitable.

Les ressources en eau dans le Sahara dépendent dans leur majorité des crues des oueds drainant l'eau des précipitations du nord vers le sud, donc la connaissance des caractéristiques morphométriques des bassins versants de ces oueds est indispensable.

Les sciences de systèmes d'informations géographiques SIG et de la télédétection ont permis d'améliorer la connaissance humaine en termes d'identification des phénomènes affectant la vie des vivants et la détection des changements qui l'affectent, en améliorant la précision des résultats et en diminuant le temps et le coût.

Ce travail entre dans un contexte global visant à mettre en évidence les principales caractéristiques des bassins versants des oueds du Sahara Algérienne (morphométrie, eau et végétation), soulignant que deux études ont été déjà faites en 2018 et 2019 sur l'Oued M'ya et l'Oued Tamanrasset amont.

L'objectif de notre étude est de délimiter en premier lieu le bassin versant de Oued-Saoura et par la suite l'étude de l'eau et de la végétation avant et après une crue afin de cartographier la dynamique des deux paramètres étudiés.

Dans notre étude nous utilisons les moyens de la télédétection et du SIG pour détecter les changements d'humidité du sol et en conséquence de la végétation, causés par la crue relative aux précipitations importantes enregistrées entre le 23 et le 30 novembre de l'année 2014.

Le présent travail est structuré en trois chapitres, le premier consiste à présenter brièvement la zone d'étude, le deuxième développe l'approche méthodologique suivie, et le troisième expose les résultats obtenus et leur discussion.

Chapitre I
Présentation de la zone d'étude

1 Présentation de la zone d'étude

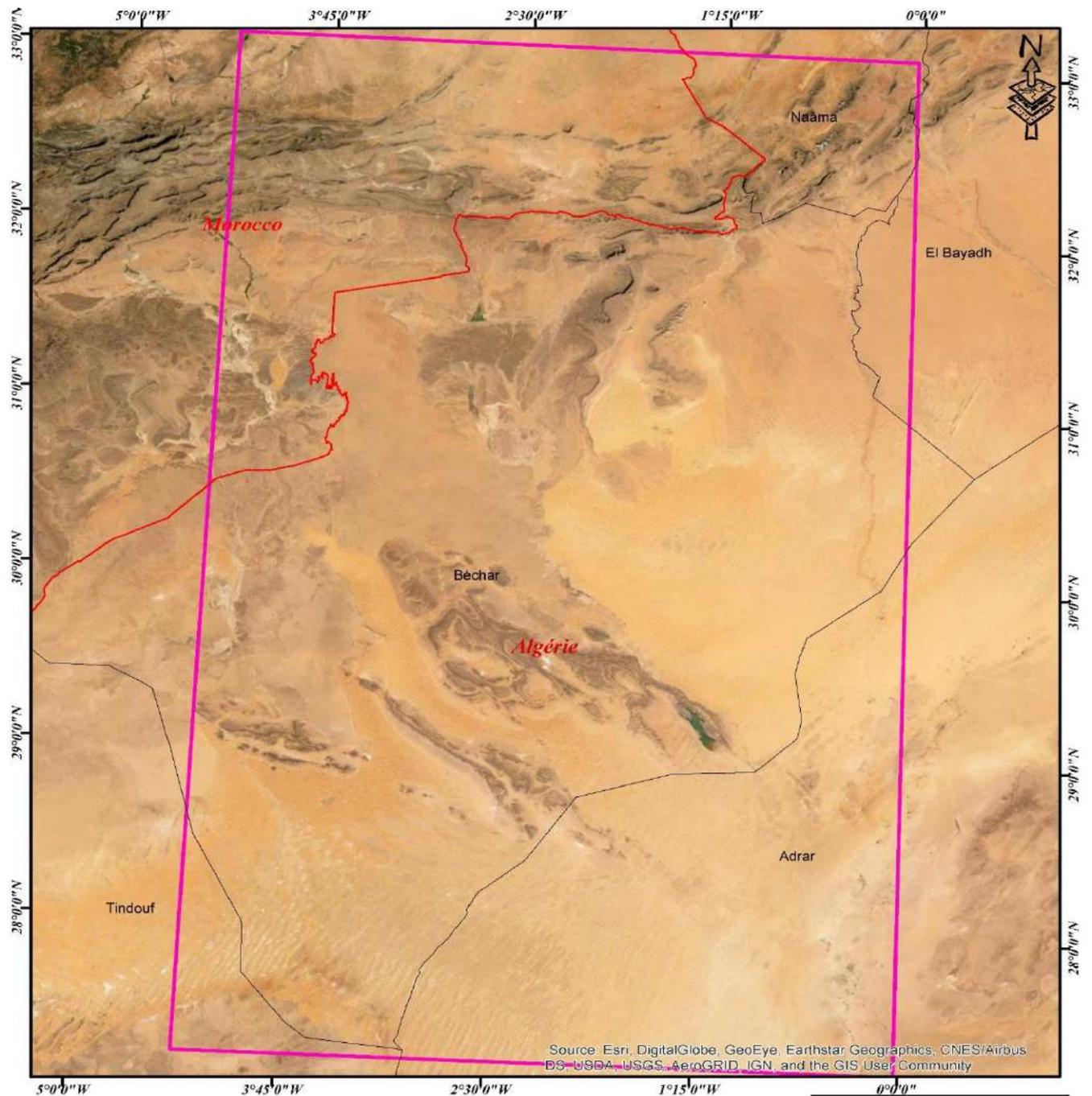
Le présent travail a pour objet d'étudier la dynamique de l'eau et celle de la végétation du bassin versant de Oued-Saoura, ce qui nécessite une connaissance intégrée des composantes biotiques et abiotiques du bassin. La géologie, la topographie, le climat contrôlant la vie floristique et en conséquence la vie faunistique.

Pour cette raison une étude climatique, topographique, géologique est incontournable pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes existants dans le bassin.

1.1 Localisation géographique :

Le bassin versant de la Saoura se localise dans la zone sud-ouest de l'Algérie, précisément entre les méridiens 0° et 4.50° W et les parallèles 27° et 33° N. (H.L.P., 1953)

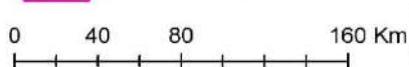
La figure n°1 montre les limites du bassin versant d'après une ancienne délimitation faite dans la période coloniale par l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Les données topographiques utilisées dans cette époque sont des cartes topographiques d'une échelle de 50 000. La délimitation de la zone d'étude dans cette étude est basée sur l'étendue spatiale définie dans cette carte, voir la figure n°2.



Carte de localisation géographique de la zone d'étude

Légende

- Limites international
- Limites Wilaya
- Limites de la zone d'étude



Time: 07:04:46

Date: 03/09/2020

User Name: Guettaa Ismail

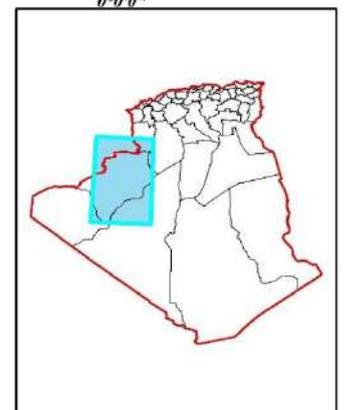


Figure 2: Localisation géographique de la zone d'étude (original)

1.2 Caractérisation de la zone d'étude

1.2.1 Climat :

La présentation climatique d'une région nécessite la disposition des données météorologiques de longue durée, et une répartition représentative des stations d'enregistrement de la météo.

A cet effet, on a choisi d'utiliser les modèles climatiques de WORLCLIM qu'ayant une meilleure représentativité dans l'espace et une précision satisfaisante, par la conjugaison des données des satellites d'observation de la météo globale et celles enregistrées dans les stations d'enregistrement de terrain.

Les données de **WORLDCIM** utilisées sont des données météorologiques historiques mensuelles pour la période de 1960-2018. Ces données sont déclassées (reproduction à échelle réduite) à partir de CRU-TS-4.03 par l'Unité de recherche climatique de l'Université d'East Anglia, en utilisant WorldClim 2.1 pour la correction des biais, la résolution spatiale est de 2,5 minutes (~21 km²). Chaque téléchargement est un fichier " zip " contenant 120 fichiers GeoTiff (.tif), pour chaque mois de l'année (janvier est le 1^{er} Décembre est le 12), pour une période de 10 ans.

Les grilles des données historiques téléchargées présentent des données climatiques de 58 ans « grille historique du 1960 au 2018 » CRU-TS 4.03 (Harris et al., 2014) downscaled with WorldClim 2.1 (Fick and Hijmans, 2017).

1.2.1.1 Précipitations :

Les données relatives à la pluviosité du bassin versant de Oued-Saoura sont présentées en trois cartes, la première carte (figure 3) représente le cumul annuel des précipitations que reçoit le bassin, la deuxième carte (figure 4) et la troisième carte (figure 5) concernent respectivement le cumul pluviométrique du mois le plus humide et du mois le plus sec. Ces deux dernières cartes mettent en évidence le moyen pluriannuel des cumuls mensuels dans les cas extrêmes.

La première carte (figure 3) démontre un cumul pluviométrique annuel qui varie entre 8 mm dans la partie aval du bassin jusqu'à 370 mm dans la partie amont, mais aussi illustre que la partie productive du bassin (pluviométrie supérieure à 150 mm) se situe dans les zones d'atlas saharien et marocain.

Le cumul pluviométrique mensuel du mois le plus humide varie entre 2 et 66 mm tandis que celui du mois le plus sec varie entre 0 et 8 mm.

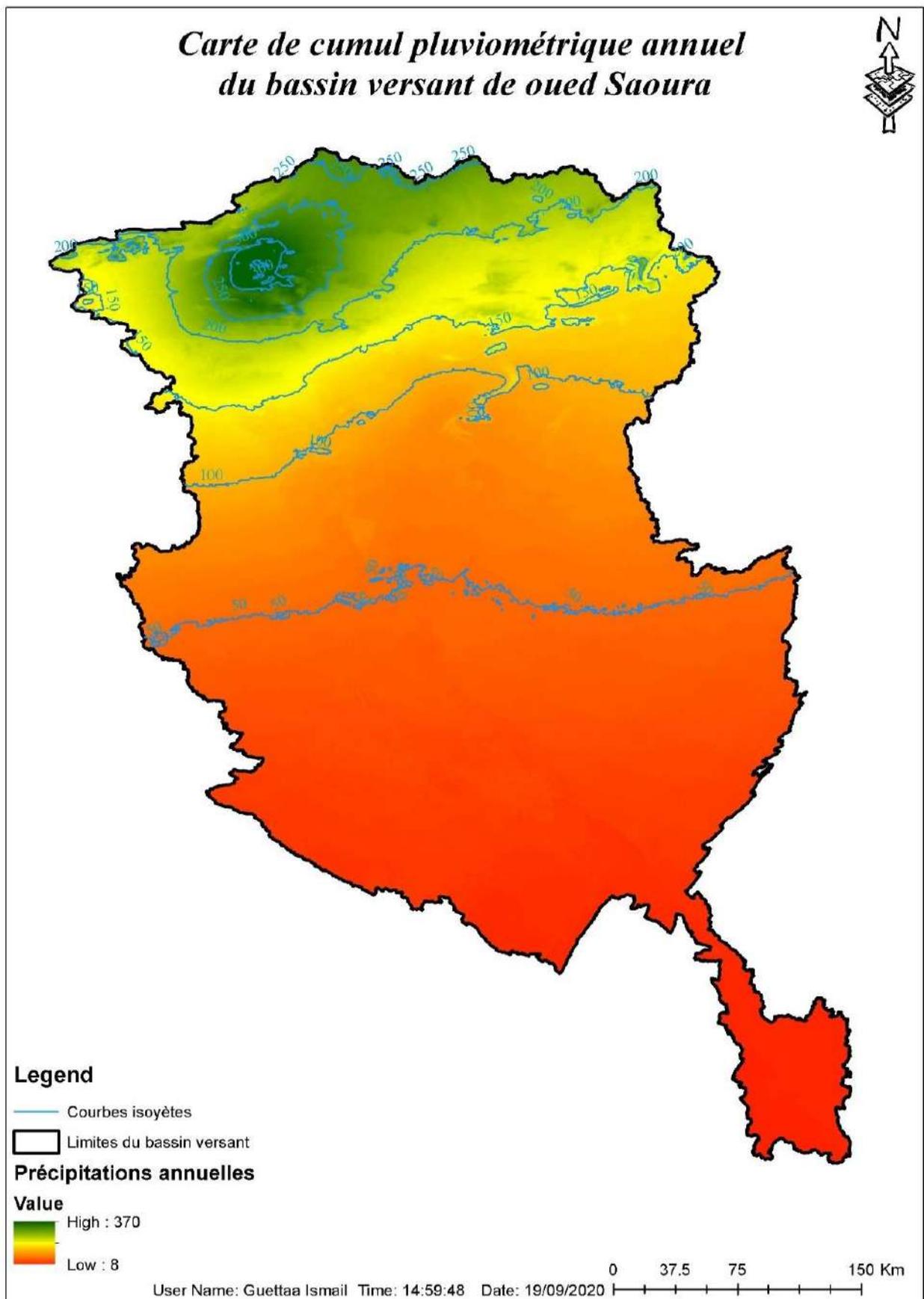


Figure 3: Carte de cumul pluviométrique annuel du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

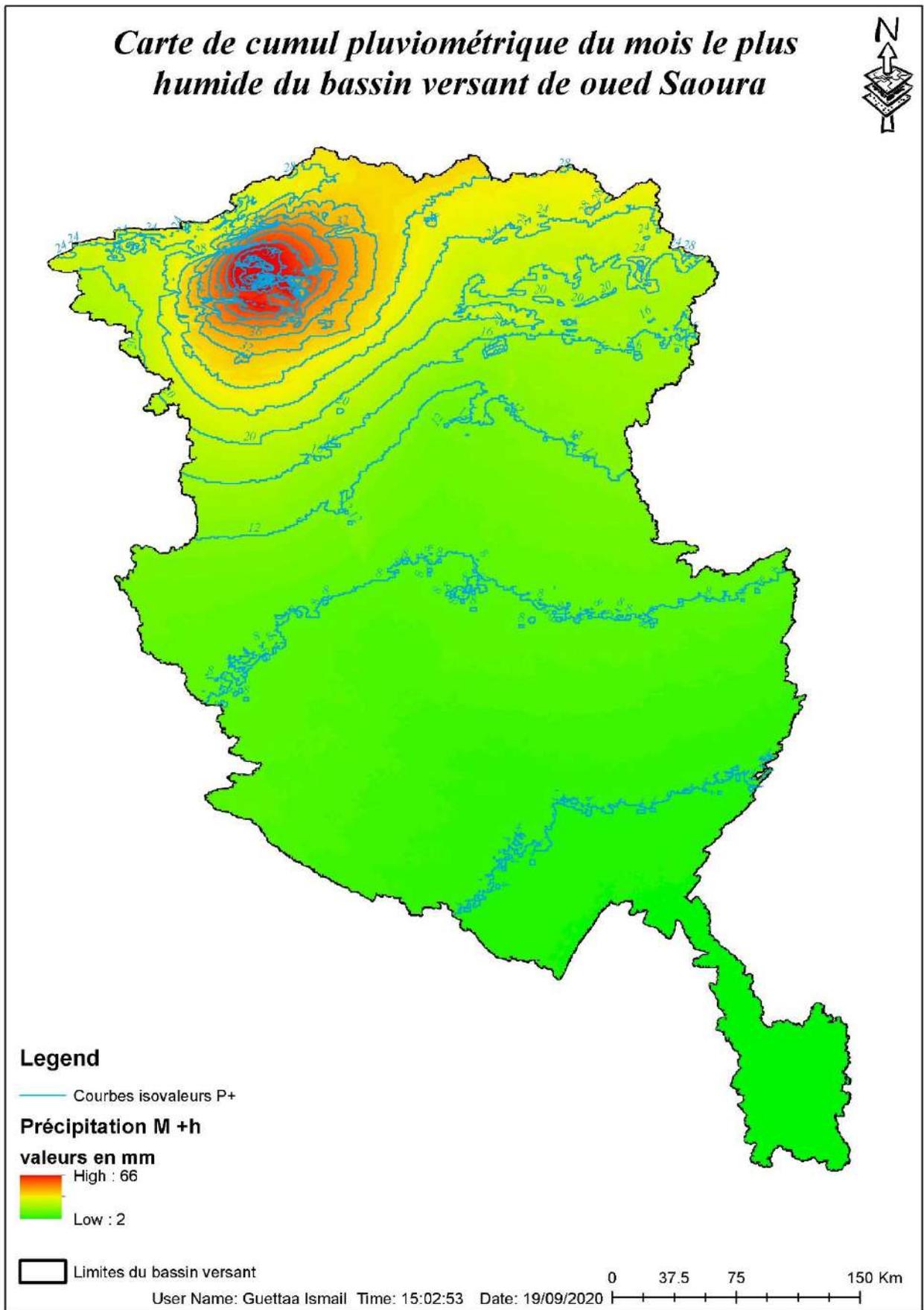


Figure 4: Carte de cumul pluviométrique du mois le plus humide du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

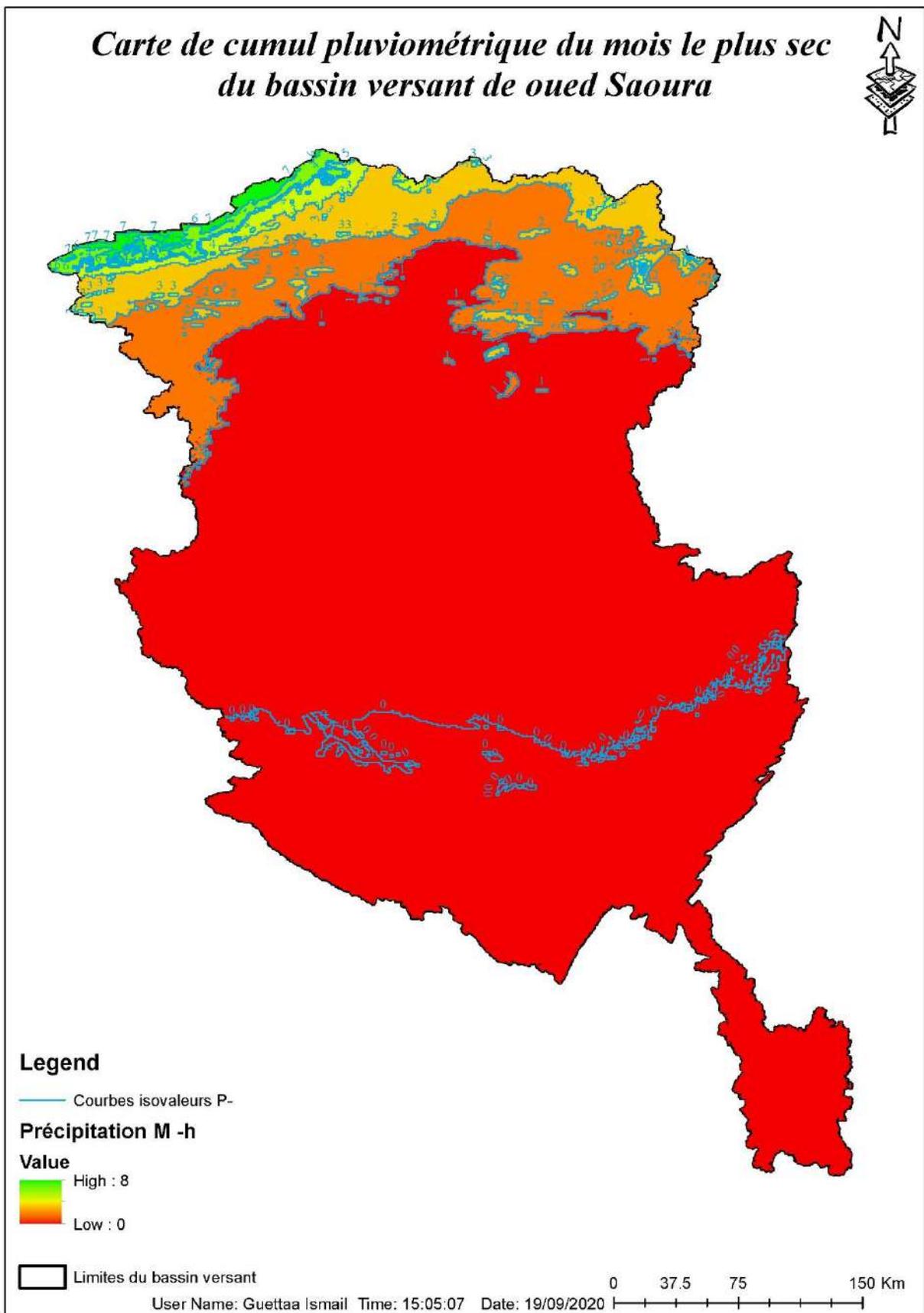


Figure 5 : Carte de cumul pluviométrique du mois le plus sec du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

1.2.1.1 Températures :

La température moyenne annuelle du bassin varie entre 10 et 26 °C, la température maximale du mois le plus chaud atteint les 46.7 °C tandis que la température minimale du mois le plus froid baisse jusqu'à -5.2 °C, voir les figures 6,7 et 8.

