

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
UNIVERSITE AMMAR THELIDJI DE LAGHOUAT
جامعة عمار تليجي بالاغواط

Faculté de technologie
Département de génie civil
spécialité : Hydraulique
Option :Ressources Hydraulique

Mémoire
Présentée par
Sahi Mohammed Cherif
Sidaty Sweyeh Hamdi

Pour l'obtention du Diplôme de Master Académique

Thème :

Apport de la télédétection pour la cartographie de température de surface a
l'échelle d'un bassin versant

(cas bassin versant de Brezina)

Jury de soutenance:

Nom et prénom:

qualité

A.Guidoum

Président

Remerciements

Tout d'abord, je remercie notre Dieu tout puissant qui m'a donné la foi, qui m'a guidé durant toute ma vie et qui m'a donné la volonté de continuer mes études.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Madame YAMANI KHEYRA , pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier tous les professeurs de département de génie civil à l'université d'Amar Thelidji de Laghouat , qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite durant mon cursus master académique d'études universitaires.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les professeurs de département de ressource en eau à l'université de Blida qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite durant mon cursus License académique d'études universitaires.

Je tiens à remercier spécialement monsieur SEKKOUM MOHAMED qui m'a fait confiance et pour m'avoir donné l'occasion de rejoindre l'Université d'Ammar Thelidji de Laghouat .

je remercie mes très chers parents, MOHAND AKLI et SAHI FETIHA , qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mon frere et mes sœurs pour soutiens et leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis KOUADRI HAROUNE et CHEBILI MOHAMED ,LAKHDARI HICHEM , qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Cherif ...

Résumé :

La température de surface est un paramètre essentiel pour décrire l'état hydrique et énergétique des écosystèmes terrestres. Elle peut être mesurée à partir des données de télédétection dans l'infrarouge thermique. Mais l'effet des phénomènes perturbateurs tels que l'atmosphère et l'émissivité de surface rendent cette mesure moins précise et limite son utilisation. Notre étude consiste à développer une méthode, reposant sur la combinaison des deux températures issues du capteur LANDSAT par la méthode de split-window, pour accéder à une température affranchie des effets de l'atmosphère, qui est ensuite corrigée des effets de l'émissivité pour avoir une mesure réelle. Deux approches adaptées aux conditions locales ont été utilisées, l'une basée sur les données terrain de température de surface et l'autre sur l'analyse de l'image elle-même. Les résultats ainsi obtenus sur le bassin versant de Brézina ont permis une estimation satisfaisante de la température de surface.

Le but de ce travail est de créer une carte de température de surface et d'analyser les facteurs distinctifs de son développement et son rôle dans l'équilibre du système écologique. Premièrement, nous utilisons des images satellites pour suivre et analyser l'étude suivie d'un suivi de la végétation pour atteindre cet objectif nous avons utilisé les données satellitaires Landsat8 et les données climatiques de Terraclima.

L'utilisation de la méthode split-window pour l'estimation de la température de surface peut être généralisée sur toute la zone steppique ou les données de terrain sont déjà rares.

MOTS-CLÉS : Température de surface, Émissivité, Split-window, Brézina, infrarouge thermique, Landsat8.

Abstract :

The temperature of surface is an essential parameter to describe the hydrous and energy state terrestrial ecosystems. It can be measured starting from the data of teledetection in the infra-red thermic. But the effect of the disturbing phenomena such as the atmosphere and the emissivity of surface make this measurement less precise and limit its use. Our study consists in developing a method, resting on the combination of the two temperatures from the NOAA-AVHRR sensor by method of Split-window, to reach a radiative temperature freed from the effects of the atmosphere, which is then corrected effects of emissivity to have a real measurement. Two approaches adapted to the local conditions were used, one based on the data ground of temperature of surface and the other on the analysis of image NOAA itself. The results so obtained on the Brézina site allowed a satisfactory estimate of the temperature of surface.

Key-Words : Temperature of surface, Emissivity, Split-window, Brézina, infra-red thermic.

Liste des Tableaux :

Tableau 01 : Gammes du spectre électromagnétique utilisées en télédétection.

Tableau 02 : les valeurs de l'albédo de surface

Tableau 03 : Données des moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station météorologique d'el bayadh (2000-2019)-source(station métrologique d'el bayadh)

Tableau 04 : les bandes utilisées

Tableau 05: longueur d'onde centrale des bandes LANDSAT .

Tableau 06 : classification de l'NDVI

Tableau 07 : valeurs de l'émissivité: Skokovic et al, 2014; Sobrino et al, 1996; 2003; Shaouhua Zhao et al, 2009

Tableau 08 :valeurs K1et K2 pour chaque satellite

Tableau 09 : valeurs des constantes C1,C2,C3,C4,C5,C6,C0 for Landsat satellite (Skokovic et al, 2014; Sobrino et al, 1996; 2003; Shaouhua Zhao et al, 2009

Tableau 10 : Teneur en vapeur d'eau atmosphérique W

Tableau 11 : Résultat NDVI année 2000 .

Tableau 12 : Résultat NDVI année 2019 .

Tableau 13 : Résultat LES année 2000 .

Tableau 14 : Résultat LES année 2019 .

Liste des Figures :

- Figure 01 : Représentation du spectre électromagnétique - source (astronoo.com)
- Figure 02 : aperçu de l'instrument LANDSAT
- Figure 03 : Processus de télédétection.
- Figure 04 : localisation géographique de la zone d'étude
- Figure 05 : carte satellitaire de la température moyenne annuelle dans le bassin versant de la brezina –(source terra climat GEE)
- Figure 06 : Carte satellitaire de la pluviométrie dans le bassin versant de Brezina –source (terraclimat GEE)
- Figure 07 : Moyennes annuelles des précipitations de la zone d'étude – source (stations métrologique d'el bayadh)
- Figure 08: Le diagramme ombrothermique de Brezina (2000-2009)
- Figure 09: position de la station locale(el bayadh) sur le climato gramme
- Figure 10 : Extrait du cadre géologique de la zone d'étude (bassin versant de Brezina)
- Figure 11 : Hiérarchisation du réseau hydrographique de Brezina
- Figure 12 : carte satellitaire des altitudes dans la zone d'étude –source (MNT SRTM)
- Figure 13: Estimation de LST a partir du satellite Landsat
- Figure 14: Images satellitaire Albédo de surface année 2000
- Figure 15 : Images satellitaire Albédo de surface année 2019
- Figure 16 : image satellitaire NDVI année 2000
- Figure 17 : image satellitaire NDVI année 2019
- Figure 18 : image satellitaire du LANDSAT émissivité LSE année 2000
- Figure 19: image satellitaire du LANDSAT émissivité LSE année 2019
- Figure 20 : image satellitaire LANDSAT du fond vert de climat année 2000
- Figure 21 : image satellitaire LANDSAT du fond vert de climat année 2019
- Figure 22 : image satellitaire de la température de base année 2019 source (LANDSAT)
- Figure 23: image satellitaire de la température de base année 2000 source (LANDSAT)
- Figure 24: image satellitaire de la température de surface année 2000 source (LANDSAT)
- Figure 25 : image satellitaire de la température de surface année 2019 source (LANDSAT)
- Figure 26 : carte satellitaire de la couvert végétal de la zone d'étude –source (landsat7 et 8)
- Figure 27 : Cartographie de l'albédo de surface des dix années d'étude (2000 - 2019) - source (LANDSAT 8)
- Figure 28 : Cartographie de l'indice de végétation (2000-2019) - source (LANDSAT 8)
- Figure 29 : Cartographie de la température de surface LST (2000-2019) - source (LANDSAT 8)
- Figure 30 : Ajustement entre LSTet NDVI
- Figure 31 : Ajustement entre l'albédo et NDVI
- Figure 32. Carte synthèse de sensibilité à la désertification (2000-2019).
- Figure 33 :. Carte pluviométrique de la zone d'étude 2000 – 2019 (source : LANDSAT 8)
- Figure34 : image satellitaire de l'occupation de sol année 2019 source (LANDSAT)
- Figure 35 : résultat LST- NDVI année 2000
- Figure 36 : résultat LST- NDVI année 2019
- Figure 37 : résultat LST- occupation de sol année 2000
- Figure 38 : résultat LST- occupation de sol année 2019
- Figure 39 : résultat occupation de sol – NDVI

Sommaire

CHAPITRE 01 : Apercue Bibliographique	2
1.1.Introduction :.....	3
1.2.La télédétection :	3
1.3. Satellite LANDSAT :.....	4
1.4.Processus de la télédétection :.....	5
1.5.Le rayonnement électromagnétique	6
1.6 . Les traitements des données de télédétection :.....	7
1.6.1.L'analyse et l'interprétation visuelle de l'image :	7
1.6.2. Domaine d'application de la télédétection :.....	8
1.6.2.1.application océanique :	8
1. 6.2.2.application terrestre :.....	8
1.6.3.L'histogramme bidimensionnel :.....	9
1.6.4.Evaluation des résultats de la classification :	9
1.6.5.La matrice de confusion :	9
1.7.Méthode de calcul de la température de surface LST par Split window :	9
1.7.1.NDVI :.....	10
1.7.2.LSE :	10
1.7.3.ALBEDO :	10
1.7.4.LST :	11
1.8.Conclusion :	14
CHAPITRE 02 : Presentation de la zone d'étude	15
2.1.Introduction :.....	16
2.2. Matériels et méthodes :	17
Partie I : Présentation de la zone d'étude	17
2.1.1. Localisation de la zone d'étude	17
2.3.2. Le climat :	18
2.3.2.1 Les températures :	18
2.3.2.2 Les précipitations	20
2.3.2.2.1 Les précipitations mensuelles	20
2.3.2.2.2 Les précipitation annuelle :	21
2.3.2.3 Diagramme ombrothermique :	22
2.3.2.4 L'indice d'aridité annuelle (Ia) :	24
2.3.2.5 L'évapotranspiration (ETP) :	24

2.3.2.6 L'humidité :	25
2.3.2.7 Le vent :	25
2.3.2.8 Géologie :	25
2.3.2.9 Hydrographie :	27
2.3.2.10. Pédologie.....	28
2.3.2.10.1 Les sols des bordures des plaines	28
2.3.2.10.2. Les sols de la plaine proprement dite.....	29
2.3.2.10.2.1. Les sols peu évolués	29
2.3.2.10.2.2. Les vertisols :.....	29
2.3.2.10.2.3. Les sols calcimagnésiques :	29
2.3.2.10.2.4. Les sols isohumiques :.....	29
2.3.2.10.2.5. Les sols hydromorphes :.....	29
2.3.2.11 phenomene secondaire :	29
2.3.3.11.1.Les gelées.....	29
2.3.2.11.2.L'enneigement et la gelée blanche:.....	30
2.3.3. Relief et géomorphologie :	30
2.3.4. Ecologie et occupation du sol :	30
2.3.5. Phytogéographie.....	31
2.3.6. La topographie :	31
2.3.7. Ressources en eaux.....	32
2.3.7.1. Les ressources en eaux superficielles	32
2.3.7.2.Les ressources en eaux souterraines	33
2.4. Données météorologiques:	33
2.5.Données satellitaires:.....	33
2.6.Le satellite LANDSAT:	33
2.7.Methodes de cartographie des différents paramètres a partir des données satellitaires :	34
2.7.1.Cartographie des propriétés radiatives :	34
2.7.2.Calcul de la radiance spectrale TOA (Top of Atmosphérique):	35
2.7.3. Conversion de la température At-Satellite à la température de surface terrestre:	35
2.7.4. Calcule de l'émissivité ϵ :	36
2.8.Méthode Split Window :	36
2.8.1.Estimation de l'albedo (etape 01) :.....	38

2.8.2. Estimation de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) (étape 02) :	38
2.8.3. Estimation de la température de la surface du sol (LST) (étape 03) :	40
2.8.4. Calcul de la température de luminosité:	42
2.9. Méthode de suivi l'état hydrique et la dégradation de sol :	44
2.10. Conclusion	45
CHAPITRE 03 : RESULTATS ET ANALYSES	46
3.1. Introduction :	47
3.2. Résultats de Cartographie de l'albédo	47
3.3. Résultats de Cartographie de L'NDVI :	49
3.4. Résultats de Cartographie de LES	52
3.5. Résultats de Cartographie du fond vert de climat (FVC) :	54
3.6. Résultats de Cartographie de température de base (TB) :	57
3.7. Résultats de cartographie de Température de surface (LST) :	58
3.8. Résultats de la Couverture végétale :	61
3.9. Résultat de combinaison des paramètres géophysique pour le suivi de l'état de sol :....	62
3.9.1. Combinaison des paramètres géophysiques :	64
3.9.2. Elaboration de la carte de sensibilité a la désertification :	66
3.10. Relation entre l'occupation de sol et la température de surface (LST) :	69
3.11. Relation entre NDVI et l'occupation de sol :	71
3.12. Conclusions	72

Liste des mots clé :

NDVI: Indice de Végétation Normalisé
SIG : système informations géographique
FVC :fond vert de climat
TP: température
ETM : Évapotranspiration maximale
ETR: Évapotranspiration réelle
Ts: Températures du Sol
Ta: Températures de l'Air
TB : Temperature de base
Pr: précipitation
BV: Bassin Versant
Kc: Coefficient Cultural
OS: Occupation du Sol
 ε : l'émissivité

INTRODUCTION GENERALE :

La télédétection qui est en passe de devenir un outil courant dans la connaissance, l'identification et la quantification des différents constituants des états de surface est utilisée ici pour discriminer et cartographier ces états de surface. Parmi ses intérêts majeurs, on retrouve l'identification de la température de surface et des types de sols en vue d'une connaissance plus complète des facteurs dynamiques des sols tels que la désertification, l'érosion et la salinisation (Mannière et al., 1993 ; Metternicht et Zink, 2003).

L'intérêt majeur des données de télédétection réside dans la possibilité d'extrapoler des données acquises à une résolution pixellaire pour obtenir des informations continues spatialement avec un délai raisonnable et un coût d'acquisition moins onéreux.

Dans ce travail, Il s'agit de l'identification et la discrimination des températures de surface par l'utilisation de la télédétection à l'aide du satellite LANDSAT, de l'évaluation de la dégradation des couches de surface des sols au bassin versant d Brezina.

La cartographie de la température de surface dans bassin de brezina en utilisant l'algorithme du split window (SW). C'est un algorithme de classification supervisée qui se base sur la comparaison des signatures spectrales dans différentes bandes spectrales .

La mise en évidence de la relation entre l'indice de végétation NDVI et la température de surface à l'échelle du bassin versant de brezina utilisant les données satellitaire et les bandes visible et proche infrarouge du capteur LANDSAT 8 .

La détermination de l'état hydrique de la surface du sol pour caractériser l'état de la sensibilité du sol à la dégradation en exploitant la relation entre l'albédo et la température de surface.

CHAPITRE 01

1.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons le concept de la télédétection et la température de surface : le principe de sa mesure, et le modèle utilisé pour la cartographie de cette grandeur. Afin de mettre en relief la complexité de l'étude de ce phénomène climatique.

En deuxième lieu, nous exposons la base de différentes données utilisées qui vont servir pour réaliser ce travail.

La température de la surface terrestre (LST) est une variable essentielle pour comprendre les processus de surface terrestre et le phénomène environnemental sur Terre . Sa variabilité devient le paramètre principal pour développer des méthodologies dans de nombreuses études environnementales, y compris le phénomène du changement climatique, la phénologie de la végétation, l'îlot de chaleur urbain, l'environnement écologique et bien d'autres. Par conséquent, le modèle LST devrait être étudié à la fois à l'échelle régionale ou mondiale .

L'identification de la température de surface du sol (LST) sur une vaste zone peut être obtenue efficacement grâce à la technologie de télédétection . Les données de télédétection par satellite peuvent être utilisées pour dériver le LST dans les variations temporelles et spatiales . Diverses données de télédétection avec différentes plates-formes et capteurs ont été appliquées pour extraire ou surveiller le LST à la surface de la Terre, telles que NOAA-AVHRR, MODIS , Landsat-5 TM , LANDSAT-7 ETM + , LANDSAT-8OLI / TIRS.

1.2.La télédétection :

La télédétection est définie comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. Elle permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...), etc. Donc, La télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux ; une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible.

L'acquisition d'informations s'opère par la mesure du spectre électromagnétique dans les domaines:

- _ du visible pour l'œil humain, comme un appareil photo
- _ de l'invisible pour l'œil humain :
- _ l'infrarouge
- _ les micro-onde

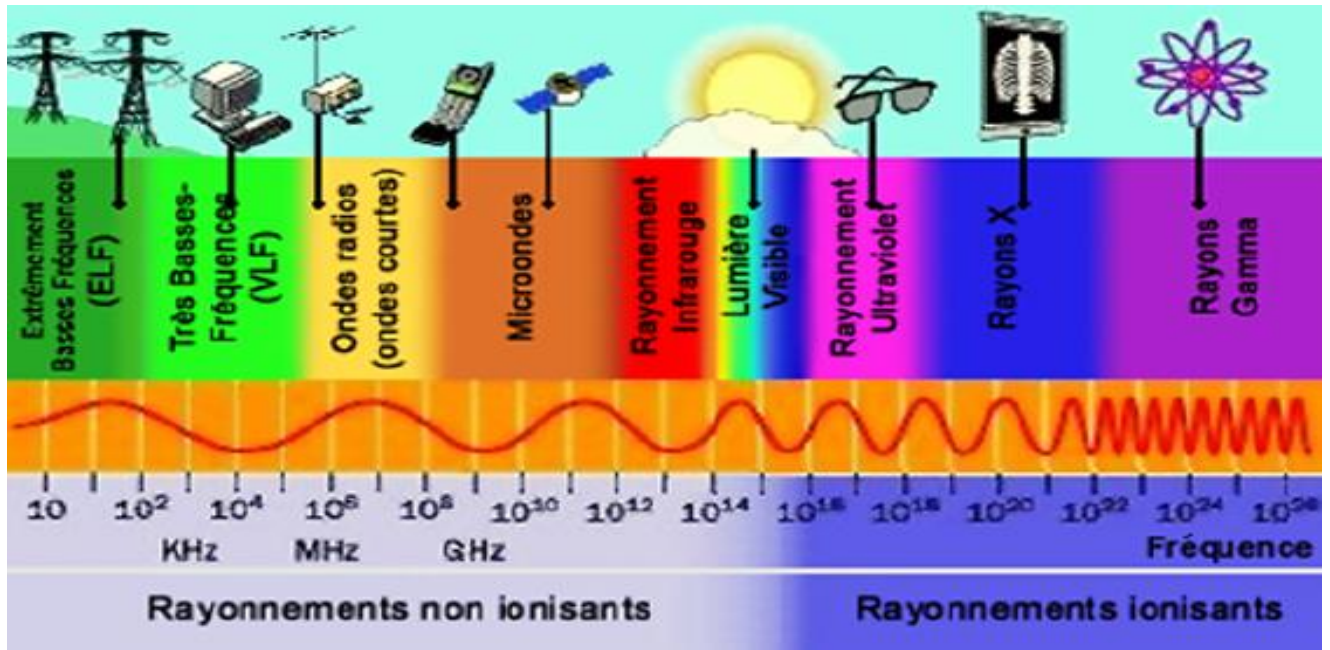


Figure 01 : Représentation du spectre électromagnétique - source (astronoo.com)

1.3. Satellite LANDSAT :

Le programme LANDSAT est le premier programme spatial d'observation de la terre destiné à des fins civiles. Il est développé par l'agence spatiale américaine, la NASA à l'instigation de l'Institut des études géologiques américain (USGS) et du département de l'agriculture au milieu des années 1960. Sept satellites LANDSAT sont lancés entre 1972 et 1999 et un huitième le 11 février 2013. Les instruments embarqués sur les satellites LANDSAT permettent de capturer plusieurs millions d'images. Celles-ci constituent des ressources uniques pour l'étude des changements climatiques, l'utilisation des sols, la cartographie, la gestion de l'habitat ; ainsi que pour de nombreuses autres applications dans les domaines de l'agriculture, la géologie, la sylviculture, l'éducation, etc.

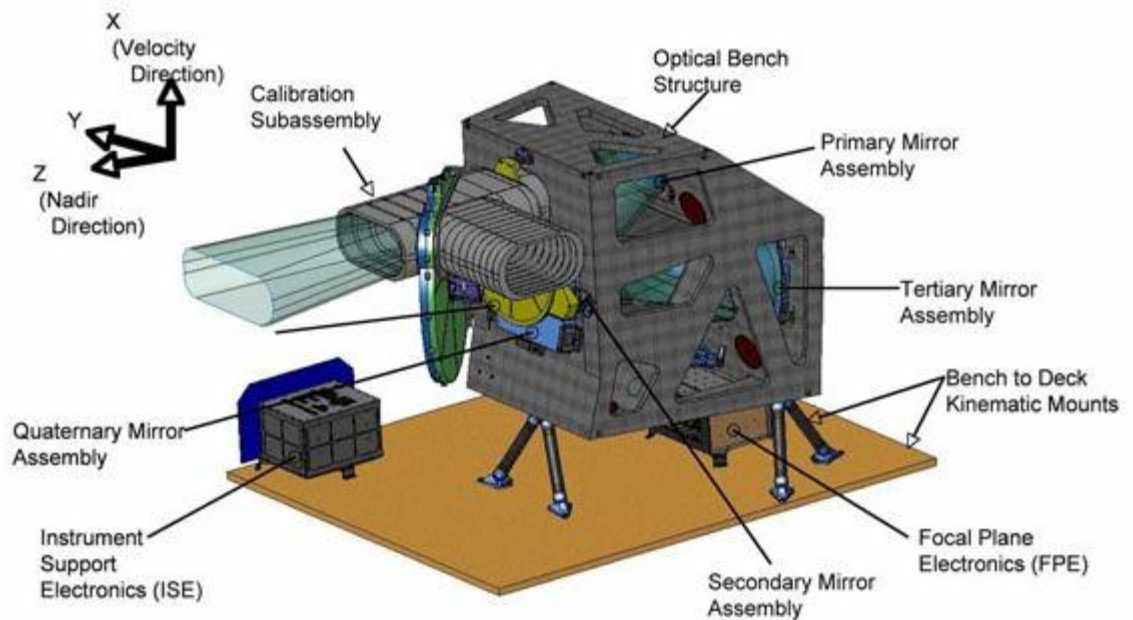


Figure 02 : aperçu de l'instrument LANDSAT

1.4.Processus de la télédétection :

Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes suivantes :

Etape 1: Source d'énergie ou d'illumination (A) : a l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

Etape 2 : Rayonnement et atmosphère (B) - Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.

Etape 3 : Interaction avec la cible (C) - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci.

Etape 4 : Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) - Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

Etape 5: Transmission, réception et traitement (E) - L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images.

Etape 6 : Interprétation et analyse (F) - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

Etape 7 : Application (G) - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

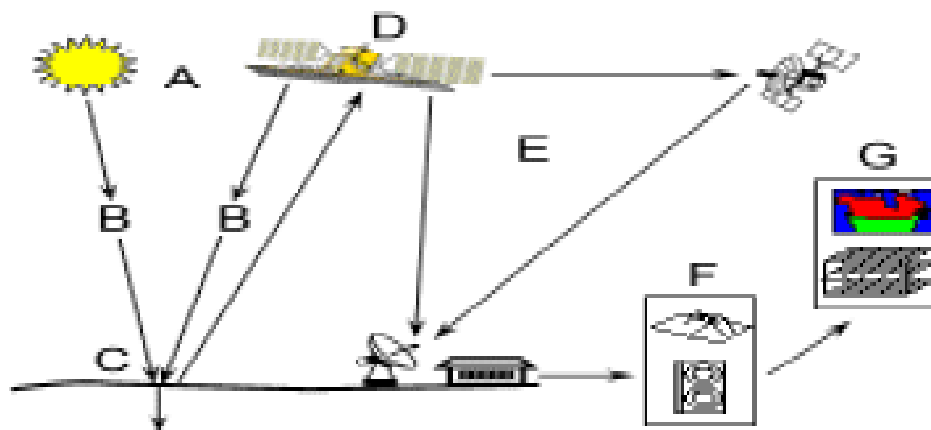


Figure 03 : Processus de télédétection.

1.5.Le rayonnement électromagnétique

La télédétection utilise le rayonnement électromagnétique comme source d'enregistrements à distance. Ce rayonnement correspond à des ondes électromagnétiques transportant de l'énergie qui est plus ou moins absorbée par les différents milieux. Le rayonnement électromagnétique est caractérisé par sa longueur d'onde et sa fréquence.

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes depuis les plus petites longueurs d'ondes (fréquence très élevée) jusqu'aux plus grandes (fréquence très basse).

La télédétection utilise une partie du spectre électromagnétique présenté par les gammes de longueurs d'ondes données par le tableau suivant :

Domaine spectral	Longueur d'onde	Origine
Ultraviolet	- 0.90 nm-0.38 nm	Rayonnement réfléchi par la surface terrestre
Le visible	- Violet : 0.400 - 0.446 μm - Bleu : 0.446 - 0.500 μm - Vert : 0.500 - 0.578 μm - Jaune : 0.578 - 0.592 μm - Orange: 0.592 - 0.620 μm - Rouge : 0.620 - 0.700 μm	Rayonnement réfléchi par la surface terrestre
L'infrarouge	- Proche : 0.800 - 1.500 μm - Moyen réflectif 1.600 – 2.2 μm - Moyen 3 – 5 μm - Moyen thermique 8 – 14 μm	Rayonnement émises par la surface terrestre
L'hyperfréquences	- 0.750 - 136 cm	Emises par une antenne et renvoyées par la surface terrestre en mode actif, et émises par la surface terrestre en mode passif.

Tableau 01 : Gammes du spectre électromagnétique utilisées en télédétection.

1.6 . Les traitements des données de télédétection :

1.6.1.L'analyse et l'interprétation visuelle de l'image :

L'interprétation et l'analyse visuelles datent du tout début de la télédétection avec l'interprétation de photos aériennes. Actuellement, l'interprétation la plus efficace des images satellitaires associe l'utilisation des méthodes assistées par ordinateur et l'analyse visuelle (Girard, 1995). Les images de télédétection peuvent être représentées sous forme d'une matrice de pixels, où chaque pixel correspondant à un nombre, représentant le niveau d'intensité du pixel. Il est possible pour tirer le maximum d'information de ces images, de les agrandir de telle sorte que la résolution de l'image corresponde à la résolution de l'oeil. L'interprétation est facilitée par le choix

des couleurs établis en fonction des objets représentés. On dégage ainsi plus facilement les grandes organisations spatiales qui se perçoivent par des associations de couleurs. Il n'en n'est pas de même pour une autre palette de couleurs. Ainsi si l'on distribue les couleurs au hasard, l'organisation n'est plus du tout facile à interpréter. L'interprétation peut se faire directement sur l'écran quand on dispose d'un système informatique de traitement des images. Les limites des plages cartographiques sont alors dessinées directement sur écran. On peut augmenter ou diminuer le nombre de groupes selon le but de classification (Girard & Girard, 1999).

1.6.2. Domaine d'application de la télédétection :

1.6.2.1.application océanique :

la télédétection offre l'avantage de permettre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux). Pour certaines études à petite échelle, les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) ; pour les études côtières, ce sont les satellites de télédétection terrestre, équipés de capteurs à haute résolution, qui sont les plus utiles. Des satellites spécialisés à vocation océanographique ont volé dans un passé récent (Nimbus, Seasat) ou volent depuis le début des années 90 (ERS-1 de l'Agence Spatiale Européenne, TOPEX/Poseidon). Les types de capteurs utilisés pour l'océanographie sont très variés. Les radiomètres utilisant le rayonnement visible analysent la couleur de l'océan, qui permet de mesurer la production biologique (plancton) et la turbidité; les radiomètres infrarouges ou microonde mesurent la température de surface de la mer. La répartition des températures ou des turbidités est un indice des courants océaniques. Les radars embarqués sur des avions ou certains satellites ont l'avantage d'être insensibles aux nuages; ils permettent d'observer les phénomènes ondulatoires présents sur l'océan, les vagues en particulier. Enfin, certains types particuliers de capteurs, radars-altimètres ou diffusiomètres sont utilisés pour mesurer avec une très grande précision l'altitude de la surface de la mer qui est un reflet de la dynamique océanique (courants généraux), ou la vitesse du vent sur la mer. Parmi les applications océanographiques de la télédétection, citons enfin l'étude des glaces de mer en régions polaires.

