



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE : SCIENCES**

**DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : AKAKA Intissare Sarah**

**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)**

**FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES**

**OPTION : AMELIORATION DES PLANTES**

#### **Thème**

**Suivi diachronique de l'état hydrique des cultures céréalières par des séries temporelles du satellite Lansat-8, cas de sous bassin versant de Sidi Mhamed Benali (Rélizane, Algérie).**

#### **Jury de soutenance :**

**M. MAKOUDI Morad**

**MAA**

**Président**

**M. ROUGUI Tahar**

**MAA**

**Examineur**

**M. BENCHETTOUH Ahmed**

**MAA**

**Encadreur**

**Promotion : 2017 – 2018**

**Résumé :**

L'humidité du sol a été déclarée *Essentiel Climate Variables* (ECV) en 2010 par l'*European Space Agency* (ESA) en support du travail du groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du climat (GIEC). Dans des zones vulnérables comme l'Algérie, la valeur ajoutée d'information concernant l'humidité du sol est importante, surtout dans un contexte de changement climatique. Notre travail repose sur l'approche spatiotemporelle en utilisant le triptyque mesures in situ/téledétection/ modélisation. Cette approche a été appliquée dans une région à vocation agricole dont le but d'évaluer l'état hydrique du sol pour mettre en application un système d'irrigation. Les résultats obtenus montrent que la quantité des pluies et le NDVI de la culture céréalière présente une corrélation assez forte ( $R^2 = 0,60$ ). Ce qui explique que le cycle végétatif des cultures céréalières est en relation avec la quantité des précipitations. Cette corrélation a été traduite par le coefficient d'efficacité des pluies. En effet, la culture céréalière a un coefficient d'efficacité de 1,71, suivi par les plantes vivaces et les sols nus avec respectivement 1,62 et 1,48. L'indice de l'humidité du sol NDWI apporte une information capitale sur l'état hydrique des sols. Les sols à plantes vivaces présentent une faible évapotranspiration durant les trois mois de la période d'étude avec un gain en humidité du sol atteignant une valeur de 0,07 enregistrée durant le mois d'avril. Les sols à culture céréalière soumis à une évapotranspiration importante à partir du mois d'avril avec un déficit hydrique de 0,02. Les sols nus commencent également à perdre leur potentiel hydrique à partir du mois d'avril enregistrant une valeur maximale de déficit hydrique de 0,16 durant le mois de juin. Les résultats de la LST comparés aux mesures de la température de l'air à 2 m du sol nous ont permis de déduire que ces deux paramètres présentent une très forte corrélation ( $R^2 = 0,94$ ). Les valeurs de la température de l'air mesurées durant la période d'étude montrent que l'augmentation de la température commence à partir du mois d'avril et les valeurs les plus élevées durant juin, juillet et aout.

**Mots clés :** Suivi diachronique – NDVI– NDWI- cultures céréalières – Landsat\_8 – sous bassin versant SMBA- Algérie.

**Abstract :**

The soil moisture was declared *Essential Climate Variables* (ECV) in 2010 by the *European Space Agency* (ESA) in support of the work of the Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC). In vulnerable areas like Algeria, the added value of information about soil moisture is important, especially in a climate change context. Our study is based on the spatiotemporal approach using the triptych such as: measurements in situ/ remote sensing / modelization. This approach has been applied in an agricultural area whose purpose is to assess soil moisture status to implement an irrigation system. The results of this study show that the quantity of rain and the NDVI of the cereal crop was strongly correlated ( $R^2 = 0.60$ ). This correlation that has been translated by the efficiency coefficient of the rains, explains that the vegetative cycle of cereal crops is related to the quantity of rainfall. Indeed, the cereal crop has an efficiency coefficient of 1.71, followed by perennial plants and bare soils with 1.62 and 1.48 respectively. The NDWI Soil Moisture Index provides important information on soil moisture status. Perennial soils show low evapotranspiration during the three months of the study period with an increase in soil moisture reaching a value of 0.07 recorded during the month of April. Soils with cereal crops are subject to significant evapotranspiration from April with a water deficit of 0.02. Bare soils also begin to lose its water potential from April, recording a maximum water deficit value of 0.16 during June. The results of the LST compared to assessment of the air temperature at 02m from the ground, allowed us to deduce that these two parameters have a very strong correlation ( $R^2 = 0.94$ ). The values of the air temperature show that the increase in temperature starts from April and the highest values are recorded during June, July and August.