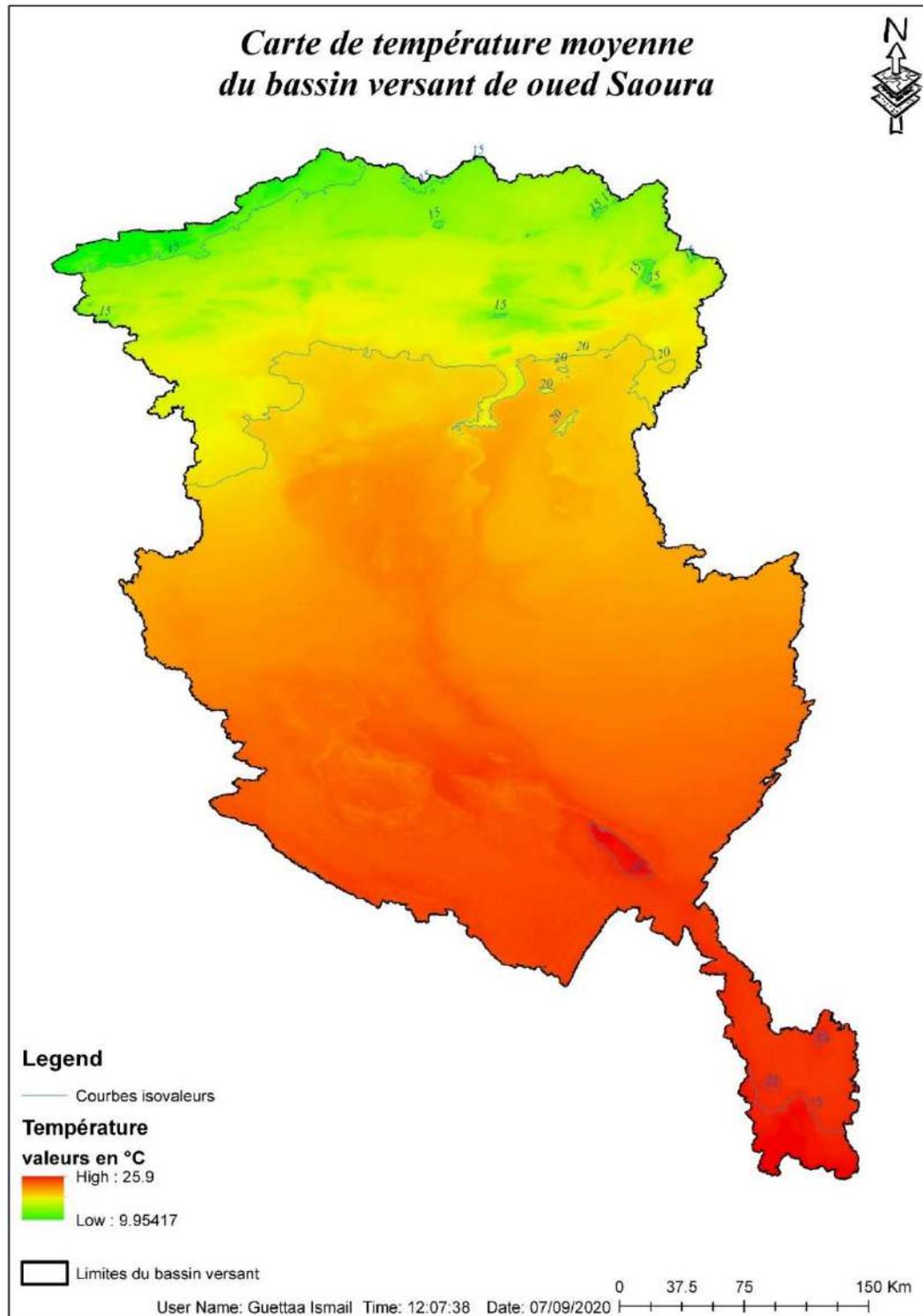


Figure 6 : Carte de la température moyenne du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

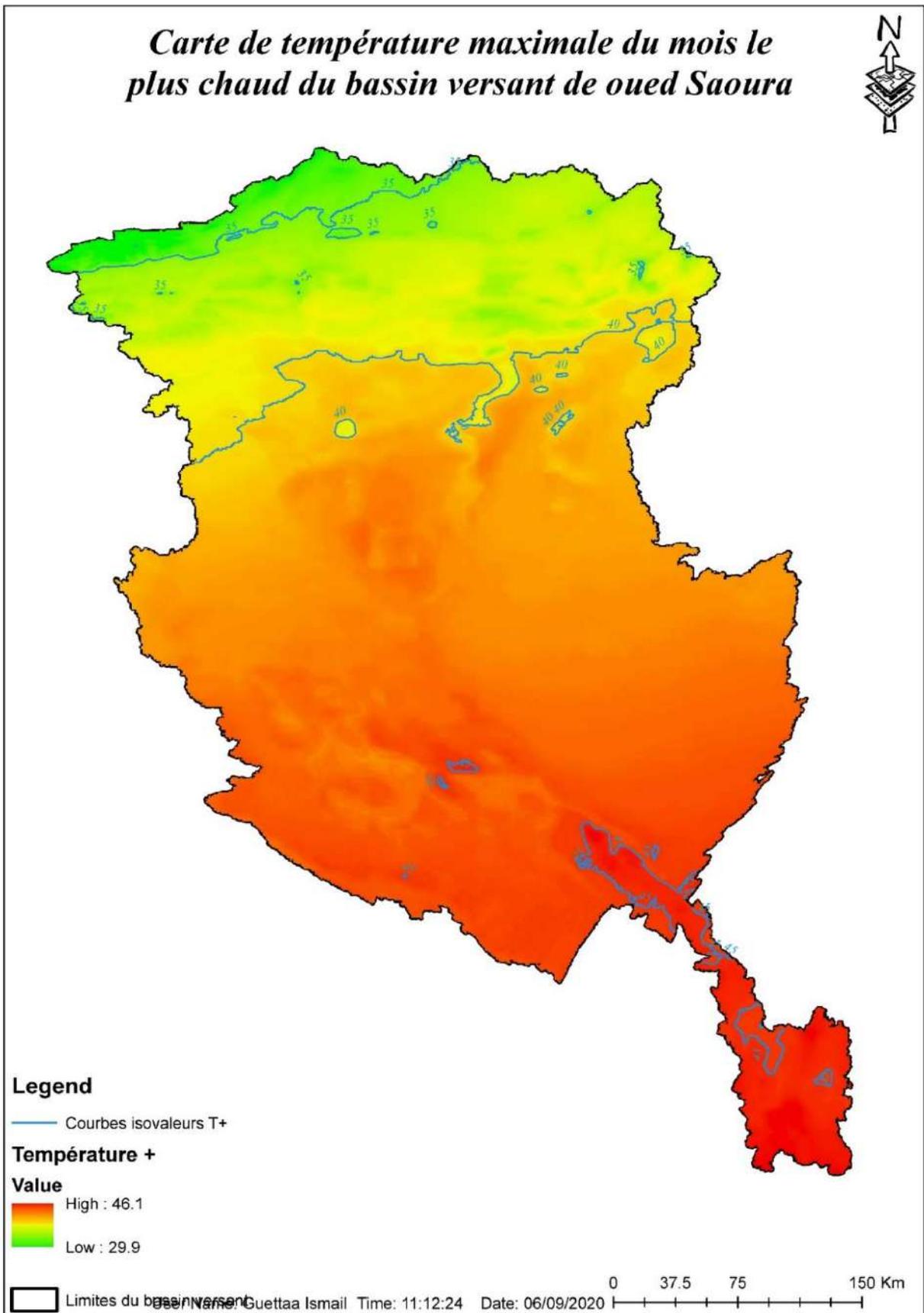


Figure 7: Carte de la température maximale du mois le plus chaud du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

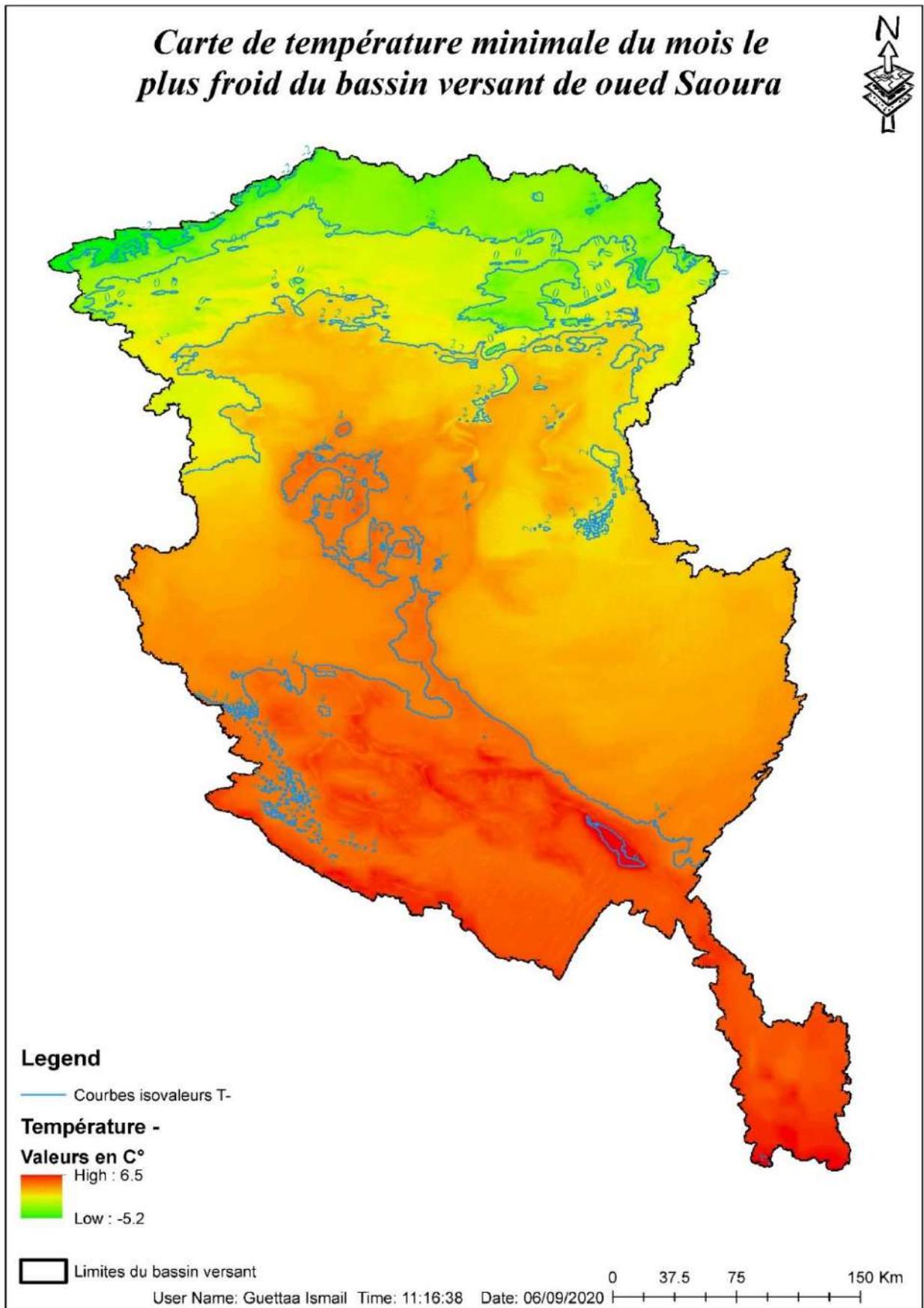


Figure 8 : Carte de la température minimale du mois le plus froid du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

1.2.2 Hydrologie :

Oued -Saoura commence à Igli au confluent du Guir et de la Zousfana, descendus respectivement du Haut Atlas marocain et de l'Atlas Saharien (voir figure 01). Les écoulements provoqués généralement par les précipitations sur le haut bassin, déferlent plus ou moins loin en aval. Beaucoup atteignent une cuvette fermée, la Sebket el Melah, par l'intermédiaire de Oued -Essouireg qui descend vers le nord-ouest à la sortie du Foum el Kheneg. Les crues de fréquences plus rares se divisent en deux après ce Foum, une partie des eaux s'écoulant toujours dans Oued-Es-Souireg, l'autre passant dans Oued-Messaoud et Oued et Tseïbat, pour gagner les grandes sebkhas du Touat.(ROCHE, 1973)

Parmi les oueds sahariens, la Saoura est un des plus vivants car des crues souvent importantes, s'y produisent fréquemment.(ROCHE, 1973)

Oued-Saoura coule sensiblement Nord-Sud arrosant sur son parcours de nombreuses et verdoyantes palmeraies, en particulier celle de Béni Abbés et Kerzaz pour se perdre, après un parcours d'un millier de kilomètres environ dans les sebkhas d'El mellah, de Timoudi et du Gourara, centre du bassin fermé de la Saoura.

Le barrage de Djorf Torba est construit sur le Guir non loin de la frontière marocaine, il est destiné à l'irrigation de la plaine d'épandage d'Abadla et aussi à l'alimentation en eau de la ville de Béchar démunie de ressources souterraines abondantes et de bonne qualité.

Avant la construction du barrage, l'essentiel des crues de la Saoura dépendait de Oued-Guir et non de la Zousfana, dont les débits sont moindres : une crue sur cinq ou six atteint la Saoura, les autres s'arrêtent bien avant Taghit.

Au nord les eaux des oueds viennent alimenter la nappe de l'Erg, qui irrigue par des sources les palmeraies installées sur la rive gauche de Oued-Zousfana (Taghit, Igli) ou de la Saoura (Beni Abbes, El Ouata, Beni Iklef, Kerzaz). L'inféoflux des oueds est également exploité, autrefois par des puits à balancier, aujourd'hui par des motopompes.

1.2.3 Géologie

Le bassin versant de Oued-Saoura appartient à la plateforme saharienne, à l'échelle régionale cette région se rattache aux monts d'Ougarta, constitués d'une gamme de terrains très variés, allant du Précambrien Milliard année à l'actuel.(Menchikoff, 1946)

La figure n° illustre les formations géologiques contenant à travers tout le bassin versant, les principales formations par ordre chronologique sont le cambrien, l'ordovicien, Silurien, Dévonien,

Carbonifère, westphalien, namurien, crétacé, cénonanien, Turonien, sénonien, tertiaire, éocène, miocène, quaternaire et tectonique

La figure n° 10 illustre les formations géologiques précitées, cette carte est dérivée d'une carte géologique d'une échelle de 500 000.

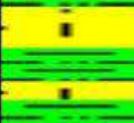
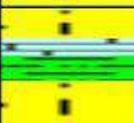
Ere	Système	Formations	Lithologie	Tops (m)			Epaisseurs (m)	Description
				Géologiques				
				Prévisions	Réels			
					MD	TVD		
CENOSOZ	Le Quaternaire (Miocène-Eocène-Tertiaires)			0	15	15	103	Calcaire, Argile, Grès, Sable.
	MESOZOIQUE	Le Crétacé	Le Cénonanien		146	118	118	93
				198	211	211	48	Roche Eruptive, Pyrite, Calcaire, Argile.
PALEOZOIQUE	Carbonifère	Westphalien		234	259	259	164	Argile.
		Namurien		384	423	423	131	Argile, Gres, Trace de Pyrite.
	Dévonien Supérieur	Strunien						
		Faminnien		594	554	554	214	Calcaire, Argile, Gres.
		Frasnien		738	768	768	56	Argile.
	Dévonien Moyen	Givetien		798	824	824	19	Calcaire.
		Couvenien		818	843	843	92	Calcaire, Marne.
	Dévonien Inferieur	Emsien		893	935	935	287	Calcaire, Argile, Gres.
		Siegenien		1198	1222	1222	261	Calcaire, Argile, Gres.
		Gedinnien		1455	1483	1483	163	Argile, Gres, Trace de Calcaire.
Silurien			1618	1646	1646	67	Argile, Calcaire	
Ordovicien			1673	1713	1713			

Figure 9: Lithologie de la région d'étude (Sonatrach 2016)

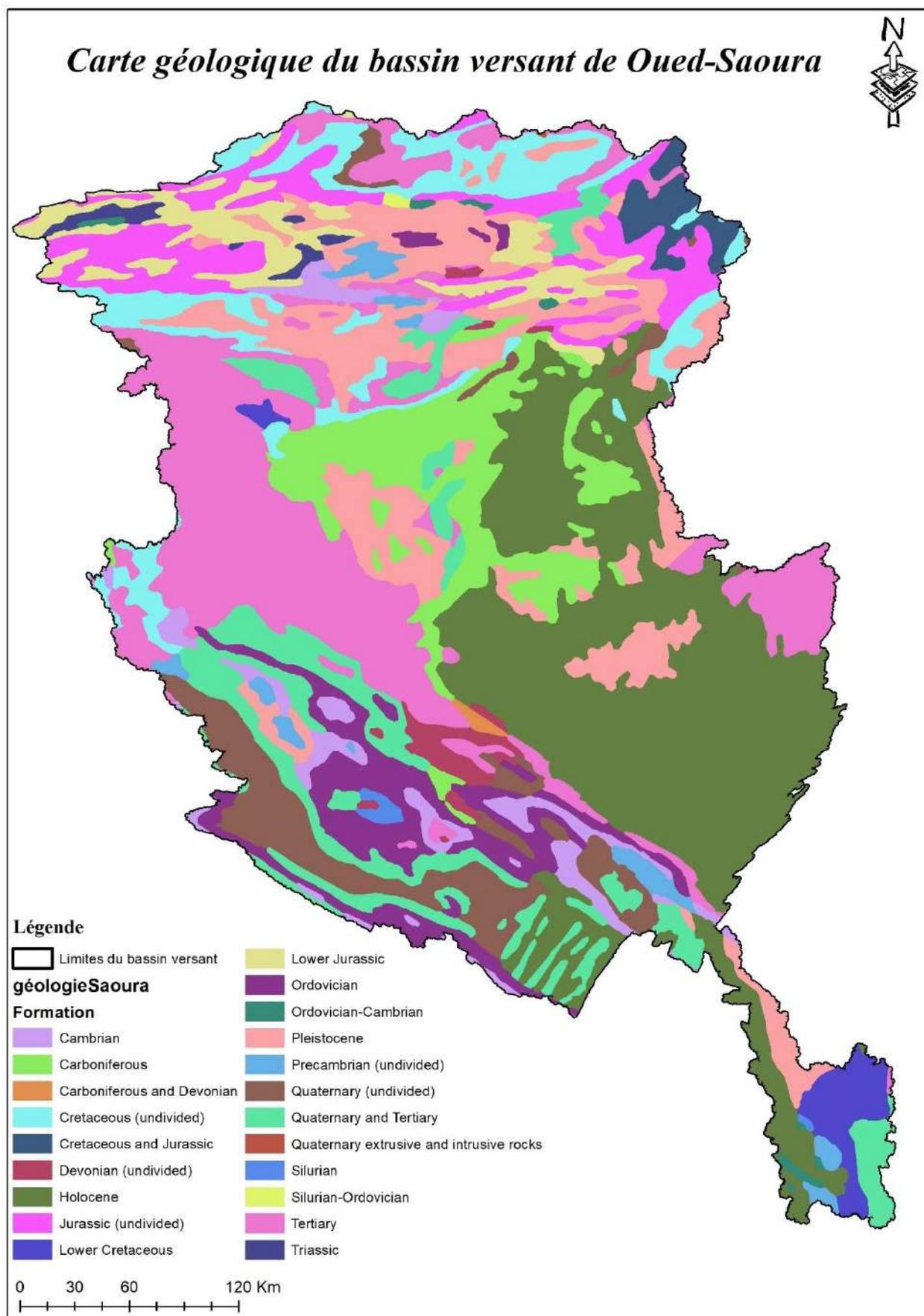


Figure 10: Carte géologique du bassin versant de Oued-Saoura

1.2.4 Végétation :

La végétation de la zone étudiée est caractérisée par quelques arbustes (*Calligonum comosum*, *Ephedra alata* et *Retama retam*) et une herbe vivace, (*Aristida pungens*). (Benhouhou et al., 2001)

La classification tabulaire identifié l'association principale des dunes : *Calligono-Aristidetum pungentis*. (Quezel, 1965).

L'association (*Calligonum azel*, *Retama retam*) se trouve dans les creux, au pied des pentes et s'étend de temps en temps sur les pentes. Elle a une couverture basse et l'espèce peut s'adapter à la fois à l'accrétion et à l'ablation du sable. (Benhouhou et al., 2001)

Les principales espèces qui caractérisent cette association erg sont *Aristida pungens*, *Cyperus conglomeratus*, *Moltkia ciliata*, et *Polycarpha repens*. Deux nouvelles sous-associations ont été distingués : une sous-association frontalière des dunes caractérisée par *Danthonia ragilis* et une sous-association erg intérieure caractérisée par *Calligonum Azel*. (Benhouhou et al., 2001)

La présence exclusive, bien qu'à une fréquence inférieure, de *Cornulaca monacantha* et *Zygophyllum album*, met en évidence un peu plus salin dû au sel d'origine éolienne de Oued-Saoura adjacent. (Benhouhou et al., 2001)

Oued-Saoura a fait l'objet d'une enquête sur un tronçon de 50 km entre Igli, Beni Abbes et Marhouma. Deux associations se distinguent. Le centre de l'oued caractérisée par *Tamarix gallica* et *Cistanche tinctoria*, et une association de terrasses définie par *Traganum nudatum* et *Zygophyllum*.

Ces halophytes, appartenant principalement aux Chenopodiaceae, Tamaricaceae et Zygophyllaceae, sont bien représentés dans la solution saline habitats de nombreux déserts à travers le monde. (Salem et al., 1994)

Le *Cistanche tinctoriae* et *Tamaricetum gallicae* se produit sur les sites avec une nappe phréatique élevée qui favorise l'accumulation de sel, par la présence d'halophytes tels que *Salicornia fruticosa*, avec plus d'un tiers de la texture du sol étant de l'argile et du limon. (Benhouhou et al., 2001)

Les principales caractéristiques physiologiques de cette association sont denses, fourrés presque impénétrables de *Tamarix gallica* se produisant avec son parasite *Cistanche tinctoria*, et formant un gommage jusqu'à 2 m de haut. *Juncus maritimus* et *Phragmites australis* sont autour des marges des zones d'accumulation temporaires d'eau saumâtre. (Benhouhou et al., 2001)

Il s'agit de fragments de l'association *Phragmites communis* et *Salicornia arahica*, dispersés autour des zones humides le long de Oued-Saoura. (Benhouhou et al., 2001)

Sur les terrasses alluviales, l'association *Traganum nudatum* et *Zygophyllum album* se développe sur des sols riches en gypse avec une teneur en sel plus faible que le plancher central de Oued-Saoura. Les espèces dominantes sont les deux l'association, *Traganum nudatum* et *Zygophyllum album*. Ce sont des buissons bas avec des feuilles succulentes, et agissent fréquemment comme des centres pour l'accumulation de sable. Quatre espèces, *Salsola foetida*, *Salsola vermiculata*, *Suaeda*

Mollis et *Atriplex halimus* contribuent également à la physionomie de l'association. Le sable exagéré de texture moyenne permet l'établissement de psammophiles tels qu'*Aristida pungens*, *Calligonum comosum* et *Euphorbia guyoniana*. (Benhouhou et al., 2001)

Chapitre II
Matériels et méthodes

2 Matériels et méthodes :

2.1 Matériels utilisés :

Le présent travail vise à faire une analyse spatio-temporelle du bassin versant de Oued-Saoura, touchant le volet morphométrique (topographie) d'une part et le volet télédétection et traitement de données d'autre part, ce qui nécessite des données et du matériel spécial, logiciel d'analyse et un micro-ordinateur performant.

2.1.1 Données utilisées :

2.1.1.1 Données topographiques :

Il existe une multitude des données topographiques qui peuvent être utilisées pour le traitement morphométrique des bassins versants, donc la question qui se pose est de choisir judicieusement entre les différents types de données disponibles ceux qui ont la meilleure précision planimétrique et altimétrique.

Citant entre autres les cartes topographiques à différentes échelles, et les données numériques d'altitude représentées sous forme d'un modèle numérique de terrain.

L'immensité de la zone d'étude et le manque des cartes topographiques à une échelle appropriée conjuguée de la disponibilité des MNT avec une résolution spatiale de 30 mètres (jugé très admissible), nous obligent à choisir évidemment les modèles numériques de terrain, mais encore il reste un choix à faire entre les MNT disponibles.

Parmi les modèles numériques de terrain disponibles, les plus connus sont les SRTM (Shuttle Radar Topographique Mission) et les ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) qui sont des produits de la NASA.

Les figures ci-après représentent les deux modèles numériques de terrain SRTM et ASTER, d'après les figures n° 11 et 12 on remarque que le SRTM présente des lacunes (manque de données dans certains pixels) et une précision faible par rapport que celle d'ASTER présenté dans la figure n° 13, de ce fait le choix du MNT portera sur l'ASTER.

BN : il existe encore plusieurs sources de données numériques topographiques même avec des caractéristiques meilleures que celles de l'ASTER et l'SRTM, mais le problème que ces derniers ne couvrent pas la totalité du bassin versant.