1.6.2.2.application terrestre :

la télédétection sont extrêmement variées. La photographie aérienne, sous toutes ses formes, est encore, sans doute pour peu de temps, le moyen le plus usuel de télédétection ; les photographies aériennes sont de plus en plus utilisées sous forme numérique de façon à permettre leur correction géométrique (orthophotos) et leur intégration dans les Systèmes d'Information Géographique. En télédétection spatiale, ce sont surtout les radiomètres optiques haute ou très haute résolution qui sont utiles pour les applications terrestres. Depuis 1972, les progrès dans ce domaine sont remarquables : on est passé d'une résolution de 80 m (MSS de Landsat), à 30 m (Thematic Mapper) et à 20 et 10 m (HRV de SPOT). En géologie ou pour l'étude de la végétation, les radars imageurs, surtout aéroportés, sont aussi très utilisés. Le champ des utilisations de la télédétection ne cesse de s'élargir : cartographie, géologie et prospection minière, mais aussi surveillance des cultures ou du couvert forestier, urbanisme, aménagement, génie civil, etc... Le traitement de l'imagerie satellitaire numérique est une discipline en constant développement, et la baisse du coût des matériels informatiques a entraîné une augmentation rapide du nombre des utilisateurs.

1.6.3.L'histogramme bidimensionnel :

L'histogramme bidimensionnel est un plan défini par deux axes perpendiculaires. Généralement, ce diagramme est obtenu par l'intersection du canal rouge (675 nm) et le canal proche infra rouge, sur lequel sont placés tous les pixels d'une image satellitale. Pour chaque point du plan repéré par des coordonnées sur les deux canaux. Il est intéressant d'analyser les formes des divers histogrammes bidimensionnels. En effet, il est possible d'identifier ainsi les diverses relations qui existent entre les canaux. Dans un grand nombre de situations, il y a une assez forte corrélation entre les canaux successifs mais ce n'est pas toujours le cas, en particulier entre les bandes du visible, et celle du proche infrarouge (Girard, 1999).

1.6.4.Evaluation des résultats de la classification :

La dernière étape d'une classification d'image consiste à valider ou pas la classification en évaluant sa pertinence (vérification a posteriori). Pour cela on peut consulter le taux de pixels bien classés dans une matrice de confusion et estimer la qualité de la précision de la classification .

1.6.5.La matrice de confusion :

La matrice de confusion se présente sous forme d'un tableau à double entrée. Une des entrées correspond aux pixels affectés aux classes d'après notre connaissance du terrain (en ligne) tandis que l'autre représente les pixels attribués aux classes après la procédure de classification (en colonne). Et en diagonale les nombres de pixels correctement classifiés.

Cette matrice permet de calculer:

La précision totale: nombre de pixels bien classés divisé par le nombre total d'individus.

L'erreur d'excédents : pourcentage de pixel d'une classe issue de la classification qu'il appartient, en fait à d'autres classes dans les données de références.

La précision pour l'utilisateur: pourcentage de pixels d'une classe issue de la classification correspondante à la même classe dans les données de références, elle est égale à "100 %-erreur d'excédents ".

L'erreur de déficits: pourcentage de pixels d'une classe de référence affectés à d'autres classe de classification.

La précision pour le réalisateur : pourcentage de pixels d'une classe de référence affectés à la même classe, par la classification, elle est égale à "100 %-erreur de déficits" (Douaoui, 2005).

1.7.Méthode de calcul de la température de surface LST par Split window :

La méthode «split window" a été développée lors du lancement des satellites météorologiques américains de la série LANDSAT , afin de corriger les données acquises par ces satellites des effets atmosphériques indésirables. La surface océanique peut en effet être considérée comme un corps noir, dont l'intensité spectrale maximale est située aux environs de $10\mu\text{m}$ et dont le rayonnement peut être mesuré depuis l'espace par les radiomètres opérant dans les bandes spectrales de l'infrarouge moyen ($3,7\mu\text{m}$) et de l'infrarouge thermique ($10,5 - 12,5\mu\text{m}$). C'est au niveau de ces fenêtres spectrales que l'atmosphère est la plus transparente au rayonnement émis par la surface terrestre.

Cependant, les phénomènes d'absorption et d'émission par l'ensemble des constituants de l'atmosphère, principalement le dioxyde de carbone, l'ozone, les particules solides en suspension dans l'air et surtout de la vapeur d'eau sont loin d'être négligeables et doivent par conséquent être

soustraits à la mesure satellitaire. La température de surface de la mer est obtenue à partir des températures de brillance ou radiométriques des différents canaux. La différence entre ces températures est utilisée comme une indication des effets atmosphériques et est étalonnée de manière à corriger la température de brillance mesurée par un des canaux.

Son algorithme appliqué dans cet article a été proposé par Jiménez-Muñoz et al. basée sur la structure mathématique proposée par Sobrino et al. (1996). Lorsque la température à la surface du sol peut être estimée ou calculée à l'aide des bandes thermiques LANDSAT 8. Il suffit d'appliquer un ensemble d'équations via un calculateur d'images raster.

Calculer la température de la surface terrestre (LST) en utilisant les bandes Landsat 8. En particulier, la bande 10 comme bande thermique et les bandes 4 et 5 pour calculer l'indice de végétation (NDVI).

1.7.1.NDVI :

L'indice NDVI ou Normalized Difference Vegetative Index permet de déterminer la santé de la végétation en mesurant la teneur en chlorophylle des plantes via des capteurs embarqués sur des satellites ou des drones. Le NDVI est caractérisé par une grandeur physique, la réflectance, qui détermine la capacité des cultures à réfléchir la lumière, cet indice de végétation permet de mesurer le taux de couverture végétale et la vigueur de la culture présente sur une surface de terre connue .

1.7.2.LSE :

Émissivité de la surface du sol (LSE). Émissivité moyenne d'un élément de la surface de la Terre calculée à partir de la radiance mesurée et de la température à la surface du sol (LST), la longueurs d'onde spectrale dans laquelle l'atmosphère est presque transparente, séparée par des longueurs d'onde auxquelles les gaz atmosphériques absorbent le rayonnement. Les trois régions pertinentes sont le «visible / proche infrarouge» (~0,4–2,5 μm), l'infrarouge à ondes moyennes (~3–5 μm) et l'infrarouge à ondes longues (~8–14 μm).

LES représente un matériel idéal absorbant toute l'énergie incidente ou émettant toute l'énergie thermique possible. Une cavité avec une ouverture sténopé se rapproche d'un corps noir.la température de luminosité. La température d'un corps noir qui donnerait l'éclat mesuré pour une surface.

1.7.3.ALBEDO :

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé.il représente une surface qui mesure l'importance avec laquelle une surface recevant de la lumière, réfléchit cette lumière. L'albédo A (calculé en %) est exprimé comme suit : $A = (\text{rayonnement réfléchi} / \text{rayonnement incident}) \times 100$. Un albédo de 100 % va donc réfléchir la totalité de la lumière incidente.

Type de surface	Albédo (0 à 1)
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifères	0,05 à 0,15
Surface de la mers	0,05 à 0,15
Sol sombre	0,05 à 0,15
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Glace	0,30 à 0,40
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraîche	0,75 à 0,90

Tableau 02 : les valeurs de l'albédo de surface

1.7.4.LST:

La température de surface du sol (LST) est un aspect fondamental du climat et de la biologie, affectant les organismes et les écosystèmes de l'échelle locale à l'échelle mondiale. Identifié comme l'un des enregistrements de données du système terrestre les plus importants par la NASA et d'autres organisations internationales, LST mesure l'émission de rayonnement thermique de la surface du sol où l'énergie solaire entrante interagit avec et chauffe le sol, ou la surface de la canopée dans les zones végétalisées. Cette qualité fait du LST un bon indicateur de la répartition de l'énergie à la limite surface terrestre-atmosphère et sensible aux conditions changeantes de la surface (King, 1999). La cartographie de la température de surface de la zone d'étude selon la formule de split window suivante :

$$LST(\text{split window}) = BT10 + C1(BT10 - BT11) + C2(BT10 - BT11)^2 + C0 + (C3 + C4.W)(1 - m) + (C5 + C6.W) \cdot \Delta m$$

Étape 1:

Estimation du sommet de la radiance spectrale atmosphérique des bandes TIRS 10 et 11 et du capteur OLI de la bande 2-5 individuellement en utilisant l'algorithme ci-dessous. Cet algorithme transforme l'image brute en image de rayonnement spectral. En utilisant ERDAS IMAGINE 9.1 Modeller nous implémentons l'algorithme de l'équation-1 pour effectuer la tâche,

$$L\lambda = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max}} \right) * Band + L_{min}$$

1.1

$L\lambda$: Haut de la radiance spectrale atmosphérique en watts

L_{max} – Radiance spectrale maximale de la bande respective

L_{min} – Radiance spectrale minimale de la bande respective

$$DN_{max} = Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min} = \text{Différence d'étalonnage maximum et minimum du capteur}$$

1.2

Étape 2:

Estimation de la température de luminosité (TB) des bandes 10 et 11. La température de luminosité est le rayonnement électromagnétique se déplaçant vers le haut depuis le sommet de l'atmosphère terrestre. Processus d'étalonnage thermique effectué en convertissant les valeurs DN thermiques des bandes thermiques brutes du capteur TIR en rayonnement spectral TOA et après l'utilisation de l'équation de température de luminosité indiquée dans l'équation(2), nous avons obtenu la bande de température de luminosité (TB). En utilisant Landsat 8 Modeler nous implémentons l'algorithme de l'équation-2.

Étape 3:

Estimation de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) à l'aide de la bande optique du capteur OLI après l'empilement des couches de la bande 2,3,4,5 à l'aide de l'algorithme montré dans l'équation-3,

$$NDVI = \frac{BAND5 - BAND4}{BAND5 + BAND4}$$

1.3

Intervalle : $-6 < NDVI < +1$

Étape 4:

Estimation de la couverture végétale fractionnelle (FVC) pour une image en utilisant l'image NDVI obtenue à l'étape 3 en utilisant l'équation-4. La couverture végétale fractionnelle estimer la fraction de la superficie sous végétation. La figure 3 montre l'organigramme pour effectuer la FVC. L'algorithme Split-Window utilise FVC pour estimer l'émissivité de la surface terrestre (LSE). En

utilisant ARC MAP 10, nous reclassons la couche NDVI dans le sol et la végétation et calculons le NDVI pour le sol et la végétation et en utilisant ERDAS IMAGINE 9.1 Modeler, nous implémentons l'algorithme de FVC de l'équation-4.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(SOIL)}{NDVI(VEGETATION) - NDVI(SOIL)}$$

1.4

Étape 5:

Estimation de l'émissivité de la surface terrestre (LSE) à partir de la couche FVC obtenue à partir de l'étape 4 en utilisant l'algorithme de l'équation-5. L'émissivité de la surface terrestre mesure la caractéristique inhérente à la surface terrestre. Il mesure sa capacité à convertir l'énergie thermique ou thermique en énergie radiante. L'estimation LSE requise de l'émissivité du sol et de la végétation des bandes 10 et 11 est donnée dans le tableau 4. Les LSE des bandes 10 et 11 sont calculées individuellement.

$$LSE = \epsilon_s * (1 - FVC) + \epsilon_v * FVC \quad 1.5$$

ϵ_s :Émissivité pour le sol

ϵ_v :Émissivité pour la végétation

FVC :Couverture végétale fractionnée

Étape 6:

Combinaison de LSE de la bande 10 et de la LSE de la bande 11 obtenue à partir de l'étape 5 par la moyenne et la différence entre eux comme montré dans les équations 6 et 7

$$LSE = m = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \quad 1.6$$

$$LSE = \Delta m = \frac{LSE_{10} - LSE_{11}}{2} \quad 1.7$$

Étape

Estimation de la température de la surface terrestre (LST) à l'aide de l'algorithme de l'équation 8

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - m) + (C_5 + C_6W)\Delta m \quad 1.8$$

TB10 et TB11 - Température de luminosité des bandes 10 et 11

C0-C9 - Valeurs des coefficients de la fenêtre fractionnée

m - LSE moyen

Δm - Différence de LSE

W - Teneur en vapeur d'eau atmosphérique

1.8.Conclusion :

L'étude et l'analyse de la température de surface à l'échelle du bassin versant de Brezina s'agit de l'identification et la discrimination des états et des caractéristiques de la zone étudiée par l'utilisation de la télédétection d'une part et d'autre part, de l'évaluation des différents paramètres des couches de surface et des sols dans ce bassin.

Afin de répondre aux objectifs, des traitements et une analyse ont été faites sur l'imagerie satellitaire LANDSAT 8 et ces derniers seront démontrés dans le contenu de ce travail

CHAPITRE 02

2.1.Introduction :

La télédétection est définie comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » Elle permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc...) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...) , Donc, La télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux ; une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible.

La température de surface terrestre (LST) désigne la température de la surface que nous observons si elle est directement en contact ou avec laquelle elle est touchée. Il s'agit également de la température cutanée de la surface. Quand il monte, il provoque une situation de déséquilibre environnemental comme la fonte des glaciers, la végétation, les conditions climatiques des pays de mousson conduisant à des précipitations imprévisibles. C'est la mesure en kelvin. La technologie de télédétection infrarouge thermique est devenue l'un des moyens importants pour étudier les caractéristiques thermiques de la surface terrestre. De nombreux algorithmes sont conçus par de nombreux chercheurs pour calculer la température de la surface terrestre comme l'algorithme Split-Window (SW), l'algorithme à double angle (DA), l'algorithme à canal unique (SC), etc. Dans le cas de Landsat 8 TIRS, nous avons deux bandes thermiques (10 et 11). Nous préférons l'algorithme Split-Window pour estimer la température de la surface terrestre en utilisant des bandes Landsat 8 à résolution modérée (30 m). Lors de l'estimation de la LST, nous avons requis des bandes de capteurs OLI (2-5) pour l'estimation de l'émissivité de la surface terrestre (LSE) à travers la couverture végétale fractionnelle (FVC). L'algorithme Split-Window a combiné les bandes de température de luminosité 10 et 11 avec l'émissivité de la surface terrestre (LSE) pour estimer la LST pour chaque vecteur de pixels du sol.

Dans ce chapitre, Nous allons cartographier les différents paramètres géophysiques et nous allons faire les différentes corrélations entre eux afin d'aboutir à des résultats fiables pour enrichir les informations sur le climat –sol-couvert de région de Brézina et enfin sur toute la zone steppique algérienne.

Ce chapitre se divise en deux partie : la première consiste à présenter la zone d'étude sur le plan géographique ; climatique ; géologique et hydrogéologique

Dans la deuxième partie on expose les données offertes par l'imagerie satellitaire et leurs explorations dans les régions où les données de terrain sont rares. Plusieurs cartes sont élaboré le long de ce chapitre (température de l'air, précipitations, réseau hydrographique, etc.) et la relation de l'une à l'autre par corrélation ou via une carte combinée, ainsi que le calcul de la température de surface et le suivie de l'état hydrique de sol. Nous allons exposer les différentes méthodes pour la cartographie de la température de surface par le biais de l'imagerie satellitaires.

2.2. Matériels et méthodes :

Notre travail s'agit de caractériser, à partir de l'image satellitaire, les états de surface, considérés comme éléments de diagnostic de la dégradation des milieux. La méthodologie suivie dans ce travail est mise au point afin de décrire les états de surface et évaluer leur dégradation. Récapitule les grandes étapes de la démarche générale d'analyse des données de terrain et de l'image satellitaire pour la caractérisation des états de surfaces et de la dégradation par télédétection. et cela sera réaliser pour attendre l'objectif de cartographie de température de surface à l'échèle de notre site ou bien zone d'étude .

Partie I : Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Localisation de la zone d'étude

La région d'El Bayadh est située à environ 450 km vers le sud ouest de la capitale (33° 41' 10 N, 1° 0' 50 E) à une altitude de 1340 mètres, appartenant aux Hautes Plaines sud oranaises qui font partie d'un ensemble géographique connue sous le nom de la steppe algérienne. Il s'agit d'un espace spécifique situé entre deux chaînes montagneuses : l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud (A.N.A.T, 2009 cité in Mammeri, 2009.)

La région d'étude est précisément encadrée au Nord par la dépression du Chott Chergui, à l'est par les monts des Ksours, au Sud par l'Erg occidental et à l'Ouest par Djebel Amour. Elle s'étend sur une surface de 71 693,70 km².

Le site retenu pour cette étude(Bassin versant de brezina) est localisé dans l'espace steppique s'étendant du synclinal d'El Bayadh formant le flanc au nord, à Khang Larouia au flanc Sud, formant une véritable barrière physique à la limite du Sahara . Il représente une unité hydrologique en amont du barrage de Brézina, situé à une dizaine de km au Nord de ''l'oasis de Brézina''.

Il se distingue par une vulnérabilité du bassin versant, marquée par un sol à forte dégradation naturelle et anthropique, un relief accidenté, une mosaïque lithologique variée. A l'amont du barrage une activité agropastorale intense, offre au site une occupation du sol très maigre, souvent le prélude d'une désertification annoncée.

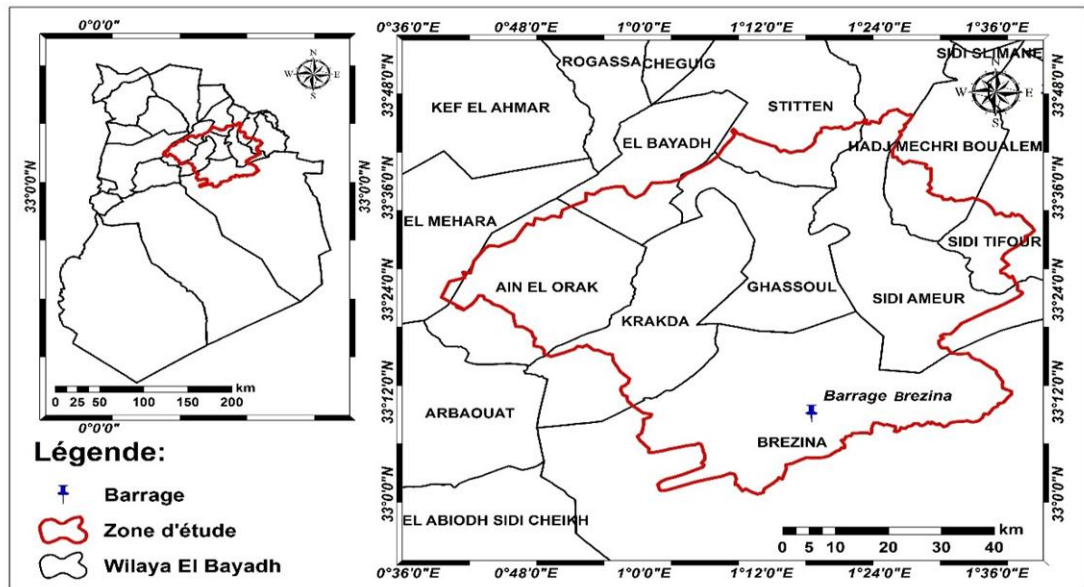


Figure 04: localisation géographique de la zone d'étude

2.3.2. Le climat :

L'une des majeures causes de la dégradation et de la détérioration de l'état de la steppe dans la région d'El-Bayadh, c'est bien la sécheresse. Ce phénomène est dû aux variations de deux principaux facteurs climatiques, d'une part aux températures élevées et d'autre part à une faible pluviométrie. Le régime saisonnier des précipitations classe le climat dans le type méditerranéen accentué par les précipitations d'automne et d'hiver.

Les pluies tombent le plus souvent sous forme d'averses orageuses et torrentielles, quelquefois mêlées à la grêle La tranche

pluviométrique annuelle dans les zones steppiques est comprise entre l'isohyètes 100 et 400 mm .

Les bioclimats caractérisant la steppe algérienne varient du semi-aride inférieur frais au Nord à l'aride inférieur tempéré au Sud .

2.3.2.1 Les températures :

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, où elles atteignent un maximum de 38 °C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe qui se trouve parfois à un mètre de profondeur. Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 12 °C et une minimale moyenne de 5 °C (Tab. 4).

Paramètre	Moyennes des températures minimales (°C)	Moyennes des températures maximales (°C)	Températures moyennes (°C)	Moyennes des précipitations (mm)
mois				
Janvier	5	18	12	33
février	7	21	14	34
mars	9	24	17	26
avril	12	28	20	23
mai	17	32	25	17
Juin	20	38	29	3
juillet	21	38	30	1
aout	18	33	26	2
septembre	14	28	21	15
Octobre	11	22	16	20
novembre	6	18	12	36
décembre	5	18	12	29

Tableau 03 : Données des moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station météorologique d’el bayadh (2000-2019)-source(station métrologique d’el bayadh)

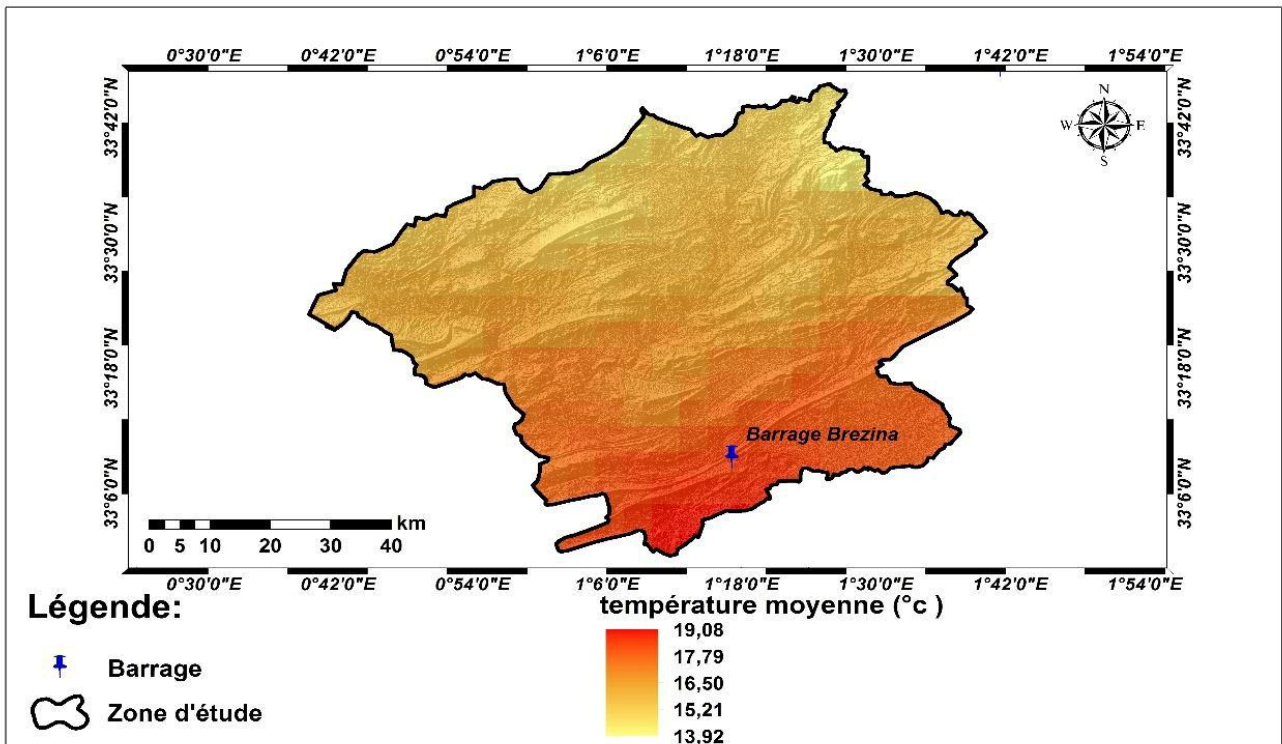


Figure 05 : carte satellitaire de la température moyenne annuelle dans le bassin versant de brezina 2000-2019

2.3.2.2 Les précipitations

Les précipitations caractérisent la balance climatique d'une région, par leur intensité, leur fréquence et leur irrégularité, les pluies ont une influence énorme sur le model de la région .

Selon l'étude faite par Iliche, (2007) sur plus de 90 ans, une nette différence est constatée entre les deux moitiés du siècle précédant dont les moyennes mobiles sont, durant les trois dernières décennies, systématiquement en dessous de la médiane et de la moyenne. Concernant les années sèches et humides, La période (1943 - 1946) particulièrement sèche reste dans la mémoire collective comme celle de misère et de famine, dans la seconde moitié du siècle, il apparaît de la fin des années 1970 à la fin des années 1990, une tendance à l'assèchement nette et durable. Depuis 1997, l'augmentation de la pluviosité est perceptible, mais elle n'arrive pas encore au niveau des excédents du début du siècle et surtout l'intermède humide est d'assez courte durée.

2.3.2.2.1 Les précipitations mensuelles

La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse s'étalant de 1987 à 1990 et de 1992 à 1995. Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie est de 238 mm. Généralement, la pluie tombe sous forme d'averse de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine. L'analyse pluviométrique sur la région de Brezina calculée sur une période s'étalant de 2000 à 2019, montre que le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux (36 mm). Avec un été sec et une période estivale s'étale entre juin et août est

la moins pluvieuse dans l'année, survenue généralement sous forme d'averses de fortes intensités. La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet avec une pluviométrie égale à 1 mm.

2.3.2.2.2 Les précipitation annuelle :

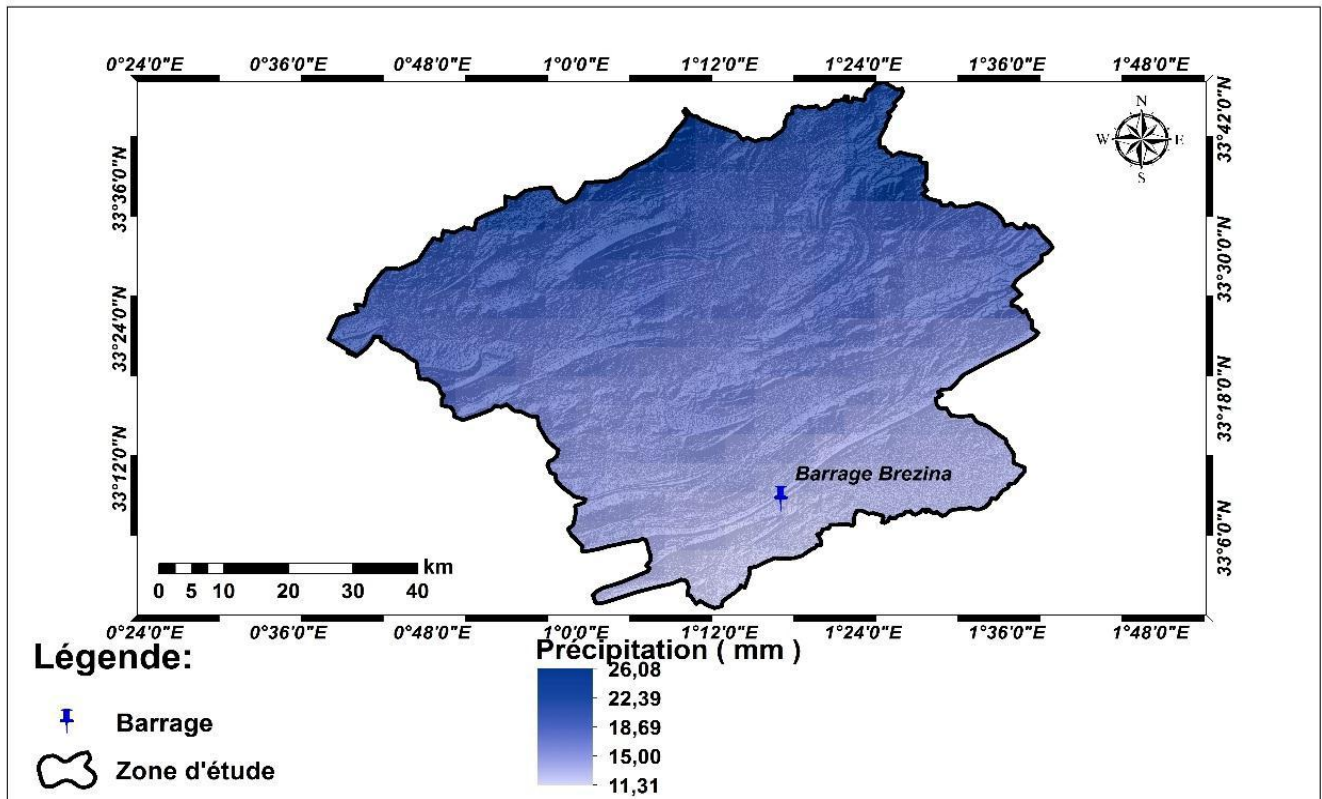


Figure 06 : Carte satellitaire de la pluviométrie dans le bassin versant de Brezina –source LANDSAT 8

La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse, la plus marquée est celle qui s'étale de 2000 à 2019 . Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie restent inférieures à 255 mm. Généralement, la pluie tombe sous forme d'averse de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine.