**Key words:** Diachronic monitoring - NDVI- NDWI - cereal crops - Landsat-8 – sub-watershed SMBA- Algeria

# Dédicace

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que Je dédie cette thèse de master :*

*A ma tendre mère Aichouche : Tu représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

*A mon très cher père Aissa : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

*A mes chères sœurs et frères Fatima, Souad, Abdesamed, Amine.*

*A ma belle sœur Iman et son fils Siradj.*

*A mes adorables neveux Moktare, Meriam, Aissa.*

*A ma grande famille maternelle et paternelle.*

*A mes amis Amar, Radia et Karima son oublier mon chère cousin Tayeb qui n'ont pas cessé de m'encourager et me conseillée. Cette humble dédicace ne saurait exprimer mon grand respect et ma profonde estime*

*A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.*

*Sarah*

## *Remerciements*

La rédaction de ce mémoire et sa soutenance marquent la fin d'une aventure à plusieurs facettes : aventure dans le monde de la recherche, qui ne devrait pas en rester là, aventure humaine, aventure familiale. Différentes personnes m'ont accompagnée tout au long de ce parcours.

Tout d'abord je tiens ici à remercier Le **Seigneur Dieu** tout puissant, pour m'avoir accordé vie, santé et paix de l'esprit sans quoi je n'aurais pu achever cette mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr Benchettouh Ahmed, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Je tiens à remercier également monsieur MAKOUDI Morad de m'avoir honoré en présidant le jury de soutenance et monsieur ROUGUI Tahar pour son acceptation d'examiner ce travail.

Je désire aussi remercier tous les enseignants du département des sciences agronomiques de l'université de Laghouat, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi et m'ont toujours donné le maximum de ce qu'ils pouvaient. Vous m'avez épaulé dans les moments difficiles et vous étiez et vous resteriez toujours un exemple dans le travail

Je remercie mes frères et sœurs, spécialement ma grande sœur docteur Akaka Fatima Zohra pour ces encouragements.

Je tiens à remercier spécialement monsieur Benaoui Mostafa l'ex directeur des services agricoles de Laghouat de m'avoir permis et donné l'occasion de terminer mes études ainsi pour sa patience et sa compréhension.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apportés leurs soutien moral et intellectuel tous au long de ma démarche.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à Amar, Radia, Karima pour leur confiance et leur support inestimable.

**TABLE DES MATIERES**

<b>RESUME</b> .....	<b>i</b>
<b>ملخص</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>iv</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTES DES FIGURES</b> .....	<b>ix</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>01</b>

**CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>1.1 Généralités sur les céréalicultures: le blé</b> .....	<b>03</b>
<b>1.1.1. Classification botanique</b> .....	<b>03</b>
<b>1.1.2. Caractéristiques morphologiques</b> .....	<b>03</b>
<b>1.1.2.1. L'appareil végétatif</b> .....	<b>04</b>
<b>1.1.2.2. Le cycle végétatif</b> .....	<b>05</b>
<b>1.1.3. Les facteurs édaphoclimatiques</b> .....	<b>08</b>
<b>1.1.3.1. Les besoins en températures</b> .....	<b>09</b>
<b>1.1.3.2. Les besoins en eau</b> .....	<b>09</b>
<b>1.1.3.3. Le sol</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2. Application de la télédétection à la l'étude du couvert végétal</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2.1. Propriété spectrale des feuilles</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2.1.1. Structure du couvert</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.1.2. Propriété spectrale et directionnelle de la réflectance du couvert</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.2. Indices spectraux de réflectance</b> .....	<b>14</b>

**CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE**

<b>2.1. Téléchargement des données Landsat_8OLI/TIRS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2. Prétraitements des données satellites</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3. Contexte géographique et climatique de la région d'étude</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.1. Données climatiques</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.2. Les paramètres physiographiques</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.3. Les indices de végétation</b> .....	<b>19</b>