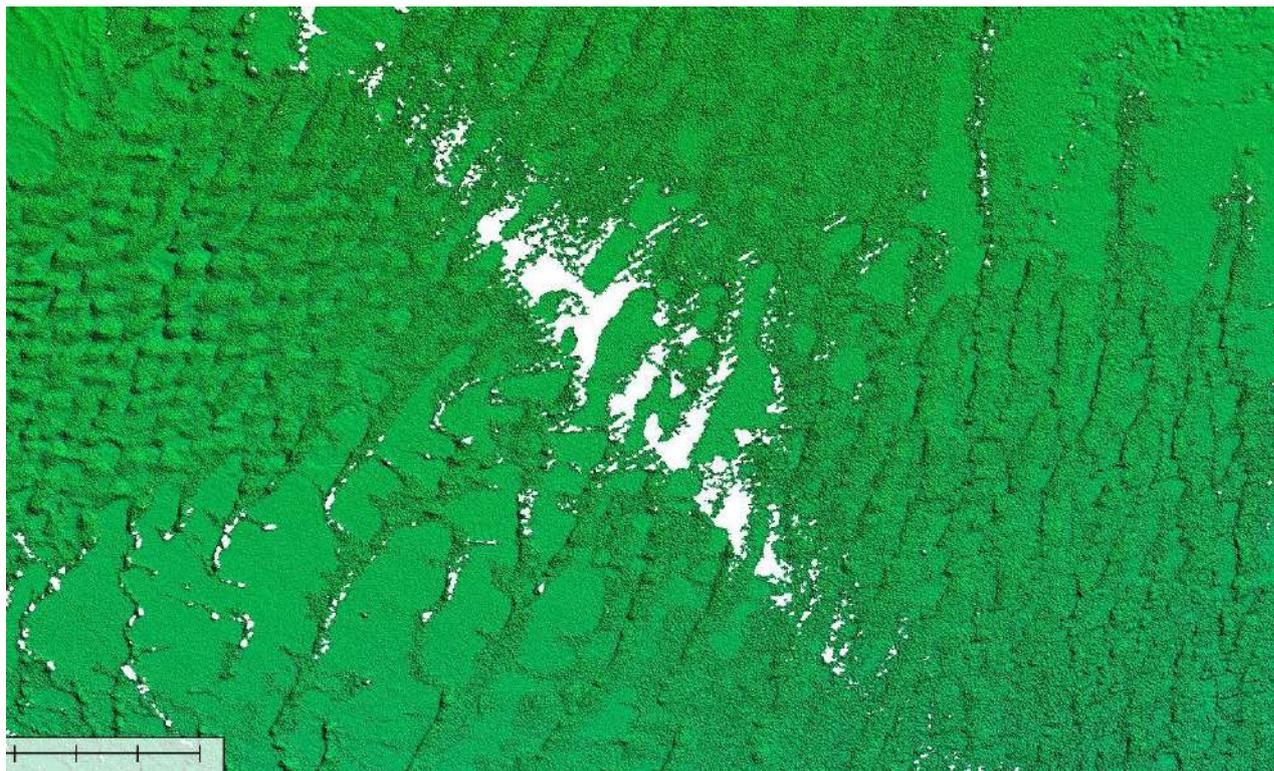


Figure 11 : MNT SRTM V3 Présente des lacune ‘no data cells’ (NASA, 2020)

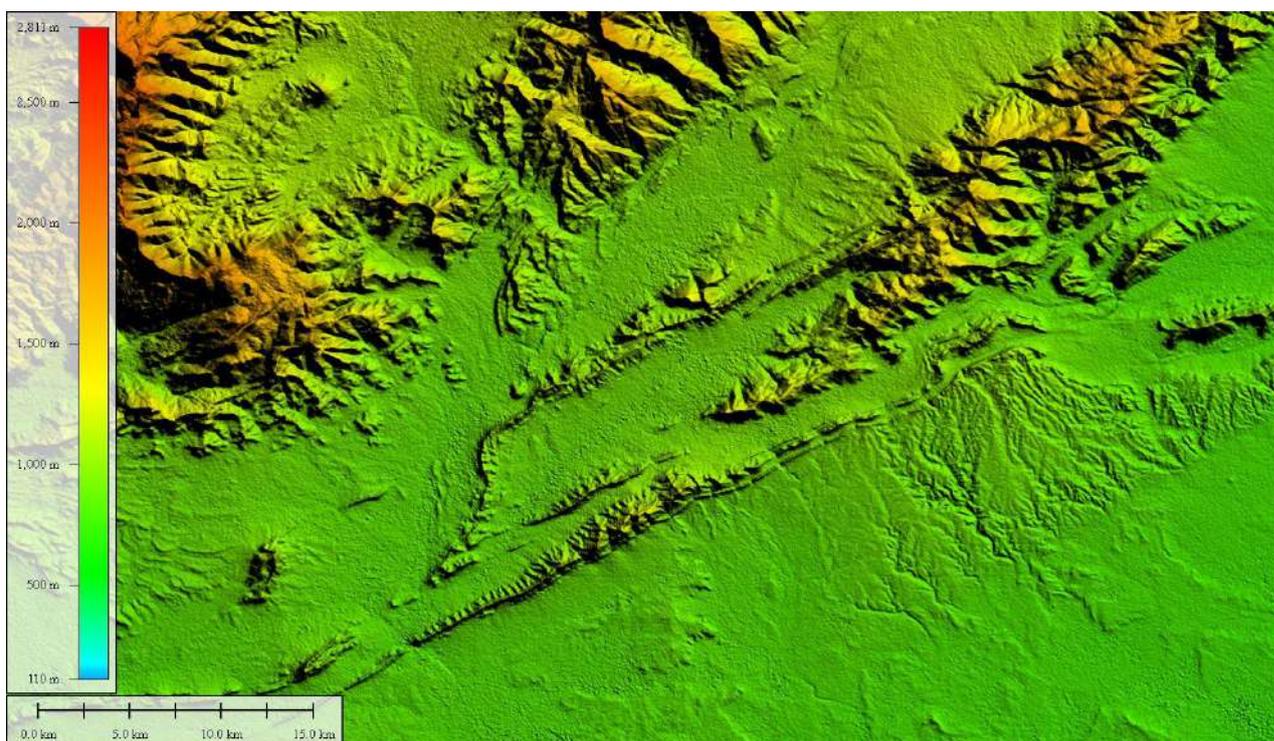
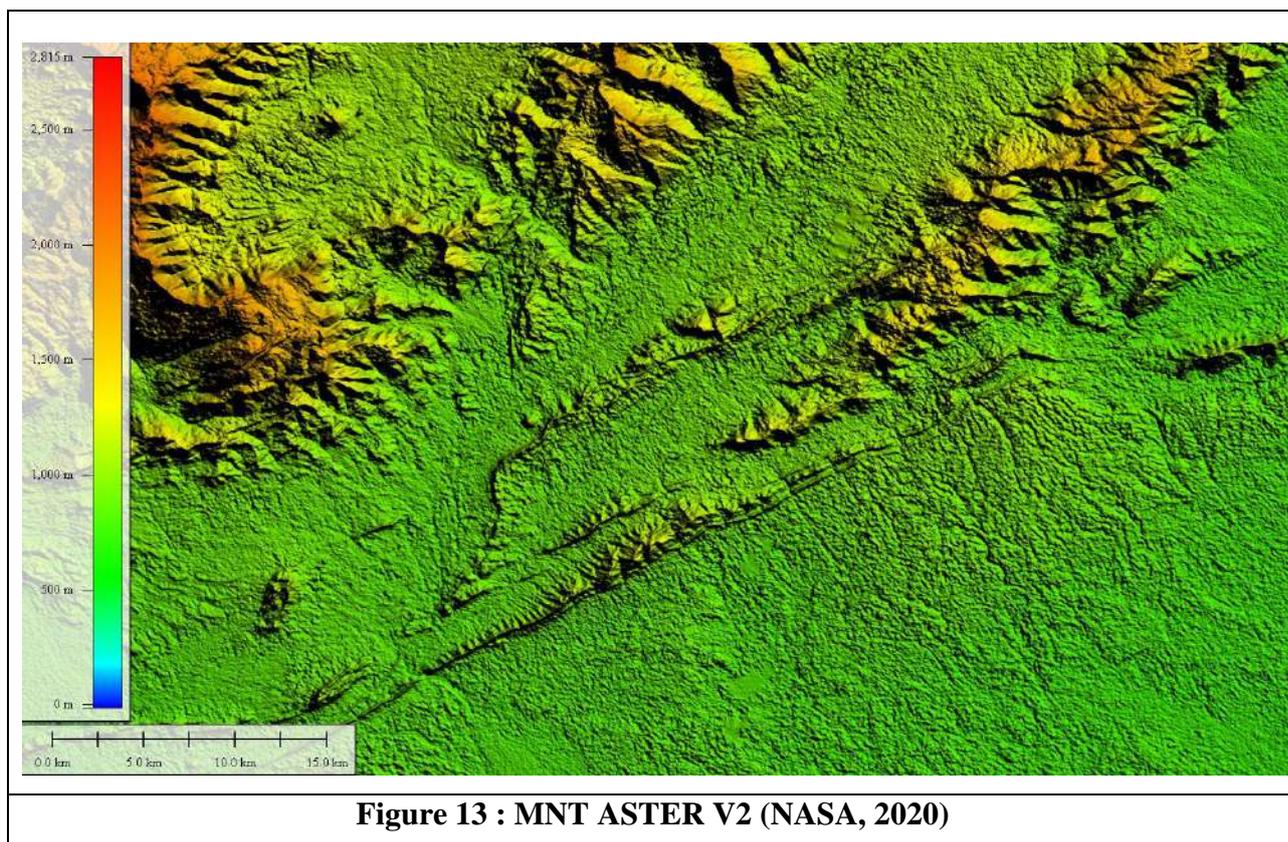


Figure 12 : MNT SRTM V3 Moins préci (voir figure ASTER V2) ci-après (NASA, 2020)



2.1.1.2 Images satellitaires :

Les images satellitaires utilisées pour notre travail sont des images Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) et TIRS (Capteur infrarouge thermique) de 15 à 30 mètres de données multispectrales.

Notant que ce type d'images est de meilleure qualité radiométrique et de résolution spatiale très satisfaisante pour les paramètres étudiés.

L'imagerie terrestre opérationnelle de Landsat 8 recueille de nouvelles images pour un emplacement donné tous les 16 jours.

Le tableau suivant donne une désignation des différentes bandes produites par ce satellite.

Tableau 1: Landsat 8 OLI/TIRS bandes désignations (USGS, 2020)

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100	

Ces images ont subi un premier niveau de correction (correction radiométrique)

Les paramètres appliqués pour le traitement et la correction du terrain L1T sont présentés dans le tableau n° 2.

Tableau 2 : paramètres appliqués pour le traitement et la correction du terrain L1T (USGS, 2020)

Traitement :	Niveau 1T - Terrain corrigé
Taille du pixel :	Bandes multispectrales OLI: 30 mètres Bande panchromatique OLI: 15 mètres BANDES THERMIQUES TIRS : 100 mètres (réamplifiés à 30 mètres pour correspondre aux bandes multispectrales)
Caractéristiques des données :	Format de données GeoTIFF Resampling de la convolution cubique (CC) Orientation Nord Up (MAP) Projection de la carte Universal Transverse Mercator (UTM) (Polar Stereographic for Antarctica) Système géodésique mondial (WGS) 84 datum Erreur circulaire de 12 mètres, 90% de confiance globale pour OLI Erreur circulaire de 41 mètres, précision globale de 90% de confiance pour TIRS Valeurs de pixels 16 bits
Livraison de données :	HTTPS Télécharger dans les 24 heures suivant l'acquisition

NB : La source des MNT et images satellitaires utilisées est le site officiel de l'USGS, les MNT et les images ont été commandés par pack, chaque pack couvre l'ensemble du bassin versant.

Pack 1 : Pour le MNT SRTM V3 1arc (résolution spatiale 30 mètre)

Pack 2 : pour le MNT ASTER V2 1arc (résolution spatiale 30 mètre)

Pack 3 : pour les images satellitaires Landsat 8 OLI/TIRS (couverture avant les précipitations)

Pack 4 : pour les images satellitaires Landsat 8 OLI/TIRS (couverture après les précipitations)

2.1.2 Logiciels :

Le logiciel utilisé pour le traitement de données (morphométrie et traitement d'imagerie) est ArcGIS pro version 2.6 avec une licence gratuite étudiant et professionnel (Ismail_GUETTAA_LearnArcGIS)

Lo logiciel de Mendely est utilisé pour référencier les ressources bibliographiques utilisées, Microsoft Excel, et Word pour la production des graphes et la rédaction de la thèse.

2.1.3 Ordinateur :

L'ordinateur utilisé pour l'ensemble des traitements est un micro-ordinateur portable personnel portant les caractéristiques suivantes :

CPU : I7 6^{ème} génération, 2.5 Ghz boosté à 3 Ghz
RAM : 8 Go
Carte graphique Radeon 4 Go
Disque dur HDD 1 To

2.2 Méthodes d'analyse :

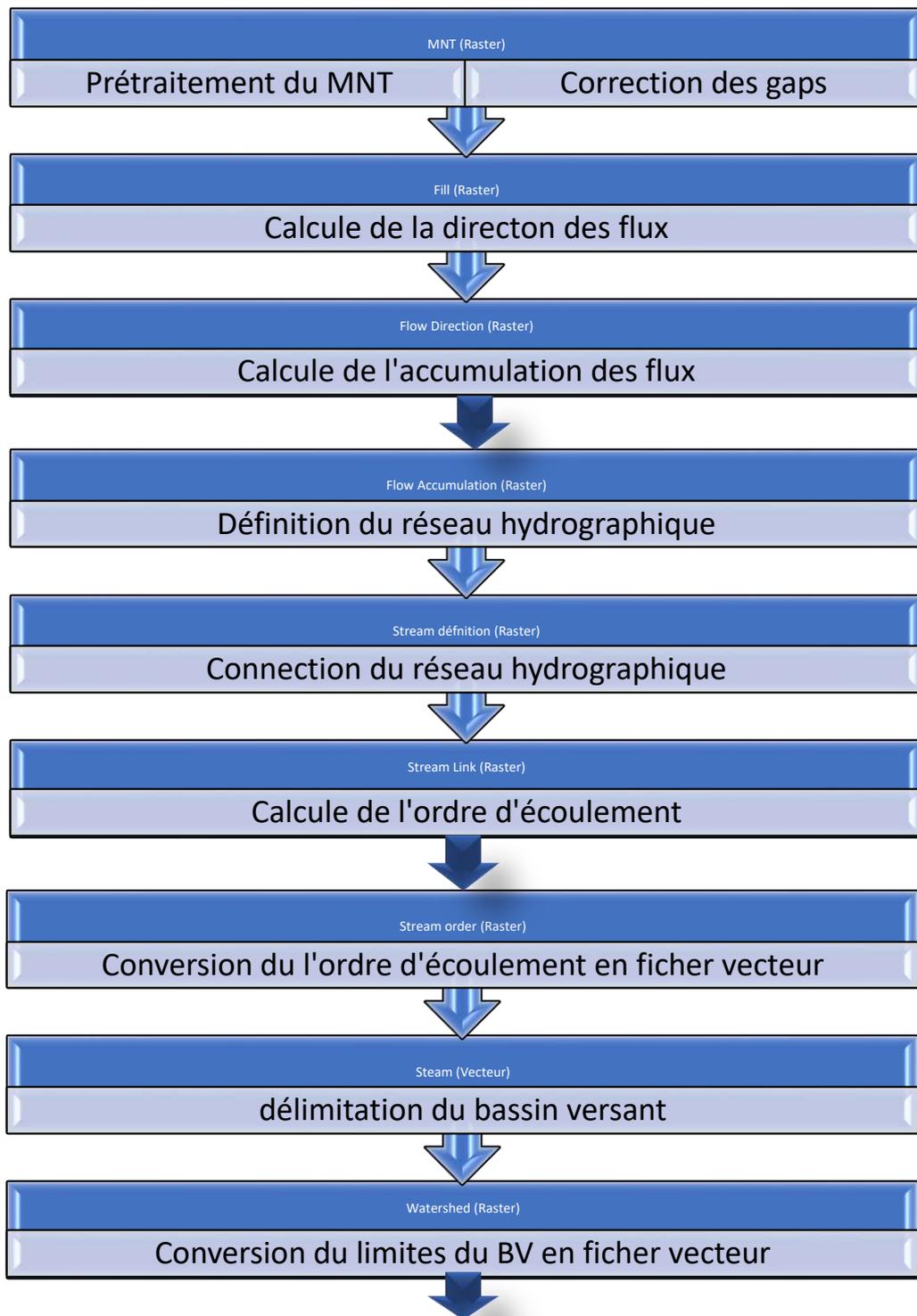
2.2.1 Analyse morphométrique :

L'analyse morphométrique se base sur les paramètres dérivés de la géomorphologie du terrain (données d'altitude), donc prenant l'MNT comme produit de départ en produisant à travers des formules et des algorithmes de calcul d'autres données sous forme de chiffre, des grilles, des vecteurs...etc.

Chacun des résultats produits est un paramètre soit final ou entrant dans le calcul d'autres résultats morphométriques.

Donc l'analyse morphométrique est une série de calculs dont les résultats sont liés les uns aux autres.

Les paramètres calculés sont illustrés dans le schéma présenté dans la figure n° 14.



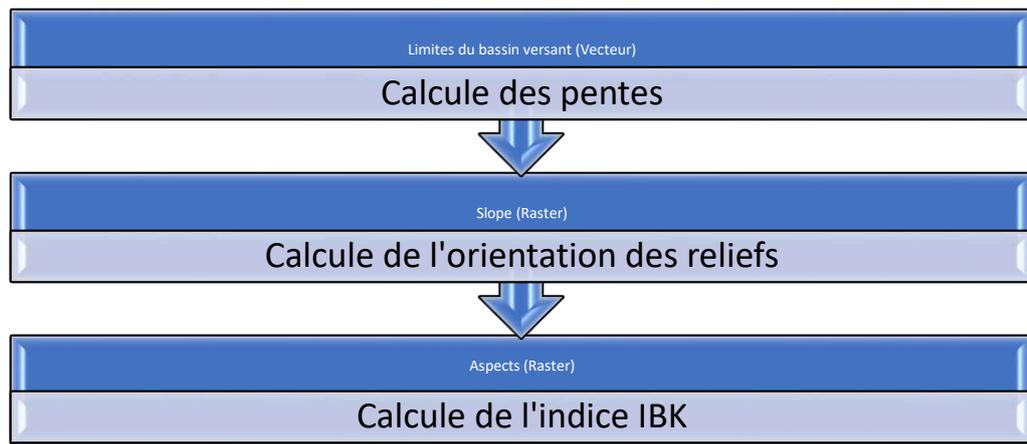


Figure 14: Schéma représentatif de la procédure d'analyse morphométrique adoptée (Originale)

2.2.1.1 Comblé les lacunes :

Cette procédure permet de corriger les erreurs préalablement existantes dans le modèle numérique de terrain. La correction de ces erreurs permet d'éviter des anomalies de procédures qui suit tel que le calcul du réseau hydrographique, et en conséquence la délimitation du bassin versant et tous les calculs en relation.

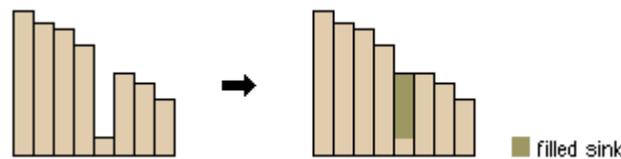


Figure 15 : Schéma représentatif de la procédure Comblé les lacunes (ESRI,2020)

2.2.1.2 Direction des flux :

La grille résultante de cette procédure représente la direction des flux de chaque pixel, chaque pixel est codé par une couleur qui détermine le sens d'écoulement.

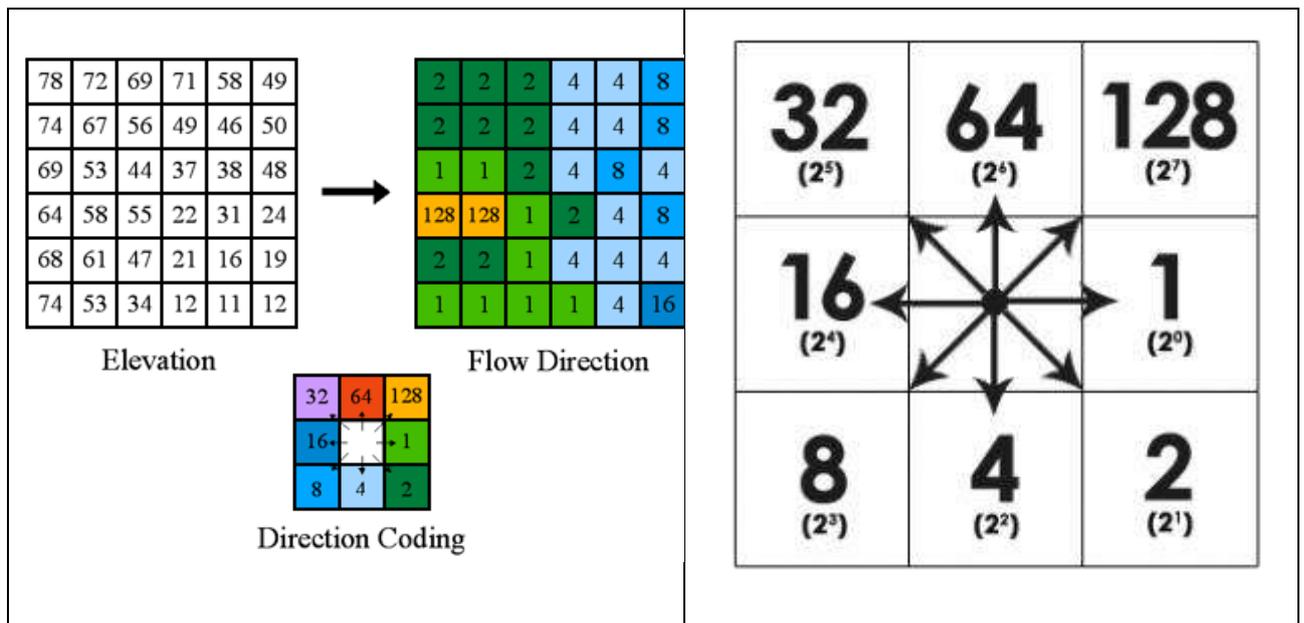


Figure 16 : Schéma représentatif de la procédure Direction des flux (ESRI,2020)

2.2.1.3 Accumulation des flux :

L'utilisation de l'outil accumulation de flux nous permet d'obtenir un raster de flux cumulé relatif à chaque cellule (pixel), le flux cumulé repose sur le nombre de cellules qui s'écoulent dans chaque cellule dans le raster.

Les cellules dont la direction n'est pas définie sont en réception. Les cellules en sortie présentant une accumulation de flux élevée sont des zones de flux concentré qui peuvent être utilisées pour identifier des canaux d'écoulement, donc celles présentant une accumulation de flux nulle sont des zones topographiques locales élevées qui peuvent être utilisées pour identifier des crêtes.