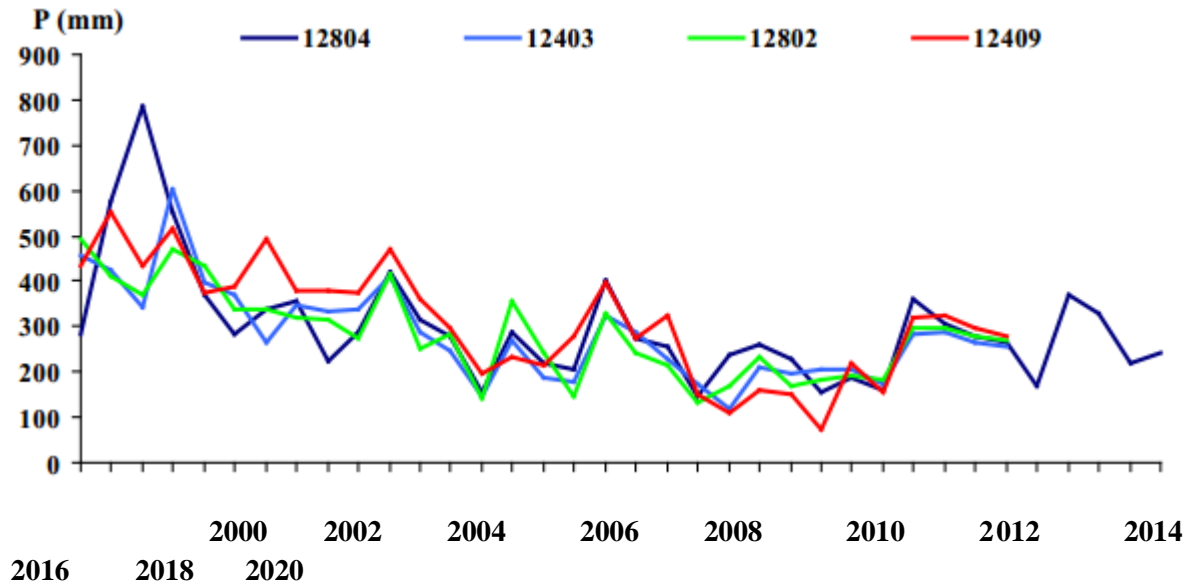


Figure 07 : Moyennes annuelles des précipitations de la zone d'étude

2.3.2.3 Diagramme ombrothermique :

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. Dans la synthèse climatique, parmi les formules les plus utilisées qui combinent entre les précipitations et les températures. Nous retiendrons le diagramme ombrothermique qui exprime la durée de la période sèche de l'année, et l'indice pluviothermique qui demeure l'indice le plus efficace dans la description du climat méditerranéen. la saison sèche comme étant : « l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$). ». Le diagramme ombrothermique de la station climatique locale entre 2000 et 2009 (Fig.05) montre que le climat est de type méditerranéen avec une période de sécheresse très longue, qui s'étale sur plus de 8 mois, allant du début du mois de Mars jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

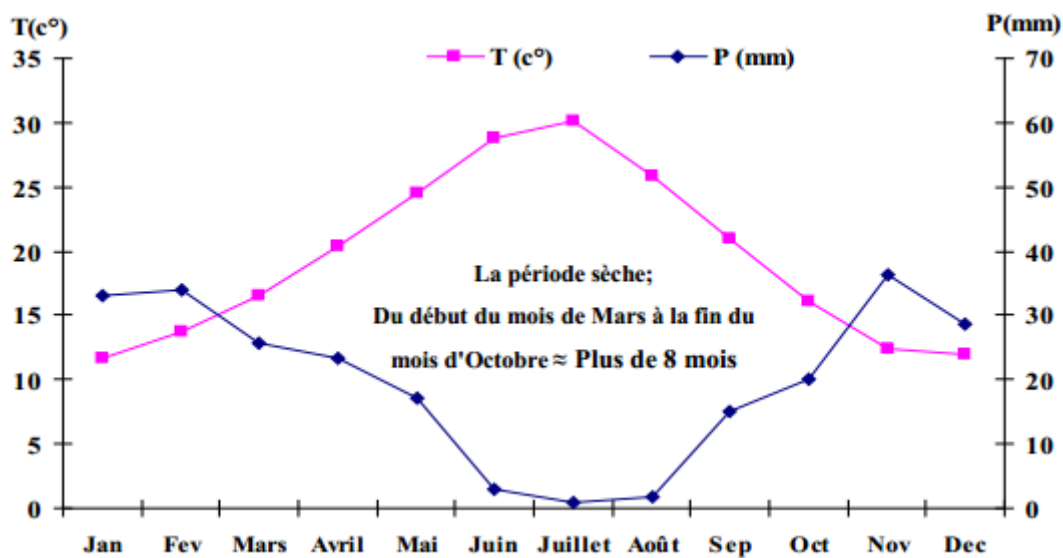


Figure 08: Le diagramme ombrothermique de Brezina (2000-2009)

L'indice pluviométrique appelé (Q2) est ainsi formulé :

$$Q2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

2.1

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud exprimée en degrés Kelvin.

m : Température moyenne mensuelle du mois le plus froid exprimée en degrés Kelvin.

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne

. La valeur du quotient pluviométrique varie en fonction inverse du caractère xérique du milieu. Plus la sécheresse annuelle globale est grande, moins la valeur du quotient est élevée. En reportant la valeur de QR2 et de m (5 °C) sur le climato gramme , notre station d'étude se situé dans l'étage bioclimatique aride supérieur, variante à hiver tempéré.

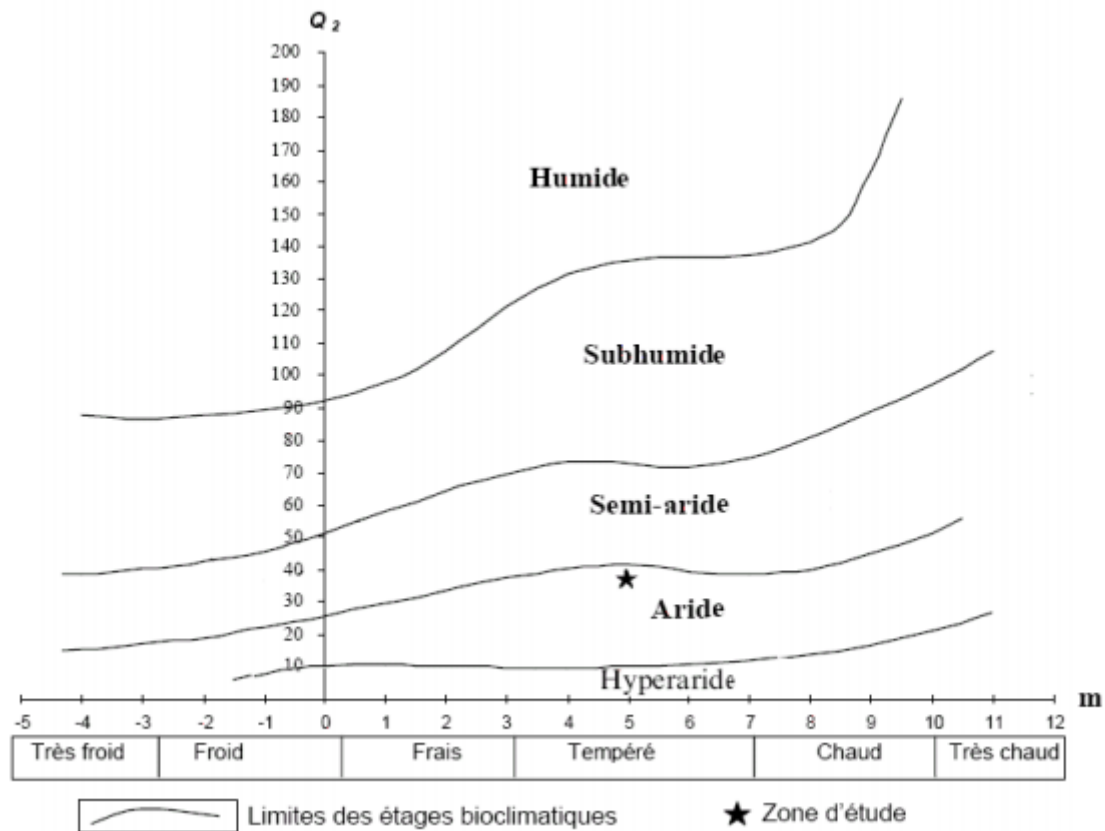


Figure 09: position de la station locale sur le climato gramme

2.3.2.4 L'indice d'aridité annuelle (Ia) :

Après avoir analysé les différents éléments du climat, on peut donner une classification de la région de Brezina, par l'indice d'aridité annuelle (Ia) qui est donnée par la formule :

$$Ia = \frac{P}{T+10}$$

2.2

Dans laquelle, P représente la pluviométrie annuelle en (mm) et T la température moyenne annuelle en (C°). L'indice baisse lorsque l'aridité croît. La valeur de l'indice Ia classe la région de Brezina dans l'étage bioclimatique aride (Le houérou, 2004)

2.3.2.5 L'évapotranspiration (ETP) :

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique : l'évaporation, l'autre biologique : la transpiration. L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman est de 1500 mm/an (Douaoui, 2005).

2.3.2.6 L'humidité :

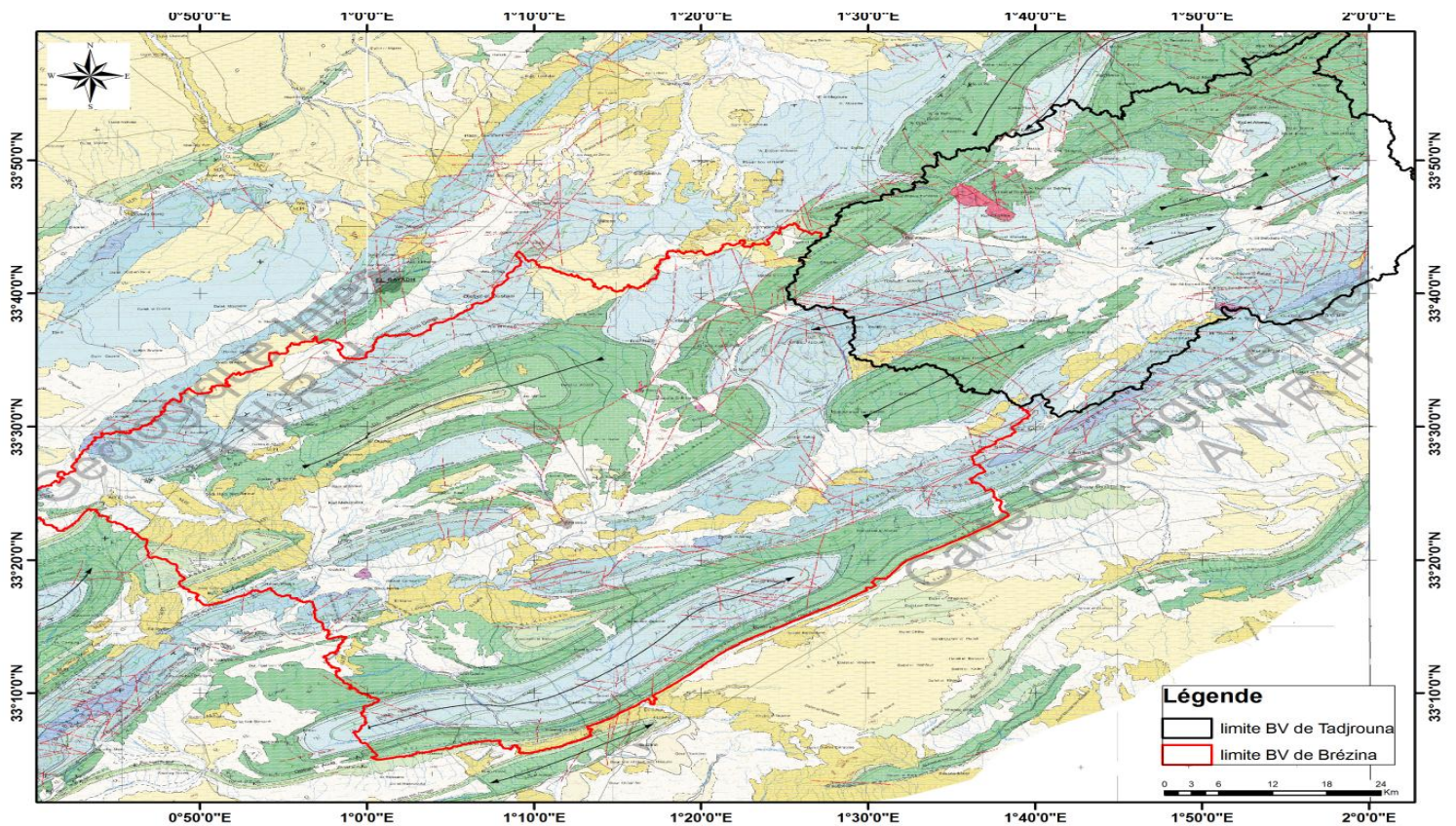
L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois, elle est de l'ordre de 65 à 75 % en hiver et près de 35 % en été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Le mois le plus humide est le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet.

2.3.2.7 Le vent :

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (Ozenda, 1982). D'après les observations effectuées à la station locale de la zone d'étude, il ressort que le vent dominant est le vent d'Ouest. Sa vitesse moyenne varie de 13 à 33 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température. Il constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions à couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche où beaucoup de sols acquièrent une structure micro-polyédrique (pseudo-sables) à la surface voire poudreuse dans d'autres cas (Douaoui, 2005).

2.3.2.8 Géologie :

Le substratum de la majeure partie du site est constitué de couches clastiques sénoniennes et du Mésozoïque inférieur. Ces couches sont composées de grès et de siltstones. Le long du secteur aval du fond du barrage Brézina, une couche de gypse y est intercalée. Au sud de ces couches clastiques sénoniennes, suit de manière concordante une bande de couches calcaires du cénomaniens et du Turonien. Ces couches, très abruptes, où est encaissé le barrage. Sur le côté aval du barrage se sont déposées les couches clastiques discordantes de l'Eocène.



Légende des formations litho-stratigraphiques

	A Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles - sables, graviers, limons et argiles
	Q _a Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piémont (sables, graviers et argiles) et mollasses
	Q _a Quaternaire (Holocène): Formations dunaires consolidées, quelques lumachelles, poudingues et grès
	Q _c Quaternaire: Croûte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée
	M.PI Mio-Pliocène: Argiles et conglomérats, calcaires lacustres
	K ₂ ² Crétacé supérieur (Turonien): Calcaires et marnes
	K ₂ ¹ Crétacé supérieur (Cénomanién): Calcaires jaunes, marnes et gypse et dolomies
	K ₁ ⁶ Crétacé inférieur (Albien): Grès, calcaires ocre et argiles
	K ₁ ⁵ Crétacé inférieur (Aptien): Calcaires et grès
	K ₁ ^{3,4} Crétacé inférieur (Hautérvien-Barrémien): Grès, dolomies et argiles gréseuses
	K ₁ ¹⁻³ Crétacé inférieur (Berriasien-Hautérvien): Calcaires dolomitisés et marnes
	J ₃ ²⁻³ Jurassique supérieur (Kimmérigien-Tithonien): Calcaires et marnes gypseuses
	³ J ₃ ² Jurassique supérieur (Kimmérigien): Ensemble mammo-calcaires à la base et calcaréo-gréseux au sommet
	² J ₃ ² Jurassique supérieur (Kimmérigien): Supérieur complexe grés-argileux
	¹ J ₃ ² Jurassique supérieur (Kimmérigien): Calcaires à polypiers
	J ₃ ¹ Jurassique supérieur (Oxfordien): Inférieur complexe grés-argileux
	J ₂ Jurassique moyen (Dogger): Argiles silteuses avec des intercalations de grès
	J ₁ ^{3,4} Jurassique inférieur (Pliensbachien et Toarcien): Calcaires, calcaires marneux et marnes
	òvT Trias: Diorites, ophites, gabbros
	T Trias: Gypses, argiles et dolomies noires

Figure 10 : Extrait du cadre géologique de la zone d'étude (bassin versant de Brezina)

2.3.2.9 Hydrographie :

Le bassin versant de Brézina s'étend sur une superficie de 3 677 km², laquelle est drainée par les oueds Ghasoul et oued Rahoul affluent, sur lequel a été conçu le barrage et ses ouvrages annexes. L'Oued principal prend sa source plus au Nord, au niveau d'El Bayadh, et parcourt 160 Km avant de déboucher au niveau du site du barrage, au lieu dit « Khang Larouia ». A partir de ces gorges, situées sur la barre de calcaire fissuré, le cours d'eau quitte les Monts de l'Atlas, en direction sud qui se perd dans le désert. Dans son passage sur l'oued qui alimente la nappe phréatique de l'oasis de Brézina et poursuit son cheminement vers la dépression, où l'épandage naturel des eaux et des limons fertiles, donne à cette localité une importance économique au monde rural de la région. A ce niveau, un Périmètre irrigué est en cours d'achèvement sur une superficie de 1000 ha, équipé d'un réseau d'arrosage par aspersion. La carte relative au réseau hydrographique témoigne d'un chevelu bien hiérarchisé. La superposition des différentes couches telles que : le modèle numérique de terrain la carte des sous bassins et la carte des pentes permettent l'élaboration de la carte de réseau hydrographique de Brézina.

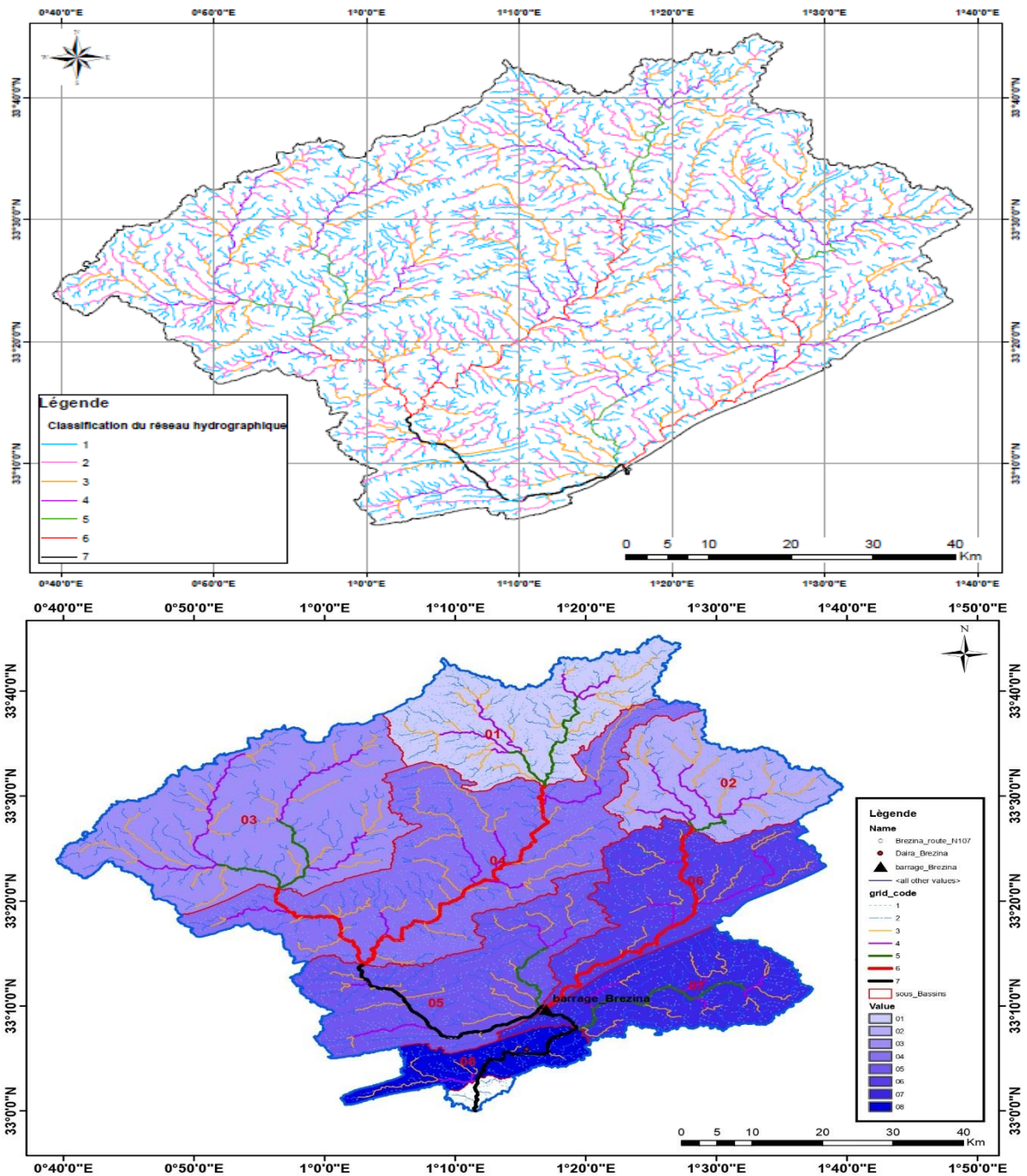


Figure 11 : Réseau hydrographique de Brezina

2.3.2.10. Pédologie

Boulaine (1957) distingue deux grandes divisions des sols

2.3.2.10.1 Les sols des bordures des plaines

Ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes avec parfois la présence d'une croûte calcaire.

2.3.2.10.2. Les sols de la plaine proprement dite

Cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques . Dans la classe des sols salés, Boulaine (1957) distingue les Solontchaks inertes avec accumulation des sels en surface ou en profondeur, les Solontchaks vifs (horizon de surface à structure micropolyédrique en pseudo-sables durant l'été) pouvant être parfois hydromorphes, les Solontchaks vifs défloculés (dispersés en surface), les Hyposolontchaks et les Eosolonetz des lunettes érodées.

La carte des sols établie par McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) selon la CPCS (1967) montre l'existence des mêmes types de sols dans la plaine. On retrouve :

2.3.2.10.2.1. Les sols peu évolués

Les sols peu évolués d'apport alluvial : Ce sont des sols dont les caractéristiques physico-chimiques sont très variées au vu des conditions différentes de leurs dépôts et de leurs migrations. Leur granulométrie peut être argileuse, limoneuse ou sableuse. On les rencontre le plus souvent sur les terrasses des lits de l'oued. Ils sont généralement profonds.

Ils peuvent présenter une nappe temporaire qui est à l'origine des taches d'oxydo-réduction qu'on retrouve dans certains profils.

Les sols peu évolués d'apport colluvial : ces sols se localisent sur les bordures de la plaine à la rupture de pentes entre les piémonts et les glacis. On les retrouve aussi au niveau des cônes de déjection des oueds. Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée.

2.3.2.10.2.2. Les vertisols :

Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (smectites). Ils se définissent comme des sols à mauvais drainage. On les retrouve sur les alluvions des terrasses Rharbiennes. Ils présentent souvent le caractère salin avec une hydromorphie en profondeur.

2.3.2.10.2.3. Les sols calcimagnésiques :

Ces sols sont présents le long des limites nord et sud de l'aire d'étude. Ils sont carbonatés, plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires nodulaires ou continues sous forme d'encroûtement et de croûte. Ils montrent parfois des caractères vertiques.

2.3.2.10.2.4. Les sols isohumiques :

C'est la classe la moins fréquente à Brezina . Ils sont de couleur marron et peuvent présenter parfois le caractère vertique ou des accumulations discontinues de calcaire. On les retrouve sur les colluvions de la partie sud du barrage .

2.3.2.10.2.5. Les sols hydromorphes :

Ce sont des sols profonds avec un drainage imparfait dû à la position basse qu'ils occupent formant généralement des dépressions fermées telles que les sols de la Gaa. On les rencontre un peu partout dans le site de Brezina .

2.3.2.11 phénomène secondaire :

2.3.3.11.1. Les gelées :

La gelée est fréquente généralement durant la période hivernale. Elle est due à l'abaissement de la

température au dessous de 0 °C. Le nombre de jours de gelée par an est 10 jours dans la région d'El-Bayadh en 2008 .

2.3.2.11.2.L'enneigement et la gelée blanche:

Les gelées blanches constituent l'une des plus importantes caractéristiques du climat des zones arides. C'est un phénomène très marquant et très visuel à l'œil nu. Elles constituent également un facteur limitant pour le développement de la végétation. Elle durent en moyenne plus de 100 jours par an et s'étendent de novembre à février. Elles contribuent également à l'abaissement des températures nocturnes qui peuvent atteindre un seuil minimal de moins de dix degrés ,La neige ait lieu en moyenne 13 jours durant l'année. Elle constitue un apport en eau appréciable surtout pour la végétation au début du printemps.

2.3.3. Relief et géomorphologie :

La plaine de Brezina est un synclinal comblé du saharbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquence, les alluvions de la plaine de brezina proviennent directement de l'érosion de ces collines (McDonald et BNEDER, 1990). Au sud , consistent en de schistes et de marnes salés, ce qui explique la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage. Le relief de ce dernier est très diversifié regroupant trois grands paysages différents allant du Nord vers le Sud, ceux des Hautes plaines, de l'Atlas saharien et de la zone présaharienne.

Les Hautes plaines occupent la partie septentrionale de la région, entre le Chott Chergui et le piémont Nord de l'Atlas saharien Elles s'étendent sur une superficie de 1.577.327 ha soit 22 % de la superficie totale de la région. Leurs altitudes vont de 900 à 1100 m. L'Atlas saharien traverse la région d'El-Bayadh dans son milieu et occupe 1.290.540 ha soit 18 % de la superficie totale. L'altitude varie entre 1200 et 2000 m, avec un sommet au Mont de Ksel à 2008 m Quant à la zone présaharienne, elle s'étale du piémont méridional de l'Atlas saharien jusqu'à l'Erg occidental Sa superficie est de 4 301 802 ha soit 60% de la superficie totale. L'altitude est la plus faible et varie entre 800 et 900 m (Crepeau, 2007),

-La géomorphologie est caractérisée par la présence de 2 à 4 glacis d'érosion bien développés et emboîtés, occupant les synclinaux

-L'endoréisme est relativement fréquent. La zone steppique correspond également à l'existence de superficies appréciables soumises à l'érosion et à la sédimentation éolienne qui coexistent avec les phénomènes d'érosion et de sodimentation hydrique.

-La morphologie éolienne n'y prend cependant pas l'ampleur ni la généralisation qu'elle développe dans la zone hyper-aride (Le houerou, 1995).

2.3.4. Ecologie et occupation du sol :

Les sols de la région sont le plus souvent peu profonds. Ils contiennent de faibles teneurs en matières organiques. Ils sont peu évolués, désignés par sols steppiques isohumiques et sierozem. Ces caractères sont l'expression d'une grande vulnérabilité vis-à-vis des changements naturels ou induits par l'homme ce qui explique les difficultés à réparer les dommages causés dans ces milieux .

D'une manière générale les principaux types de sols rencontrés au niveau des espaces steppiques sont les sols évolués, calcimagnésiques et les sols peu évolués. Les sols peu évolués regroupent :

- Les sols d'origine colluviale ou alluviale colluviale, localisés sur les piedmonts des djebels et les glacis de couverture colluviale. Ces sols portent une végétation steppique à base d'alfa.

-Les sols d'origine alluviale situés dans les lits d'oueds, les zones d'épandage et les dayas. Une partie de ces sols est cultivée en céréales, l'autre partie présente un faciès post-cultural.

- Les sols d'origine éolienne récente, se localisent au niveau des formations éoliennes fixées par la végétation cela veut dire , champ de sable, placage de sable, dunes. Ces sols sont colonisés par des psammophytes telles que Tamarix africana et Aristida pungens. De leur part les sols évolués, calcimagnésiques regroupent

- les rendzines : ce sont des sols bruns calcaires à accumulation calcaire. Ils représentent le type le plus répandu dans l'écosystème steppique Ils couvrent les glacis polygéniques du quaternaire ancien et moyen. Ils portent une végétation steppique très variée .

-Les sols calcimorphes à enroûtement gypseux, ils occupent des zones où les grès alternent avec les marnes et les argiles versicolores. La surface du sol présente un réseau polygonal blanc grisâtre. La végétation est composée de gypsophytes .

- Les sols halomorphes sont localisés dans les grandes dépressions (chotts), dans les sebkhas et certains mekmènes. Ils sont colonisés par une végétation halophile.

En conclusion on peut dire que les sols steppiques sont d'une qualité médiocre. Néanmoins il existe certains de bonne qualité dans certaines zones qui favorisent l'installation de sols épais propices aux cultures notamment au niveau des dépressions ou lits d'oueds appelés communément fayeds, les zones de dayas ainsi que les piémonts de montagnes.

2.3.5. Phytogéographie

L'étude phytogéographique constitue une base essentielle à toute tentative de conservation (Quezel, 1991 in Dahmani, 1997). Elle permet de connaître l'histoire d'une région donnée et constitue un véritable modèle pour interpréter les phénomènes de régression (Olivier et al, 1995 in Dahmani, 1997). La subdivision en domaines et secteurs floristiques est le reflet de l'étroite dépendance climat-végétation, d'après le découpage phytogéographique de Barry et al (1974), La région de brezina appartient à l'empire holarctique, à la région méditerranéenne, sous région euméditerranéenne, domaine maghrébin méditerranéen, secteur oranais et au sous-secteur des plaines littorales O2 .