2.3.3.1. NDVI.....	19
2.3.3.2. NDWI.....	20
2.3.3.3. La température du sol (LST) et l'émissivité (LES).....	21

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

3.1. Modélisation physiographique.....	25
3.1.1. Les courbes de niveau.....	25
3.1.2. Les pentes.....	26
3.1.3. Les expositions.....	27
3.2. Modélisation des paramètres climatiques.....	29
3.2.1. La variabilité spatiotemporelle des facteurs climatiques dans la zone d'étude.....	29
3.2.1.1. Les pluies.....	29
3.2.1.2. Les températures.....	31
3.2.2. La station de référence.....	32
3.2.3. Etage bioclimatique de la région d'étude.....	33
3.3. Validation des résultats.....	35
3.3.1. Occupation des sols.....	35
3.3.2. Le suivi diachronique du NDVI en fonction de l'état hydrique (NDWI) de différentes occupations du sol par une série multi date de Landsat_8.....	38
3.3.3. Variation mensuelle du NDVI de différentes occupations du sol en fonction des pluies..	39
3.3.3.1. Pluies-NDVI de la zone d'étude.....	39
3.3.3.2. Efficience pluviométrique.....	43
3.3.3.3. NDWI mensuelle de différentes classes d'occupations du sol: Pfp, CRCLR et SN.....	44
3.3.3.4. Validation de la température de surface du sol (LST).....	45
<b>CONCLUSION</b> .....	48
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	50
<b>ANNEXE</b>	

**LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>ANRH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydrique
<b>B2</b>	Bande spectrale bleue
<b>B3</b>	Bande spectrale verte
<b>B4</b>	Bande spectrale rouge
<b>B5</b>	Bande spectrale infrarouge
<b>BT</b>	Brightness Temperature
<b>CEP</b>	Coefficient d'Efficacité Pluviométrique
<b>CN</b>	Compte Numérique
<b>CRLCTR</b>	Céréaliculture
<b>DSA</b>	Direction des Services Agricoles
<b>ECV</b>	Essentiel Climate Variables
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>ETM+</b>	Enhanced Thematic Mapper Plus
<b>GIEC</b>	Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>ITGC</b>	Institut Technique des Grandes Cultures
<b>LAI</b>	Leaf Area Index
<b>LES</b>	Land emissivity surface
<b>LST</b>	Land surface temperature
<b><math>L_{\lambda}</math></b>	Radiance spectrale
<b>MIR</b>	Moyen Infrared
<b>MNT</b>	Modèle Numérique du Terrain
<b>NDMI</b>	Normalized Difference modified Index
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>NDVImax</b>	Normalized Difference Vegetation Index max.
<b>NDVimin</b>	Normalized Difference Vegetation Index min
<b>NDWI</b>	Normalized Difference water Index
<b>NIR</b>	Near Infrared
<b>PfP</b>	Plante à Feuillage Persistant
<b>PIR</b>	Proche Infrarouge
<b>PV</b>	Proportion de Végétation
<b>PVI</b>	Perpendicular Vegetation Index
<b>Q<sub>2</sub></b>	Quotient pluvio-thermique
<b>R</b>	Rouge
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficient de détermination
<b>RUE</b>	Rain Use Efficiency
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>SMBA</b>	Sidi Mhamed Ben Ali
<b>SN</b>	Sol Nu
<b>THRS</b>	Très Haute Résolution Spatiale
<b>TIRS</b>	Thermal Infrared Sensor
<b>TM</b>	Thematic Mapper
<b>TSAVI</b>	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>UV</b>	Ultra-violet

## Table des tableaux

### CHAPITRE I SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Tableau.1</b> : La classification botanique du blé .....	<b>3</b>
---	----------

### CHAPITRE II METHODES ET MATERIELS

<b>Tableau. 2</b> : Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor - (TIRS).....	16
<b>Tableau. 3</b> : Caractéristiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.....	18
<b>Tableau. 4</b> : les métadonnées de l'image TIR.....	22

### CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSIONS

<b>Tableau. 5</b> : Les classes des pentes.....	26
<b>Tableau. 6</b> : Les classes des orientations.....	27
<b>Tableau. 7</b> : la surface d'influence de chaque station pluviométrique.....	32
<b>Tableau. 8</b> : Les températures moyennes et les précipitations mensuelles de la station de référence (SMBA : 1994 - 2016).....	32
<b>Tableau. 9</b> : L'indice bioclimatique d'Emberger, L (d'après Stewart, 1969) (SMBA - 1994 – 2016).....	34
<b>Tableau. 10</b> : Les classes d'occupation des sols du sous bassin versant de SMBA.....	36
<b>Tableau. 11</b> : Coefficient d'efficacité des pluies par classes d'occupation du sol.....	44
<b>Tableau. 12</b> : l'humidité mensuelle de différentes occupations des sols.....	44
<b>Tableau. 13</b> : Comparaison entre la température max. de l'air et celle de LST.....	46

## LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Figure.1</b> : Cycle végétatif du blé.....	5
<b>Figure.2</b> : Signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation vis à vis du spectre électromagnétique entre 350 et 2500 nm.....	11
<b>Figure.3</b> : Illustration de la distribution bidirectionnelle de la réflectance d'un couvert végétal.....	13
<b>Figure.4</b> : Distribution de réflectance (en %) d'un couvert de blé dans le visible (580-680nm) à gauche et dans le proche infrarouge (730-1100 nm) à droite .....	13

## CHAPITRE II MATERIELS ET METHODES

<b>Figure.5</b> : Représentation des satellites Landsat_8 OLI/TIR.....	15
<b>Figure.6</b> : Localisation de la zone d'étude.....	17
<b>Figure.7</b> : L'organigramme du calcul de LST.....	21

## CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSIONS

<b>Figure.8</b> : Carte d'élévations.....	25
<b>Figure.9</b> : Carte des pentes.....	26
<b>Figure.10</b> : Carte d'exposition des reliefs.....	28
<b>Figure.11</b> : Répartition spatiale de précipitations moyennes annuelles.....	29
<b>Figure.12</b> : Répartition spatiale de températures moyennes annuelles.....	31
<b>Figure.13</b> : Diagramme Ombrothermique (SMBA: 1994 – 2016).....	33
<b>Figure.14</b> : Climagramme d'Emberger (SMBA: 1994 – 2016).....	35
<b>Figure.15</b> : Les classes d'occupation des sols du sous bassin versant de SMBA.....	37
<b>Figure.16</b> : Evolution du NDVI en fonction du NDWI durant la période d'étude.....	39
<b>Figure.17</b> : Evolution du NDVI_CRCLT en fonction des précipitations.....	40
<b>Figure.18</b> : Variation saisonnière du NDVI_CRCLR et des pluies.....	41
<b>Figure.19</b> : Variation saisonnière du NDVI_SN et des pluies.....	42
<b>Figure.20</b> : Variation saisonnière du NDVI_PfP et des pluies.....	42
<b>Figure.21</b> : la potentialité de différentes occupations des sols en humidité en fonction des précipitations.....	45
<b>Figure.22</b> : relation entre la température du sol et celle de LST.....	46

### INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est située entre l'espace méditerranéen et l'espace saharien, il subit des influences climatiques contrastées où les précipitations sont rares et irrégulières. Les variations interannuelles et saisonnières très marquées, l'évaporation intense et les températures élevées avec une amplitude plus ou moins forte. La pratique de la culture pluviale quoi qu'elle corresponde à une pluviométrie supérieure à 450 mm/an ne représentent que 4,8 millions d'hectares, dont presque la moitié sont annuellement non travaillés, en raison du manque de pluie et surtout de sa mauvaise répartition spatiotemporelle (Smadhi et al., 2002). Ainsi, malgré l'importance du blé dans le régime alimentaire, et bien que la production céréalière ne couvre que 30% en moyenne des besoins du pays (Mouhouche et Khiati, 1999), la céréaliculture n'a connu qu'une très faible amélioration de 6,21% (Mouhouche et Bourahla, 2007).

La mauvaise répartition au cours du cycle végétatif du blé peut donc être à l'origine de l'abaissement des rendements. Ces effets dépendent de la date d'apparition du déficit en relation avec le stade de la culture et de la tolérance de chaque génotype à la sécheresse. De ce fait, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité pour l'élévation et la stabilité des rendements des céréalicultures en Algérie.

L'accès à une information fiable, à jour et au moment opportun sur les facteurs affectant les rendements et la production agricole est une étape essentielle dans la mise en place d'une politique de sécurité alimentaire efficace (Guerfi, 2013). Les travaux de l'USDA dans les années 1970 et 80 ont permis de mettre en place les bases théoriques pour le suivi de la croissance des cultures (Inbal et al., 2010). En trois décennies, plusieurs programmes de recherche transdisciplinaires impliquant des agronomes et des spécialistes des technologies et des données spatiales ont été initiés aux Etats-Unis et en Europe (Atzberger, 2013). Les résultats du premier programme, *Large Area CropInventory Experiment* (LACIE 1974-1979)) ont démontré que l'imagerie satellitaire peut être utilisée d'une façon opérationnelle pour prédire les rendements du blé. Il a été suivi au début des années 80, par le programme *Agriculture and Resource Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing* (AgRISTARS 1990-2000), puis en 2002 par le programme Global Agricultural Monitoring (Kouadio, 2012).