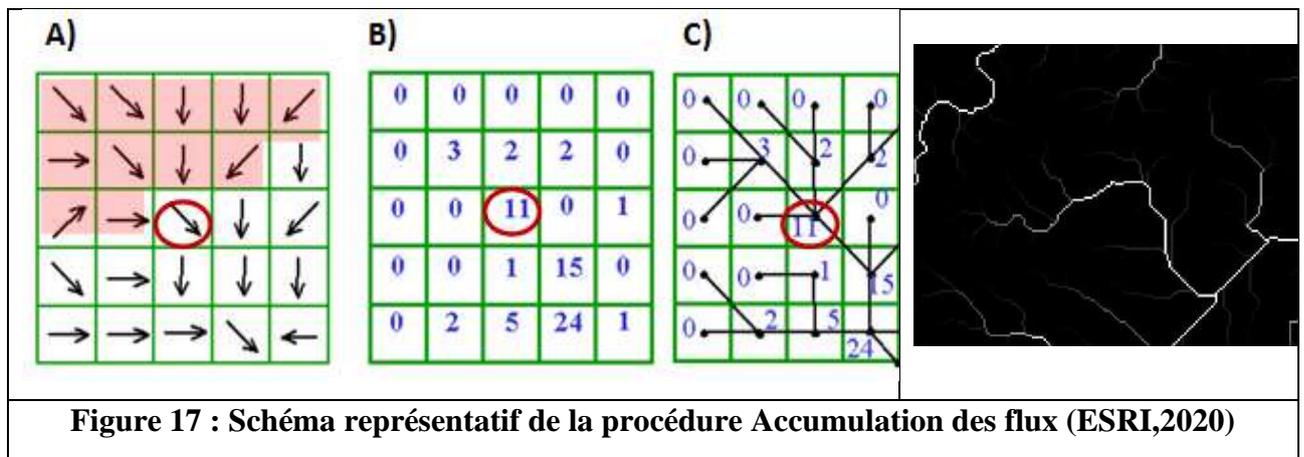


Figure 17 : Schéma représentatif de la procédure Accumulation des flux (ESRI,2020)

2.2.1.4 Définition des écoulements :

Prenant la grille d'accumulation des flux, et en fixant un seuil pour sélectionner les cellules avec une accumulation de flux élevée. Par exemple, les cellules dans lesquelles plus de

100 cellules s'écoulent sont utilisées pour définir le réseau hydrographique (zones d'accumulation), la densité du réseau obtenu est relative au nombre de cellules accumulées préalablement défini dans les paramètres, quand le nombre est grand le réseau devient claire et vice versa.

2.2.1.5 Liaison des écoulements :

Dans cette étape on va relier les segments du réseau défini dans l'étape précédente garantissant une jonction parfaite du réseau hydrographique.

2.2.1.6 Ordre d'écoulement :

En utilisant le résultat précédant (l'ordre d'écoulement), on attribue un ordre numérique aux segments d'un raster représentant les branches d'un réseau linéaire.

2.2.1.7 Ecoulement vers entité :

Le raster représentant le réseau linéaire converti en plusieurs entités représentant le réseau hydrographique.

2.2.1.8 Délimitation du bassin versant :

On détermine dans cette étape la surface de captation des cellules d'un raster (accumulation des flux) vers un exutoire (embouchure).

2.2.1.9 Conversion du bassin versant en entité :

Le raster représentant les limites du bassin versant converti en une seule entité surfacique (polygone) qui nous permet de faire des mesures plus tard.

2.2.1.10 Calcul des pentes :

Permet d'identifier la pente (dégradé ou taux de variation maximum de la valeur z) de chaque cellule d'une surface raster (MNT).

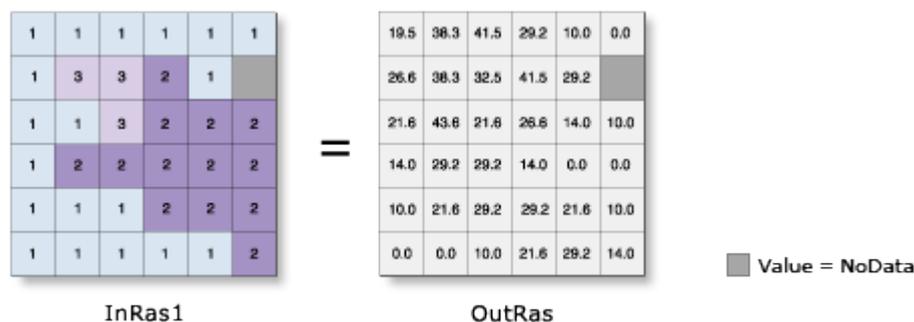


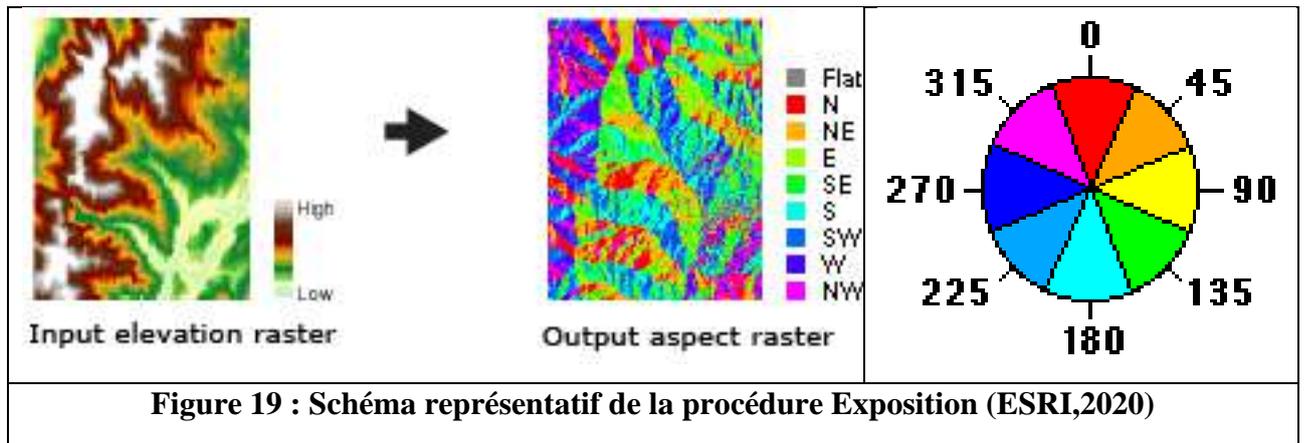
Figure 18 : Schéma représentatif de la procédure de calcul des pentes (ESRI,2020)

2.2.1.11 Exposition :

Exposition identifie la direction de pente descendante du taux de variation maximale des valeurs de chaque cellule par rapport aux cellules voisines.

Les valeurs de chaque cellule dans le raster en sortie indiquent la direction de boussole dans laquelle la surface est orientée à cet emplacement. L'exposition est mesurée dans le sens horaire, de 0 (plein nord) à 360 (de nouveau plein nord), formant ainsi un cercle complet. Les surfaces planes n'ayant pas de direction de pente descendante se voient attribuer une valeur de -1.

La valeur de chaque cellule d'un jeu de données d'exposition indique l'orientation de la pente.



2.2.1.12 Indice de Beven :

Cet indice permet d'estimer les risques de saturation en fonction de la morphologie du site. L'indice de Beven I_b est un indice de saturation potentielle en eau des sols (Beven *et al.*, 1979). Il est lié à la surface saturée contributive. On admet que cette saturation est proportionnelle à la surface drainée (S_d) et inversement proportionnelle à la pente locale ($TAn b$) $I_b = \text{Log} (S_d / TAn b)$

Etant données que le calcul de cet indice utilise plusieurs entrées plus ou moins compliquées, on utilise l'outil nommé Model Builder pour automatiser le calcul.

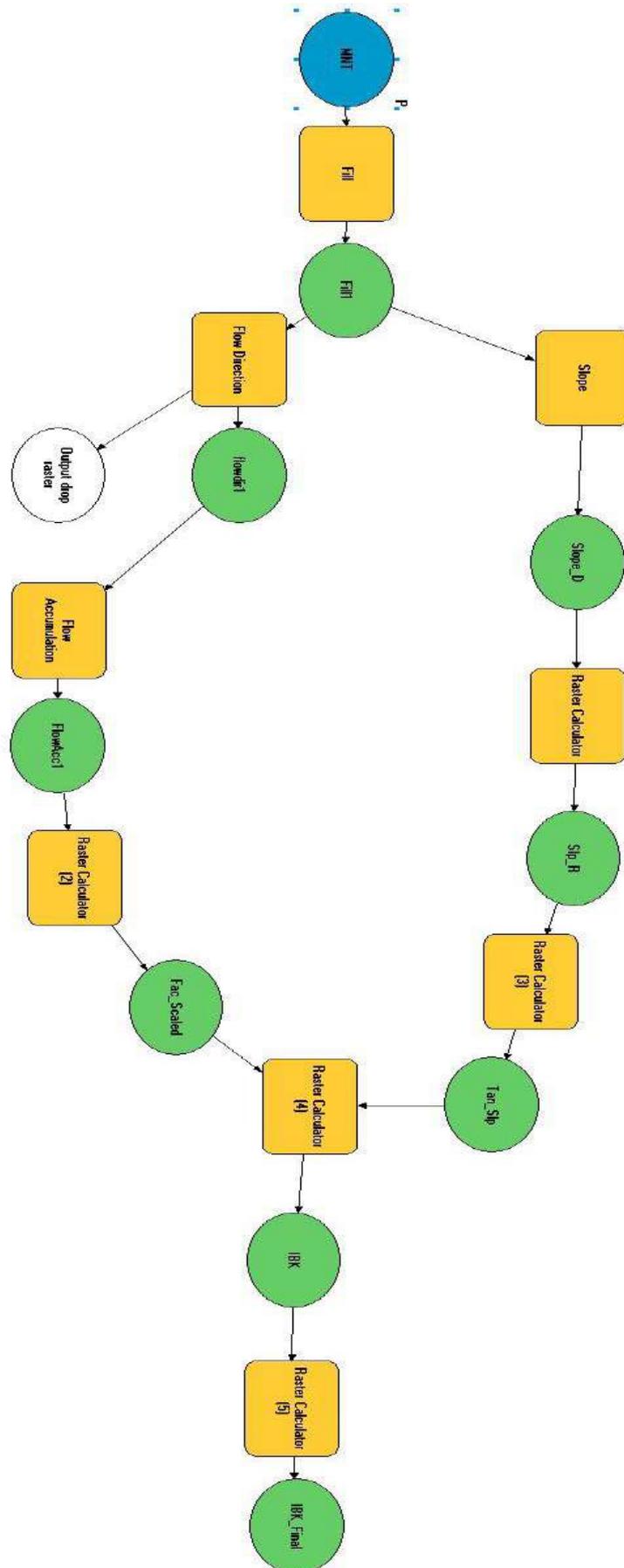


Figure 20 : Capture du modèle utilisé pour le calcul de l'indice IBK (Original)

2.2.2 Télédétection (traitement d'imagerie satellitaire) :

Toutes les images satellitaires utilisées dans notre traitement sont des images Landsat 8 OLI/TIRS avec le premier niveau de correction (correction radiométrique).

Vu le type d'imagerie utilisé, l'immensité d'espace et les paramètres étudiés, on peut considérer que nos images sont spatialement Ortho-images (images dont la planimétrie est corrigée).

Notre travail nécessite au minimum deux scènes couvrant tout le bassin versant pour qu'on puisse calculer la dynamique de végétation et celle de l'eau.

Les paramètres traités dans notre travail sont l'eau et la végétation, sachant que la végétation est une conséquence liée directement à l'existence l'eau.

L'existence de l'eau dans la nature est contrôlée par deux phénomènes naturels, le premier est les précipitations dans les saisons pluviales, le deuxième est la condensation sous l'effet de baisse de température entre saisons.

La dynamique que nous sommes en train d'étudier aspire leur variabilité grâce au phénomène de la pluviosité.

Après une synthèse des paramètres climatiques de la région d'étude (Précipitations), on a remarqué que l'année 2014 était une année relativement exceptionnelle vis-à-vis le cumul annuel des pluies atteignant les 235.20 mm, dont 184.91 mm précipités le mois de novembre et précisément entre le 23 et le 30 Novembre.

A cet effet, la démarche qu'on a adoptée est de faire des mesures en utilisant les outils spatiales (télédétection) avant le 23 novembre et après le 30 novembre de la même année.

Après avoir fait les commandes et télécharger les images en paquet (chaque paquet porte 15 scènes couvrant le bassin versant avec un volume approximatif de 13 Go), les images acquises ont subi plusieurs traitements préliminaires pour pouvoir arriver à un produit exploitable. Les traitements fait aux images sont :

2.2.2.1 Stackage :

Les images satellitaires téléchargées en format brut compressées dans un fichier **WinRar**, ce dernier contient les images en plusieurs bandes au format **Géotif**, mais aussi les métadonnées sous forme de texte discriminant les données relatives aux conditions de prise de vues (ces métadonnées sont une pièce d'identité de l'image). Les métadonnées sont utilisées souvent pour faire des corrections aux images.

Après avoir décompressé le fichier WinRar, on doit procéder au stackage ou la composition de nos images grâce à un outil du progiciel ArcGIS qui s'appelle Composite Bands, ce dernier permet de composer plusieurs bandes en une seule image. Les bandes composées sont : (Band 01, Band 02, Band 03, Band 04, Band 05 m Band 06 m Band 07), Voir tableau n° 01

Le reste des bandes ne sont pas stacké car elles ne seront pas utilisées pour le traitement et alourdissent les calculs.

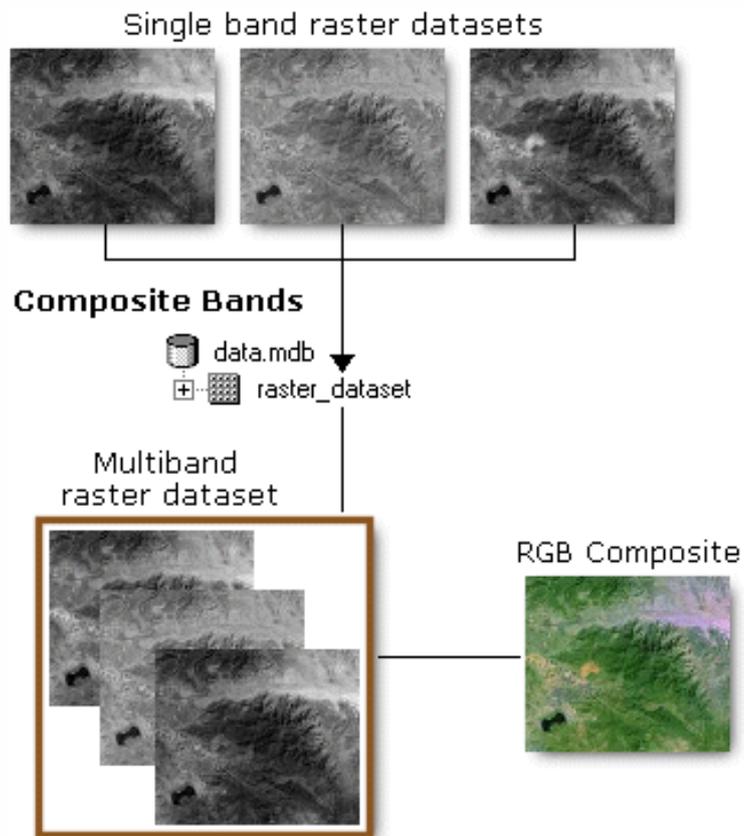


Figure 21 : Illustration montrant le processus de Stackage (ESRI,2020)

2.2.2.2 Mosaïquage :

Une mosaïque est une combinaison ou fusion de toutes les images. En créant un unique jeu de données raster à partir de plusieurs jeux de données rasters en les mosaïquant ensemble. L'illustration ci-dessous montre le mosaïquage de six jeux de données rasters adjacents en un seul.



Figure 22 : Illustration montrant le processus de mosaïquage (ESRI,2020)

Dans le cas de notre étude, pour couvrir le bassin versant de Oued-Saoura, il faut combiner 15 images Landsat 8.

2.2.2.3 Etude de végétation :

Calcul de l'indice de végétation à différence normalisée :

L'indice de végétation à différence normalisée ou communément connu sous l'NDVI est un indice parmi d'autres indicateurs utilisés pour l'étude de la végétation vivante. L'NDVI quantifie la végétation en mesurant la différence entre le proche infrarouge (que la végétation reflète fortement) et la lumière rouge (que la végétation absorbe), les valeurs de l'NDVI varient toujours de -1 à +1.

L'NDVI est l'indice le plus courant que les analystes utilisent dans la télédétection. Mais comment le calculer ? Que représentent les valeurs NDVI ? Comment les scientifiques de la Terre utilisent-ils l'NDVI?

Par exemple, lorsque vous avez des valeurs négatives, il est très probable que c'est des zones couvertes par l'eau, si les valeurs d'NDVI se rapproche de +1, il y a une forte possibilité que ce soit des feuilles vertes denses. Mais quand les valeurs de l'NDVI se rapproche de zéro, il n'y a pas de feuilles vertes (absence de chlorophylle) et il pourrait même s'agir d'une zone urbanisée.

Comme indiqué ci-dessous, **l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI)** utilise les canaux NIR et rouge dans sa formule.

$$NDVI = (NIR - Rouge) / (NIR + Rouge)$$

La végétation saine (chlorophylle) reflète plus de lumière proche infrarouge (NIR) et de lumière verte par rapport à d'autres longueurs d'ondes. Mais il absorbe plus de lumière rouge et bleue, c'est pourquoi nos yeux voient la végétation en **couleur verte**.

Si vous pouviez voir près de l'infrarouge, alors il serait fort pour la végétation aussi. Les capteurs satellites comme Landsat et Sentinel-2 ont tous deux les bandes nécessaires avec NIR et rouge.

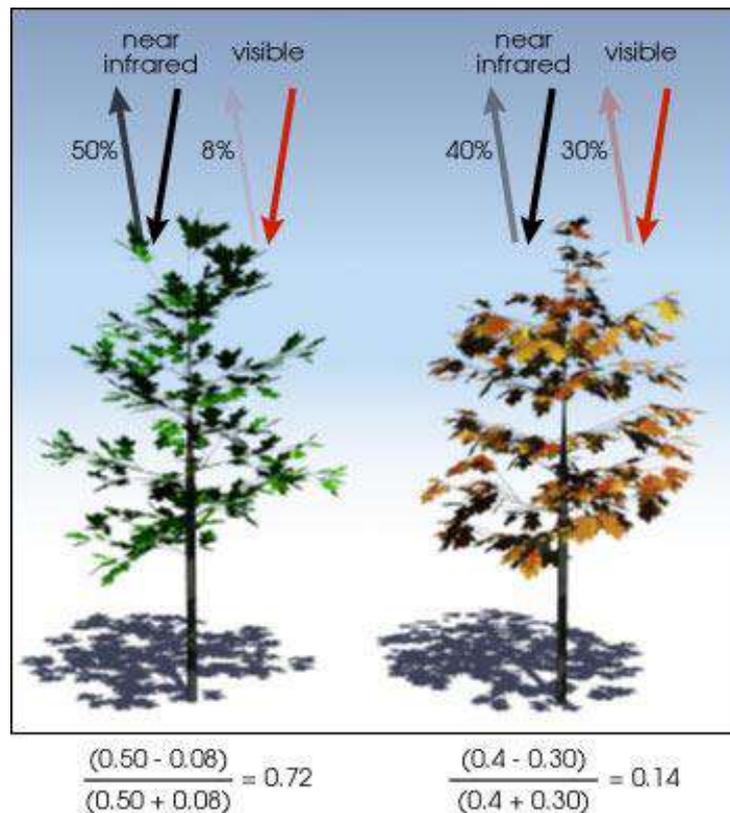


Figure 23 : Exemple d'absorption des rayons visibles et proches Infrarouges par la végétation

2.2.2.4 Etude de l'eau :

Calcul de l'indice de l'eau à différence normalisée :

L'indice de l'eau à différence normalisée (NDWI) est une mesure des molécules d'eau liquide dans les canopées de végétation qui interagissent avec le rayonnement solaire entrant, spécialement conçu pour l'estimation de l'humidité du sol et de la teneur en eau de canopée.

Il évalue les niveaux d'humidité dans la végétation et les zones humides, les valeurs d'NDWI comprises entre 1 et -1, cet indice peut être obtenu à partir des bandes B5 (IR), B6 (SWIR1) et b7 (SWIR2) qui sont respectivement la bande Rouge, ondes-courtes1 et ondes-courtes2.

L'NDWI est obtenu grâce à la formule suivante : $NDWI6 = (NIR - SWIR6) / (NIR + SWIR6)$

$$NDWI7 = (NIR - SWIR7) / (NIR + SWIR7)$$

$$NDWI = (SWIR6 + SWIR7) / 2$$

2.2.2.5 Calcul du dynamique :

Le calcul des indices à différence normalisée de végétation de l'eau est fait pour la date avant et après la précipitation. La dynamique est calculée par la soustraction des valeurs de l'NDVI ou NDWI de la date avant la précipitation (T1) de celle d'après la crue (T2) par la formule suivante :

$$Dy = T2 - T1$$

Si les valeurs (Dy) sont positives ça signifie qu'il y a une progression de l'eau ou de la végétation

Si les valeurs (Dy) sont négatives ça signifie qu'il y a une régression de l'eau ou de la végétation

Si les valeurs (Dy) se rapprochent au zéro ça signifie qu'il n'y a pas de changement de l'eau ou de la végétation

0.75	0.2	-0.01	0.3	-	0.3	0.5	-0.1	0.02	=	0.45	-0.2	0.09	0.28
0.61	0.2	-0.15	0.1		0.90	-0.3	0.36	0.5		-0.29	0.5	-0.51	-0.4
-0.65	0.65	0.2	0.3		-0.1	-0.6	0.2	-0.3		-0.55	1.25	0	0.6
-0.36	0.25	0.21	0.6		0.4	-0.5	0.6	0.2		-0.76	0.75	-0.39	0.4
T2				T1				Différence					
Progression				Pas de changement				Régression					

Figure 24 : Illustration de l'approche de calcul de la dynamique d'un phénomène présenté sous forme de grille (Original)

Aussi bien, parlant sur les deux cas où il y a une dynamique soit par régression ou progression, d'autres niveau peuvent être établis en créant des classes dans chacun des cas de dynamique, à titre d'exemple pour la progression on peut ajouter aussi des classes de progression faible, modérée ou forte.

Chapitre III
Résultats et discussion

3 Résultats et discussion

3.1 Résultats de l'analyse morphométriques :

Après le traitement du modèle numérique de terrain, en exécutant les tâches mentionnées dans le chapitre précédent nous avons obtenus les résultats suivants :

3.1.1 Délimitation du bassin versant de Oued -Saoura:

Cette délimitation est faite par l'application d'un exutoire prédéfini selon l'étude faite par Jean DUBIEF, les coordonnées géographiques de l'exutoire du bassin sont données en projection UTM dans le fuseau n° 30N, et l'altitude du point est extrait à partir du modèle numérique de terrain utilisé (ASTER-V2).

X : 754377.46 m

Y : 3041417.18 m

Z : 181.14 m

La figure n° 26 illustre les limites du bassin versant de Oued-Saoura, la surface délimiter et drainant l'eau vers l'exutoire su-cité couvre une surface de 129 848 Km².

La Saoura née de la confluence de Oued Guir et de la Zousfana, constitue l'artère la plus importante du Sahara algérien puisqu'elle draine plus de 1000 km du nord au sud. Ces écoulements importants sont dus aux pluies qui arrosent le Haut Atlas et qui sont collectées par Oued Guir auxquelles viennent s'ajouter celles de l'Atlas saharien drainées par la Zousfana. Voir figure n° 01

La figure n° montre que le bassin versant de Zousfana couvre une superficie approximative de 16 840 Km² et drainant les crues sur une longueur de 1015.06 km jusqu'à l'exutoire du bassin versant de Oued-Saoura. Tandis que celui de Guir couvre une superficie de 35 699 Km² et drainant les crues sur une longueur de 1104 km.

Le bassin versant de Béchar est moins important que ceux de Guir et de Zousfana, il drain une surface de 7 637 Km² sur une longueur de 877 km jusqu'à l'exutoire de Oued-Saoura.

Oued Béchar rejointre celui de Guir 5 km avant qu'ils rejoignent encore Oued Zousfana à Igli de 5 km.

3.1.2 Morphologie du bassin versant :

La lecture du modèle numérique de terrain (ASTER-V2) montre un dénivelé global de 2 546 mètres entre l'amont et l'embouchure du bassin versant.