2.3.6. La topographie :

La topographie a Brezina est relativement plate avec des pentes qui sont quasi nulles d'où le mauvais drainage au niveau de cette région. Cette zone est comprise entre deux massifs montagneux.

Prenant son origine au niveau de la rupture de pente entre le moyen à proximité de ghassoul, la plaine commence à s'étendre de part et d'autre du lit d'el bayadh en faisant jonction avec le côté est et oued sidi amar sur la rive gauche et avec les nombreux Oueds venant du Dahra, sur sa rive droite jusqu'à atteindre les apports de Oued Mina. Sur la partie gauche , s'étend la plaine jusqu'à ce quelle atteint le bourrelet formé autour du Sebkat ou la pente du terrain augmente progressivement.

Au milieu du bassin versant , la pente du terrain est modérée et augment progressivement jusqu'aux villes situées aux piémonts de brezina , de même pour la rive droite.

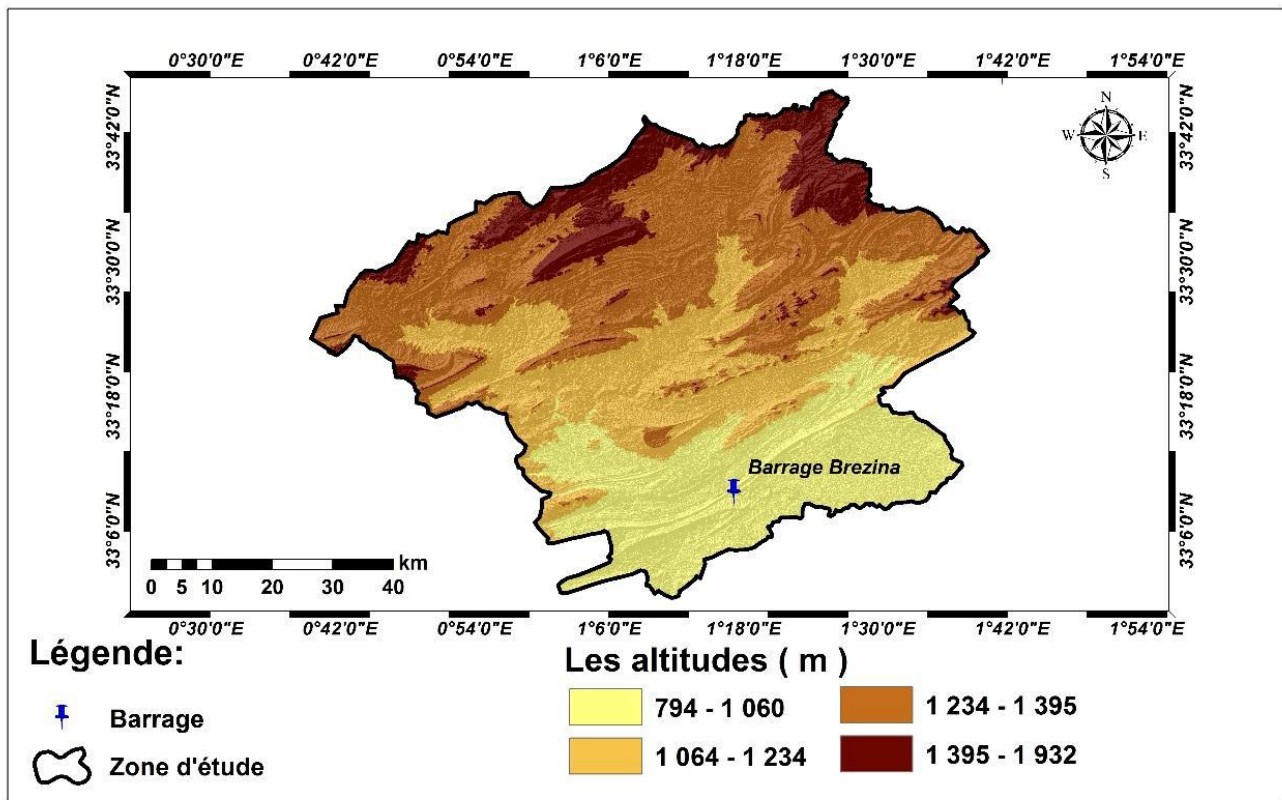


Figure 12 : carte satellitaire des altitudes dans la zone d'étude

2.3.7. Ressources en eaux

Les ressources en eau mobilisé au niveau de la région d'El Bayadh sont estimées à 349.63 Hm³/an (eaux de surfaces et eaux souterraines) destinées aux secteurs d'alimentation en eau potable, hydraulique agricole d'une part et 114200 hectares la superficie des périmètres irrigués proposée d'autre part. ces données mettent la wilaya d'El Bayadh en position d'être une région à vocation agricole, dans toutes ses zones : nord (Kheiter, sidi Amar, Boualem) et sud (zone présaharienne et saharienne (Brezina, EL Abiodh sidi cheikh et Bnoud, Boussemgoun , Chelala ET Mehara, Arbaouet) et pastorale dans les autres régions...

Notre plaine comporte des potentialités importantes en eau malheureusement l'absence d'une politique d'aménagement et de gestion rationnelle fait que la plaine n'en profite pas .

2.3.7.1. Les ressources en eaux superficielles

Les deux principales ressources en eau sont constituées par deux retenues :

- Le barrage de Brezina : d'une capacité de 120 millions de m³, il est l'un des plus importants barrages d'Algérie ;
- La retenue de chott chergui , un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de 8 millions de m³, située au nord d'el bayadh, qui est remplie pendant l'hiver essentiellement par dérivation des eaux des des oueds.

En plus de ces deux ressources, brezina pourrait aussi être alimenté à partir des autres ressources en eau superficielles du bassin, telles que les eaux non régulées excédentaires.

La qualité de l'eau des cours d'eau du bassin de Brezina est aussi variable, mais elle est en général plutôt médiocre.

2.3.7.2. Les ressources en eaux souterraines

Les principaux aquifères de brezina sont :

- le Miocène calcaire : il affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m.

- Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine.

Le Quaternaire-Pliocène continental : il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m.

Données utilisées:

Pour la réalisation de ce travail nous avons eu recours à trois catégories de données (les images satellites, données géographiques et météorologiques et base de données). Ainsi, nous avons essayé de croiser ces données, pour y chercher des relations.

2.4. Données météorologiques:

Nous prenons les données de précipitations de la basse terra climat où elles contiennent données sur le climat mensuel et le bilan hydrique climatique pour les surfaces terrestres mondiales. Il utilise une interpolation climatiquement assistée, combinant des normales climatologiques à haute résolution spatiale de l'ensemble de données WorldClim, avec une résolution spatiale plus grossière, mais des données variant dans le temps de CRU Ts4.0 et de la ré-analyse japonaise de 55 ans (JRA55). Conceptuellement, la procédure applique des anomalies interpolées variant dans le temps de CRU Ts4.0 / JRA55 à la climatologie à haute résolution spatiale de WorldClim pour créer un ensemble de données à haute résolution spatiale qui couvre un enregistrement temporel plus large.

2.5. Données satellitaires:

L'imagerie satellite, joue, actuellement, un rôle important dans le suivi des phénomènes climatiques. Les données issues de la télédétection spatiale, dont la collecte se fait à téléchargement libre comme les produits issus des deux capteurs utilisés dans ce travail. Et dans notre travail, nous utilisons landsat 8 et landsat 7.

2.6. Le satellite LANDSAT:

Afin d'analyser la relation entre le NDVI et la précipitation sur une zone d'étude, la télédétection semble être un outil adéquat. De ce fait, ce travail est basé sur des images journalières issues du capteur du satellite LANDSAT. Ces images ont une résolution et elles couvrent la période de 2000 à 2018. Les images ont été choisies dans En deux périodes, qui est l'année du début et de la fin de l'étude, pour voir la différence

Le satellite LANDSAT 7 évolue à 705 km d'altitude a été lancé en 1999. Il est équipé d'un capteur multi-spectral (ETM+). Il comporte en plus une bande panchromatique à haute résolution (15 m de résolution et une bande thermique de résolution 60 m) avec une durée de cycle 16 jours au-dessus

du même point. Toutefois, les données issues de LANDSAT sont exploitées essentiellement pour valider les cartes d'occupation du sol et les cartes de l'humidité du sol.

Visible			Proche et Moyen infra rouge			Infra rouge thermique		
Bande	Domaine spectral (μm)	Résolution spatiale (m)	Bande	Domaine spectral (μm)	Résolution spatiale (m)	Bande	Domaine spectral (μm)	Résolution spatiale (m)
1	0,45 - 0,52	30 m	4	0,76- 0,90	30 m	6	10,4-12,5	60 m
2	0,52- 0,60	30 m	5	1,55 -1,75	30 m			
3	0,63- 0,69	30 m	7	2,08- 2,35	30 m			

Tableau 04 : les bandes utilisées

2.7.Methodes de cartographie des différents paramètres a partir des données satellitaires :

Dans cette partie on va exposer les différentes méthodes de cartographie des grandeurs à partir des images satellitaires en utilisant plusieurs logiciels (ENVI. ARCGIS).

2.7.1.Cartographie des propriétés radiatives :

La température de surface (T_s) est un paramètre important qui combine les résultats des interactions surface-atmosphère et les flux d'énergie entre l'atmosphère et le sol. Elle est donc dépendante du bilan thermique de surface. C'est une mesure essentielle pour la compréhension des systèmes biologiques, hydrologiques, climatologiques, écologiques et biogéochimiques lesquels fonctionnent en interaction et rétroaction. La température de surface est donc impliquée dans toutes les équations qui décrivent les différents échanges de chaleur influencés par les propriétés thermiques du sol (libération de la chaleur latente et de la chaleur sensible) et les échanges d'humidité entre l'atmosphère et le sol . Le paramètre de la température de surface est introduit dans de nombreuses études pour évaluer le bilan énergétique ou l'évapotranspiration. Par exemple, les différences entre et la température de l'air (T_a) cumulées dans le temps sont significatives des stress hydriques subis par les cultures et permettent de distinguer les variations climatiques régionales .

Pour corriger des effets atmosphériques la température de brillance obtenue à partir des capteurs satellitaires, on peut soit évaluer les différentes composantes à partir de codes de transfert radiatif dans l'atmosphère, soit utiliser les méthodes semi-empiriques basées sur l'absorption entre différents canaux, ce qu'on appelle "Split Window". Pour calculer le LST, utilisez les formules USGS, cet exemple effectue simplement les calculs sans entrer dans les détails sur les fondamentaux.

Les algorithmes SW sont également appelés méthodes multicanaux et utilisent les différentes absorptions de deux canaux TIR, linéarisant ou non linéarisant RTE en fonction de la température ou de la longueur d'onde (Jin et al.2015). Selon Jiménez-Muñoz et al. (2014) l'algorithme SW appliqué dans cette étude est calculé par:

$$LST = T_{i_{sen}} + 1.378(T_{i_{sen}} - T_{j_{sen}}) + 0.183(T_{i_{sen}} - T_{j_{sen}})^2 - 0.286 + (54.3 - 2.238\omega)(1 - \epsilon) + (-129.2 + 16.4\omega)\Delta\epsilon \quad 2.3$$

2.7.2. Calcul de la radiance spectrale TOA (Top of Atmosphérique):

$$L_\lambda = M_l \times Q_{cal} + A_l \quad 2.4$$

Avec:

ML = facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir des métadonnées (RADIANCE_MULT_BAND_x, où x est le numéro de bande).

Qcal = correspond à la bande 10

AL = Facteur de redimensionnement additif spécifique à la bande à partir des métadonnées (RADIANCE_ADD_BAND_x, où x est le numéro de bande).

2.7.3. Conversion de la température At-Satellite à la température de surface terrestre:

Nous sommes maintenant prêts à convertir la température de luminosité à la température de la surface du sol, en utilisant l'équation suivante:

$$T = \frac{TB}{[1+(\lambda \times \frac{TB}{C_2}) \times \ln(e)]} \quad 2.5$$

Avec:

λ = Longueur d'onde du rayonnement émis.

$$C_2 = \frac{h \cdot c}{k} = 1.4388 \cdot 10^{-2} m \quad k=14388 \mu m \cdot k \quad 2.6$$

h=constant de Planck =6.626*10⁻³⁴J.s

s= constant de Boltzmann = 1.38*10⁻²³J/k

c= vitesse de la lumière= 2.998*10⁸m/s

Les valeurs des longueurs d'onde centrale pour les bandes LANDSAT sont répertoriées dans le tableau suivant:

satellite	Bande	$\lambda(\mu m)$
Landsat 4.5.7	6	11.45
Landsat 8	10	10.8
Landsat	11	12

Tableau 05: longueur d'onde centrale des bandes LANDSAT .

Il faut noter que le calcul du NDVI est important car, par la suite, il faut calculer la proportion de végétation (P_v), qui est fortement liée au NDVI, et l'émissivité (ϵ), qui est liée au P_v .

2.7.4. Calcul de l'émissivité ϵ :

Une autre procédure opérationnelle (facile à appliquer) consiste à obtenir l'image LSE à partir du NDVI. Parmi les différentes approches données dans la littérature (Sobrino & Raissouni, 2000 ; Valor & Caselles, 1996 ; Van de Griend & Owe, 1993), une modification de la dernière a été utilisée, le choix d'une valeur type pour le sol est une question plus critique, en raison de la variation des valeurs d'émissivité plus élevée pour les sols par rapport à ceux de la végétation. Une solution possible est d'utiliser la valeur moyenne des émissivités des sols inclus dans la bibliothèque spectrale et filtré selon la fonction de filtre de la bande TM6. De cette manière, en considérant un total de 49 spectres de sols, une valeur moyenne de 0,973 (avec un écart type de 0,004) est obtenue. En utilisant ces données (émissivités TM6 du sol et de la végétation de 0,97 et 0,99, respectivement), l'expression finale de LSE est donnée par:

$$\epsilon = 0.004 \times p_v + 0.968$$

2.7

P_v est la proportion de végétation obtenue selon (Carlson & Ripley, 1997):

$$p_v = \frac{(NDVI - NDVI_{min})^2}{(NDVI_{MAX} - NDVI_{min})^2}$$

2.8.Méthode Split Window :

La méthode split window est simplifiée dans les schémas suivants (Gopinadh.R; 2018). Cette méthode est divisée en trois parties ou étapes: Calcul de l'albédo, le Calcul du NDVI basé sur les données de la bande proche infrarouge et de la bande rouge; Calcul de la température de luminosité BT- basé sur les bandes thermiques et les données météorologiques. Enfin, appliquer l'équation split window pour déterminer la température de surface à l'échelle du bassin versant pour chaque année. Calculez simplement la moyenne pour trouver la température de surface régionale moyenne. L'organigramme de l'algorithme à exécuter lors de l'estimation LST à l'aide des bandes TIRS 10 et 11 et du capteur OLI bande 2-5 est représenté sur la figure suivante :

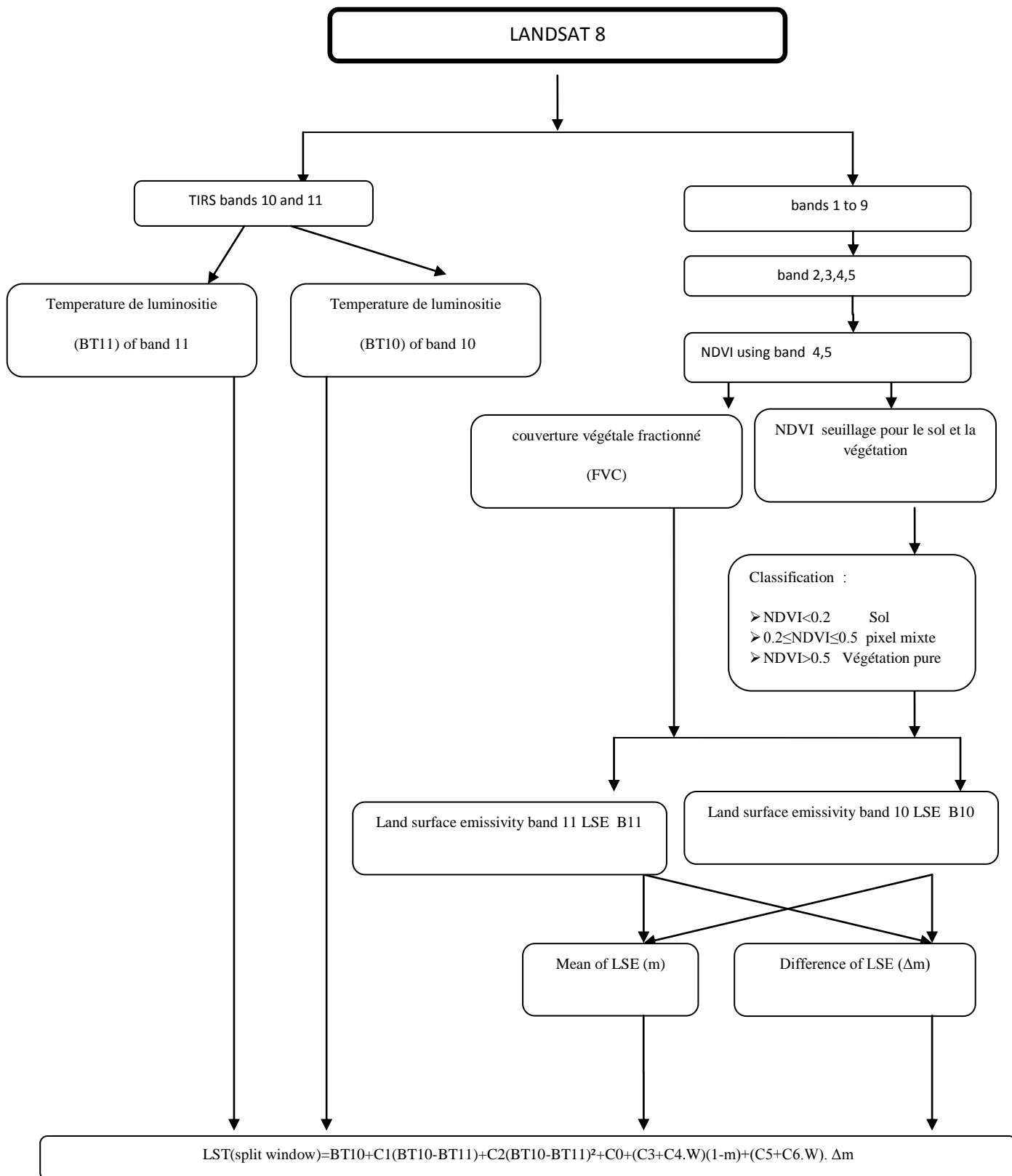


Figure 13 : Estimation de LST a partir du satellite LANDSAT

2.8.1. Estimation de l'albedo (etape 01) :

L'albedo de surface est l'une des composantes les plus importantes du bilan de rayonnement de surface, ce qui explique la grande attention portée à sa surveillance, en particulier dans les études sur les changements énergétiques et thermiques de la surface de la Terre (Arraes et al., 2012; Oliveira et al., 2012). Calculer l'albedo dont sa valeur est théoriquement d'environ 0 et 1, en ce qui concerne le satellite Landsat de toute sa génération et tenir compte de l'albedo à armure courte en utilisant les valeurs TOA REF qui sont calculées selon l'équation du développeur suivant l'équation du scientifique (Liang et Smith)

L'entrée pour le calcul de l'albedo sera une image Landsat qui a été convertie des nombres numériques en réflectance du haut de l'atmosphère (TOA). Veuillez-vous référer à la FAQ Conversion de nombres numériques en réflectance du haut de l'atmosphère sur ce site pour des instructions détaillées sur la façon d'accomplir cela.

$$a = \frac{0.356\rho_1 + 0.130\rho_3 + 0.373\rho_4 + 0.085\rho_5 + 0.072\rho_7 - 0.0018}{0.356 + 0.130 + 0.373 + 0.085 + 0.072}$$

2.8

ρ représente les bandes Landsat 1, 3, 4, 5 et 7. Notez que la bande Landsat 2 n'est pas utilisée. La formule sera écrite dans ENVI en utilisant Band Math de cette manière :

$$a = \frac{((0.356 \times B_1) + (0.130 \times B_2) + (0.373 \times B_3) + (0.085 \times B_4) + (0.072 \times B_5) - 0.018)}{1.016}$$

2.9

2.8.2. Estimation de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) (étape 02) :

Le NDVI est considéré comme un indicateur important de l'évolution des espaces verts au fil du temps, la végétation joue également un rôle positif sur le climat en apportant humidité et nuages et chaleur. Sa présence a permis de conserver le sol et d'éviter sa dérive et de réduire les phénomènes de déplacement du sable. (Zhangyan.J et al; 2006)

Avant de calculer le NDVI, nous devons évaluer un terme très important dans la cartographie de l'indice de végétation, à savoir l'émissivité de surface donnée par LSE. Il représente la capacité de surface qui transforme l'énergie thermique en énergie radiante (J.Sobrino et al; 2001).

Depuis LSE est l'un des facteurs les plus importants qui affectent la fiabilité de l'estimation de LST. Les équations de calcul de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) basé sur le LSE pour la précision LST sont décrites dans cette étape. Le NDVI est calculé selon l'équation générale suivante:

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

Quand les valeurs de réflectance de surface sont utilisées dans l'équation qui est; la réflectance de surface corrigée réelle par le climat dans la réflectance rouge et la réflectance infrarouge nir nir. Pour le satellite Landsat 8, l'équation devient la suivante :

$$NDVI = \frac{(REF\ 5 - REF\ 4)}{(REF\ 5 + REF\ 4)}$$

1.10

Le NDVI peut être classé en quatre classifications:

Formulation de LST	Type	NDVI
NOMBRE FIXE	eau	NDVI < 0
Formule A. OU NUMÉRO FIXE SA VALEUR EST 0,973	sol	NDVI < 0.2
Formule B	Pixel mixte	0.2 ≤ NDVI ≤ 0.5
Formule C. OU NOMBRE FIXE SA VALEUR EST 0,996	Végétation pure	NDVI > 0.5

Tableau 06 : classification de l'NDVI

Les formules: A, B, C sont données à (l'étape 3).

Grâce à cette classification, il est possible de calculer les superficies des zones de végétation dans le bassin étudié et de comparer les changements survenus au cours de la période d'étude.

Après avoir extrait la carte NDVI et l'avoir classée selon les champs indiqués dans le tableau précédent. Nous calculons la carte du couvert végétal fractionnaire -FVC- selon la formule suivante:

$$FVC = \left\{ \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \right\}^2$$

2.11

La couverture végétale fractionnelle estime la fraction de la superficie sous végétation. L'algorithme Split-Window utilise FVC pour estimer l'émissivité de la surface terrestre (LSE). Nous reclassons la couche NDVI en sol et végétation et calculons le NDVI pour le sol et la végétation

L'image LSE est générée à partir de l'image FVC obtenue à l'étape 4 en utilisant. La génération de l'estimation d'image LSE nécessite l'émissivité du sol et de la végétation des bandes 10 et 11 . Les images LSE des bandes 10 et 11 sont générées individuellement.

2.8.3. Estimation de la température de la surface du sol (LST) (étape 03) :

Le processus de température de surface terrestre est considéré comme une sorte de processus compliqué, où il est lié à plusieurs facteurs, dont les plus importants sont l'émissivité de la surface terrestre et la température de luminosité, les deux valeurs précédentes entrent dans l'équation LST, et ici le chercheur a adopté dans le compte LST de deux manières, chacun des mis connecté à une génération spécifique du satellite LANDSAT. Pour le satellite LANDSAT8, il est basé sur l'équation de la fenêtre partagée du scientifique, et pour le satellite lansat5 et LANDSAT 7; il s'est basé sur (WENG et al; 2004) .

La température de luminosité est calculée comme elle l'a expliqué par la suite, tandis que l'estimation LES est associée à la végétation et à la qualité des matériaux à la surface de la terre, où les valeurs varient en fonction de l'étendue de la couverture végétale de la zone ou de la cellule; et ici il a basé sur le NDVI trois sholding ou ce qu'on appelle la méthode NBEM: NDVI Based Emissivity Method (Van de Griendet al; 1993. Momeni, M et al; 2007; Sobrino et al 2004), où chaque équation particulière applique un compte ou une constante LSE valeur telle qu'elle est expliquée dans le tableau précédent

Le LST est calculé selon les étapes suivantes:

Après avoir extrait la carte NDVI et la catégoriser selon les champs indiqués dans le tableau précédent, Nous calculons la couverture végétale fractionnelle -FVC- carte; -Maintenant nous comptabilisons la carte LSE, et ici le chercheur a adopté pour chaque satellite une méthode et des équations.

Pour le satellite Landsat8, nous utilisons la commande MAP ALGEBRA dans ARC MAP, nous appliquons l'équation conditionnelle suivante:

CON (NDVI <0,2, formule A (n), CON (NDVI <= 0,5, formule B (n)), Con (NDVI > 0,5, formule C (n)) (5)

Avec : (n) représente le numéro de bande qui est utilisé dans le compte et ici 10 et ensuite nous répétons la même opération à la bande 11.

Quand les constantes sont compensées dans les équations A, B et C; celle indiquée dans le tableau suivant (tableau 4). Les constantes des équations A, B et C indiquées dans le tableau suivant sont remplacées par des équations selon chaque bande 10 puis 11 comme suit (Skokovic et al 2014, Sobrino et al1996, 2003, Shaouhua Zhao et al 2009)

Band	e soil	e veg
10	0.971	0.987
11	0.977	0.989

Tableau 07 ; valeurs de l'émissivité: Skokovic et al, 2014; Sobrino et al, 1996; 2003; Shaouhua Zhao et al, 2009

Formules A, B, C sont données comme suit::

Formule A :

L'équation générale A pour comptabiliser les LES et s'appliquer en cas de NDVI est ici qui est:

$$LSE = a_i \times Pred + b_i \quad 2.12$$

Quand :

a_i ; b_i : représente un nombre fixe

Pred: représente à la réflectance de surface (REF) dans le champ des rayons rouges, ici dans le Landsat 8 c'est la bande 4, cela signifie, nous utilisons l'équation avec REF-BAND 4 comme entrée de l'équation A.

$$e_{10} = 0.973 - 0.047P_4$$

$$e_{11} = 0.984 - 0.026P_4$$

Et nous notons ici que ce cas représente la terre complètement inutile de végétation : $FVC = 0$.

Formule B :

L'équation B est la règle générale du compte LES, et nous l'utilisons ici dans le cas de: $0,2 \leq NDVI \leq 0,5$, et c'est une condition qui représente une cellule partiellement couverte du sol et partiellement avec la végétation et calculée pour les deux les bandes 10 et 11 et c'est comme suit:

$$LSE(n) = e_{soil} \times (1 - FVC) + e_{veg} \times FVC + d_e \quad 2.13$$

d_e est fixe, sa valeur dans les zones plates est comprise entre 0 et 0,02 alors qu'il a besoin de calculer dans les zones montagneuses, et représente l'effet du terrain sur la valeur de e , une équation arithmétique pour chacune des deux bandes 10 et 11 est :

$$d_e(n) = (1 - e_{soil}) \times (1 - FVC) \times 0,55 \times e_{veg} \quad 2.14$$

Formule C :

L'équation C, compte les LES en cas de $NDVI > 0,5$ qui est:

$$LSE(n)=eveg+Ci(10)$$

2.15

Et puisque la cellule ici représente un cas entièrement couvert par la végétation là pour esoil = 0 alors que l'équation peut être dispensée et compenser LSE avec un nombre fixe qui est: 0.996.

L'organigramme de l'algorithme Split Window utilisé dans la présente étude pour l'estimation de la LST . L'expression mathématique de la LST peut être exprimée comme suit:

$$LST(split \quad window)=BT10+C1(BT10-BT11)+C2(BT10-BT11)^2+C0+(C3+C4.W)(1-m)+(C5+C6.W).$$

2.16

L'algorithme Split-Window est basé sur la connaissance des paramètres suivants:

Température de luminosité (BT); Moyenne arithmétique LSE10 et LSE11 (m); Différence entre LSE10 et LSE11 (Δm); Différentes constantes (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C0); Teneur en vapeur d'eau atmosphérique (W). Nous illustrerons chaque paramètre séparément:

Calcul de la température de luminosité: Une fois que l'éclat de la bande thermique est calculé; l'équation suivante est utilisée:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

2.17

2.8.4. Calcul de la température de luminosité:

Une fois que l'éclat de la bande thermique est calculé; l'équation suivante est utilisée:

$$T = K2 / (\ln(K1 / L\lambda + 1))$$

T: Température de luminosité TOA, en Kelvin.