## INTRODUCTION GENERALE

---

En Algérie, peu de projets conjoints entre équipes pluridisciplinaires ont été initiés, malgré que l'imagerie satellitaire ait été utilisée pour des applications agronomiques dès sa disponibilité dans les années 70, dans des études d'inventaire et de cartographie des périmètres irrigués (SOGREAH Conseil), dans l'évolution de l'occupation des sols et de suivi de la désertification (Oussedik et al., 2003), dans le suivi du couvert végétal et de son état hydrique (Souidi et al., 2010) ... etc.

En 2010, l'humidité du sol a été déclarée *Essentiel Climate Variables* (ECV) par l'*European Space Agency* (ESA) en support du travail du groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du climat (GIEC).

Dans cette approche de suivi diachronique de l'état hydrique des cultures céréalières nous utiliserons les données provenant du spectroradiomètre imageur à haute résolution (Landsat\_8) qui est l'un des capteurs les plus perfectionnés actuellement en service, et le plus adapté au suivi des cultures. Sa résolution spatiale est de 30m et dispose de 11 bandes spectrales, dont une au visible (B2, B3 et B4) et une au proche infrarouge (B5).

Le plan de la présente étude est composé de trois chapitres:

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur le blé ainsi que les facteurs édapho-climatiques influençant la production céréalière.

Le deuxième chapitre expose le matériel utilisé et les méthodes adoptées.

Le troisième chapitre, est consacré aux résultats obtenus et leurs interprétations.

### 1.1. Généralités sur les céréalicultures: le blé

L'histoire de l'homme est intimement liée à celle des céréales à paille qu'il a très tôt appris à domestiquer, cultiver et sélectionner. Toutefois, leur production reste très dépendante des conditions climatiques.

Les céréales d'hivers, en partie le blé dur, demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires algériens et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture algérienne (Boulai et al, 2007)

D'un point de vue économique les deux types variétaux actuels importants sont le blé dur et le blé tendre.

Le nom des variétés qui revient le plus souvent en Algérie est *Vitron*, *Gta*, *Waha*, suite à la poursuite d'observation de comportement en station L'ITGC (institut technique des grandes cultures) introduit régulièrement de nouvelles variétés (Belaid, 2016).

#### 1.1.1. Classification botanique

**Tableau. 1 La classification botanique du blé**

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Cormophyte</i>
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Sous-embranchement	<i>Angiospermes</i>
Super-ordre	<i>Commeliniflorales</i>
Ordre	<i>Poales</i>
Classe	<i>Monocotilidones</i>
famille	<i>Graminées</i>
Genre	<i>Triticum</i>

#### 1.1.2. Caractéristiques morphologiques

Le blé est une plante herbacée annuelle, monocotylédone, à feuilles alternées, formées d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillet sessiles et aplatis. Les fleurs sont nombreuses, petites et peu visibles. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes.

### 1.1.2.1.L'appareil végétatif

#### *Les racines*

On deux sortes de racines:

Les racines primaires ou séminales issues de la semence qui se développent au moment de la germination : la radicule qui débouche la première; puis la 1<sup>ère</sup> paire de racines qui va sortir en même temps ; et la 2<sup>ème</sup> paire racinaires. Ces racines qui sont constitués que de tissus primaire vont nourrir la plantule jusqu'au stade tallage.

Un système racinaire fasciculé assez développé,(racines adventices ou coronaires);qui sont produites par le développement de nouvelles talles (Soltner,1990). Elles peuvent atteindre jusqu'à 1m 50cm.

#### *Les tiges*

Les tiges ce sont des chaumes, cylindriques, souvent creux par résorption de la moelle centrale mais chez le blé dur est pleine. Elles se présentent comme des tubes cannelés, avec de longs et nombreux faisceaux conducteurs de sève. Ces faisceaux sont régulièrement entrecroisés et enferment des fibres à parois épaisses, assurant la solidité de la structure. Les chaumes sont interrompus par des nœuds qui sont une succession de zones d'où émerge une longue feuille (Soltner, 1990).

#### *Les feuilles*

Les feuilles engainent la tige puis s'allonge en un limbe étroit à nervures parallèles lancéolé, issues chaque une d'un nœud; compte à la gaine est un cylindre qui permet d'attacher le limbe au nœud le plus bas son rôle est chlorophyllien et conservation d'eau et d'air et avant l'allongement des talles les graines protégeant l'apex qui se trouve en cercle concentrique au plateau de tallage (Soltner, 1990).