Les altitudes sont classées en plusieurs classes, l'intervalle de classification des altitudes est de 100 mètres. Le tableau n° 3 démontre les classes d'altitude ainsi que la surface et le pourcentage (%) de chacune des classes dans le bassin.

Tableau 3 : Tableau représentant les classes d'altitude, la surface et le pourcentage correspondant

Numéro	Intervalle (mètres)	Surface (Km ²)	Pourcentage (%)
1	151-200	110,45752	0,08507
2	201-300	5640,93211	4,34426
3	301-400	5518,500231	4,24997
4	401-500	16380,704433	12,61531
5	501-600	24408,879112	18,79806
6	601-700	20296,026451	15,63062
7	701-800	14738,201204	11,35036
8	801-900	8979,781103	6,91562
9	901-1000	6170,167582	4,75184
10	1001-1100	6434,642208	4,95552
11	1101-1200	4980,115767	3,83535
12	1201-1300	5736,625961	4,41796
13	1301-1400	4946,864466	3,80974
14	1401-1500	2300,752191	1,77188
15	1501-1600	1210,918561	0,93257
16	1601-1700	671,963802	0,51750
17	1701-1800	427,318687	0,32909
18	1801-1900	336,38953	0,25906
19	1901-2000	243,277659	0,18736
20	2001-2100	156,221973	0,12031
21	2101-2200	86,786633	0,06684
22	2201-2300	37,310507	0,02873
23	2301-2400	20,64331	0,01590
24	2401-2500	8,876704	0,00684
25	2501-2600	3,950013	0,00304
26	2601-2700	1,463235	0,00113
27	2701-2800	0,091395	0,00007
Total		129 847,862 Km²	100 %

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que les classes d'altitude les plus importantes sont celles de [401-500], [501-600], [601-700], [701-800] qui présentent respectivement 12.61%, 18.79%,

15.63% et 11.35%, totalisant 75 822 **Km²** avec un pourcentage qui dépasse 58% de la surface du bassin. (Voir Figure n° 25)

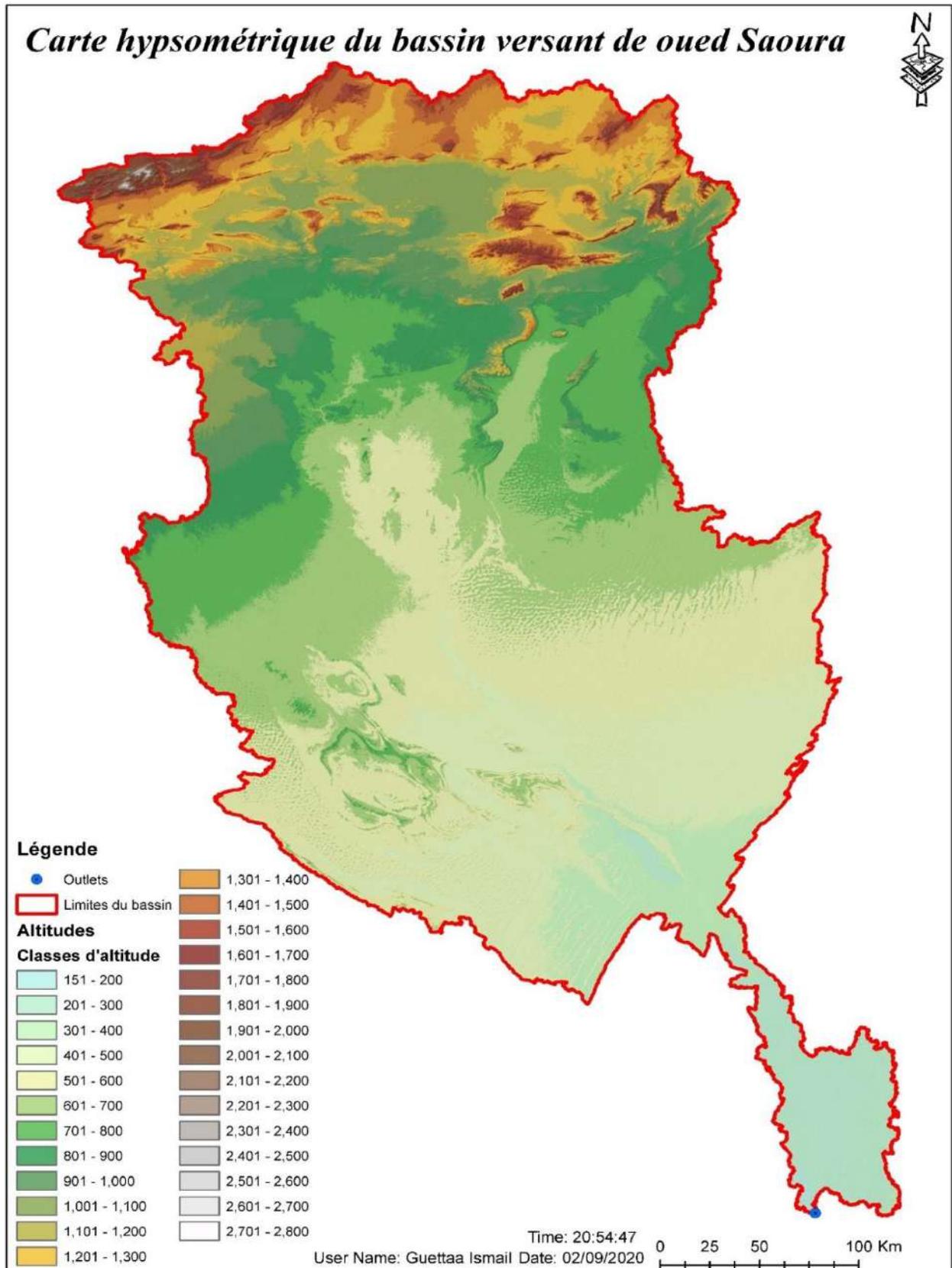


Figure 25 : Carte hypsométrique du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

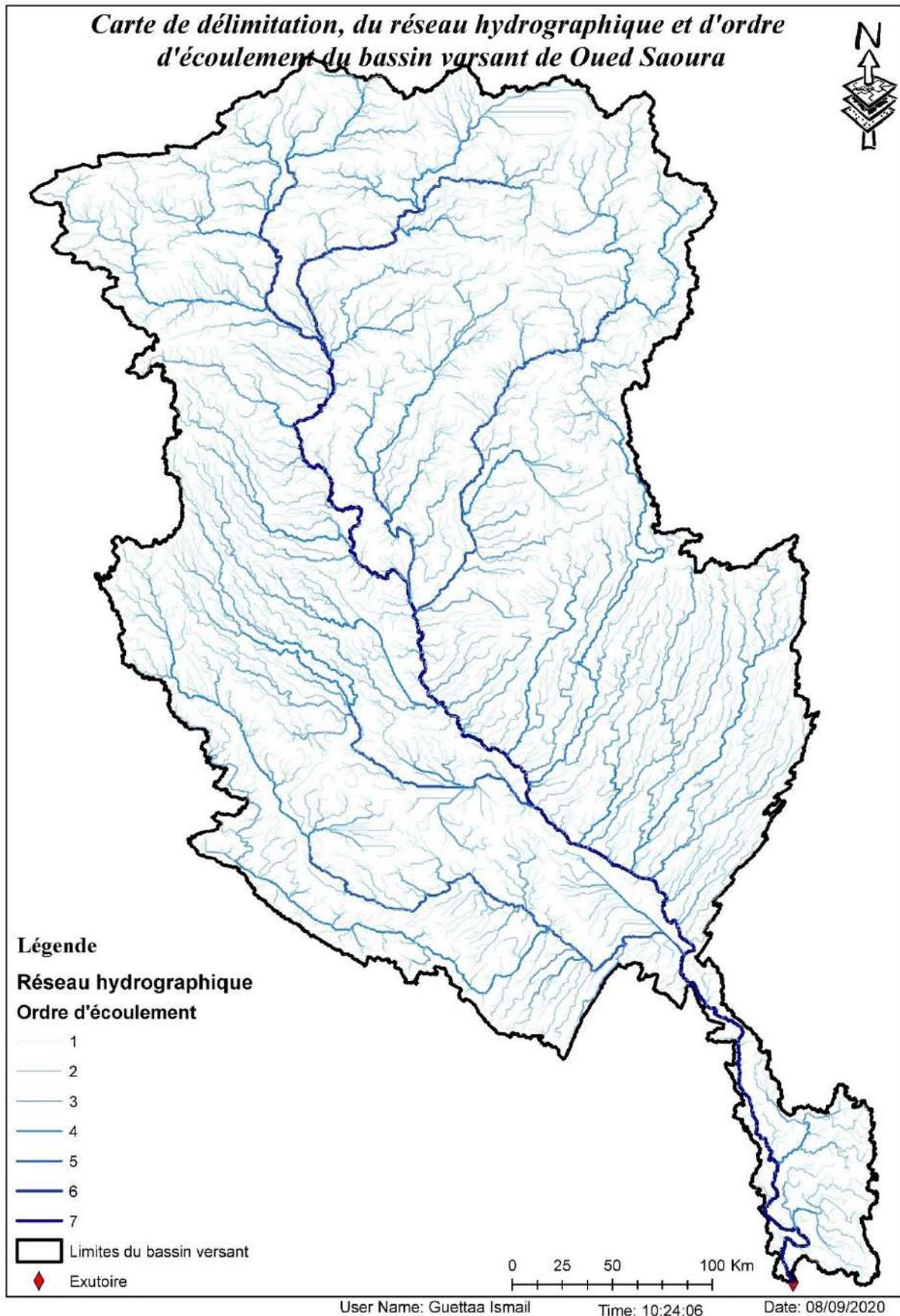


Figure 26 : Carte de délimitation, de réseau hydrographique et de l'ordre d'écoulement du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

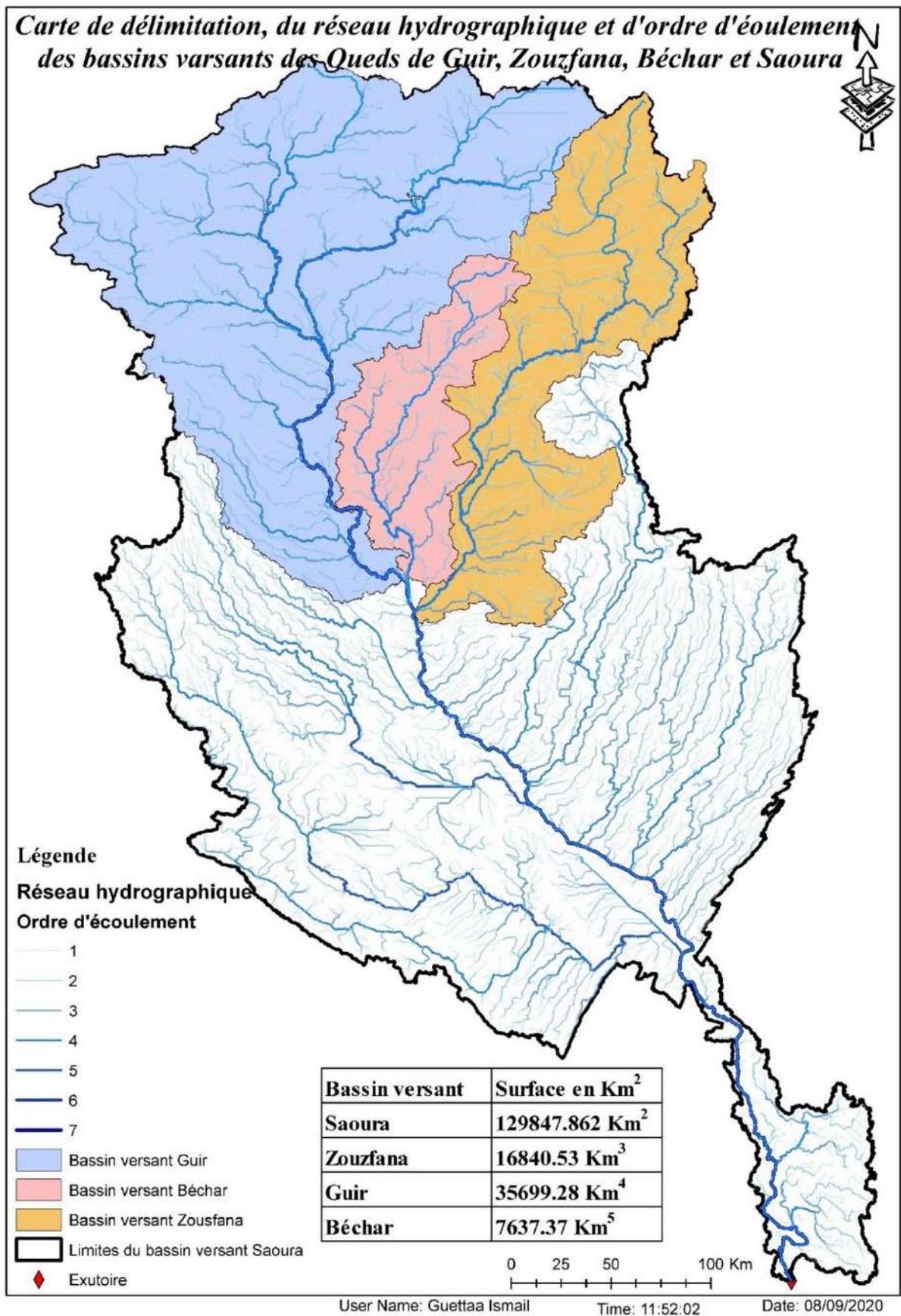


Figure 27 : Carte de délimitation du bassin versant de Oued-Saoura et ses principaux affluents (original)

3.1.3 Pentés

Le calcul des pentés est indispensable pour la détermination des variations des altitudes du bassin versant, les pentés sont calculées en pourcentage et présentées dans la figure n°31, le résultat du calcul des pentés est utilisé aussi comme paramètre pour le calcul de l'Indice IBK.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la pente moyenne du bassin versant est de l'ordre de 9%, sachant que la pente minimale est 0% (zones plates) et la pente maximale dépasse les 98% mais cette dernière ne représente qu'une surface très faible.

3.1.4 Orientation des reliefs

Ce paramètre nous donne une indication sur d'orientation des reliefs (des pentés) de notre bassin, déterminé par l'angle d'orientation par rapport à l'azimut. Chaque classe d'angles est présentée par une couleur, les zones qui n'ont pas d'orientation sont généralement des zones plates ou autrement dit des zones d'accumulation des flux (valeurs des pentés nuls).

La connaissance des zones d'accumulation est un paramètre très important, car ces zones sont le plus souvent des zones humides ou il peut y avoir un écosystème lacustre, ou bien des basfonds où le taux d'humidité est relativement élevé ce qui favorise le développement de certaines espèces floristique et faunistiques.

Aussi bien que la délimitation de ces zones vis-à-vis les sources d'eau (oueds) nous permet d'envisager des techniques adoptées pour augmenter leur alimentation en eau en favorisant leur préservation.

3.1.5 Indice IBK

La grille finale obtenue à partir du calcul de cet indice nous donne une idée générale sur les zones qui participent aux écoulements et celles qui reçoivent les crues, ainsi que les niveaux intermédiaires sur tout le bassin versant. Donc ces résultats peuvent être utilisés pour la détermination des zones d'accumulation (zones c de l'eau).

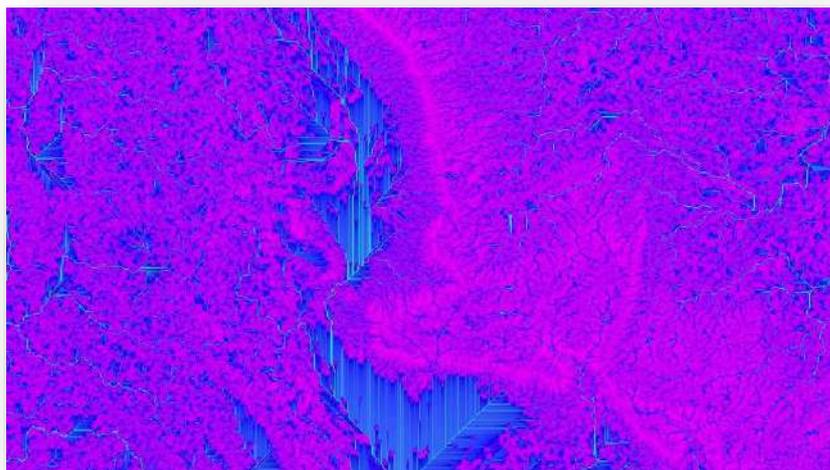


Figure 28 : Capture (Zoom avant) de l'indice IBK du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

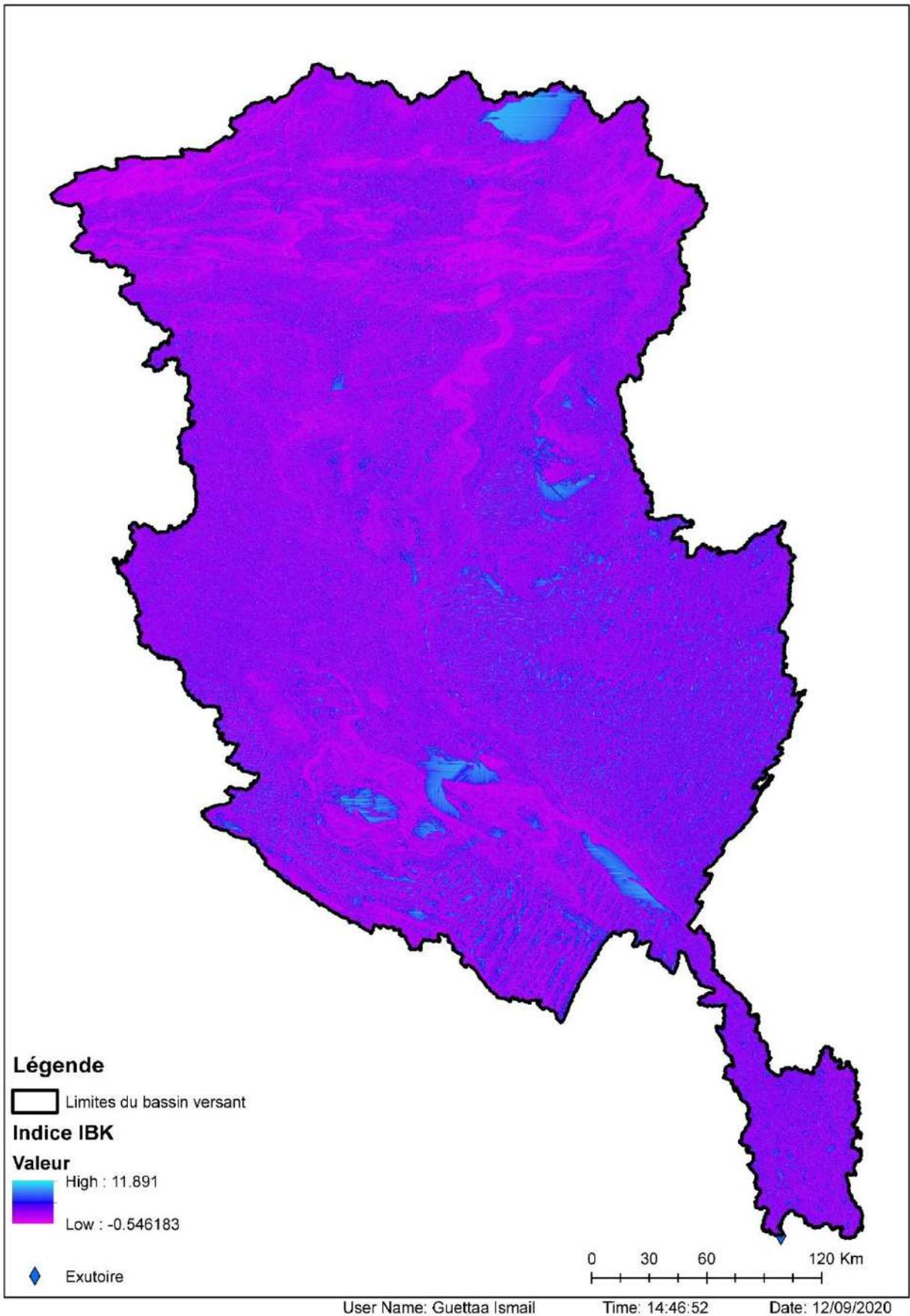


Figure 29 : Carte de l'indice IBK du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

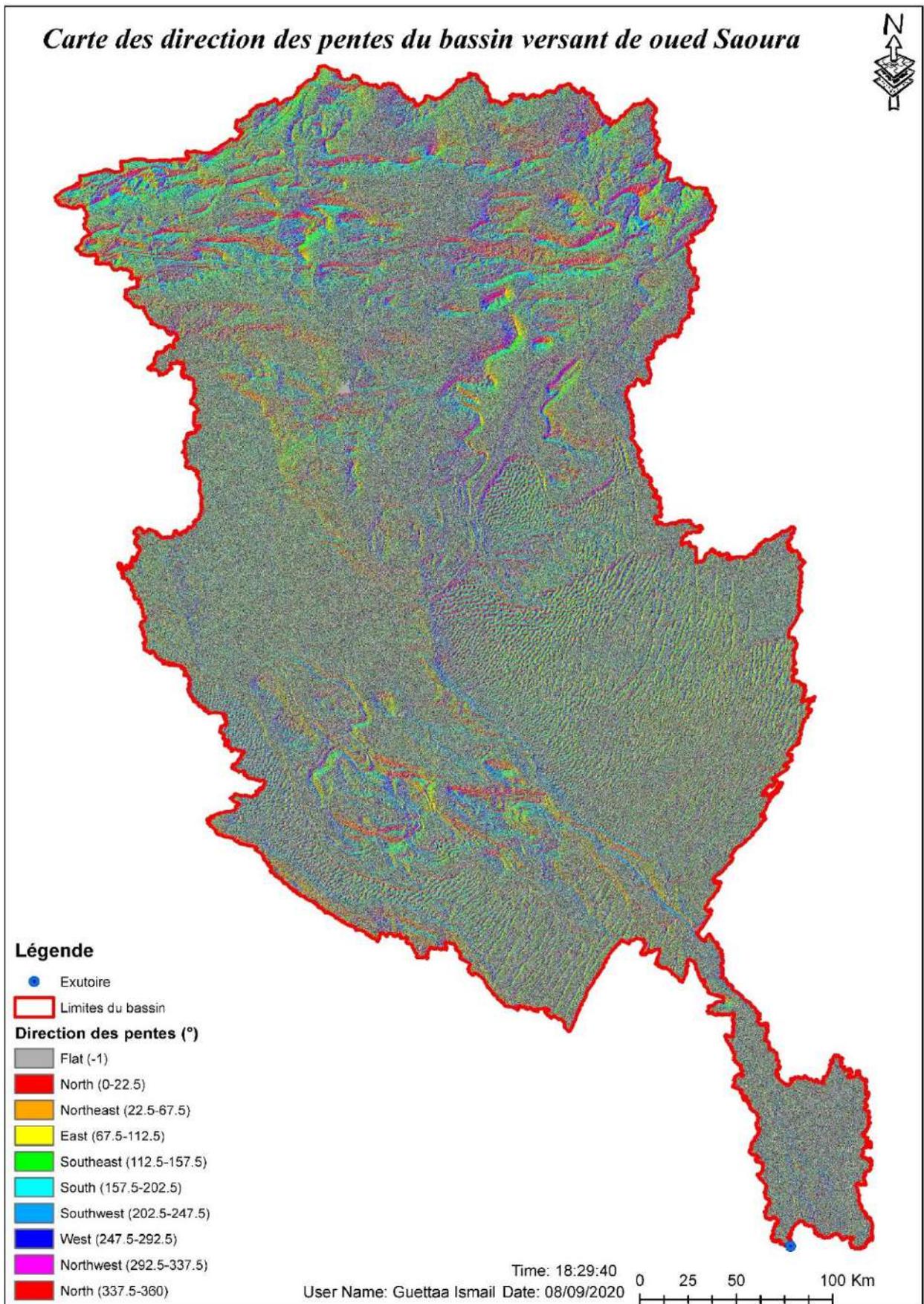


Figure 30 : Carte d'orientation du relief (pentes) du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