L λ : radiance spectral (Watts / (m² * sr * μ m))

K1: Constante de conversion thermique pour la bande (k1_constant_band_n à partir des métadonnées)

K2: Constante de conversion thermique pour la bande (k2_constant_band_n à partir des métadonnées); K1 et K2 - Constante thermique des bandes à partir du fichier image des métadonnées.

Pour le satellite Landsat 7ETM et Landsat 5TM, nous utilisons RAD-Band 6 dans l'équation précédente. Pour le satellite Landsat 8, nous utilisons la bande 10 et la bande 11 ((cf.tab N ° 5)), puis nous calculons (moyenne BT) et la différence entre les deux valeurs, (def BT).

Landsat	Band	K1	K2
5TM	6	607.76	1260.56
7ETM+	6	666.09	1282.71
8TIRS	10	774.8853	1320.0789
8TIRS	11	840.8883	1201.1442

Tableau 08 :valeurs K1et K2 pour chaque satellite

Les images LSE des bandes 10 et 11 obtenues à l'étape précédente sont combinées par la moyenne, pour trouver m et la différence entre elles est calculée pour trouver Δm comme suit:

Moyenne arithmétique LSE10 et LSE11 (m)

$$m = \frac{(LSE10+LSE11)}{2}$$

2.18

Différence entre LSE10 et LSE11(Δm):

$$\Delta m = LSE10 - LSE11$$

2.19

Les constantes C1,C2,C3,C4,C5,C6,C0 comme indiqué dans le tableau suivant selon le satellite Landsat.(Skokovic et al ,2004;Sobrino et al,1996,2003;Shaouhua Zhao et al ,2009)

Constant	Value
C0	-0.268
C1	1.378
C2	0.183
C3	54.300
C4	-2.238
C5	-129.200
C6	16.400

Tableau 09 : valeurs des constantes C1,C2,C3,C4,C5,C6,C0 for Landsat satellite (Skokovic et al, 2014; Sobrino et al, 1996; 2003; Shaouhua Zhao et al, 2009

On se basant sur les données de l'humidité , on peut calculer la vapeur en eau atmosphérique .

	Janv	Fev	Mars	April	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
W(10 ⁻² *g/cm ²)	0,7	1,07	0,73	0,77	0,92	1,014	0,957	1,032	1,1	1,09	0,9	0,79
W(g/cm ²)	0,007	0,011	0,007	0,008	0,009	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,009	0,008

Tableau 10 :Teneur en vapeur d'eau atmosphérique W

L'expression mathématique de la LST est exprimée comme suit:

$$LST(\text{split window}) = BT_{10} + C_1(BT_{10} - BT_{11}) + C_2(BT_{10} - BT_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 \cdot W)(1 - m) + (C_5 + C_6 \cdot W) \quad 2.20$$

Alors le mode de calcul de tout les paramètres de split window sont connus il suffit d'appliquer le modèle , On peut calculer la température de surface mensuelle et annuelle de la zone d'étude.

Partie II : Suivre de l'état hydrique et la dégradation de sol :

2.9.Méthode de suivi l'état hydrique et la dégradation de sol :

La caractérisation de l'état hydrique et la dégradation d'une surface se fait par l'analyse des deux caractéristiques spécifiques et complémentaires de la surface du sol, qui sont l'albédo et la température de surface. Par ailleurs, l'état édaphique est caractérisé par l'analyse de la relation entre l'indice de végétation NDVI et la température de surface.

Dans ces deux relations (albédo-température et NDVI-température), nous pouvons définir les seuils de l'état de dégradation liés aux contraintes hydrique et édaphique. Enfin les degrés de sensibilité à la désertification du milieu sont obtenus par combinaison entre l'albédo et le NDVI.

L' analyse de dégradation de sol se fait par le biais de certains paramètres géophysiques tels que l'albédo, l'indice de végétation (NDVI) et la température de surface. Les combinaisons de ces paramètres deux à deux ont permis la caractérisation de l'état hydrique, de l'état de la végétation et le niveau de dégradation des sols.

Cette partie consiste à utiliser les paramètres calculer précédemment, comme l'albédo l'indice de végétation (NDVI) et la température de surface (LST), issus du LANDSAT à une résolution géométrique, dans le but de développer une méthodologie pour le suivi de la dégradation des terres et de dresser une carte de sensibilité à la désertification dans notre région.

Il faut noter que les indicateurs choisis exigent des critères de choix (Etien N'Dah, 2002), tels que :

- 1) être facilement mesurables et fiables ;
- 2) offrir une capacité de détection rapide ;
- 3) fournir une évaluation aussi bien des conditions de stress que de non stress ;
- 4) refléter les connaissances des changements au sein des écosystèmes ;
- 5) avoir un rapport de signal significatif.

2.10.Conclusion

A fin de ce chapitre, on a démontrés les cartes géographiques, climatiques, hydrogéologiques et géologiques a l'échelle de notre site de travail (bassin versant de Brezina) et nous avons présenté diverses méthodes de calcul de la température de surface et plus précisément avec la méthode de split window , ainsi que de calculer l'albédo, de l'indice de végétation a l'aide des cartes et des donner satellitaire . on a bien aperçue une combinaison des réflectances spectrales dans les différents bandes du domaine de rayonnement solaire avec un caractère désertique. Un environnement semi-aride avec une aridité croissante du nord au sud. Le climat est semi-aride à aride, caractérisé par de faibles précipitations et des températures estivales chaudes et hivernales froides. un environnement sensible et fragile propice à la désertification.

La télédétection joue un rôle important dans l'extraction d'informations à travers les images capturées et est un excellent outil pour suivre la végétation et les conditions climatiques.

Pour réaliser la carte de suivie de l'état hydrique et la dégradation de sol, nous allons utiliser les paramètres géophysiques qui sont l'albédo, l'indice de végétation NDVI et la température de surface déjà calculé précédemment .

CHAPITRE 03
RESULTATS ET
ANNALYSES

3.1.Introduction :

La démarche, exposée dans le chapitre précédent, conduit à la cartographie des paramètres climatiques et hydrique. Plusieurs méthodes sont exposées pour l'élaboration de ces cartes.

Dans cette partie on va exposer les différents résultats de cartographie issue des données satellitaires selon les méthodes expliquées précédemment. On va exposer les résultats de cartographie de : l'albédo, NDVI, LST,

On se basant sur ces cartes on peut élaborer la carte de suivi de l'état de sol

3.2.Résultats de Cartographie de l'albédo

Nous n'avons pas utilisé de carte pour l'année 2000 car la plupart des cartes et des résultats sont basés sur l'année 2019, qui est la fin de l'année de l'étude. Les résultats obtenus pour le bassin versant de Brezina pour les années 2000 et 2019 (figure 1) et (figure 2). La partie nord présente des sols avec un couvert végétal dense. Elle est caractérisée par des valeurs faibles d'albédo dans la (figure), alors que la zone steppique présente des sols à recouvrement végétal faible avec des valeurs d'albédo élevées. et des valeurs d'albedo forte dans la (figure 15) alors que la zone steppique présente des sols à recouvrement végétal sont fortes avec des faible valeurs d'albédo .

Les principaux résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative dans le bassin, où l'on voit le côté centre-est et une petite partie du centre-ouest, un peu sombre dans les endroits peu végétalisés. Quant au sud, il y a une couleur vive, l'intensité de la lumière réfléchie fait que les déserts et le sable sont blancs, de sorte que des zones lumineuses apparaissent dans les satellites, et vice versa, la couverture montre un albédo faible. L'image suivante montre l'albédo de la surface pour l'année 2019.

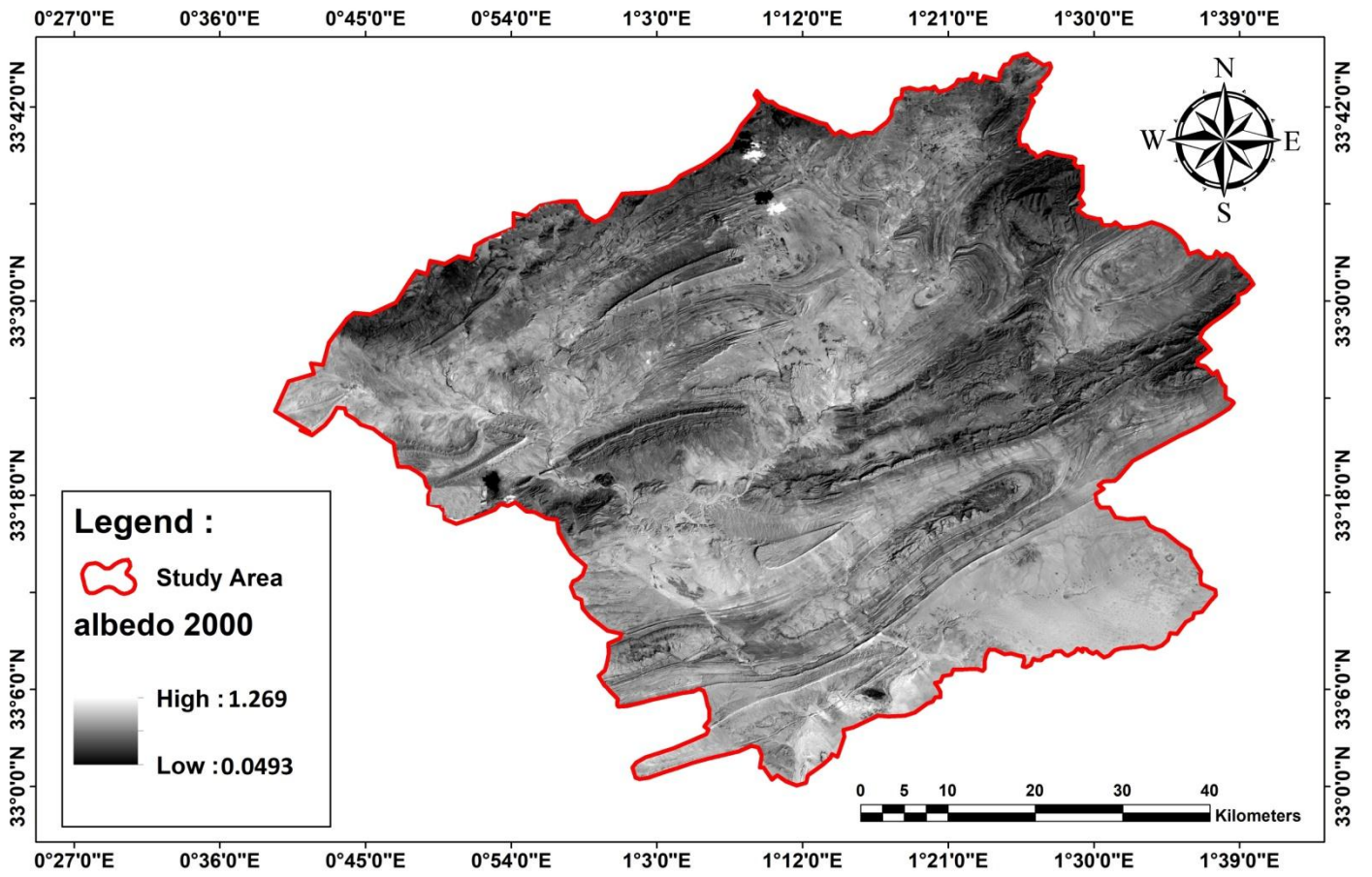


Figure 14 : Images satellitaire Albédo de surface année 2000

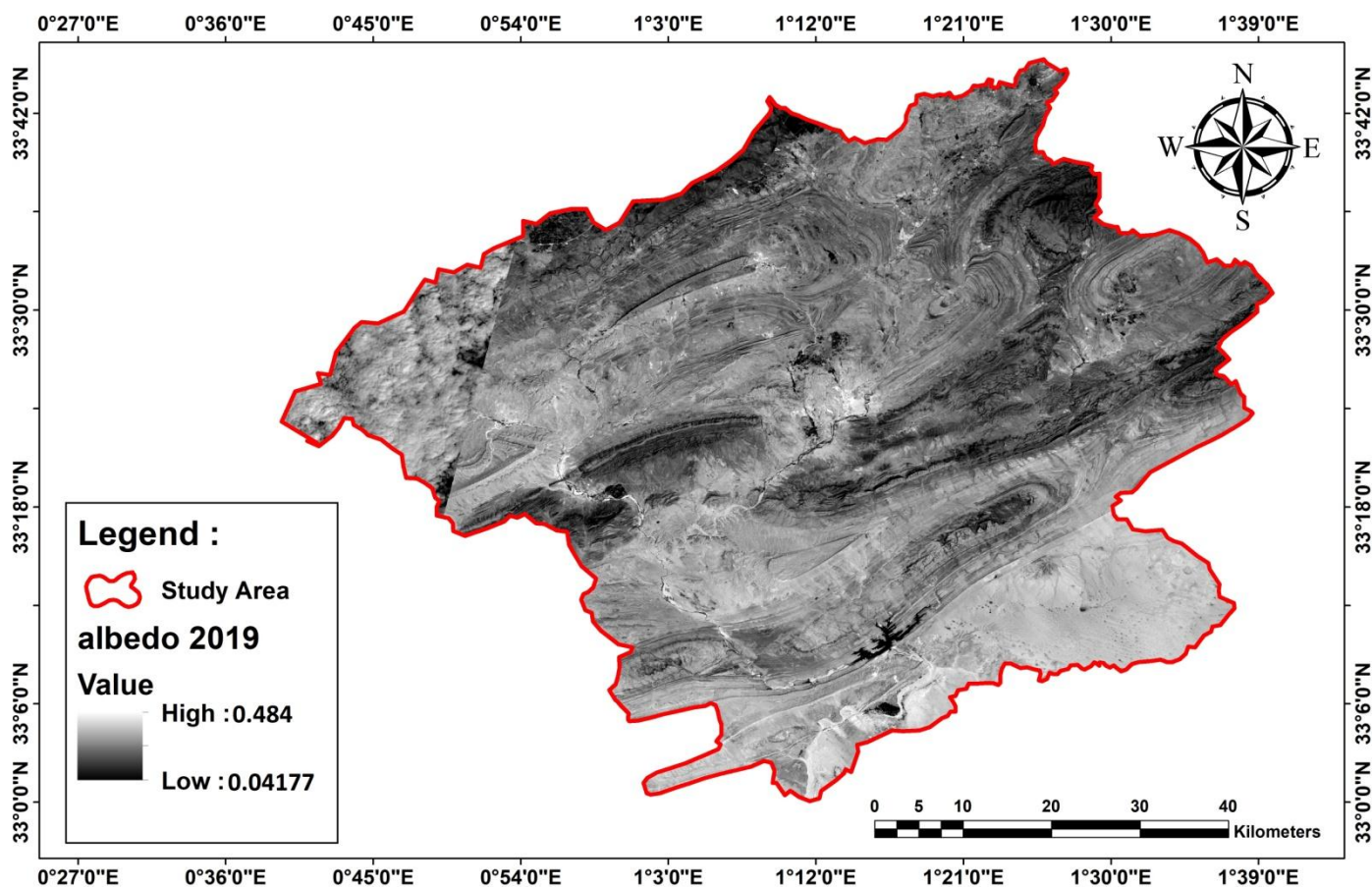


Figure 15 : Images satellitaire Albédo de surface année 2019

3.3.Résultats de Cartographie de L'NDVI :

La figure suivante (figure 16) représente l'NDVI calculé pour une image LANDSAT 2000. Cette image présente une faible valeur de l'NDVI ($NDVI < 1$) sur toute la zone d'étude cela implique la couvertes de la végétation et les zones non couvertes. Les faibles valeurs du NDVI sont liées à la faible couverture de la végétation. Les valeurs les plus basses de cet indice correspondent à l'eau . L' image de NDVI (2000) montre une diminution du couvert végétal là où l'indice de végétation est faible. Ces valeurs sont réparties sur la majorité du bassin. Les valeurs INDVI sont liées à la végétation basse. Les valeurs les plus basses de cet indice correspondent à l'eau. Les valeurs de pixel pour cette image représentent le-0.20 le seuil sec et le +0.39la densité maximale de la végétation.

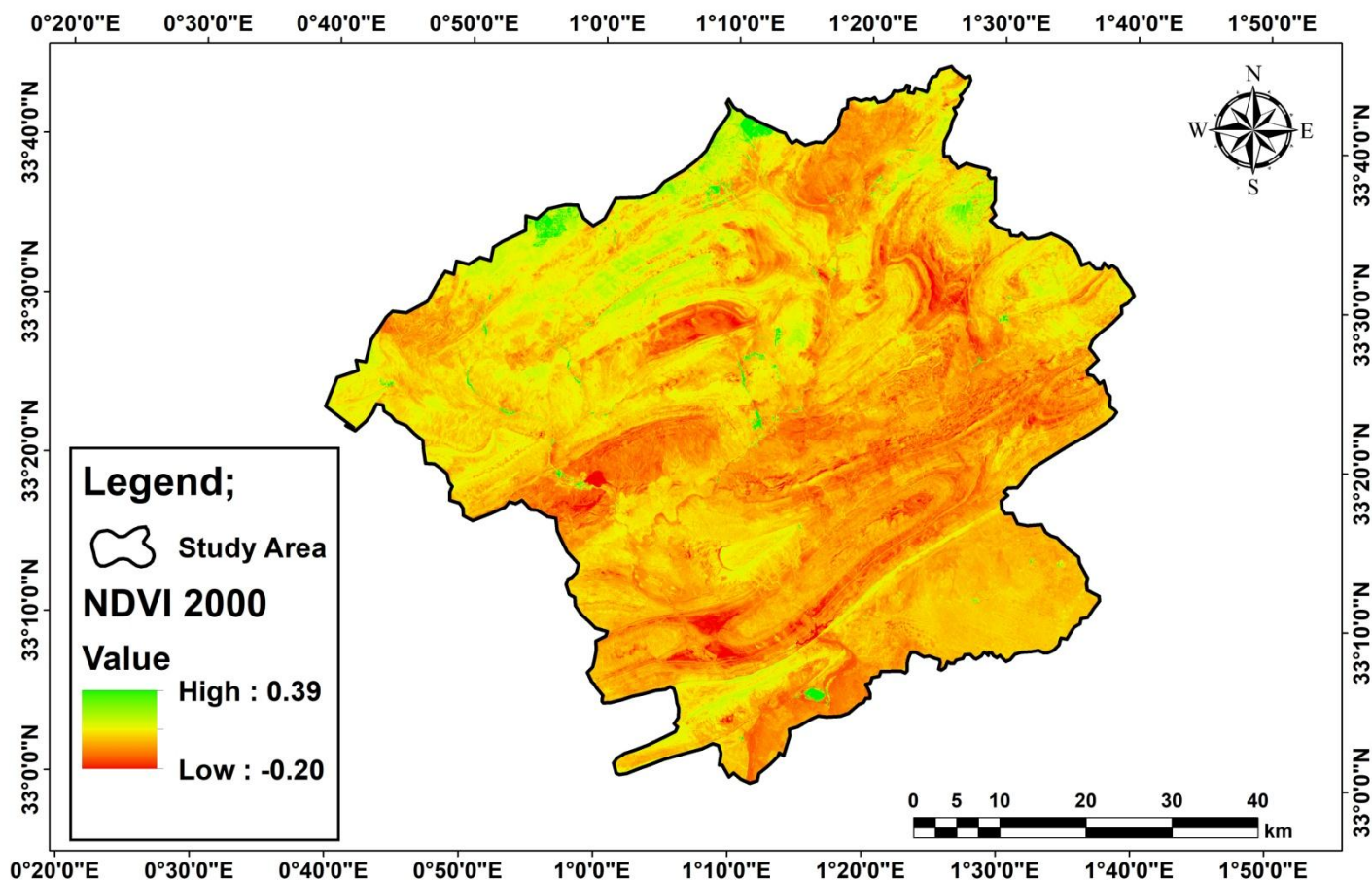


Figure 16 : image satellitaire NDVI année 2000

Ndvi 2000	Surface (Ha)
<0.2	4303.895925
0.2-0.43	4.549449012
0.43-0.43278	0.000616213
somme	4308.445991

Tableau 11 : Résultat NDVI année 2000 .

La (figure 17) . est un exemple du NDVI calculé pour une image LANDSAT 8 . L'image correspondante présente une légère discrimination sur le coté nord et le nord-est du bassin entre les zones couvertes de la végétation en comparant avec celle de l'année 2000 et les zones non couvertes. Les zones de la couverture végétale ressortent remarquablement de l'image par leurs

fortes valeurs de l'indice de végétation. Ces valeurs se localisent dans la partie nord de l'image. Les faibles valeurs du NDVI sont liées à la faible couverture de la végétation.

Les valeurs des pixels proviennent du calcul du NDVI pour cette image s'échelonnent entre $-0,35$, ce qui correspond aux chotts, et $+0,54$ ce qui correspond à la végétation la plus dense.

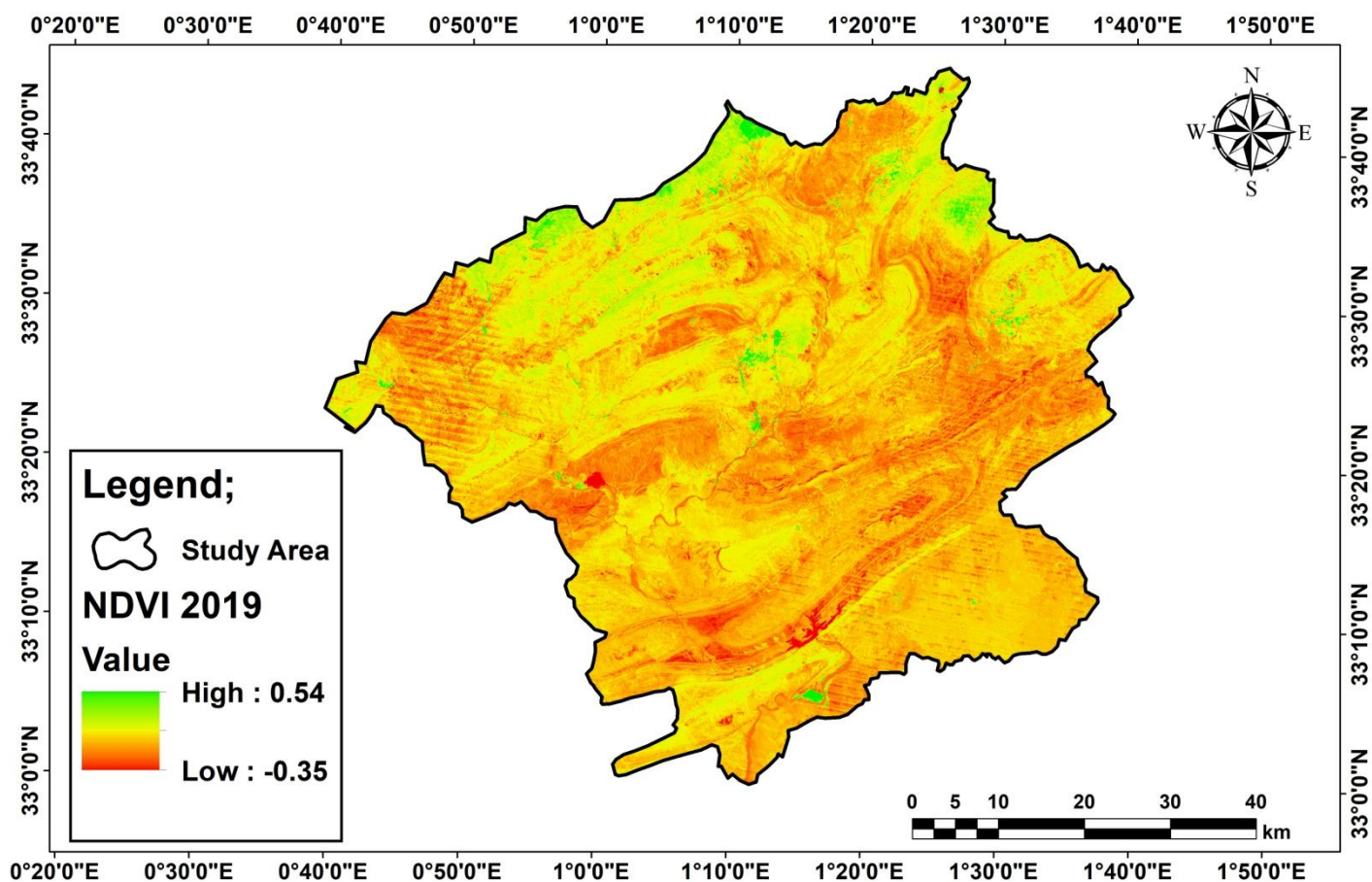


Figure 17 : image satellitaire NDVI année 2019

Ndvi 2019	Surface (Ha)
<0.2	4242.74111
0.2-0.43	66.01277687
0.43-0.43278	0.001232426
somme	4308.755119

Tableau 12 : Résultat NDVI année 2019 .

3.4.Résultats de Cartographie de LES

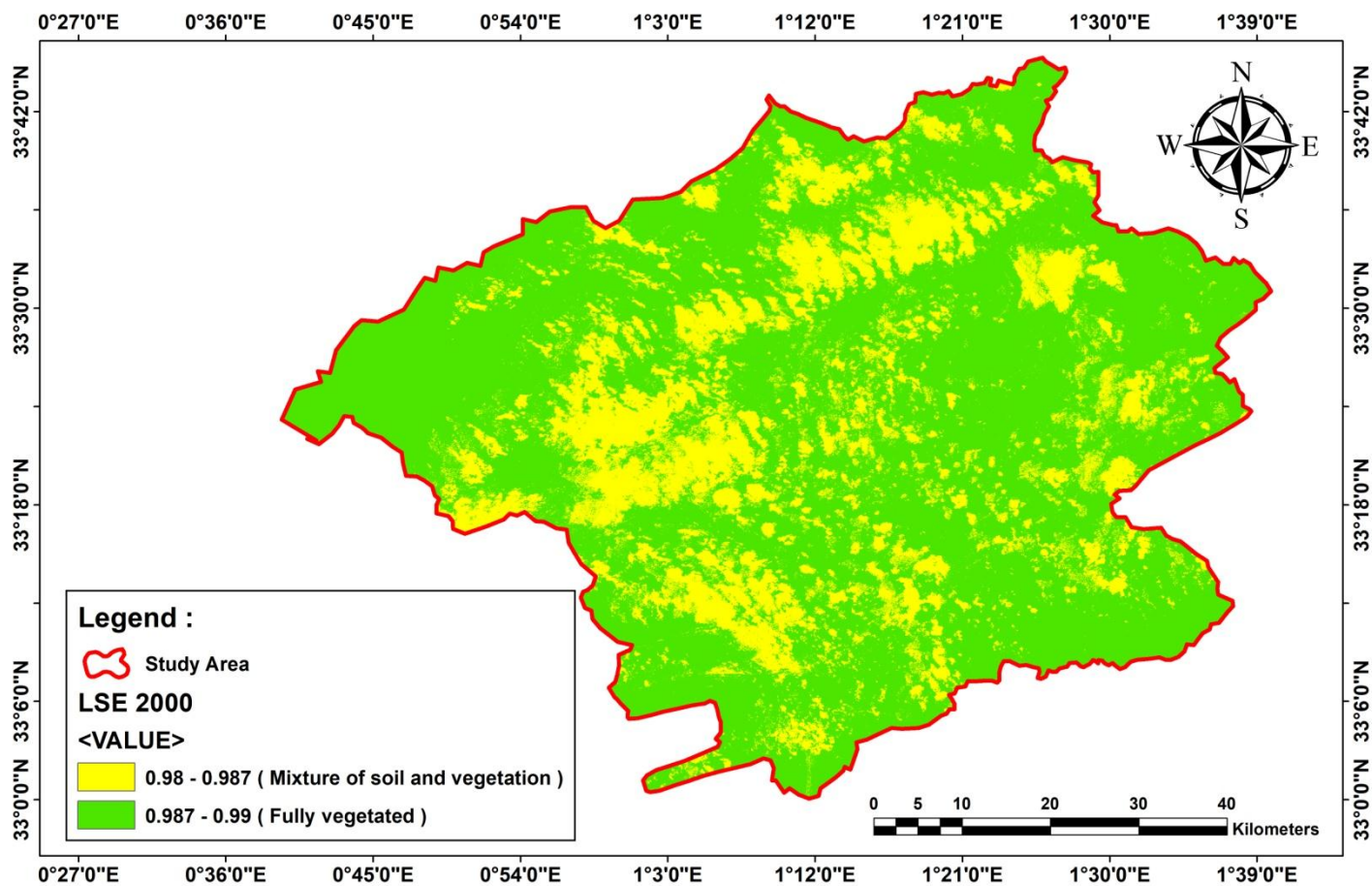


Figure 18 : image satellitaire du LANDSAT émissivité LSE année 2000

LES 2000	Surface (Ha)
Mixture of soil and vegetation	1046.737949
fully vegetated	3281.684178
somme	4328.422127

Tableau 13 : Résultat LES année 2000 .