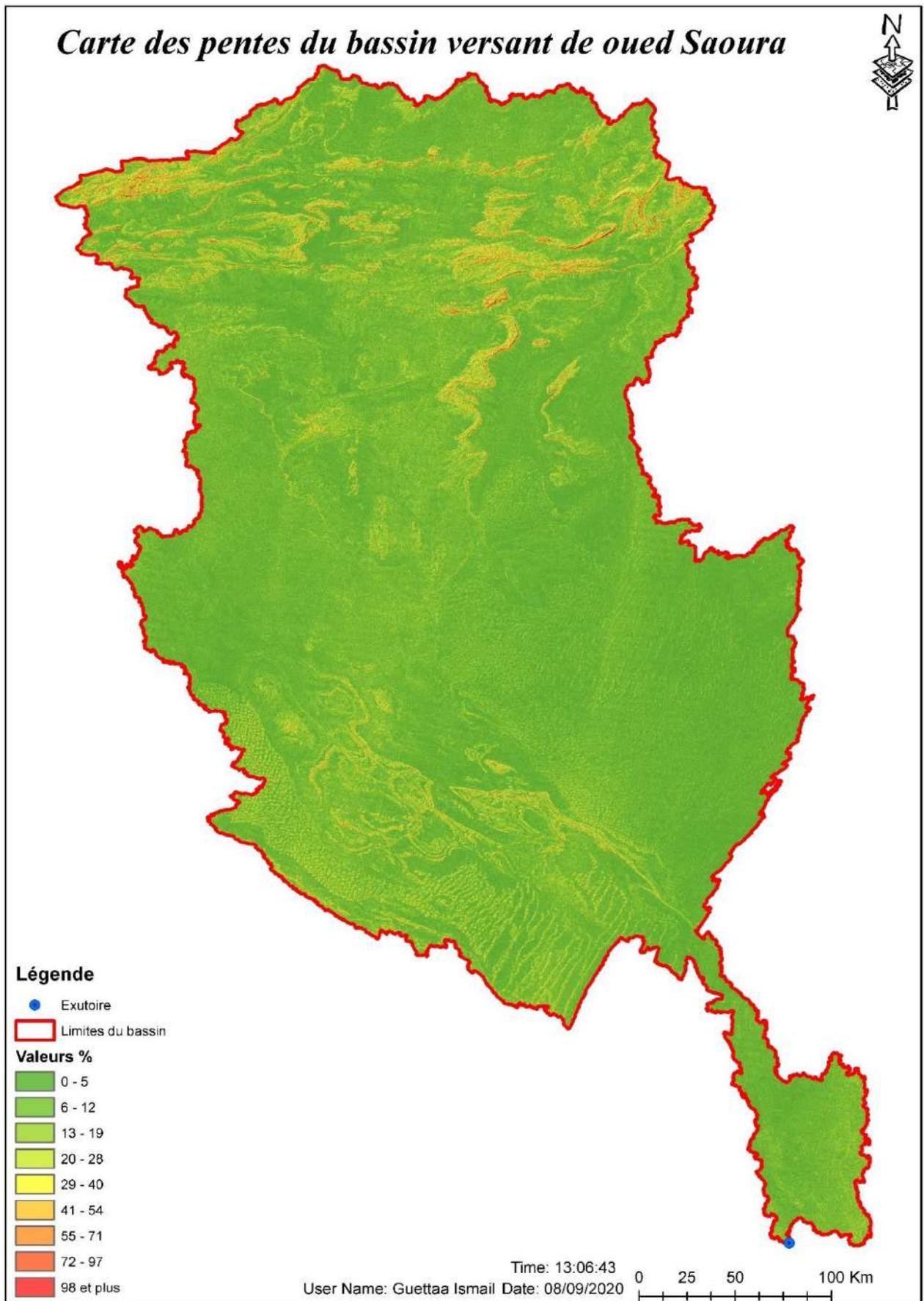


Figure 31 : Carte des pentes du bassin versant de Oued-Saoura (Original)

3.2 Etude de la dynamique

Les résultats issus du traitement d'imageries satellitaires notamment les indices à différence normalisé d'eau et de la végétation sont présenté ci-après :

3.2.1 La végétation

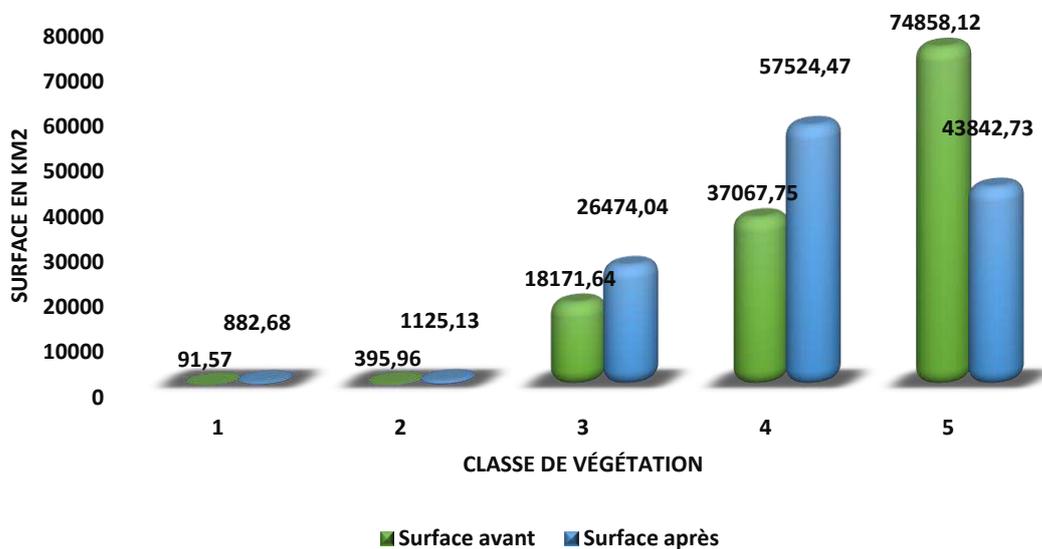


Figure 32 : Surface de différentes classes de végétation avant et après la crue

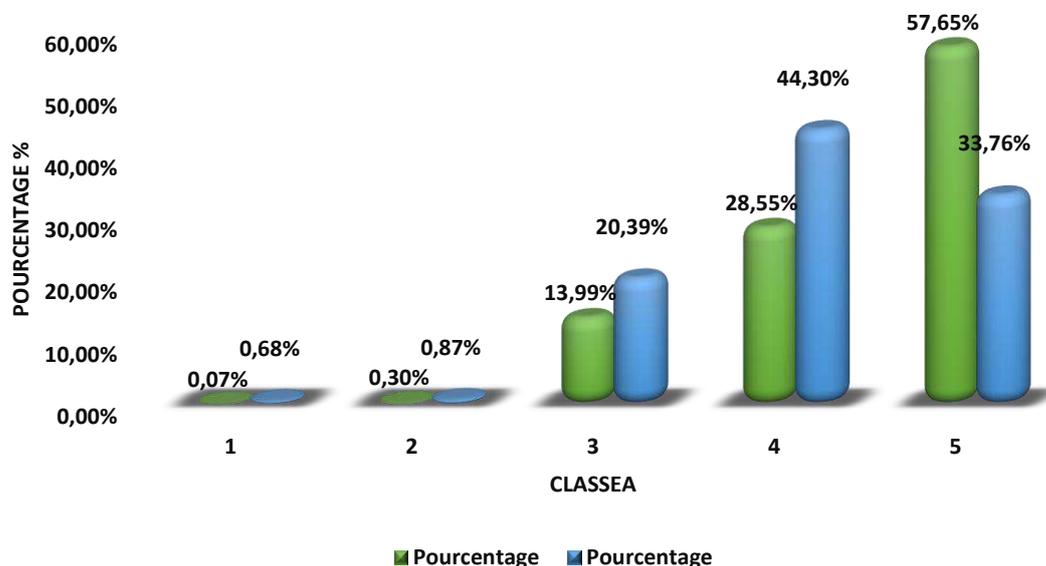


Figure 33 : Pourcentage de différentes classes de végétation avant et après la crue

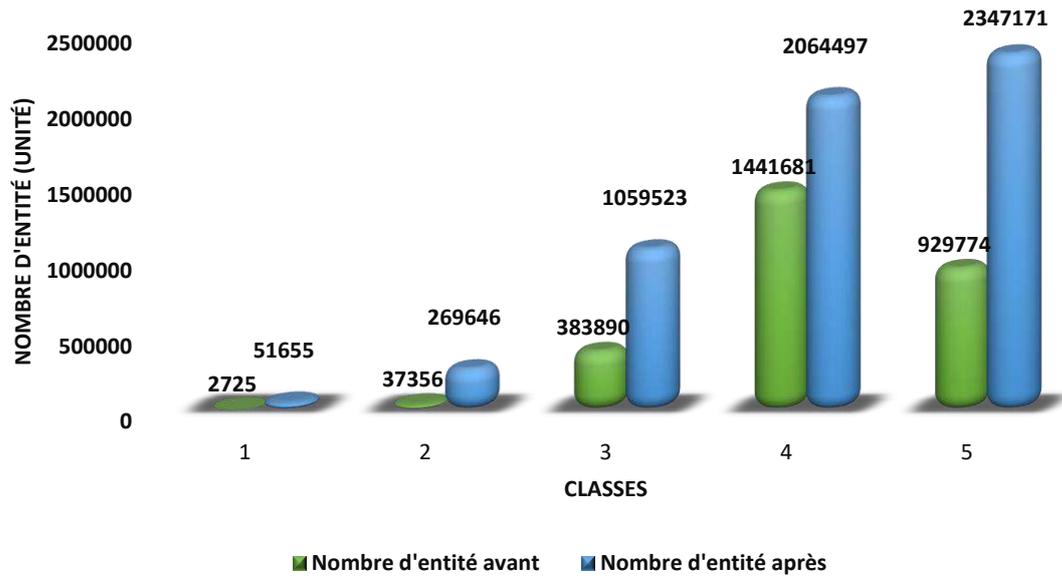


Figure 34 : Nombre d'entité des différentes classes de végétation avant et après la crue

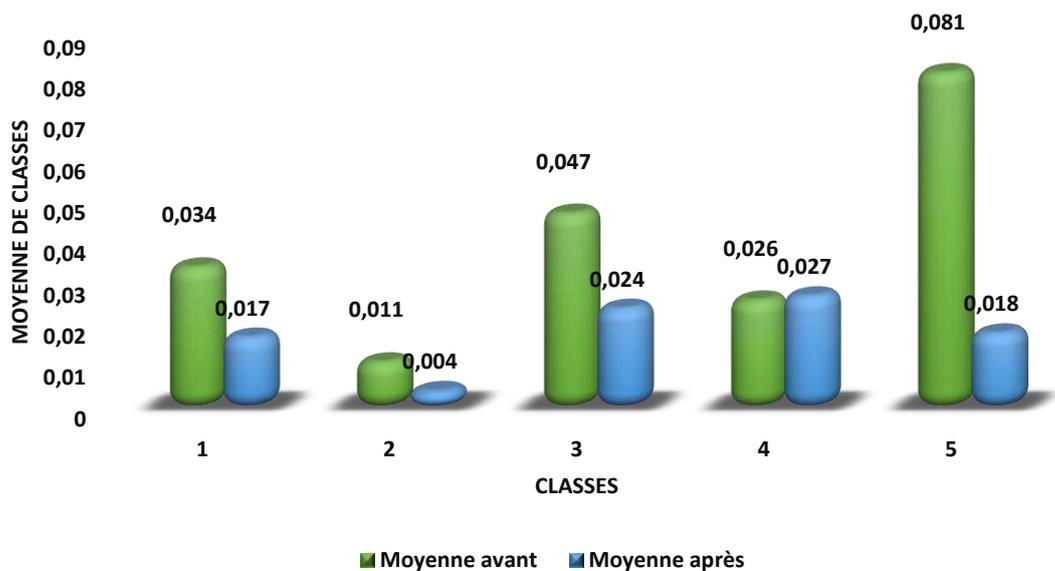


Figure 35 : Moyenne de surface des différentes classes de végétation avant et après la crue

La lecture des données des histogrammes présentée ci-dessus montre une augmentation de la surface des classes de végétation notamment la deuxième, la troisième et la quatrième classe, tandis que la première classe et la cinquième classe représente respectivement les classes « pas de végétation » et « forte végétation » dont la surface a diminué. Ce qui justifie qu'une grande surface de forte végétation existe près des barrages et des zones humides est submergée en eau rendant leur détection impossible, donc la surface qui les représente diminue.

La végétation du bassin versant est classée en cinq (5) classes, chaque classe représente des zones dont la densité du couvert végétal se rapproche. Chaque classe est constituée de plusieurs zones (entités).

La figure n° 33 montre que le nombre des entités (Zones) augmente dans toutes les classes de végétation justifiant l'apparition des nouveaux foyers de végétation dans tout le bassin, sachant que ces derniers avaient existé seulement près des oueds, basfonds ou zones humides avec des surface relativement élevées, ce qui a été démontré dans l'histogramme représentant les moyennes des entités de chaque classe (les moyennes des surfaces des entités des classes ont diminué).

Pour la première classe qui présente les zones dépourvues du couvert végétal, le nombre des entités a augmenté suite à l'apparition de nouvelles zones sans végétation converties en eau (les surfaces couvertes en eau présentent des valeurs d'NDVI négative).

La réponse de la végétation est un peu plus tardive par rapport à la venue des crues, ce qui nécessite un traitement à une date plus tardive.

3.2.2 L'eau :

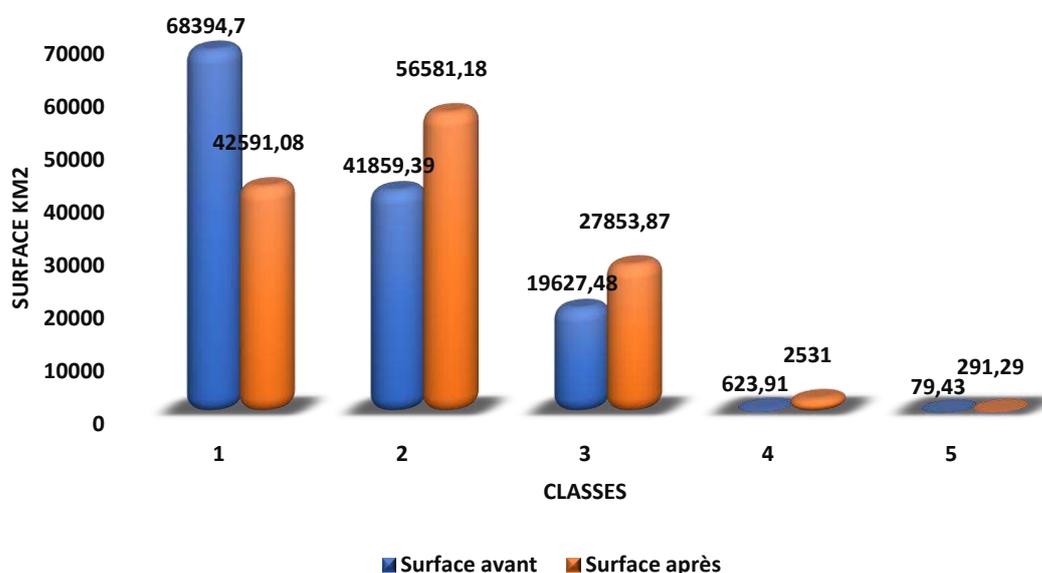


Figure 36 : Surface de différentes classes d'humidité avant et après la crue

Les histogrammes su-cité montre une diminution de la surface de la première classe (zones sèches dont les valeurs d'NDWI sont négatives) de **68 394.7 Km²** à **42 591.08 Km²**, soit une différence de **25 803.62 Km²**. Le taux d'humidité de cette surface a été relativement augmenté par rapport à la date avant la crue,

La deuxième et la troisième classe qui présentent respectivement les zones peu humides et moyennement humides ont enregistré une forte augmentation en surface due aux précipitations et à la venue d'eau de la crue.

La quatrième et la cinquième classe représentent les zones où le taux d'humidité est élevé et très élevé. Ces zones sont des Dhayas, sebkha et barrage dont l'eau se trouve libre dans la nature.

Les crues enregistrées dans la dernière semaine du mois de novembre ont permis d'augmenter la surface submergée du barrage de Djorf-Torba de 32.07 Km² à 55.4 Km², mais aussi le remplissage des zones humides secs, citant comme exemples les plus importantes qui sont Dhayet Tyourt, Dhayet Rouida et Sebkhet El-Melah.

La surface approximative submergée en eau des trois zones humides sus-citées est respectivement 37.7 Km², 30 Km² et 212 km², totalisant 279.7 km².

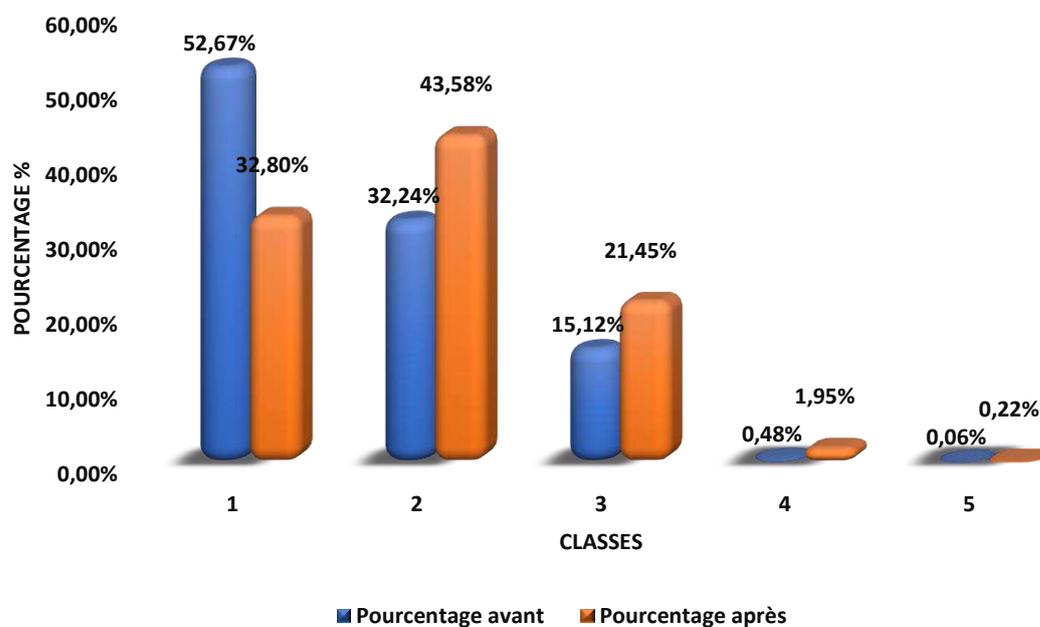


Figure 37 : Pourcentage de différentes classes d'humidité avant et après la crue

Le nombre d'entités au sein de chaque classe a augmenté à cause de l'apparition de nouvelles zones avec des taux d'humidité variables ce qui a induit la baisse de la moyenne des surfaces d'entités de chacune des classes.

L'apparition d'un nombre important des nouvelles zones avec des taux d'humidité variables ne signifie pas forcément que la répartition de ces dernières couvre tout le bassin. La partie amont (zones pluviales du bassin versant) peut avoir une répartition équitable des nouvelles zones apparues selon la géomorphologie du bassin, mais la répartition des nouvelles zones dans la partie aval du

bassin (partie où les précipitations sont très faibles ou nulles) se localise le plus souvent tout en long des cours d'eau, dans les zones proches des berges des oueds ou dans les basfonds.

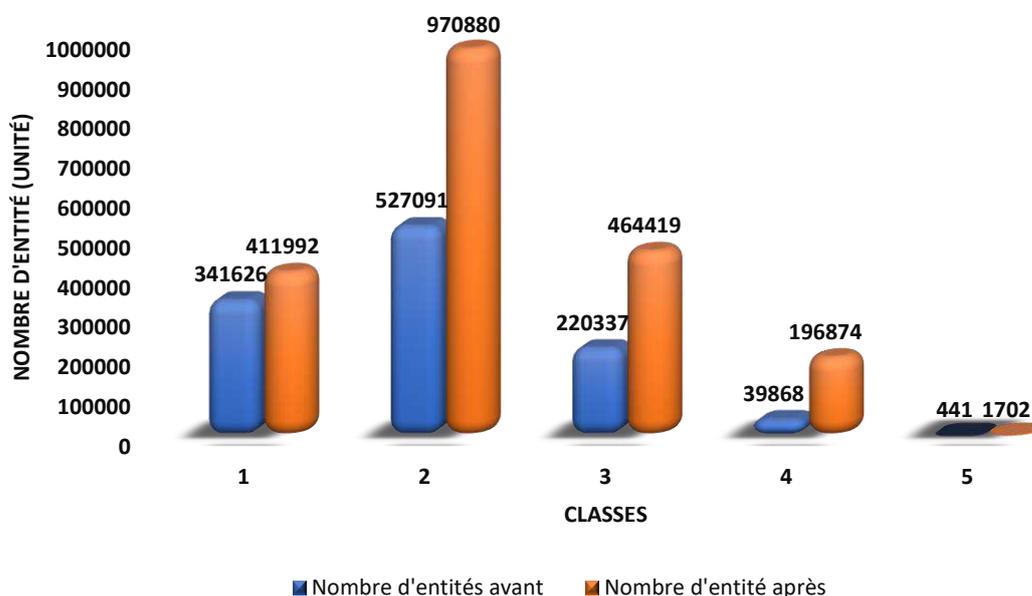


Figure 38 : Nombre d'entité de différentes classes d'humidité avant et après la crue

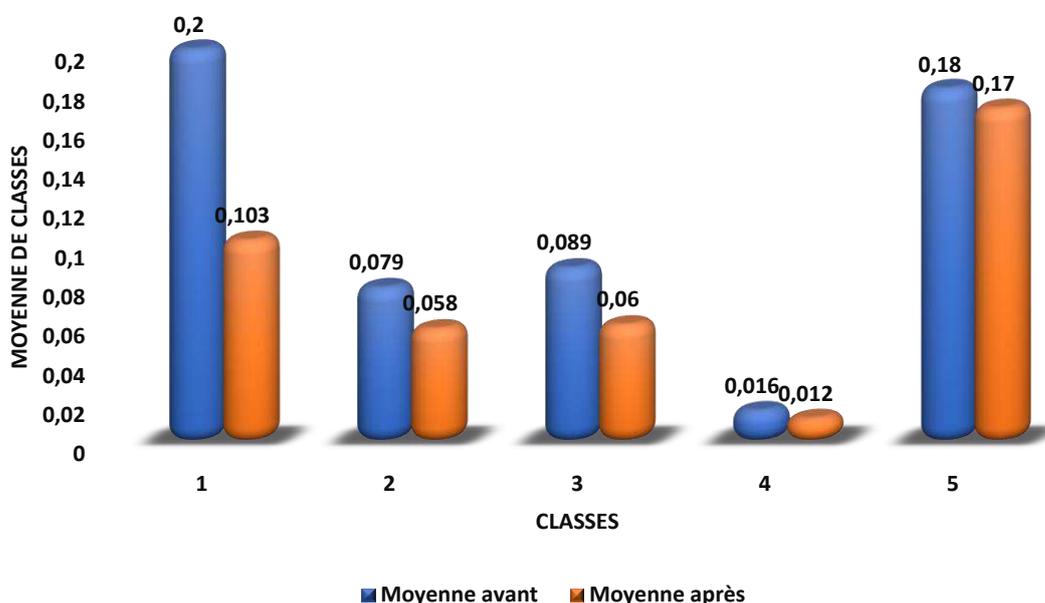


Figure n° 29 : Moyenne de surface des entités des classes d'humidité avant et après la crue

Ces résultats sont illustrés ci-après dans des cartes de dynamique d'humidité et de végétation, ces deux cartes mettent en évidence la localisation géographique ainsi que le type de dynamique de chacune des thématiques étudiées sur tout le bassin.

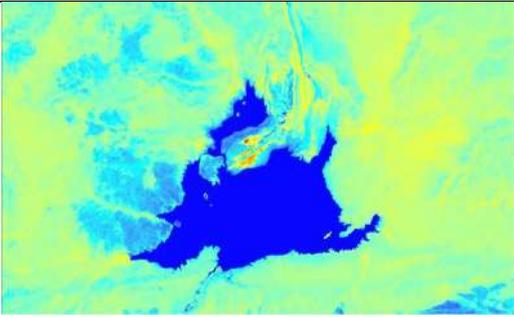
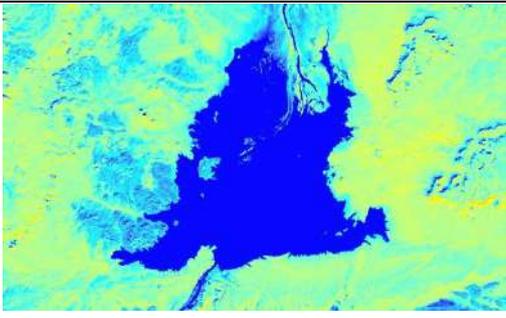
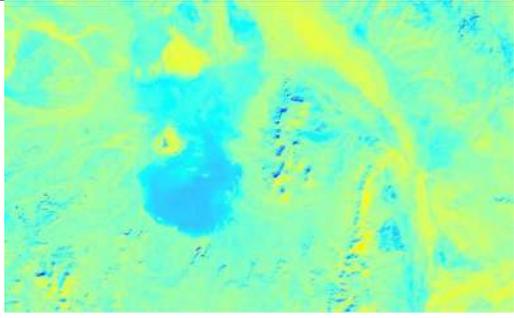
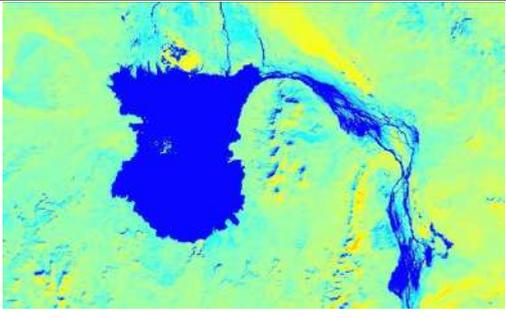
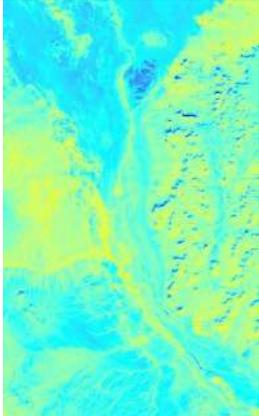
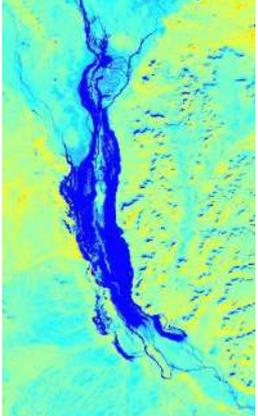
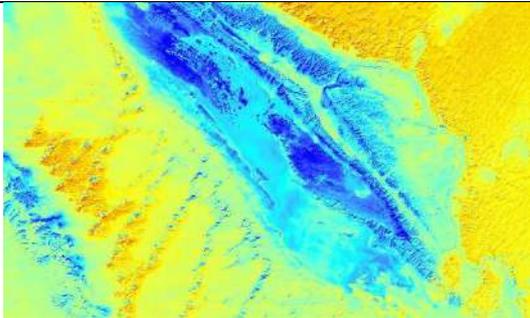
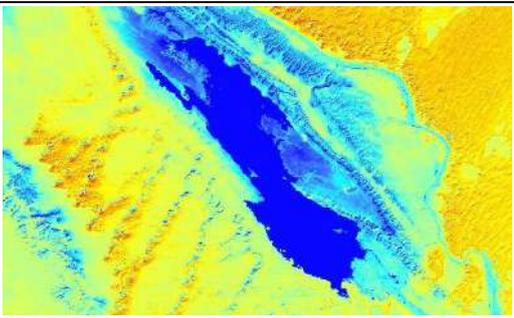
	
Barrage de Djorf-Torba avant la crue	Barrage de Djorf-Torba après la crue
	
Dhayet Tyourt avant la crue	Dhayet Tyourt après la crue
	
Dhayet Rouida avant la crue	Dhayet Rouida après la crue
	
Sebket El-Mellah avant la crue	Sebket El-Mellah après la crue

Figure 39 : Variation des surfaces couvertes en eau du Barrage de Djorf-Torba et les principales zones humides du bassin versant de Oued-Saoura suite à la crue étudiée (Original)

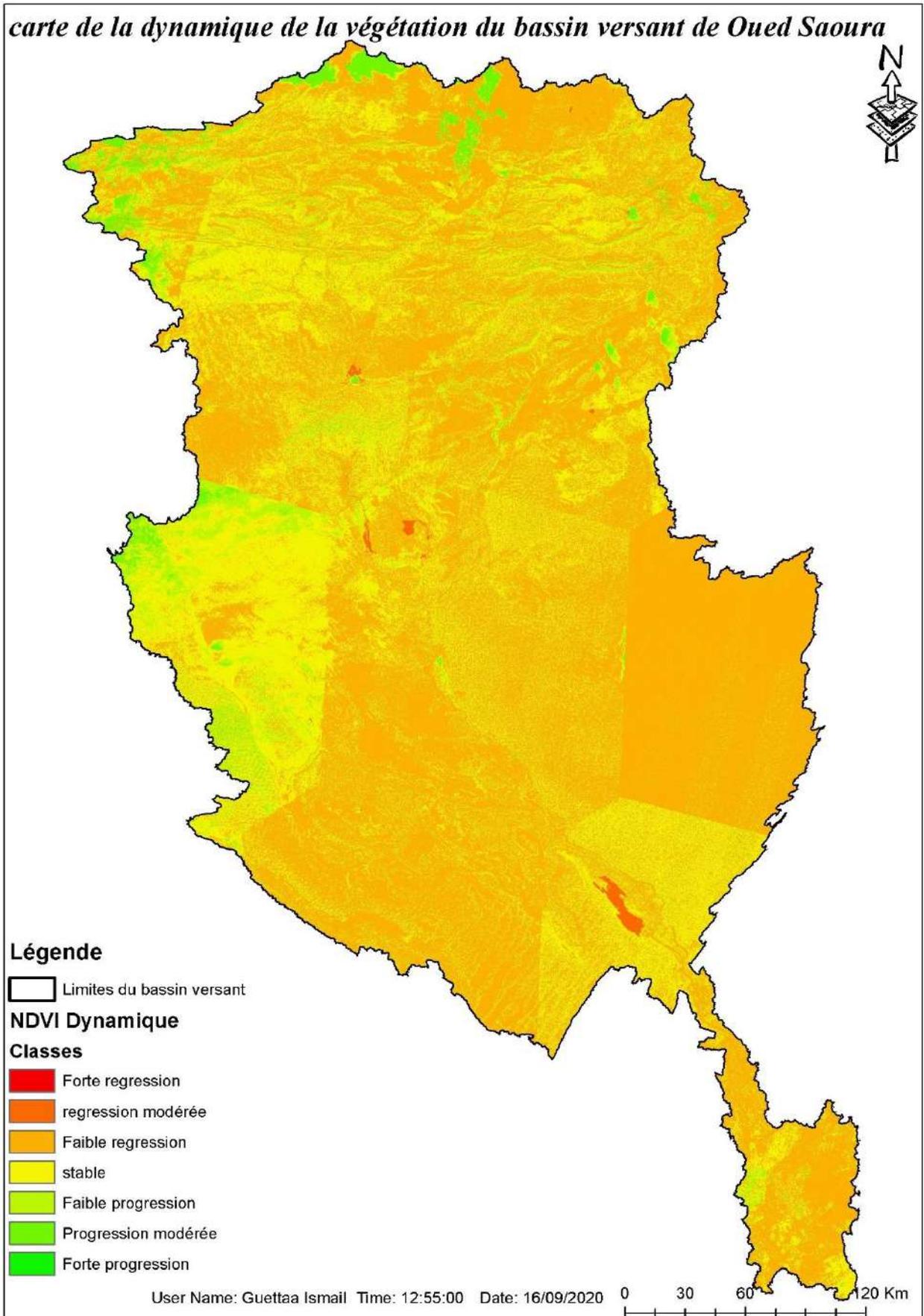


Figure 40 : Carte de la dynamique de végétation de Oued-Saoura (Original)

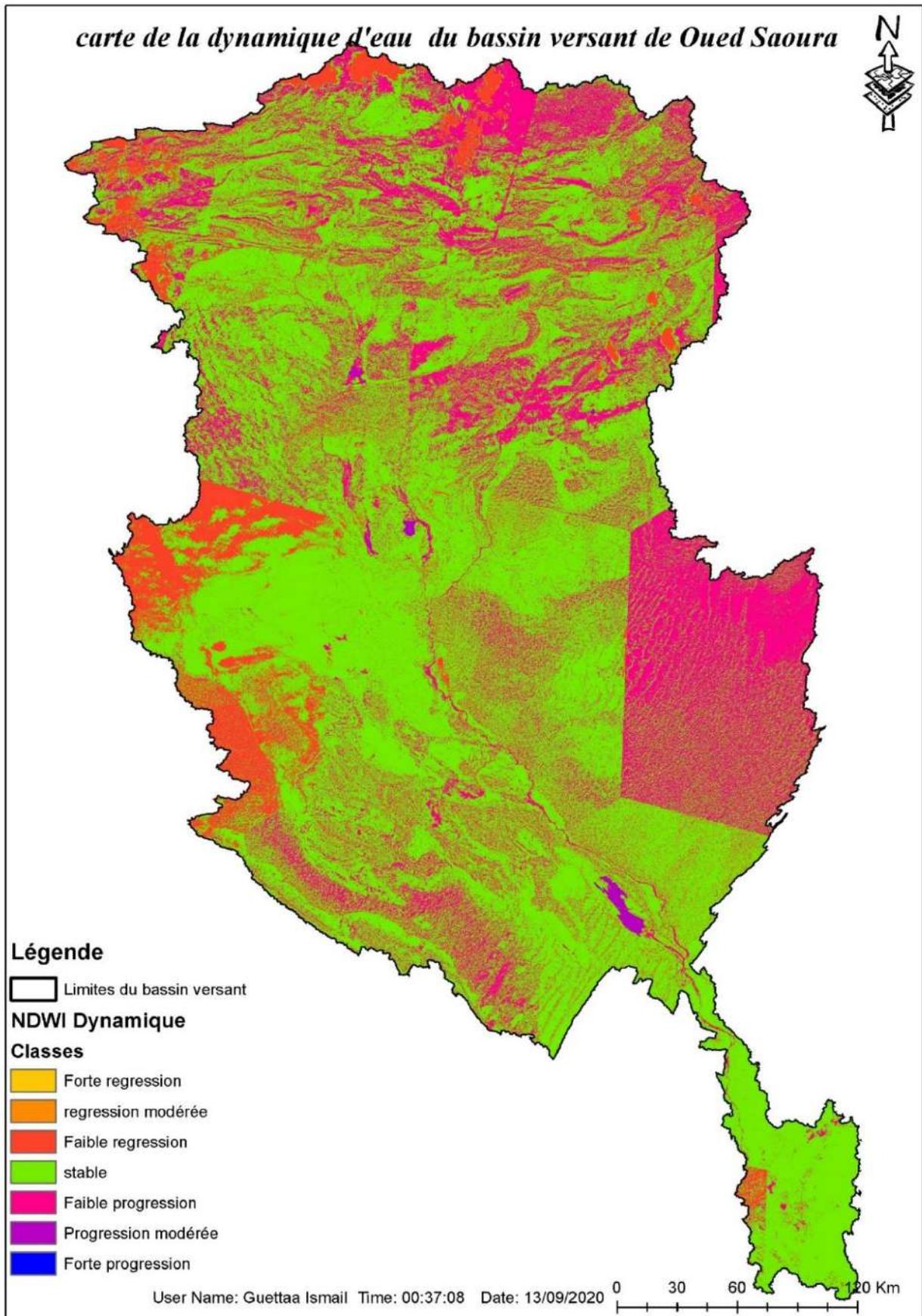


Figure 41 : Carte de la dynamique d'humidité de Oued-Saoura (Original)

3.3 Discussion générale :

Le bassin versant de Oued-Saoura est bassin très vaste, couvrant une surface totale de plus de 129000 km². Ce bassin couvre plusieurs étages bioclimatiques ce qui engendre une grande variabilité bioclimatologique, favorisant l'installation des écosystèmes avec des compositions très riches et très variables.

La connaissance des caractéristiques biotiques et abiotiques de l'air du bassin nous permet de comprendre le fonctionnement des ses composantes et les relations existe entre elles.

Notre étude touche un volet très important et primordiale qui conditionne l'existence et le développement de la vie des êtres vivant et en conséquence des écosystèmes.

La compréhension des phénomènes contrôlant la distribution de cette ressource primordiale nous permet de connaitre et prévoir le comportement des écosystèmes.

La végétation est une composante très importante, elle est liée directement à la disponibilité de l'eau et constitue le foyer et la nourriture d'une grande population faunistique.

L'étude de la dynamique d'eau illustré dans la figure n° 41 a montré une augmentation des niveaux d'humidité très importante sur tout le bassin versant, le taux d'humidité est augmenté dans les zones où il y avait une faible humidité, les surfaces secs du bassin deviennes humides aussi bien une extension des zones submergé exemple ; le barrage de Djorf-Torba. Mais encore le remplissage des zones humides connues.

En conséquence de l'augmentation des taux d'humidité sur tout le bassin versant, le couvert végétal est aussi augmenté. Les nuages existants dans les images de la date avant la crue induit des erreurs des calcule de l'NDVI en diminuant ses valeurs dans les zones touchées. Voir figure 40

Le couvert végétal n'atteint pas ses valeurs maximales car sa réponse est un peu tardive.

A cet effet, et vue à l'immensité du bassin versant de Oued-Saoura, il est recommander de poursuivre le présent travail par :

Subdivisé le bassin en plusieurs sous bassin pour faciliter les taches de calcul et l'acquisition des images plus précises.

L'études de la dynamique d'eau et de la végétation sur plusieurs pas de temps après les crues afin de comprendre bien ce phénomène.

Etudier le comportement hydrologique du bassin versant pour prévoir l'humidité correspondante à chaque niveau de pluviosité, en conséquence le comportement de la végétation.

Etudier la dynamique d'eau et de la végétation en se basant sur le phénomène de condensation entre les saisons au lieu de la pluviosité.

Faire une analyse géostatistique pour étudier la corrélation entre l'humidité du sol, le couvert végétale et les différents indicateurs climatiques afin de pouvoir établir des modèles prédictifs. Ces modèles permettent d'avoir une connaissance préalable sur les scénarios possibles qui peuvent être engendrés grâce à un phénomène quelconque ainsi que leur impacte environnementale.

Conclusion

Les résultats obtenus issus de la délimitation, télédétection et traitement cartographique nous a permis en premier lieu de délimiter plus précisément le bassin versant de Oued-Saoura, avec une surface totale de 129847,862 Km², mais aussi de délimiter les principaux affluents de ce bassin qui sont ; les bassins de Guir, Zousfana et Béchar. Cette nouvelle délimitation a fait ressortir que la surface des bassins des affluents précités est respectivement 35 699,28 Km², 16 840,53 Km² et 7637,37 Km². Sachant que les surfaces communiquées dans les rapports et cartes établis par DUBIEF (1953) sont de 5800 Km² pour la Bassin versant de Oued-Béchar et 44000 Km² pour l'ensemble des affluents cités ci-dessus. Cette différence est due essentiellement au manque de moyens durant cette époque et à la précision des données disponibles en ce moment.

Le calcul de l'indice de Beven et Kerby a mis en évidence les zones d'accumulation et leur importance pour le bassin versant, leur nombre et leurs surfaces ce qui n'est évident dans le cas de calcul d'orientation de reliefs (pentes). L'exploitation de ces résultats nous permet d'envisager des aménagements tout en favorisant le drainage de l'eau vers ces zones par conséquent l'augmentation de leur capacité d'emmagasinement.

L'analyse de l'eau à travers NDWI avant et après la crue nous montre une augmentation des zones humides, cette augmentation est en surface, mais aussi en nombre d'entités, autrement dit les zones qui présentent déjà des taux d'humidité relativement élevés ont connu une extension ainsi que l'apparition d'autres zones, ce qui est justifié par la diminution de la moyenne des entités de chaque classe d'humidité.

Suite à l'augmentation de l'humidité du sol, la végétation a connu un accroissement ce qui est traduit par les valeurs du NDVI, cette augmentation de surface a touché toutes les classes sauf la première, ceci est dû au climat nuageux dans la partie amont du bassin versant empêchant la détection de la végétation.

Les surfaces du couvert végétal peuvent être plus importantes que celles détectées, car la période entre les précipitations et les mesures ne dépasse pas un mois, sachant que la vitesse de réponse des différentes strates de végétation à l'eau n'est pas la même.

Les cartes de dynamique illustrent les endroits qui ont connu des changements d'humidité ou de végétation par progression ou régression à différents niveaux.

Pour bien comprendre le paramètre de végétation, il faut faire plusieurs mesures du NDVI pour voir la réaction vis-à-vis de la diminution du taux d'humidité.

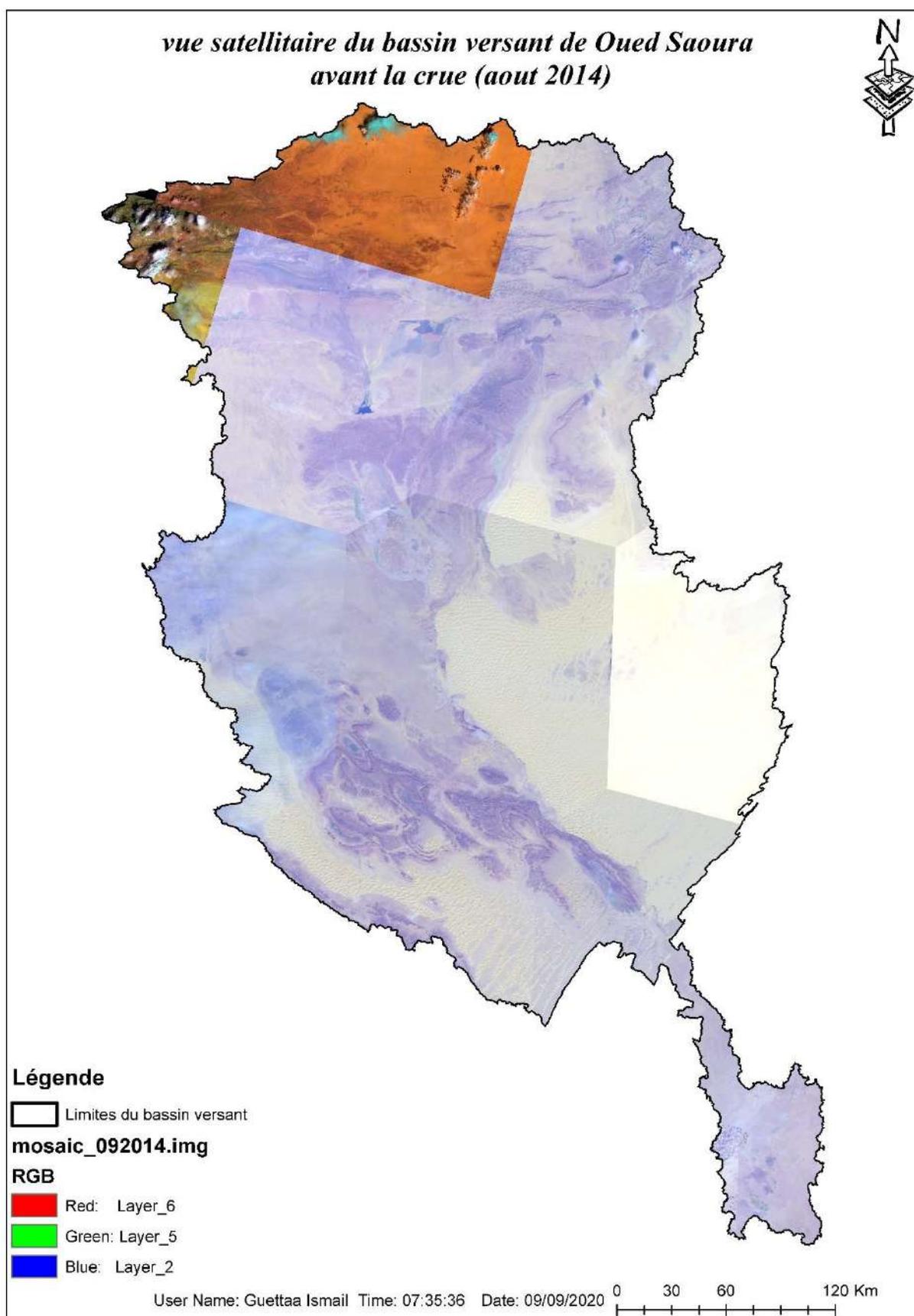
À cet effet, il convient de poursuivre le présent travail par d'autres travaux de recherche mesurant l'humidité du sol et le couvert végétal en utilisant d'autres indices d'une part, et faisant des mesures inter-saisonniers pour voir l'effet du phénomène de condensation (pas de crue) d'une autre part.

Aussi, des études géostatistiques sont nécessaires pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes existants à travers leurs composantes pédoclimatique et biologique et en mesurant les dépendances des uns aux autres.