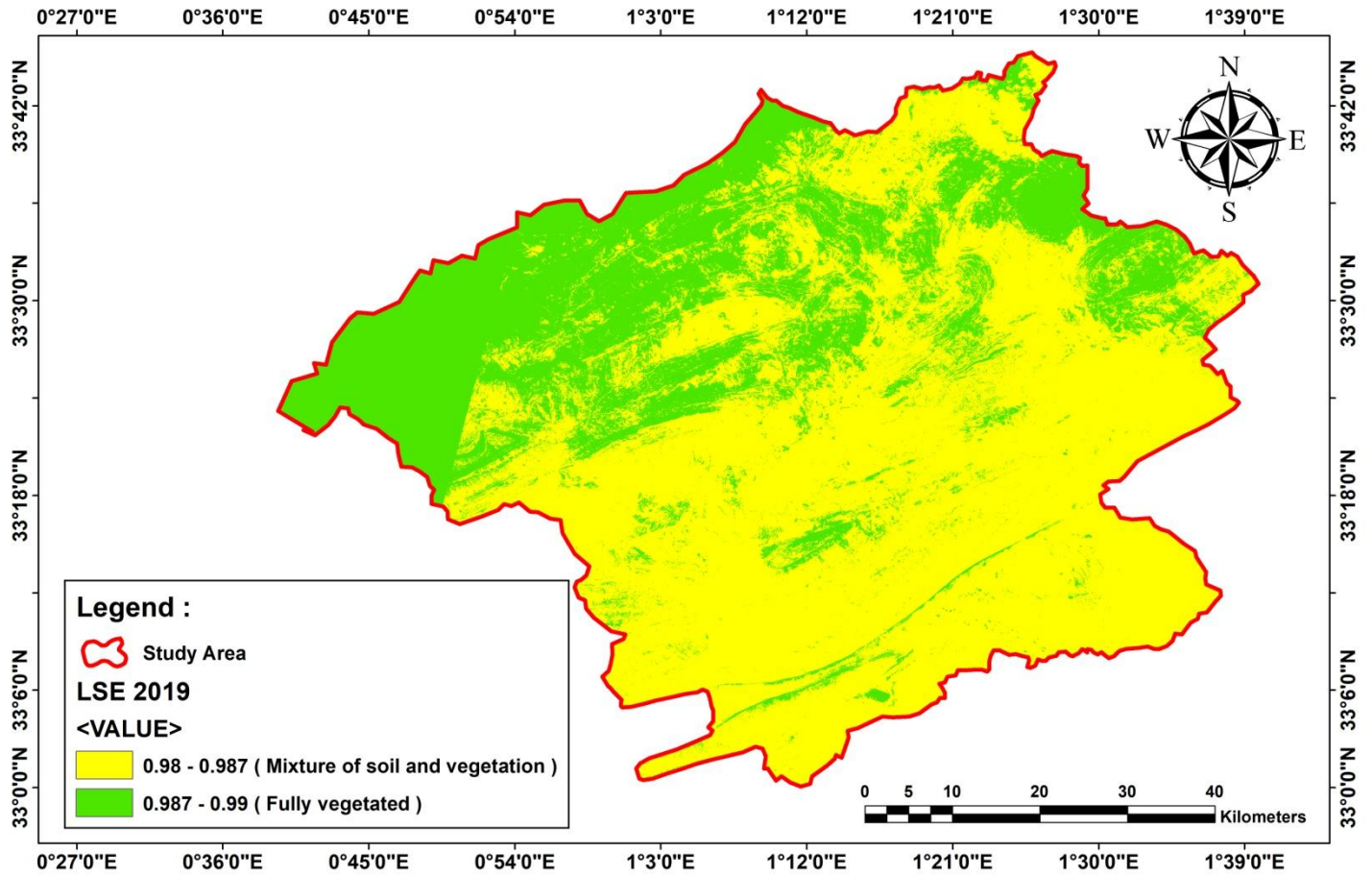


Figure 19 : image satellitaire du LANDSAT émissivité LSE année 2019

LES 2019	Surface (Ha)
Mixture of soil and vegetation	2871.16191
fully vegetated	1437.634751
somme	4308.79666

Tableau 14 : Résultat LES année 2019 .

3.5.Résultats de Cartographie du fond vert de climat (FVC) :

Cette partie illustre les résultats issus de l'analyse de des résultat de fond vert de climat pour les années 2000 et 2019 .. L'augmentation de la température provoque une baisse remarquable des valeurs du FVC, ce qui nous indique que, dans les régions arides et semi-arides, la température minimale est le facteur limitant qui conditionne le fonctionnement de l'activité photosynthétique des feuilles. Augmentation de cette température par rapport à la moyenne entraîne une diminution importante de l'activité de couvert qui se traduit par une chute significative des valeurs de l'indice FVC.

Les deux images suivantes représentent l'évolution du fond vert de climat à l'échelle du bassin versant de brezina pour les deux années 2000 et 2019 où nous observons une association inverse entre le climat de surface et la végétation. Surtout dans les régions nord avec le plus significatif pourcentage de couverture, où l'on remarque des températures plus basses. sur ce côté ,ou endroits où nous avons enregistré 0,54 de couverture végétale, le pourcentage le plus élevé enregistré, nous avons enregistré la valeur la plus basse de température de surface. Et dans les endroits qui connaissent une détérioration du couvert végétal.

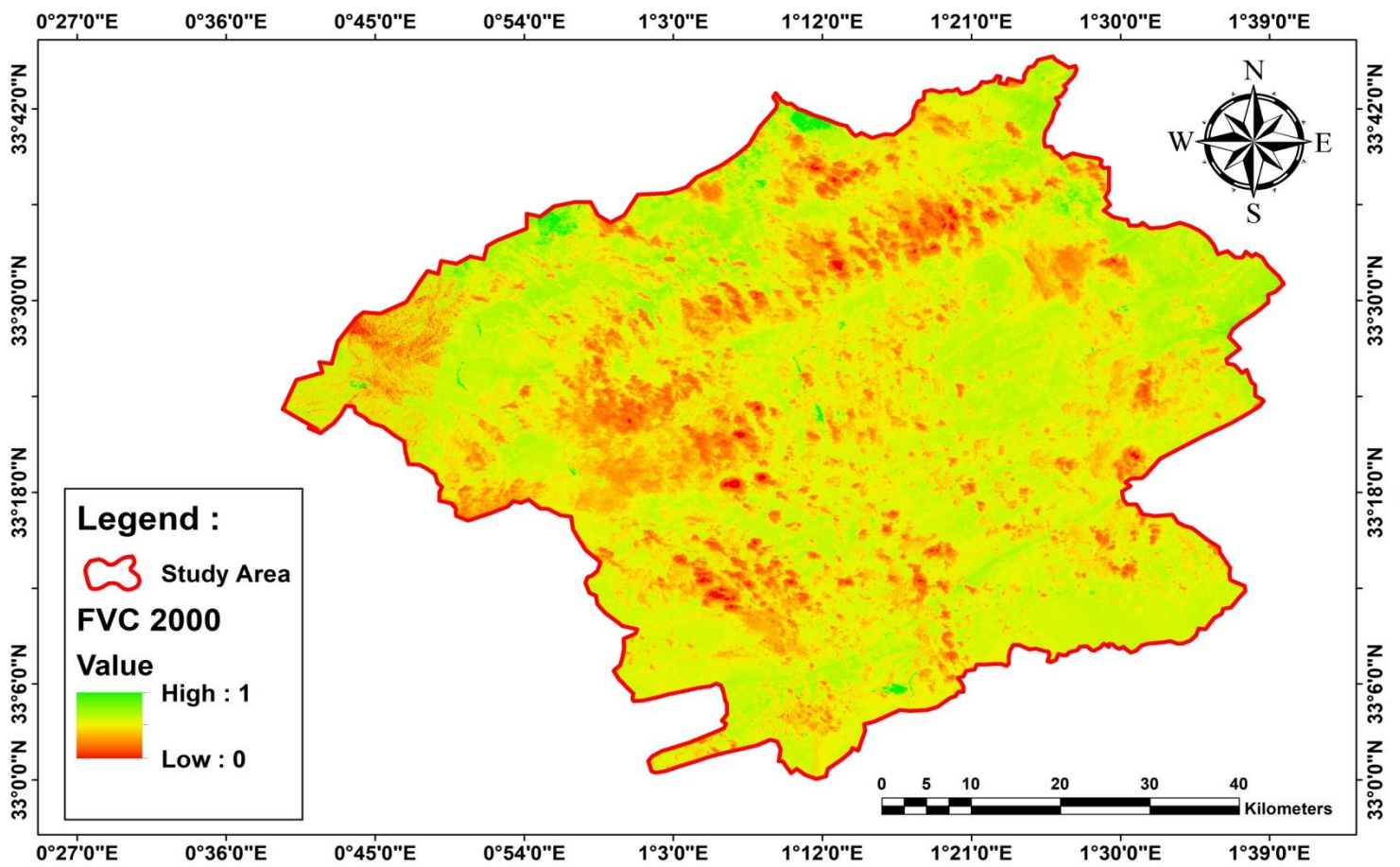


Figure 20 : image satellitaire LANDSAT du fond vert de climat année 2000

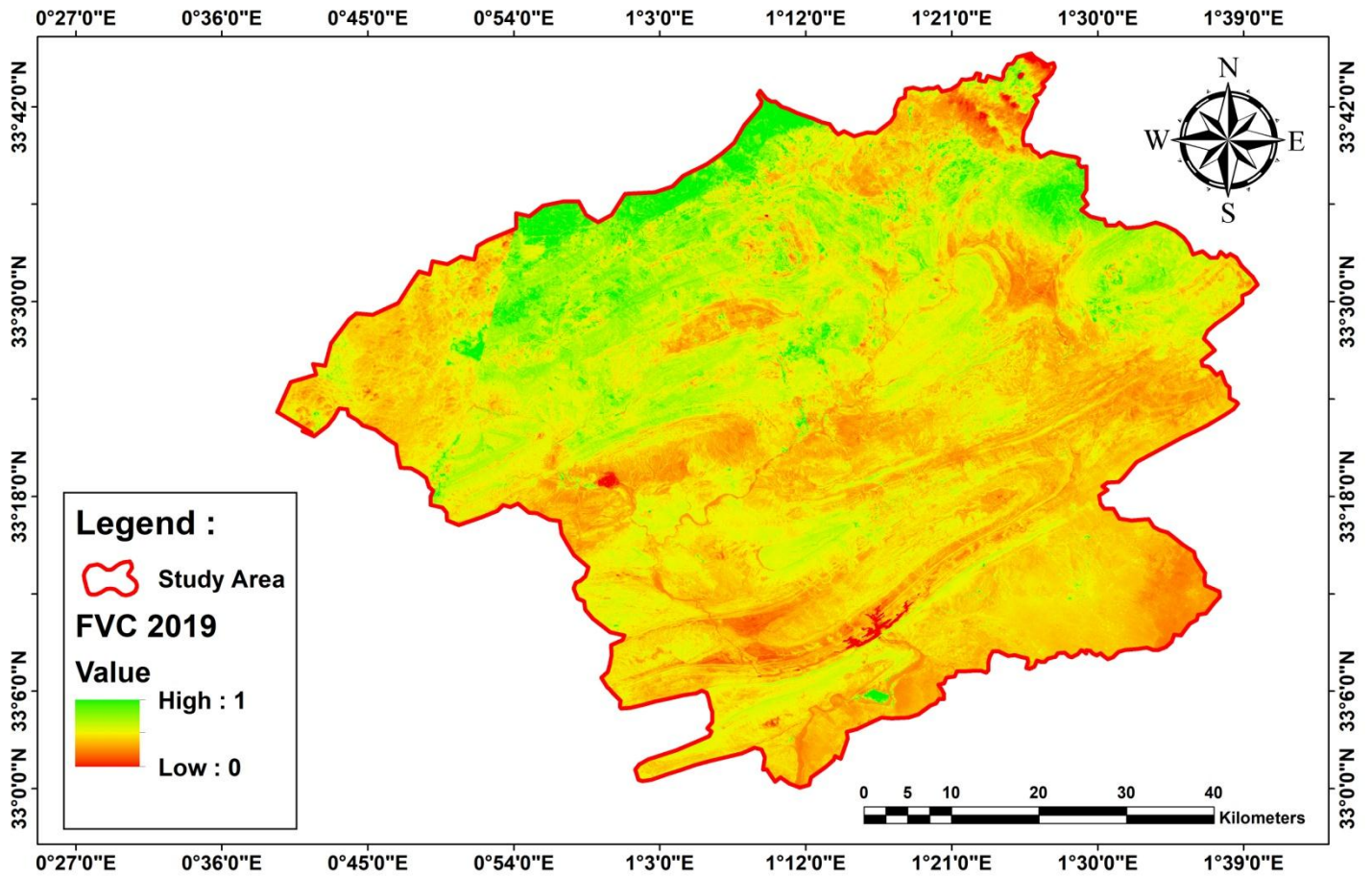


Figure 21 : image satellitaire LANDSAT du fond vert de climat année 2019

3.6. Résultats de Cartographie de température de base (TB) :

Les températures de base sont des températures de référence utilisées pour le calcul de bilan thermique, elles correspondent à des températures nocturnes minimum d'un lieu à une altitude donnée.

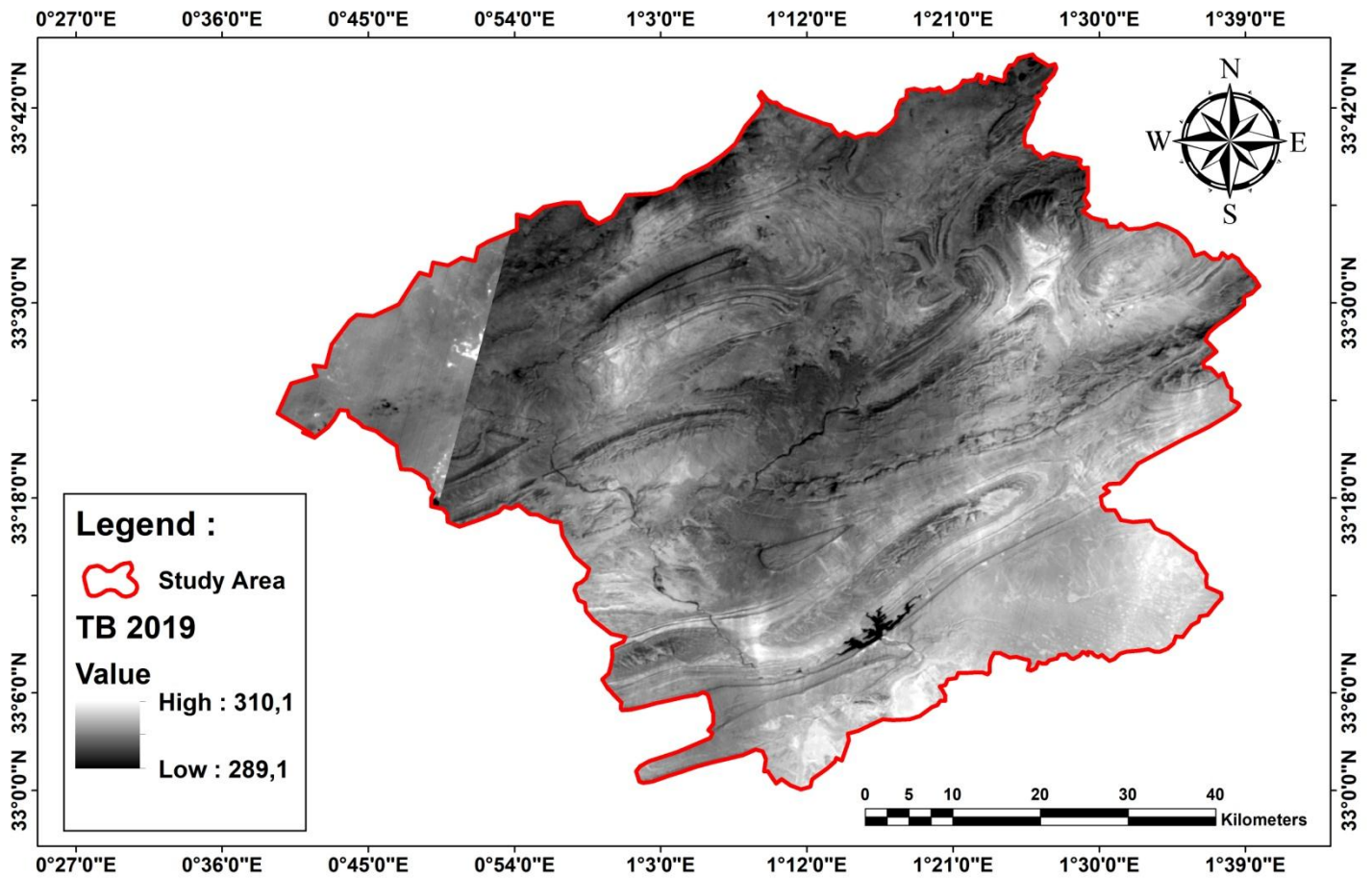


Figure 22 : image satellitaire de la température de base année 2019 source (LANDSAT)

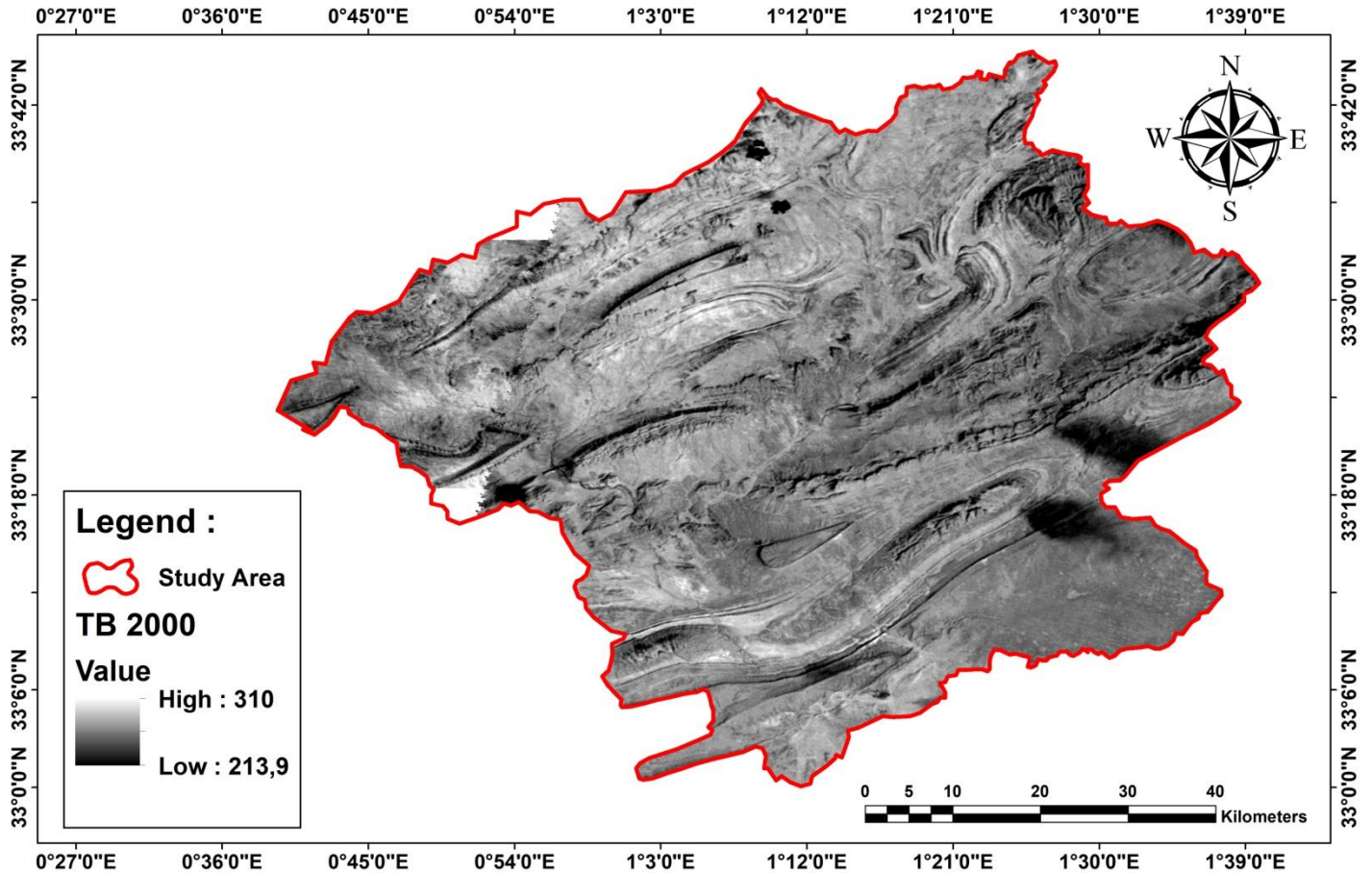


Figure 23 : image satellitaire de la température de base année 2000 source (LANDSAT)

cette température a été cartographiée par un dégradé de couleurs représentant les zones chaudes/froides (foncée et claire) lesquelles on les a brièvement observées sur les deux carte précédentes (2000 et 2019) et on déduit que les cotés nord et nord-est sont en moyennes les plus froides en comparant avec la zone sud du bassin versant . La donnée source LANDSAT 8 a un pixel de 30 m . on a pris ces deux clichés de deux années différents (2000et 2019) , et on les corrigée des effets atmosphériques, topographiques et de l'émissivité. Mise en garde d'utilisation de la température de base n'est pas la température de l'air. Ce n'est donc pas une carte de chaleur mais bien une carte des surfaces les plus chaudes vues du ciel, en journée. Ainsi en zone dense on aura principalement la température du bassin, dans tous les cas l'impact des façades ne sera pas visible.

3.7.Résultats de cartographie de Température de surface (LST) :

On se basant sur la méthode de cartographie de LST décrite précédemment via l'algorithme split window ,on faisant intervenir en entrée les cartes de l'émissivité de l'NDVI et les différentes données dans l'infrarouge thermique on a abouti a l'élaboration de la carte LST pour différentes périodes de temps (2000-2019). Notons que cette méthode est très sensible aux nuages, ce qui requiert leur filtrage dans les cas nécessaires .

Sur l'image de la température de surface, nous remarquons que les secteurs ou les sols nus sont dominants présentent des températures de surface supérieures à celles des secteurs où la couverture végétale est dense. La partie nord de l'image montre des basses températures par rapport à celles du sud. Cela est dû par la relation directe qui existe entre la température de surface et les précipitations, Et comme la précipitation est plus importante dans le nord que le sud, ces parcelles affectées par les pluies présentent des températures de surface plus faibles du fait de l'évapotranspiration, tandis que les zones les plus déficitaires conservent des températures de surface élevées.

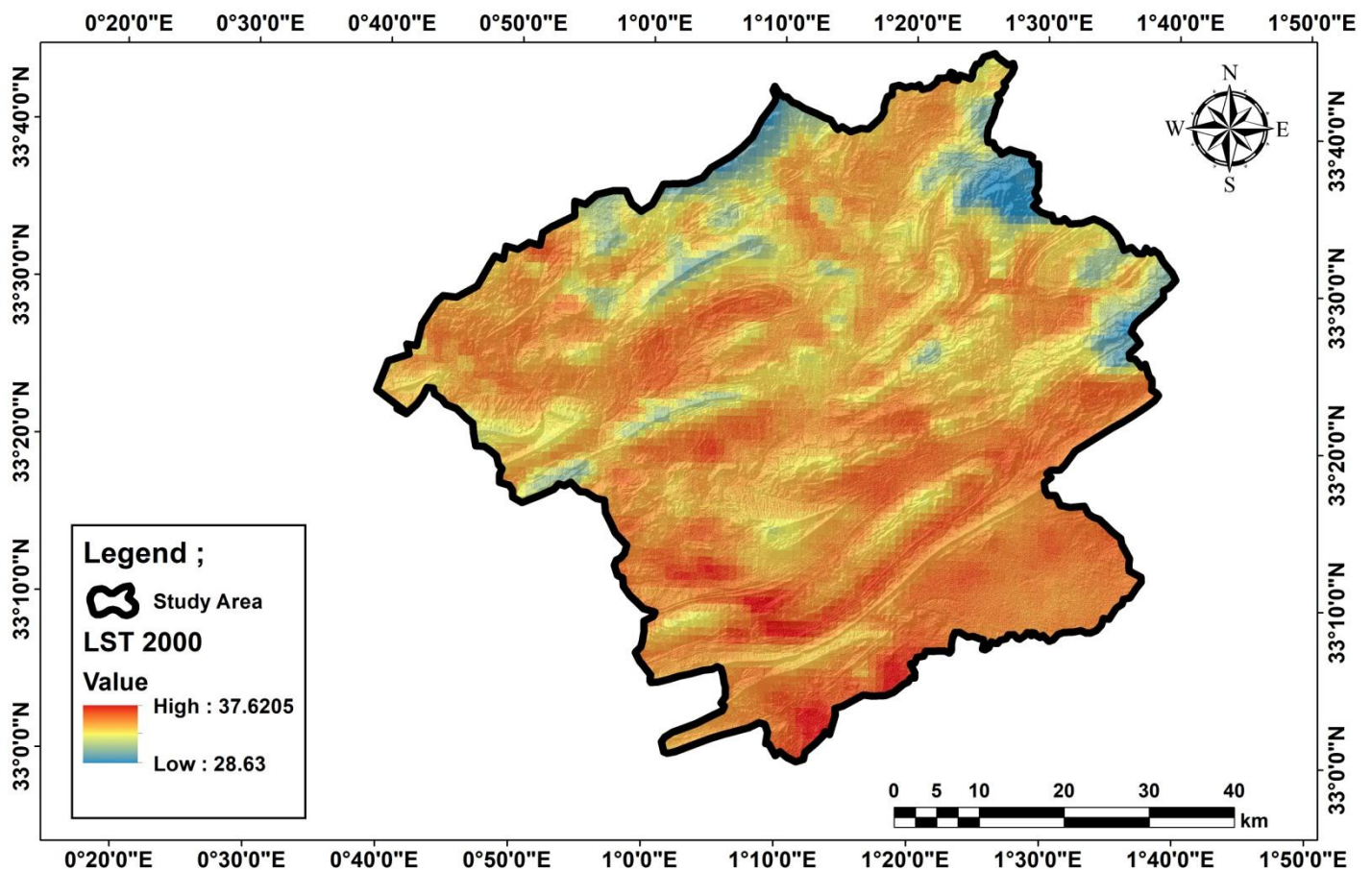


Figure 24 : image satellitaire de la température de surface année 2000 source (LANDSAT)

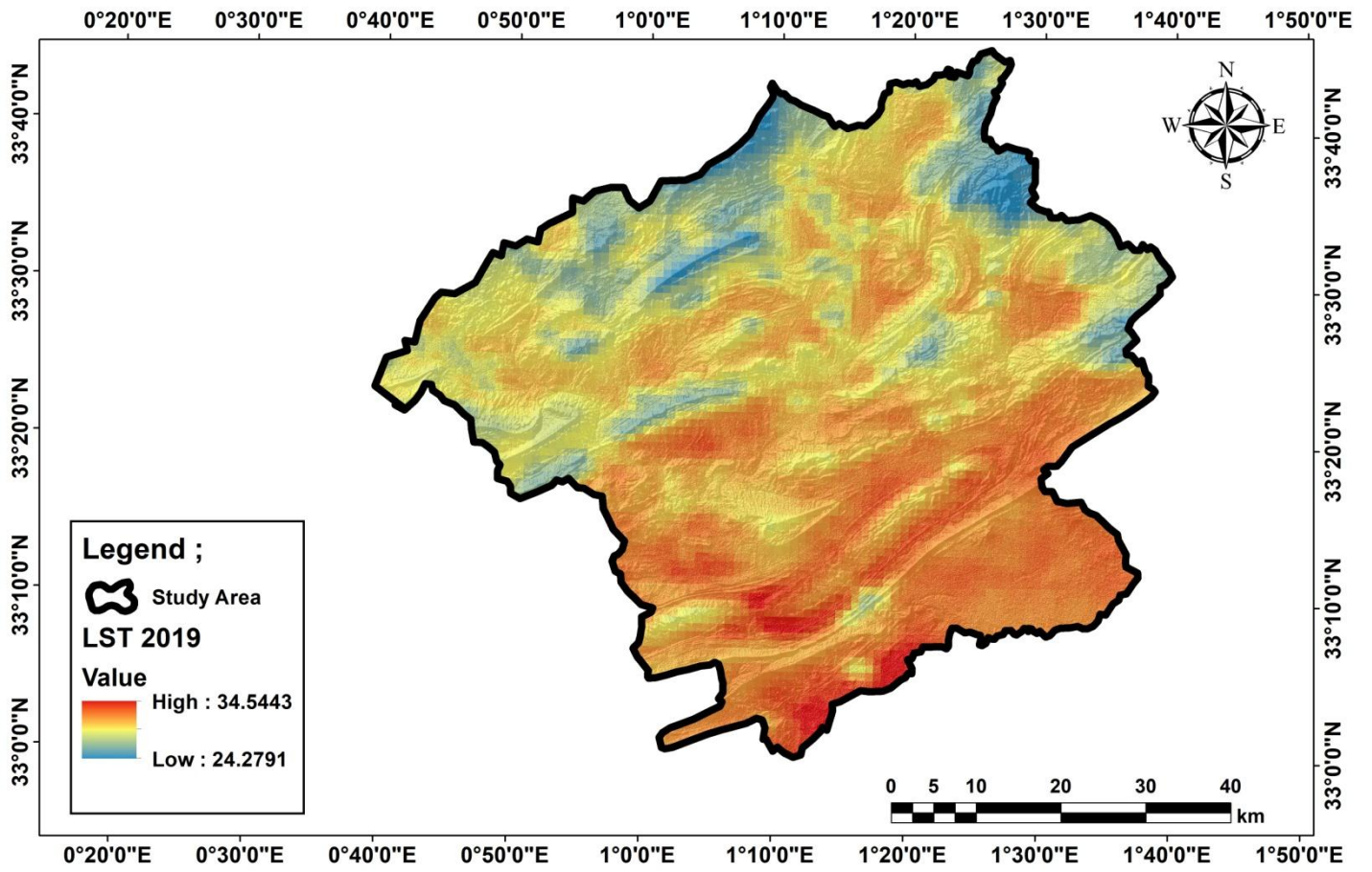


Figure 25 : image satellitaire de la température de surface année 2019 source (LANDSAT)

3.8. Résultats de la Couverture végétale :

Les sols de la région de Brézina se décomposent en trois zones :

- les terres agricoles (0,08 % de la superficie), constituées essentiellement par la palmeraie de Brézina (divers vergers) et la zone d'épandage (essentiellement céréales et fourrages ;
- les parcours présahariens ;
- la zone dunaire (erg) à l'extrême sud. Cette occupation du sol, résultat de la composition colorée de la zone d'étude.