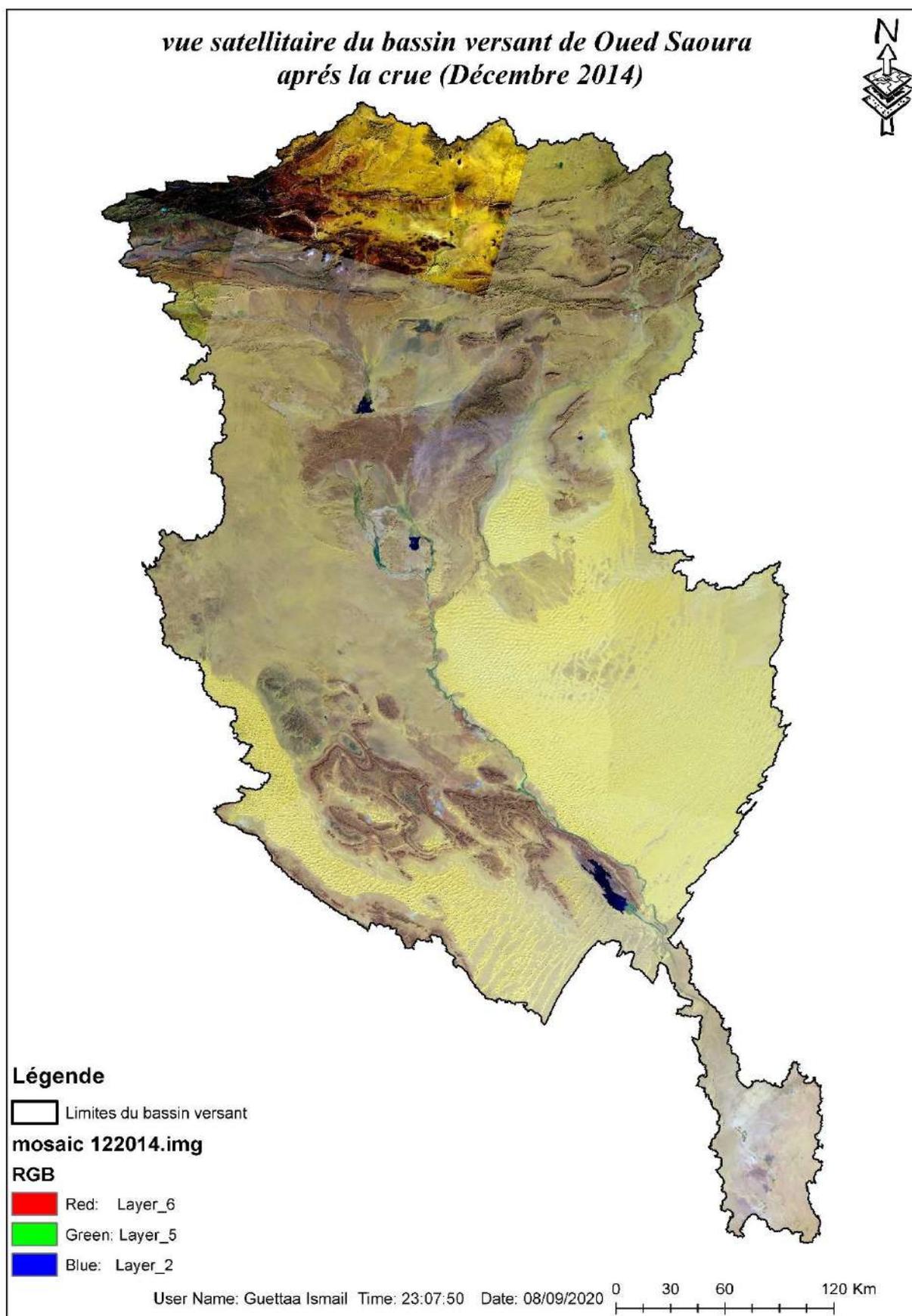
Références bibliographiques :

- Beven, K. J. and Kirkby, M.J., 1979. A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24, 43-69.
- Benhouhou, S. S., Algeria, T. C. D. D., & Sheffield, O. L. G. (2001). Vegetations associations in the Great Western erg and the Saoura valley, Algeria. *Phytocoenologia*, 31(3), 311–324. <https://doi.org/10.1127/phyto/31/2001/311>
- BOUAMER, N., & CHARGUI, I. (2018). *Monitoring vegetation and surface water dynamics of Wadi M'ya using Earth Observation data*. UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA.
- H.L.P. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. By Jean Dubief. Algerian Colonisation Service, 1953. Pp. 457; 41 Figs., 35 tables, charts. N.p. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1002/qj.49707934232>
- KERBOUB, N., & MAROUF, N. (2019). *Monitoring vegetation and surface water dynamics of Wadi Tamanrasset using earth observation data*. UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA.
- Menchikoff, N. (1946). Les formations a stromatolithes dans le Sahara occidental. *Bulletin de La Société Géologique de France*. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.s5-xvi.7-9.451>
- ROCHE, M. A. (1973). *Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara nord occidental)*.
- Salem, B. B., Zahran, M. A., & Willis, A. J. (1994). The Vegetation of Egypt. *The Geographical Journal*. <https://doi.org/10.2307/3060103>
- <https://support.esri.com/en>
- <https://www.usgs.gov>
- <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>

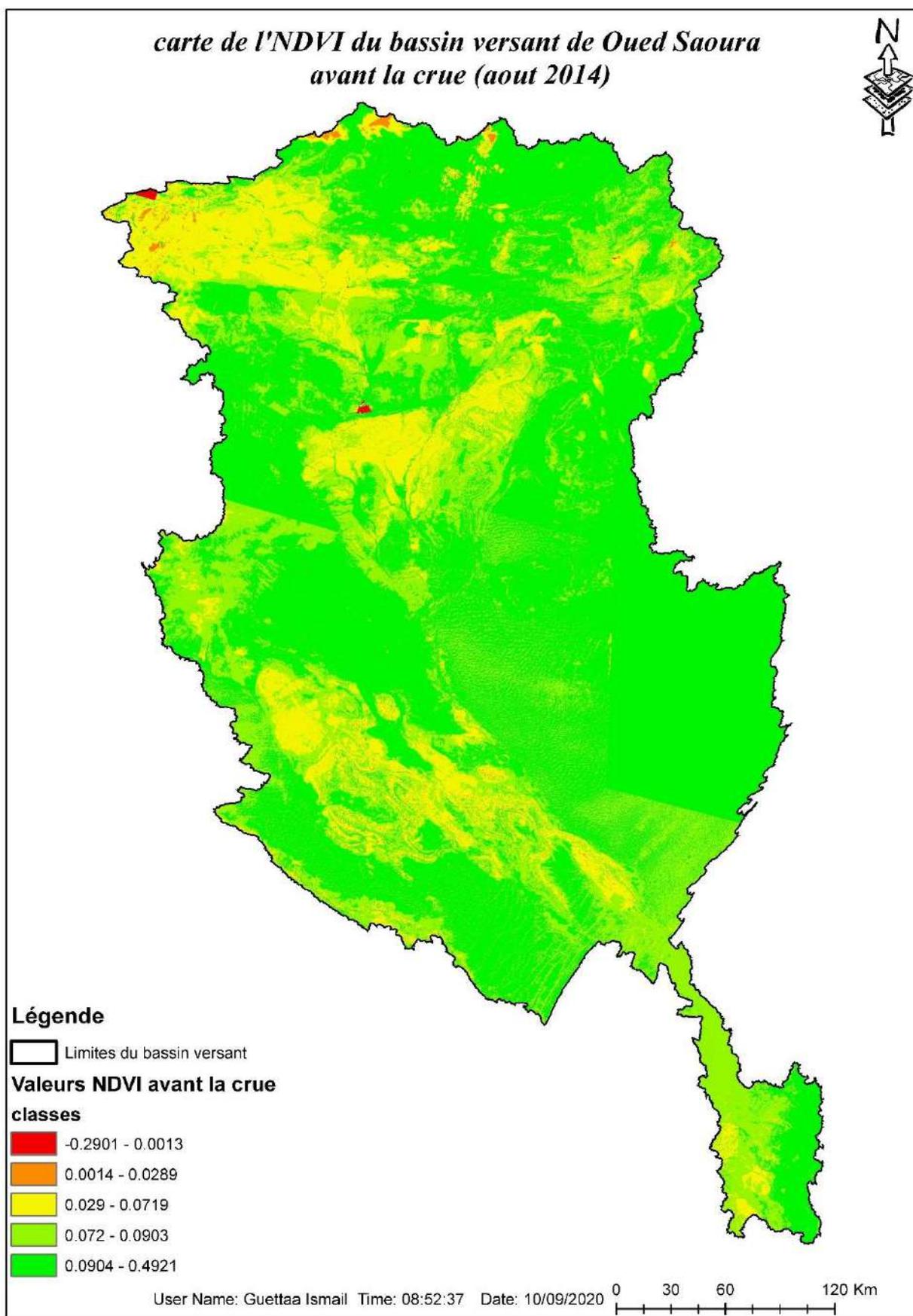
Annexe



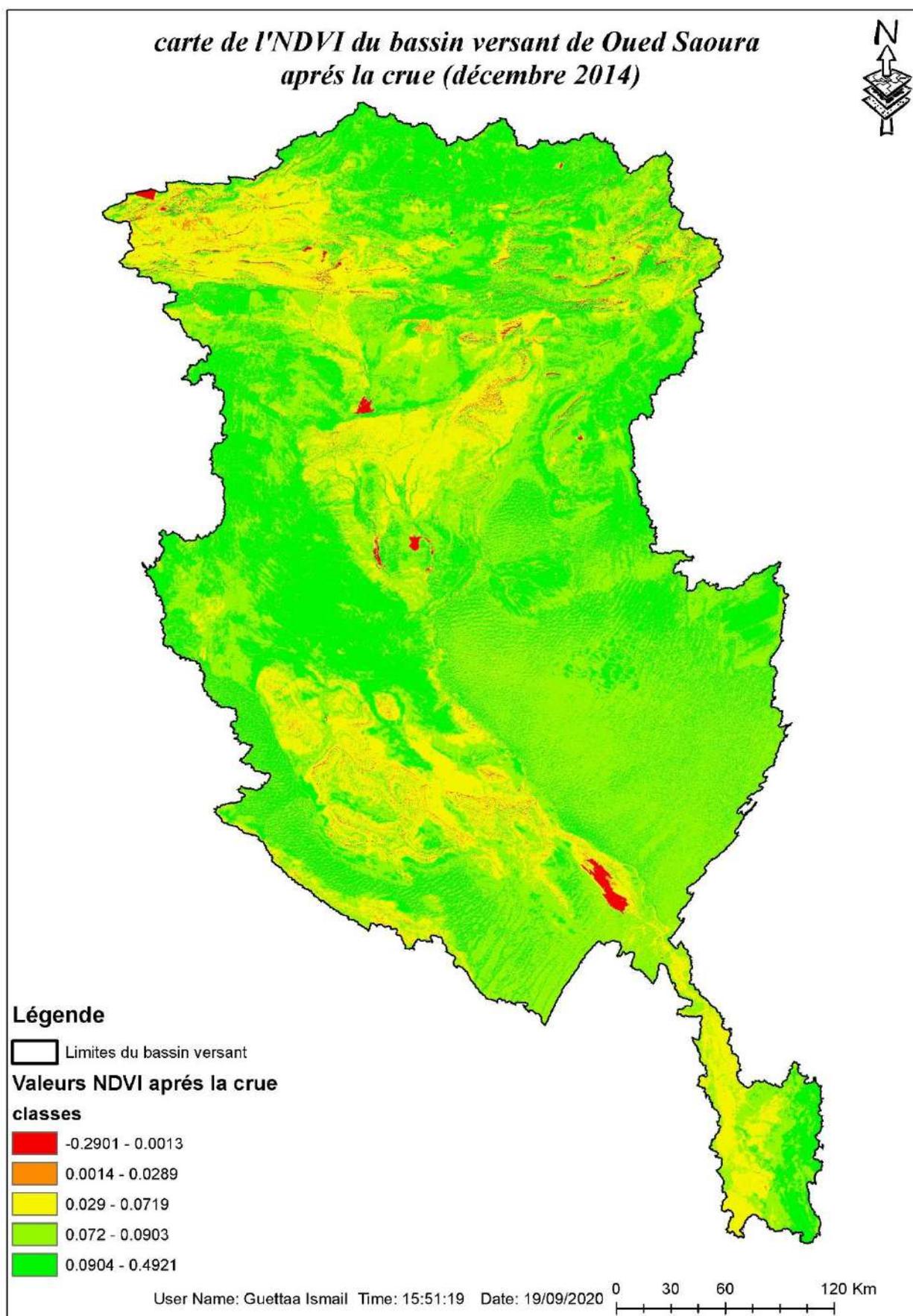
*Figure 42 : Vue satellitaire du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (aout 2014)
(original)*



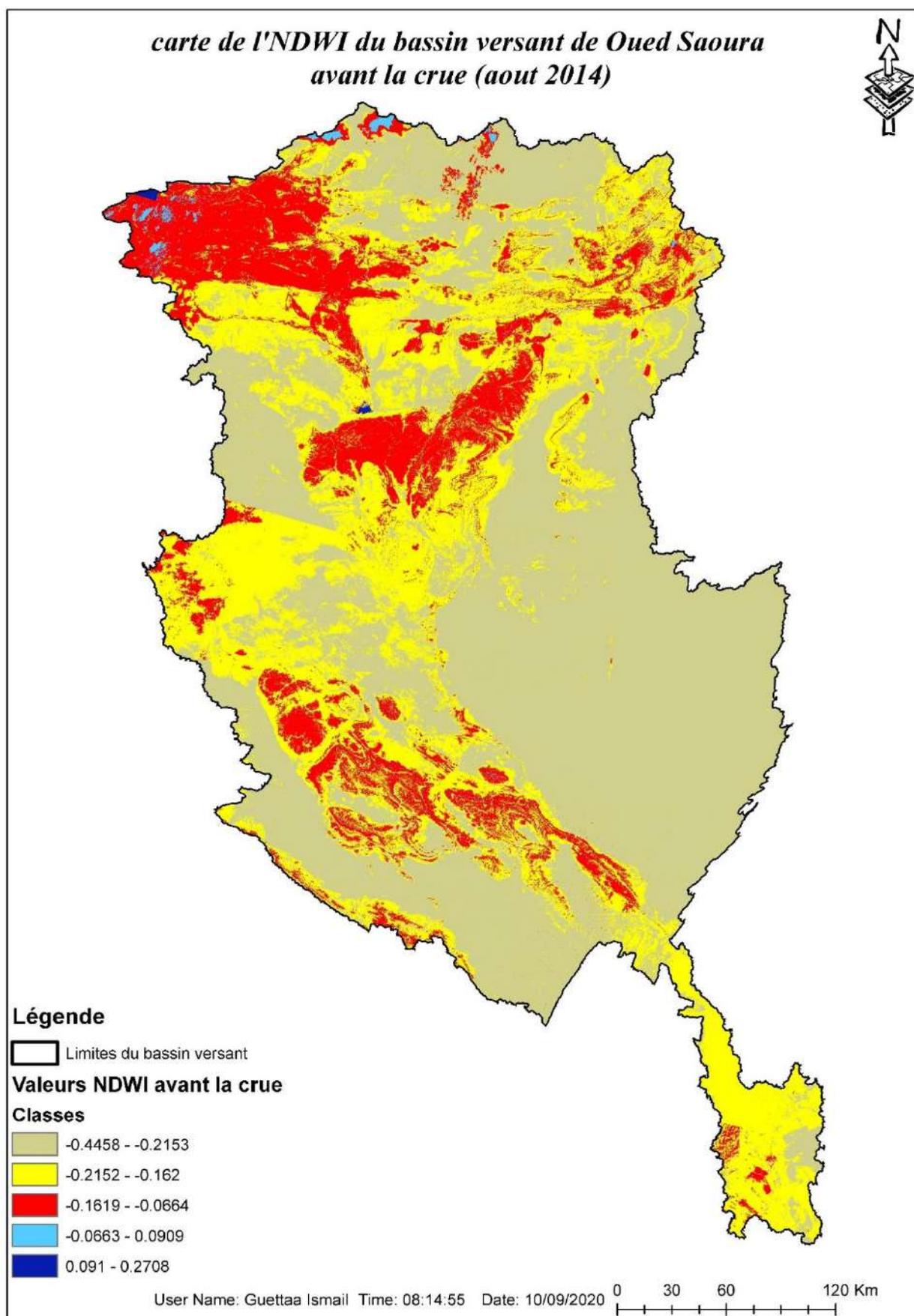
*Figure 43 : Vue satellitaire du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (Décembre 2014)
(original)*



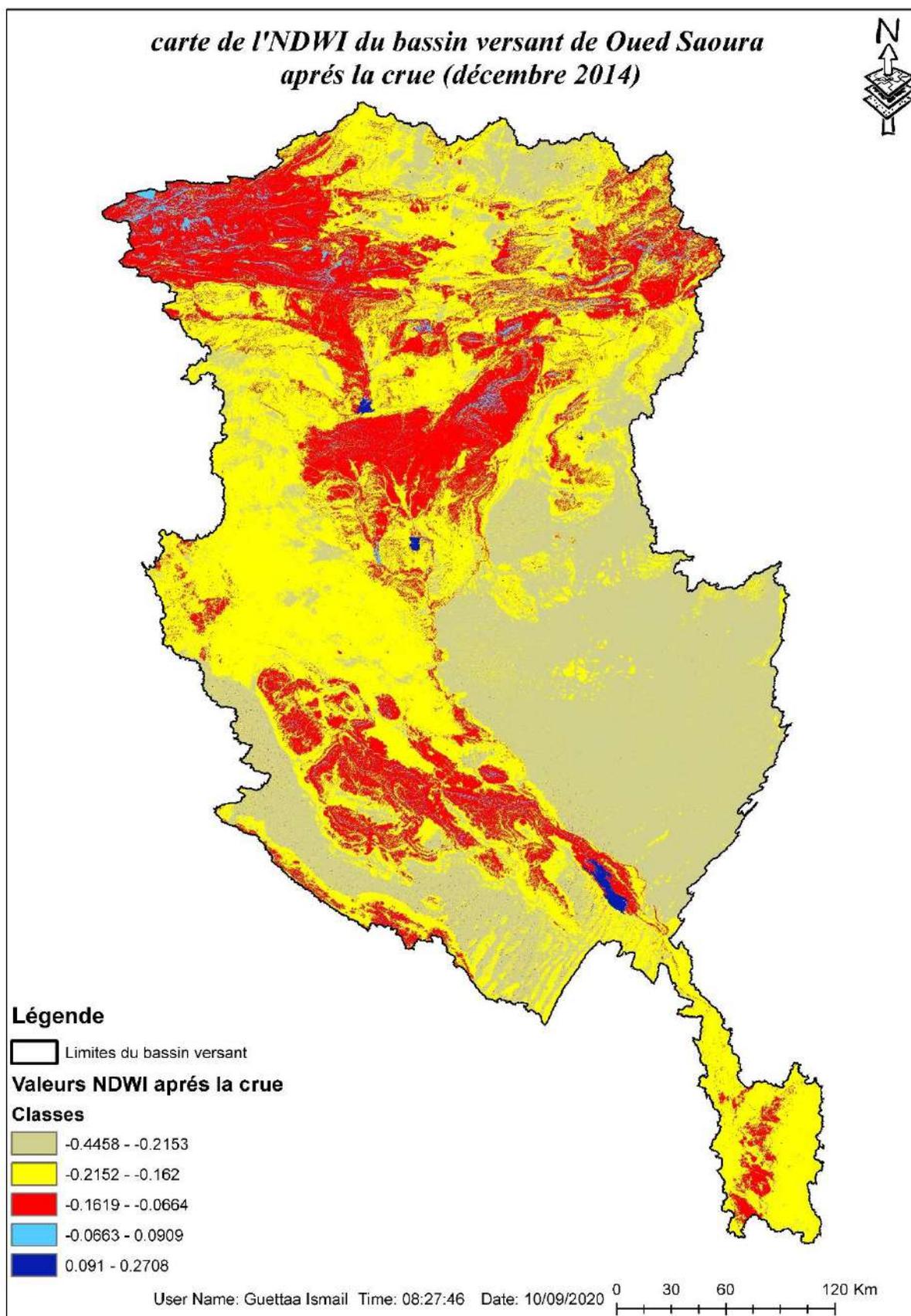
*Figure 44 : Carte du l'NDVI du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (aout 2014)
(original)*



*Figure 45 : Carte du l'NDVI du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (décembre 2014)
(original)*



*Figure 46 : Carte du l'NDWI du bassin versant de Oued-Saoura avant la crue (aout 2014)
(original)*



*Figure 47 : Carte du l'NDWI du bassin versant de Oued-Saoura après la crue (décembre 2014)
(original)*

ملخص: دراسة ديناميكية المياه والنباتات في حوض واد الساورة باستخدام وسائل رصد الأرض

يقع حوض واد الساورة في جنوب غرب الجزائر، ويعبر الحدود الجزائرية المغربية حيث يغطي مساحة إجمالية قدرها 129847,862 كم²، وروافده الرئيسية هي واد قير الذي ينضم إلى واد بشار و زوسفانا في إغلي حيث ينتج عنهم واد الساورة .

والغرض من هذا العمل هو دراسة المياه والنباتات في حوض واد الساورة قبل وبعد الفيضانات المسجلة في الأسبوع الأخير من شهر نوفمبر من عام 2014 من أجل تحديد ديناميكيتها.

وقد أظهر تحليل الرطوبة (الماء) والغطاء النباتي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد من خلال حساب مؤشري NDVI و NDWI زيادة ملحوظة جداً من حيث المساحة وعدد الوحدات المساحية. وزيادة في المساحة المغطاة بالمياه من سد جرف التربة بأكثر من 23 كيلومترا مربعا، فضلا عن زيادة في الأراضي الرطبة الرئيسية للحوض بأكثر من 279 كيلومترا مربعا. في حين أن المنطقة المغطاة بالنباتات قد تزداد أكثر لأن استجابة الغطاء النباتي تكون متأخرة نسبيا.

الكلمات الرئيسية: واد الساورة، الفيضانات، الاستشعار عن بعد، NDVI, NDWI, ديناميكية

Résumé :

Le bassin versant de Oued -Saoura se localise dans le sud-Ouest de l'Algérie, traversant les frontières algéro-marocaines et couvrant une surface totale de 129847.862 Km², Ses principaux affluents sont Oued Guir qui rejoint celui de Béchar et Zousfana à Igli donnant la naissance de oued Saoura.

Cette étude a pour objet d'étudier l'eau et la végétation du bassin versant de Oued-Saoura avant et après les crues enregistré dans la dernière semaine du mois d'octobre de l'année 2014 afin de déterminé leurs dynamique sur l'ensemble du bassin versant.

L'analyse de l'humidité (eau) et de la végétation en utilisant des techniques de télédétection à travers le calcul des indices NDVI et NDWI a montré une augmentation très remarquable en surface et en nombre d'entité des différentes classes de végétation et d'humidité, une augmentation de la surface submergée en eau du barrage de Djorf-Torba de plus de 23 Km² ainsi celle des principales zones humides du bassin de plus de 279 Km². Tandis que la surface couverte en végétaux peut être augmenter encore car la réponse de la végétation est un peu plus tardive.

Mots clé : Oued Saoura, crues, Télédétection, NDVI, NDWI, Dynamique

Abstract: Study of water and plant dynamics in the Watershed of Wadi-Saoura using earth observation data

The watershed of Wadi-Saoura is located in southwestern Algeria, crossing the Algerian-Moroccan borders and covering a total area of 129847,862 km², its main tributaries are Wadi Guir which joins that of Béchar and Zousfana in Igli giving birth to Wadi-Saoura.

The object of this work is to study the water and vegetation of the watershed of Wadi-Saoura before and after the floods recorded in the last week of November 2014 in order to determine their dynamics over the entire watershed.

The analysis of moisture (water) and vegetation using remote sensing techniques through the calculation of the NDVI and NDWI indices showed a very remarkable increase in surface and feature number of different classes of moisture and vegetation cover. an increase in the water-covered area of the Djorf-Torba dam of more than 23 Square kilometer, as well as an increase in the main wetlands of the basin of more than 279 Square kilometer. While the area covered with plants may be increased further because the response of vegetation is a little later.

Key Word: Wadi-Saoura, floods, remote sensing, NDVI, NDWI, Dynam