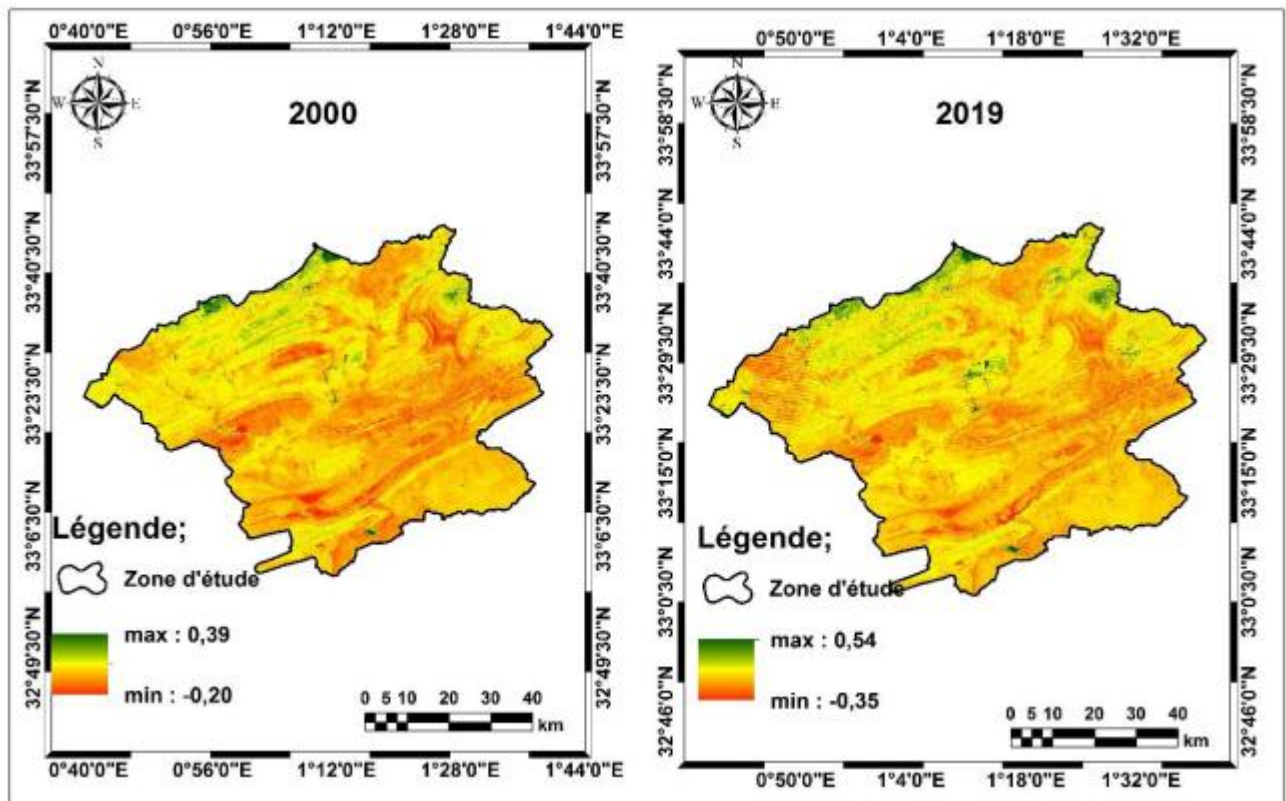


Figure 26 : carte satellitaire de la couvert végétal de la zone d'étude –source (landsat7 et 8)

3.9.Résultat de combinaison des paramètres géophysique pour le suivi de l'état de sol :

La carte de sensibilité à la dégradation des sols est basée sur la synthèse d'une base de données émanant de la combinaison de $LST = f(a)$, $T_s = f(NDVI)$ et $NDVI = f(1/a)$ (figure suivante).

La procédure d'élaboration de cette carte comporte les étapes suivantes :

- élaboration d'une carte de synthèse de sensibilité à la dégradation de sol et l'état hydrique pour toute la période retenue (2000-2019) ;
- segmentation de la carte obtenue en seuils de dégradation (état très dégradé, état dégradé, état critique, bon état)

Pour cela on fait intervenir en entrée les cartes de l'albédo et NDVI et température de surface

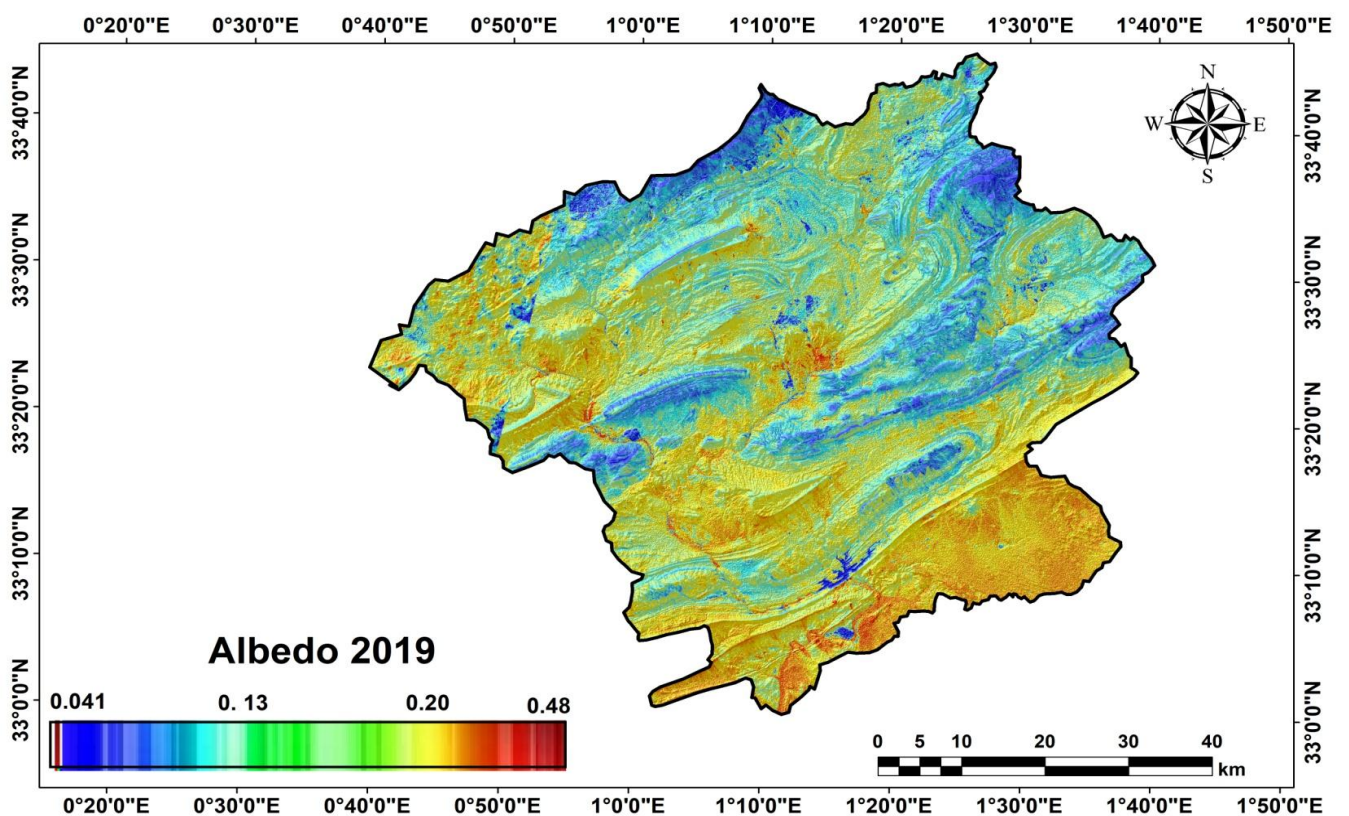


Figure 27 : Cartographie de l'albédo de surface des dix années d'étude (2000 - 2019) - source (LANDSAT 8)

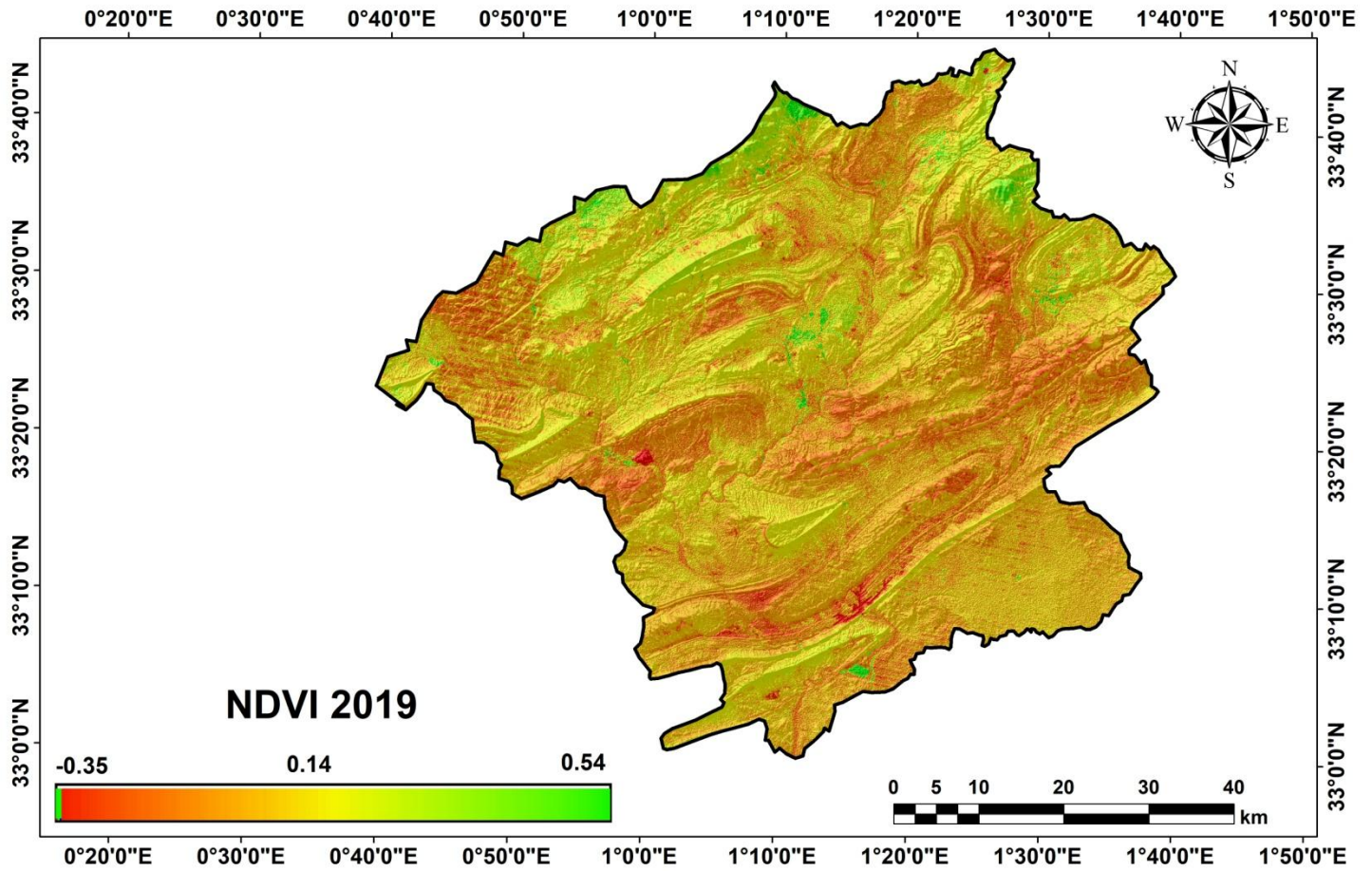


Figure 28 : Cartographie de l'indice de végétation (2000-2019) - source (LANDSAT 8)

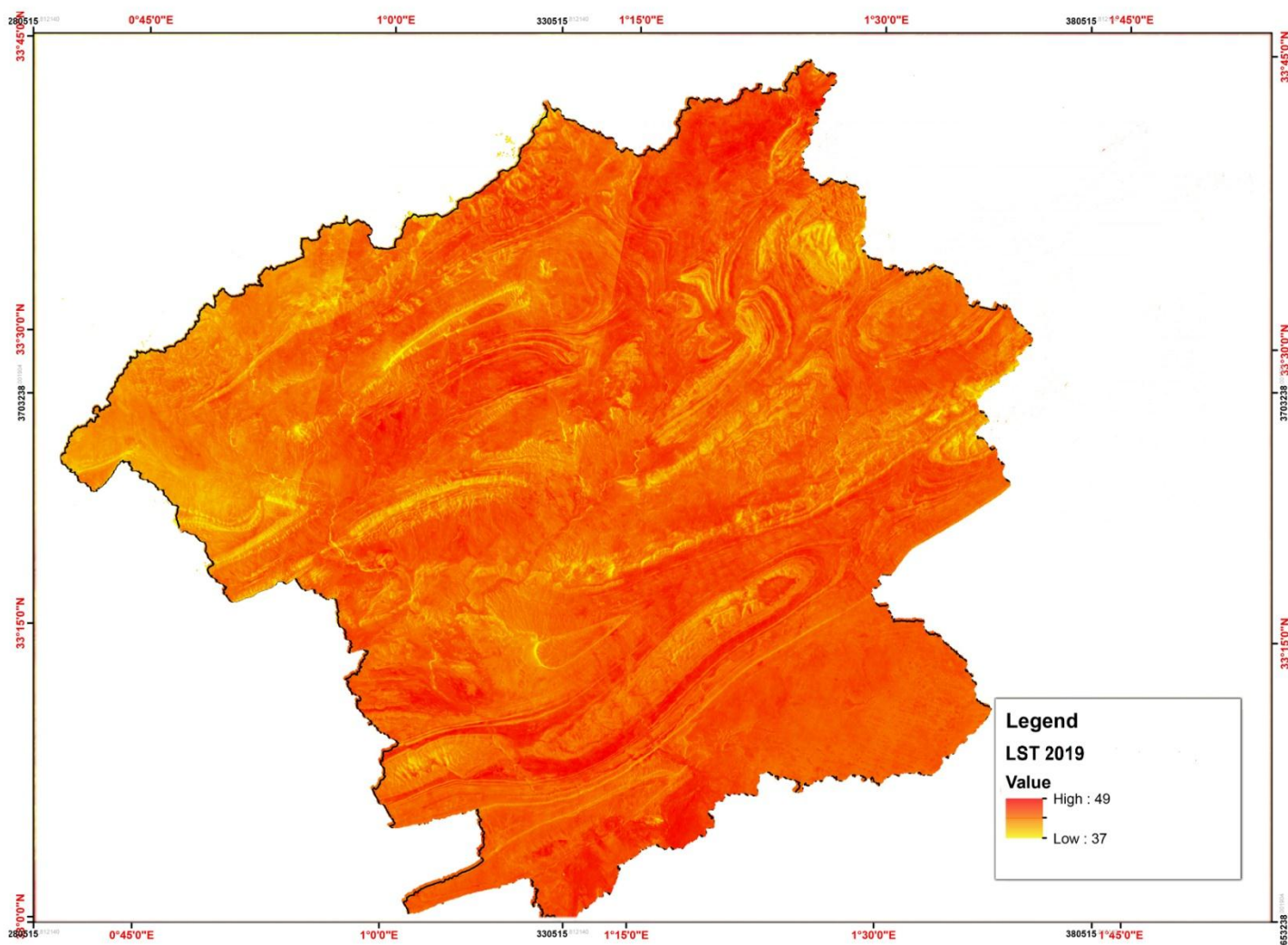


Figure 29 : Cartographie de la température de surface LST (2000-2019) - source (LANDSAT 8)

3.9.1. Combinaison des paramètres géophysiques :

La méthode employée s'appuie sur la relation entre NDVI et T_s qui dépend, entre autres, du type de surface. Elle se base sur une régression entre les valeurs de NDVI et de LST . Il est alors possible de déterminer le type de recouvrement végétal d'une manière binaire suivant le sens de la régression : si celle-ci est négative, le type de surface est décrété de végétation, et si elle est positive, le sol est nu.

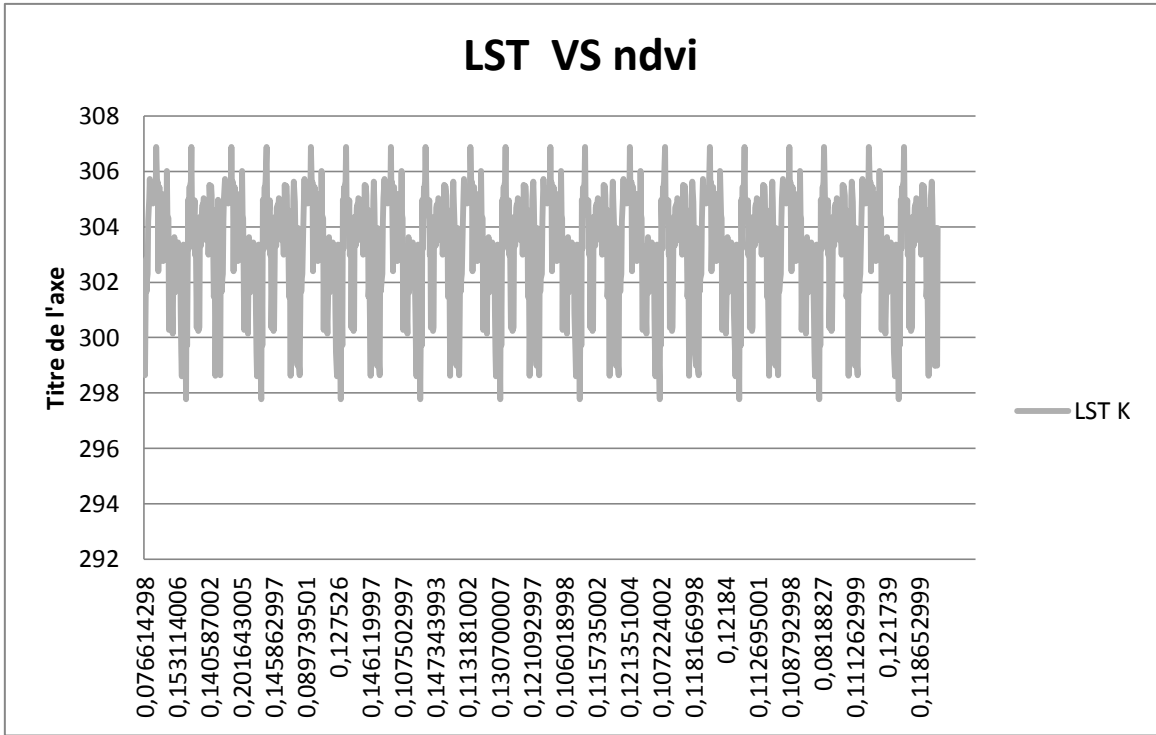


Figure 30 : Ajustement entre LSTet NDVI

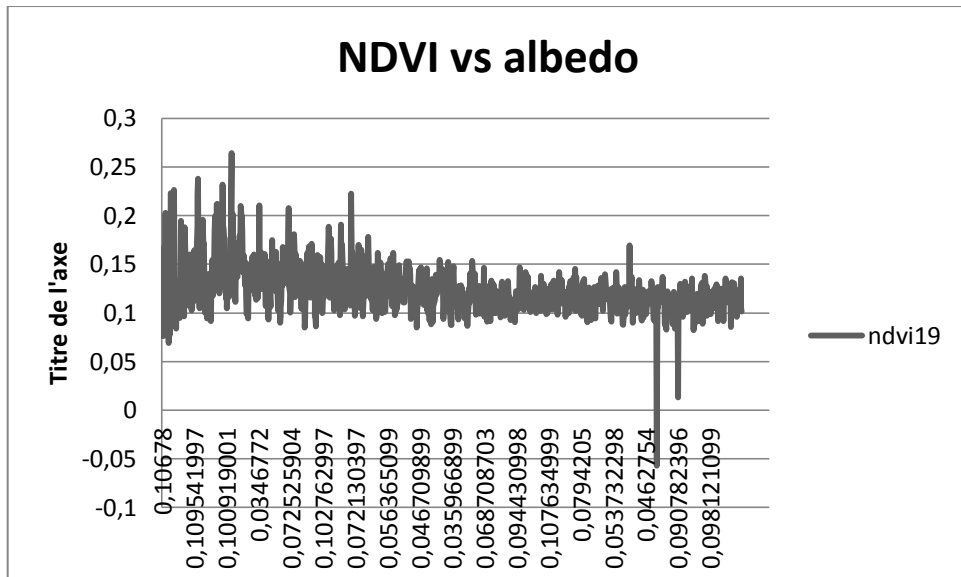


Figure 31 : Ajustement entre l'albedo et NDVI

3.9.2. Elaboration de la carte de sensibilité a la désertification :

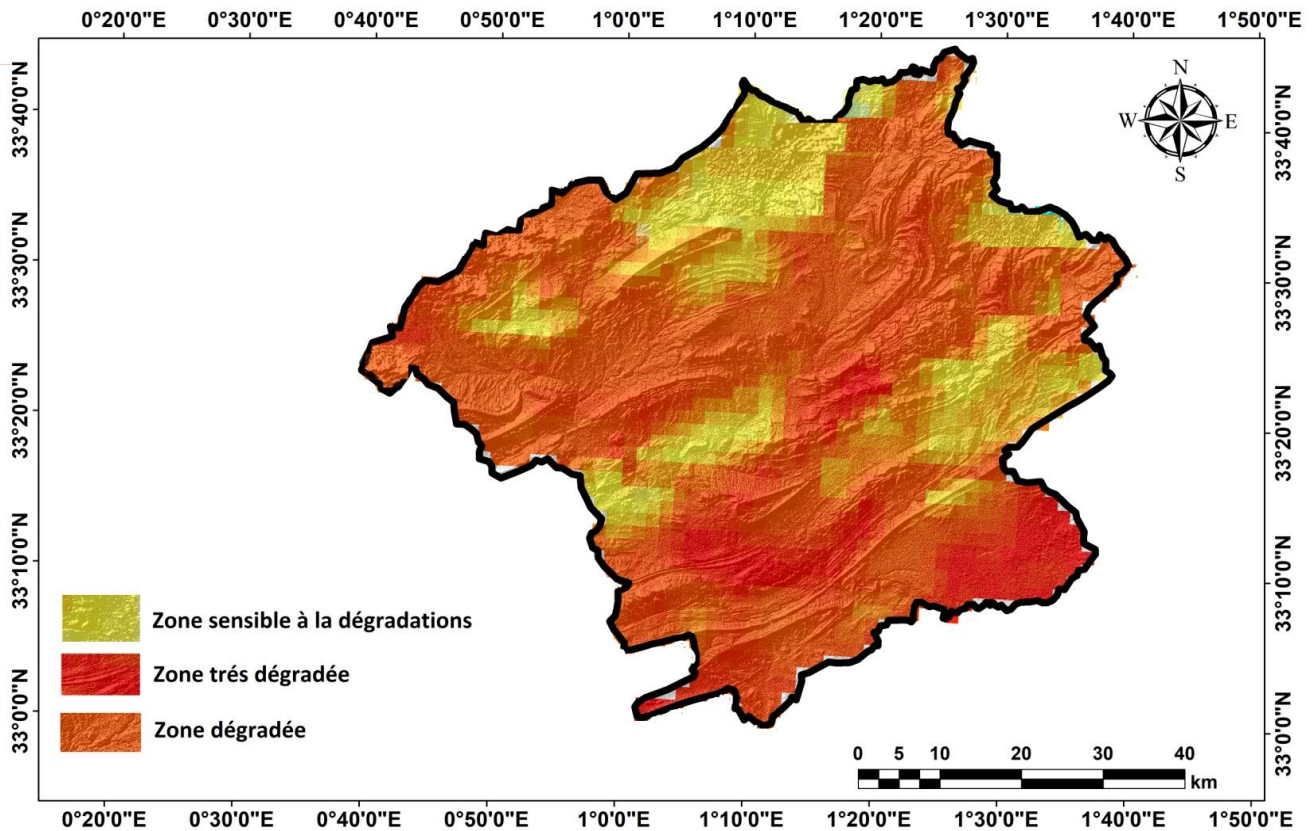
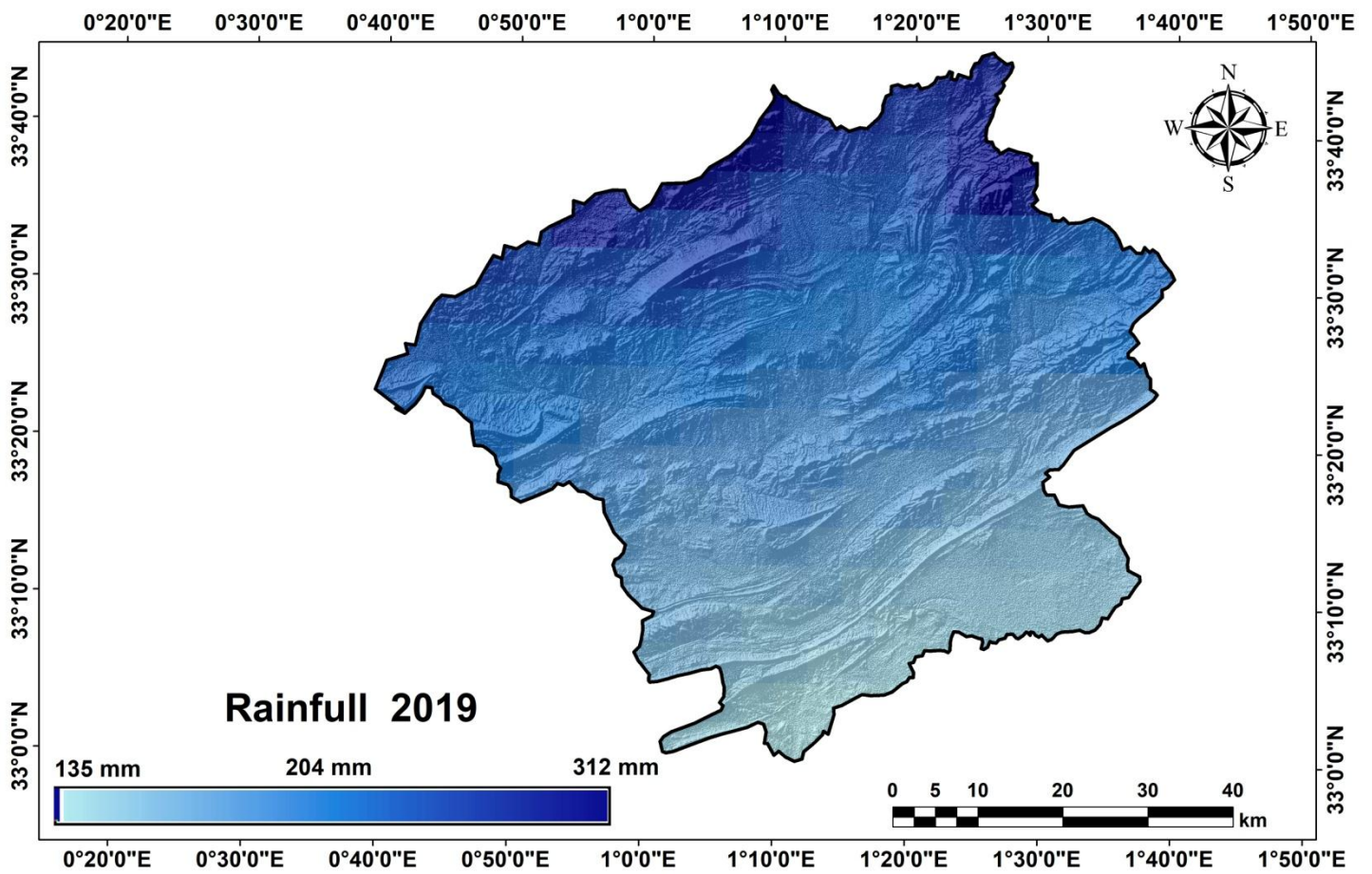


Figure 32. Carte synthèse de sensibilité à la désertification (2000-2019)

Une confrontation des résultats obtenus, relatifs à la cartographie de sensibilité à la désertification (la dégradation de sol), avec la carte pluviométrique du bassin versant de Brezina (figure suivante) montre une bonne concordance, ce qui met en évidence que le déficit pluviométrique observé durant ces dernières décennies est l'une des causes principales de la dégradation des sols.

Figure 33 :. Carte pluviométrique de la zone d'étude 2000 – 2019 (source : LANDSAT 8)



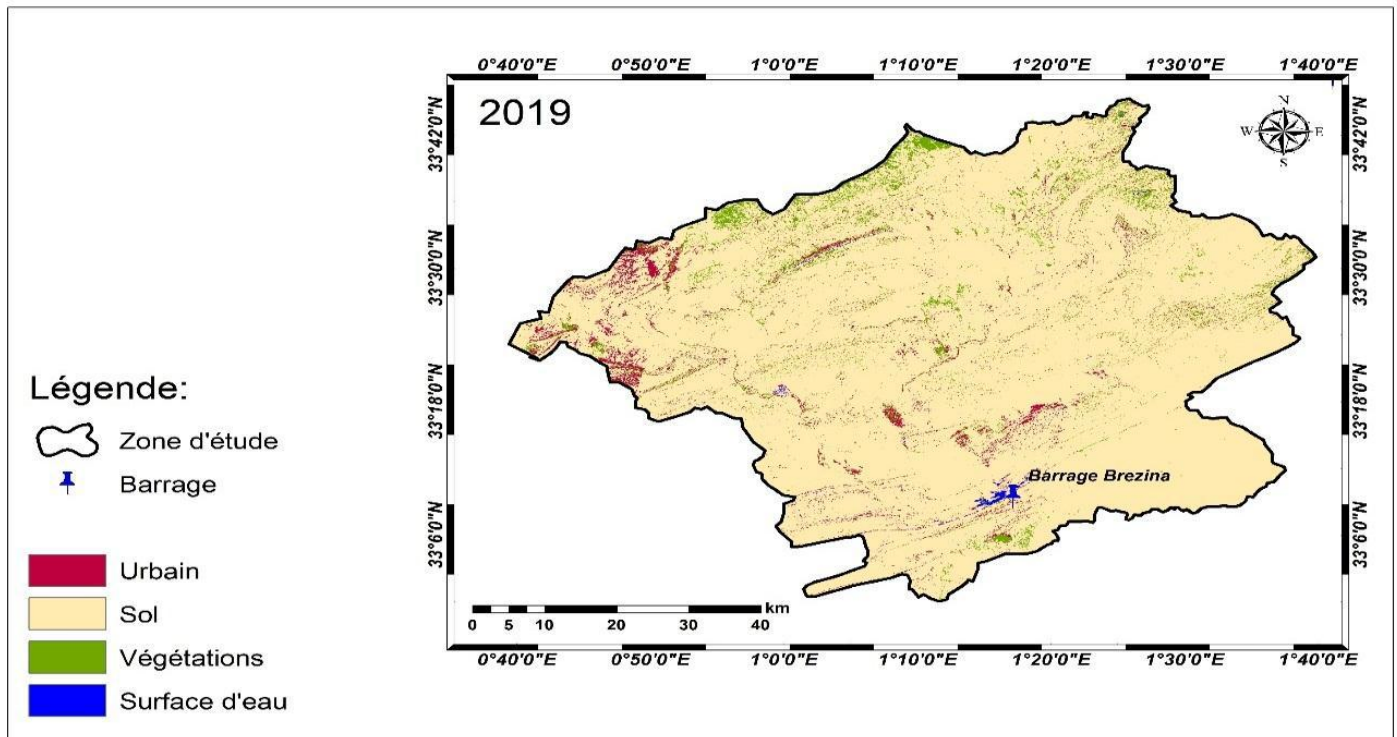


Figure34 : image satellitaire de l'occupation de sol année 2019 source (LANDSAT)

Les résultats de l'analyse de corrélation des deux années 2000 et 2019 entre L'NDVI et la température de surface LST a l'échèle du bassin versant de brezina ont éttait faible dans les années 2000 et par contre remarquable en 2019 et cela causé par l'augmentation de la température qui provoque une baisse remarquable des valeurs de L' NDVI en 2000 et bien le contraire en 2019 , ce qui nous indique que, dans les régions arides et semi-arides, la température minimale est le facteur limitant qui conditionne le fonctionnement de l'activité photosynthétique des feuilles. Augmentation de cette température par rapport à la moyenne entraîne une diminution importante de l'activité photosynthétique des feuilles des arbres qui se traduit par une chute significative des valeurs de l'indice NDVI. La corrélation peut être expliquée par la forte covariance négative existant entre les températures et les précipitations des deux périodes de temps (2000 et 2019) .

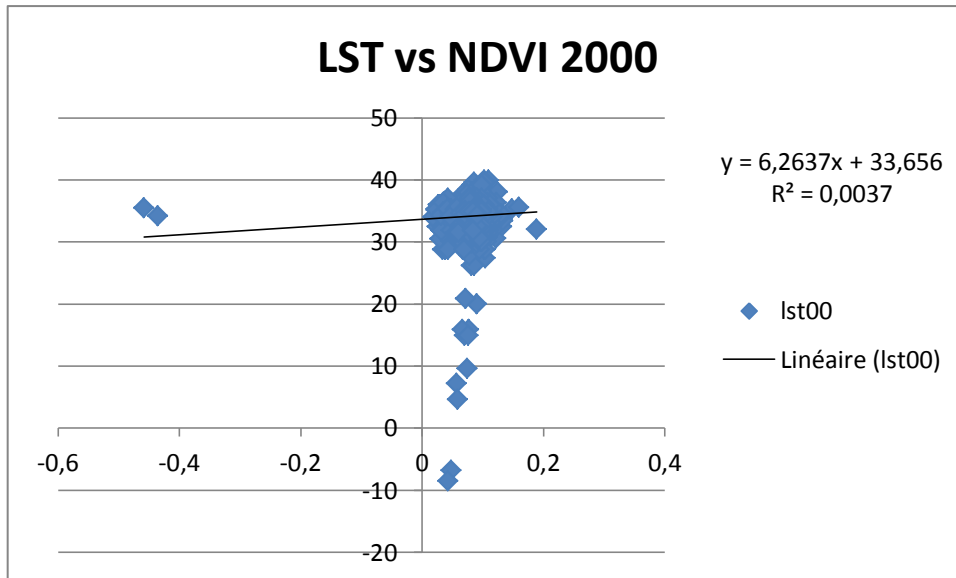


Figure 35 : résultat LST- NDVI année 2000

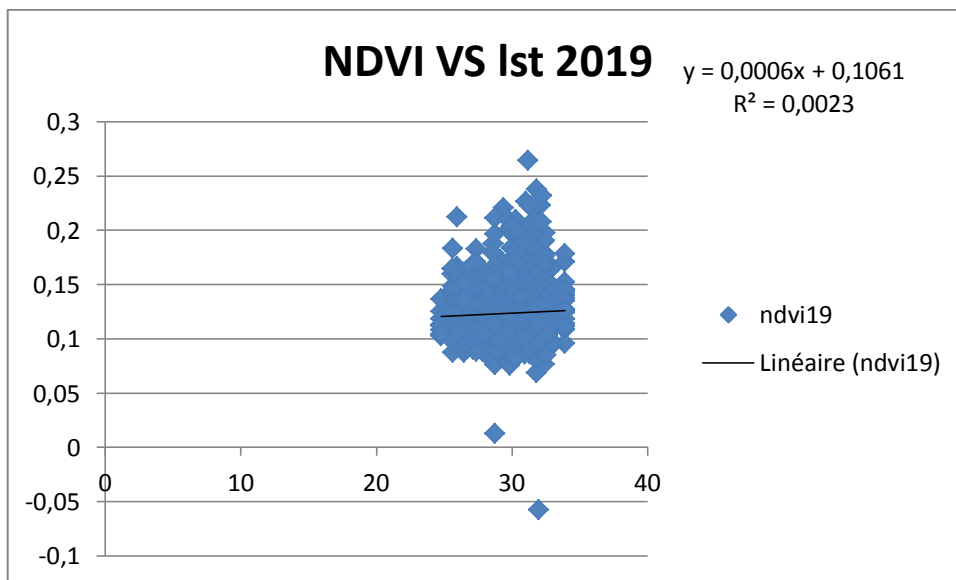


Figure 36 : résultat LST- NDVI année 2019

3.10.Relation entre l'occupation de sol et la température de surface (LST) :

La température de surface terrestre peut refléter les interactions environnementales et les échanges entre le sol, l'occupation du sol et l'atmosphère, ce qui est considérable pour l'étude des changements environnementaux. Néanmoins, les recherches sur la température de surface dans la zones de brezina est considéré un peux fragile , dans la plupart des articles des recherches antérieurs, les principales zones d'étude étaient peux aggloméré et caractérisées par des phénomènes naturels comme l'érosion. En conséquence, l'étude de ce paramètre est difficile à l'échelle locale, car il est influencé par les variations climatiques et les choix anthropiques qui déterminent l'occupation du sol. En résumé, le modèle de correction atmosphérique à partir des données LANDSAT permet d'extraire facilement la température de surface et d'explorer ses relations avec l'occupation du sol et NDVI. En effet ,on a les deux corrélation qui montre les résultats la

variation de la température de surface est en fonction du type d'occupation du sol pour les deux années (2000 et 2019).

Cette étude fournit une référence pour la planification de l'utilisation des terres par des courbe de corrélation moyen stable pour l'année 2000 et un peux moyenne descendante pour l'année 2019, la restauration de l'environnement écologique dans les alentours de la zones d'étude . Les années de 2000 et 2019 ont été choisies principalement pour la qualité et la disponibilité des images et que la végétation est mûre à cette époque de l'année.

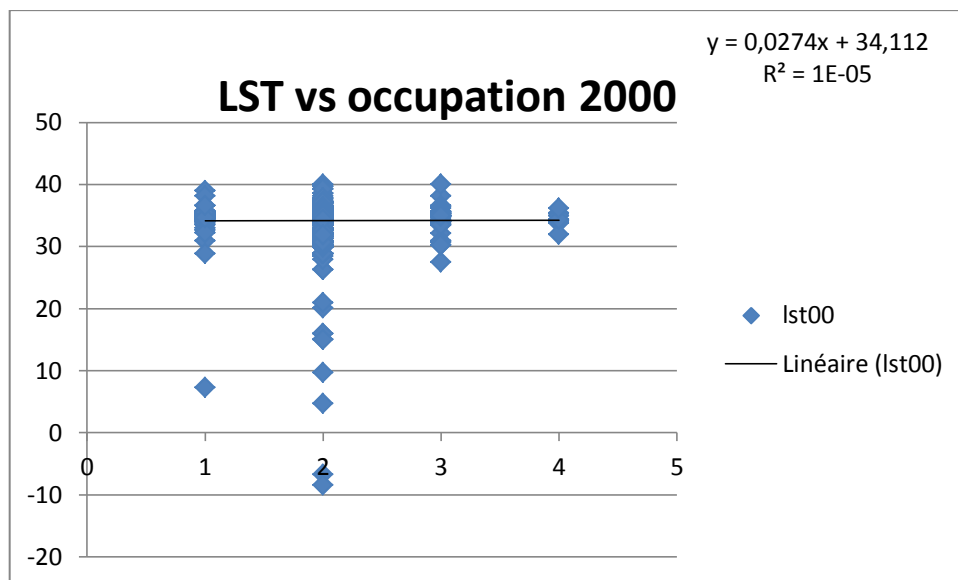


Figure 37 : résultat LST- occupation de sol année 2000

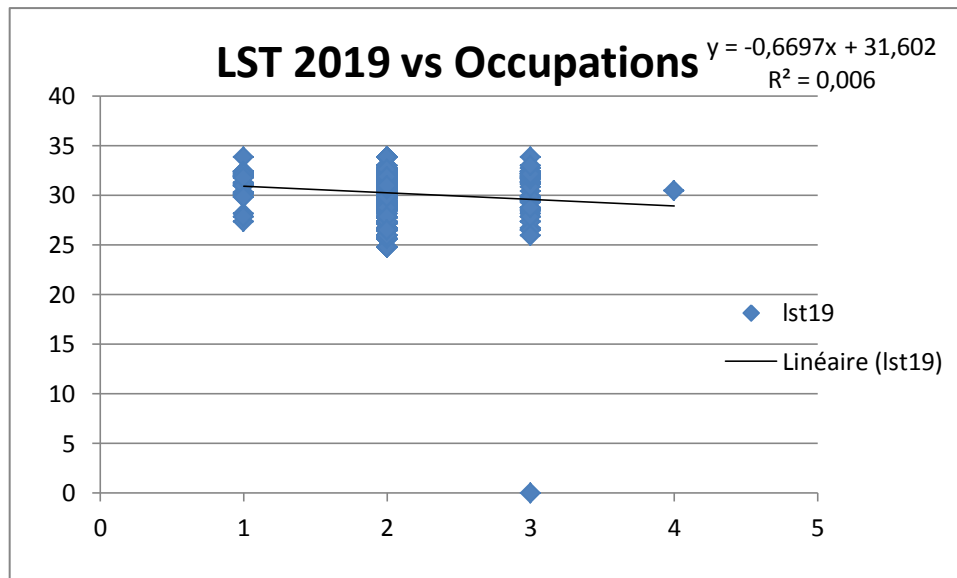


Figure 38 : résultat LST- occupation de sol année 2019

Grâce à la courbe de corrélation entre l'occupation de sol et la température de surface et la température de surface, il existe une corrélation moyenne entre elles dans les deux années choisies (2000 et 2019) en raison d'autres influences qui interfèrent avec les phénomènes physique pour contrôler la température de surface.

3.11.Relation entre NDVI et l'occupation de sol :

Pour comprendre cette relation des changements dans les valeurs de corrélation des pixels, il faut superposer la corrélation spatiale à la carte d'occupation du sol de brezina , en se référant à cette dernière on constate que la courbe a une réponse rapide entre l'occupation de sol et l' NDVI correspondent aux zones de végétation présent dans la zone d'étude , prairie et arbustive. En effet, cette zone étant identifiée comme zone semi-aride et la réponse presque simultanément aux précipitations ainsi qu'au type d'occupation de sol du centre du bassin versant est en accord avec les observations faites en zone semi-aride .

Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire et la faible teneur en matière organique, donc ils présentent des valeurs de température moyennement élevées.

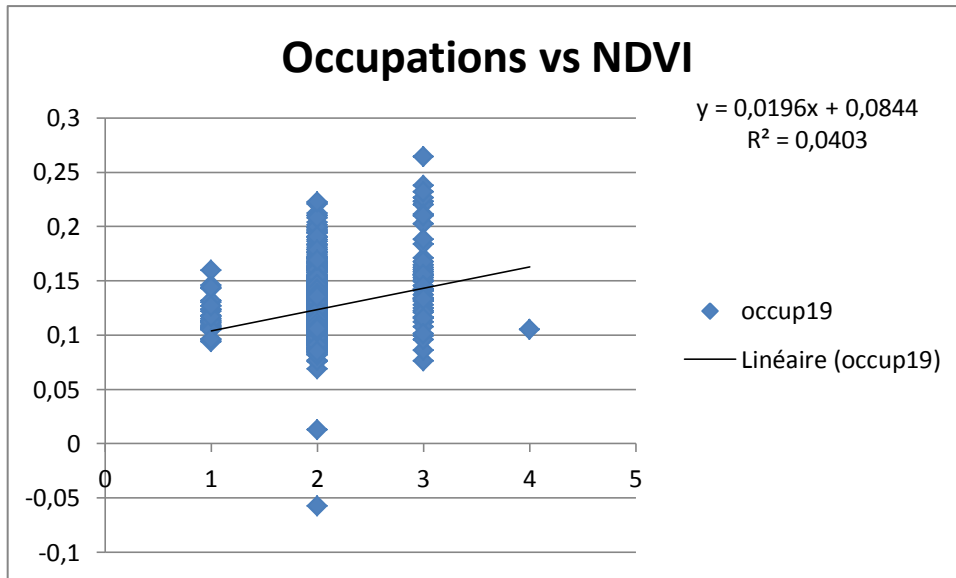


Figure 39 : résultat occupation de sol - NDVI

3.12. Conclusions

Ce travail montre l'importance de l'apport de la télédétection dans le suivi de la végétation au niveau du bassin versant de Brezina, pendant les quatre saisons (hiver, automne, printemps et été). Grâce au calcul de l'indice NDVI, la valeur moyenne de celui-ci change significativement d'une saison à une autre. Malgré les dates d'acquisition variées des images satellitaires analysées et les différents stades phénologiques du couvert végétal considéré, un lien bien marqué a été mis en évidence dans l'évolution annuelle du NDVI et de la pluviométrie surtout pendant les saisons pluvieuses avec un coefficient de corrélation linéaire moyen de 0,7268. Le NDVI a été largement utilisé pour suivre l'état de la végétation dans diverses régions du monde dont les régions méditerranéennes et arides de l'Afrique.

Ces mesures régionales du NDVI (et de l'abondance de la végétation) et leurs relations avec la pluviométrie et l'occupation de sol, notamment dans les régions semi-arides sont d'une grande importance dans l'identification des périodes de stress de la végétation et de l'environnement causés par des changements climatiques et environnementaux ainsi que d'autres effets naturels ou provoqués par l'homme."

Référence

Bibliographiques

Abrishamkar, M., & Ahmadi, A. (2017). Evapotranspiration estimation using remote sensing technology based on SEBAL algorithm. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 41(1), 65-76.

Abrishamkar, M., & Ahmadi, A. (2017). Evapotranspiration estimation using remote sensing technology based on SEBAL algorithm. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 41(1), 65-76.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T. A., & Jensen, M. E. (2011). Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*, 98(6), 921-929.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, 20. ANRH Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Aussenac, G., & Boulangeat, C. (1980). Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus silvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). In *Annales des Sciences forestieres* (Vol. 37, No. 2, pp. 91-107). EDP Sciences.

Bargaoui, Z., & Houcine, A. (2010). Sensitivity to calibration data of simulated soil moisture-related drought indices. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 21(4), 294-300.

Bargaoui, Z., & Houcine, A. (2011). Calibration of an evapotranspiration model using runoff records and regional evapotranspiration. *Hydro-climatology: Variability and change IAHS Pub*, 344, 21-26. Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *Betson, R. P. (1964). What is watershed runoff?. Journal of Geophysical research*, 69(8), 1541-1552.

Bhattacharai, R. P., Ojha, B. R., Thapa, D. B., Kharel, R., Ojha, A., & Sapkota, M. (2017). Evaluation of elite spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and yield attributing traits under irrigated condition. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 5(2), 194-202.

Bhattacharai, R. P., Ojha, B. R., Thapa, D. B., Kharel, R., Ojha, A., & Sapkota, M. (2017). Evaluation of elite spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and yield attributing traits under irrigated condition. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 5(2), 194-202.

Boyle, D. P., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models: Combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resources Research*, 36(12), 3663- 3674.

Braud, I., Dantas-Antonino, A. C., Vauclin, M., Thony, J. L., & Ruelle, P. (1995). A simple soilplant-atmosphere transfer model (SiSPAT) development and field verification. *Journal of hydrology*, 166(3-4), 213-250.

BSUEN-CHUN, Y. I. N. (1988). A composite method for estimating annual actual evapotranspiration. *Hydrological sciences journal*, 33(4), 345-356.

Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3), 241-252.

Coops, H., Geilen, N., & van der Velde, G. (1999). Helophyte zonation in two regulated estuarine areas in the Netherlands: Vegetation analysis and relationships with hydrological factors. *Estuaries*, 22(3), 657- 668. Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Clapp, R. B., & Ginn, T. (1984). A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water resources research*, 20(6), 682-690.

Dickinson, W. T., & Whiteley, H. (1970). Watershed areas contributing to runoff. *IAHS publ*, 96, 12-26. *Dictionnaire du climat*. Par Gérard Beltrando et Laure Chémery. Larousse, Paris, 1995, 344p.

Dunne, T., & Black, R. D. (1970). Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water resources research*, 6(5), 1296-1311.

Dunn, S. M. (1999). Imposing constraints on parameter values of a conceptual hydrological model using baseflow response.

EL GAROUANI, A. (1995). Estimation et cartographie de l'évapotranspiration réelle par télédétection et systèmes d'informations géographique: contribution à l'étude hydrogéologique (150p) de la basse vallée de la Medjerda (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, option hydrogéologie et télédétection, Faculté des Sciences Mathématiques Physiques et Naturelles de Tunis).

Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothern, J. S., Hook, S., & Kahle, A. B. (1998). A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1113-1126.

Guswa, A. J., Celia, M. A., & Rodriguez- Iturbe, I. (2002). Models of soil moisture dynamics in ecohydrology: A comparative study. *Water Resources Research*, 38(9), 5-1. Guy, B. T., Dickinson, W. T., & Rudra, R. P. (1987). The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. *Transactions of the ASAE*, 30(5), 1378-1386.

Hamimed, A., Zaagane, M., OUALID, A., Teffahi, M., & BAKHTIAR, D. (2017). Monitoring daily actual evapotranspiration and surface water status over an agricultural area in western algeria using remote sensing data. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (29), 45-59.

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.

Itier, B., & Brunet, Y. (1996, November). Recent developments and present trends in evaporation research: a partial survey. In *International Conference*. ASAE.

Jackson, R. D., Slater, P. N., & Pinter Jr, P. J. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote sensing of environment*, 13(3), 187-208. Jacob, D. J., Logan, J. A., & Murti, P. P. (1999). Effect of rising Asian emissions on surface ozone in the United States. *Geophysical Research Letters*, 26(14), 2175-2178.

Jiménez-Bello, M. Á., Castel, J. R., Testi, L., & Intrigliolo, D. S. (2015). Assessment of a remote sensing energy balance methodology (SEBAL) using different interpolation methods to determine evapotranspiration in a citrus orchard. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(4), 1465-1477.

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10), 1840-1843.

Jin, M., Li, J., Wang, C., & Shang, R. (2015). A practical split-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat-8 data and a case study of an urban area in China. *Remote sensing*, 7(4), 4371-4390.

Kalma, J. D., & Boulet, G. (1998). Measurement and prediction of soil moisture in a medium-sized catchment. *Hydrological sciences journal*, 43(4), 597-610.

Kobayashi, T. E. T. S. U. O., Matsuda, S., Nagai, H., & Tesima, J. (2001). A bucket with a bottom hole (BBH) model of soil hydrology. *IAHS PUBLICATION*, 41-46. Lamb, R., Beven, K., & Myrabbø, S. (1998). Use of spatially distributed water table observations to constrain uncertainty in a rainfall-runoff model. *Advances in water resources*, 22(4), 305-317.

Lamsanni, A. (2000). Suivi de la désertification au Maroc à partir d'images AVHRR de NOAA, *Téledétection en Francophonie: analyse critique et perspectives*, Ed. , 171-176.

Landsat 8 le Satellites

laney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, USDA Conservation Service. SCS-TP-96, Washington, DC Liang, S. 2000. "Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms." *Remote Sensing of Environment* 76, 213-238.

Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., & Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of hydrology*, 201(1-4), 272-288.

Lu, X., Zhang, L., Wu, T., Long, M. S., Wang, J., Jacob, D. J., ... & Zhu, L. (2020). Development of the global atmospheric chemistry general circulation model BCC-GEOSChem v1. 0: model description and evaluation. *Geoscientific Model Development*, 13(9), 3817-3838.

Makhlouf, Z., & Michel, C. (1994). A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *Journal of Hydrology*, 162(3-4), 299-318.

- Makkink, G. F. (1957). Ekzameno de la formula de Penman. *Neth. J. Agric. Sci*, 5, 290-305.
- Milly, P. C. D. (1994). Climate, soil water storage, and the average annual water balance. *Water Resources Research*, 30(7), 2143-2156. Modèle numérique de terrain (MNT ; en anglais : Digital Elevation Model ou DEM).
- Ngai, E. W., Xiu, L., & Chau, D. C. (2009). Application of data mining techniques in customer relationship management: A literature review and classification. *Expert systems with applications*, 36(2), 2592-2602.
- Noin, D., & Clarke, J. I. (1998). Population and environment in arid regions of the world. *MAN AND THE BIOSPHERE SERIES*, 19, 1-20.
- Oudin, L. (2004). Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global (Doctoral dissertation)
- Ouhamdouch, S., & Bahir, M. (2017). Climate change impact on future rainfall and temperature in semi-arid areas (Essaouira Basin, Morocco). *Environmental Processes*, 4(4), 975-990.
- Ouhamdouch, S., & Bahir, M. (2017). Climate change impact on future rainfall and temperature in semi-arid areas (Essaouira Basin, Morocco). *Environmental Processes*, 4(4), 975-990.
- Paiva, R. C., Collischonn, W., & Buarque, D. C. (2013). Validation of a full hydrodynamic model for large- scale hydrologic modelling in the Amazon. *Hydrological Processes*, 27(3), 333-346.
- Penman, H. L. (1956). Estimating evaporation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 37(1), 43-50. Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145. Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279(1-4), 275-289.
- Purevdorj, T. S., Tateishi, R., Ishiyama, T., & Honda, Y. (1998). Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International journal of remote sensing*, 19(18), 3519-3535.
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), 81-92.
- Qiao, T., Ren, J., Wang, Z., Zabalza, J., Sun, M., Zhao, H., ... & Marshall, S. (2016). Effective denoising and classification of hyperspectral images using curvelet transform and singular spectrum analysis. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 55(1), 119-133.
- Rana, G., & Katerji, N. (2000). Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of agronomy*, 13(2-3), 125-153.
- Souidi, Z., Hamimed, A., Donze, F., Seddini, A., & Mederal, K. (2010). Estimation de l'évapotranspiration d'un couvert forestier en Algérie par télédétection. *Revue Télédétection*, 9(3-4), 164-181.

Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), 99-103. Teixeira, F. K., & Colot, V. (2009). Gene body DNA methylation in plants: a means to an end or an end to a means?. *The EMBO journal*, 28(8), 997-998.

TerraClimate GEE is a dataset of monthly climate and climatic water balance for global terrestrial surfaces.

TerrSet (formerly IDRISI) is an integrated geographic information system (GIS) and remote sensing software. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) is an international research effort that obtained digital elevation models on a near-global.

Vrugt, J. A., Schoups, G., Hopmans, J. W., Young, C., Wallender, W. W., Harter, T., & Bouten, W. (2004). Inverse modeling of large- scale spatially distributed vadose zone properties using global optimization.

Water Resources Research, 40(6). Wagener, T. (2003). Evaluation of catchment models. *Hydrological processes*, 17(16), 3375-3378. Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P., & Woods, R. (2007). Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography compass*, 1(4), 901-931.

Wagener, T. (2003). Evaluation of catchment models. *Hydrological processes*, 17(16), 3375-3378. Wagle, P., & Gowda, P. H. (2019). Editorial for the Special Issue “Remote Sensing of Evapotranspiration (ET)”.

Zhan, Ch.-S., Xia, J., Chen, Z., Zuo, Q.-T. (2008) An integrated hydrological and meteorological approach for the simulation of terrestrial evapotranspiration. *Hydrological Sciences Journal*.