L'oreillette ou stipules sont des organes membranaire dépourvus de chlorophylle dont le rôle n'est pas encore bien déterminer (elles forment des joins empêchant particulièrement l'eau de pluies ou de rosé de s'infiltrer à l'intérieur de la gaine) ; la ligule est un organe membranaire qui se forme à l'adjonction entre le limbe et la gaine (Prast et al., 1971).

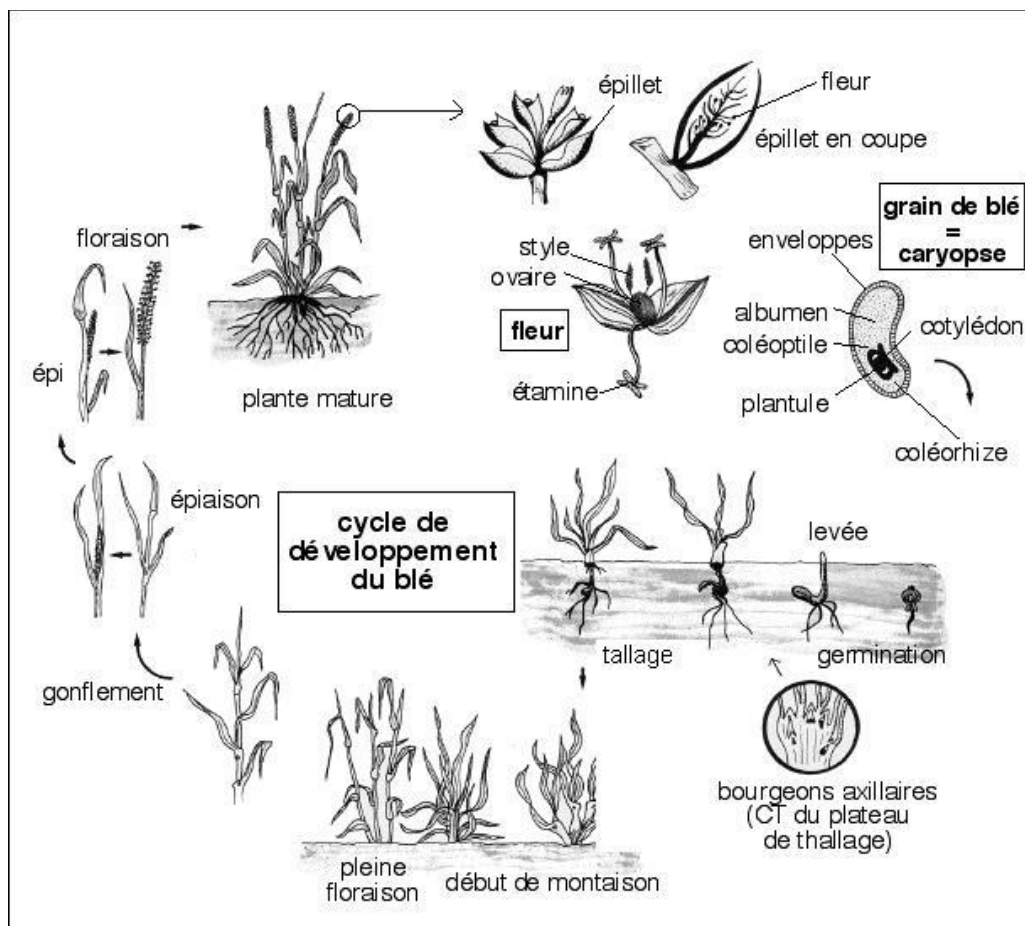
Chez toutes les graminées la présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule, permet de déterminer l'espèce avant l'apparition de l'épi (Soltner, 1990).

***Le fruit sec à la fois, graine et fruit « Le Caryopse »***

Les fruits de toutes les céréales sont des caryopses, ou fruits secs indéhiscent dont les parois sont soudées à celles de la graine. Le caryopse des céréales est nu ou vêtu selon que les glumelles adhèrent ou non au caryopse.

**1.1.2.2. Le cycle végétatif**

Le cycle végétatif est représenté par la figure 1, qui illustre les stades de végétation du blé



**Fig. 1 :** Cycle végétatif du blé

***La germination et la levée***

Toute semence mise en terre ne peut germer que si deux sortes de conditions sont réunies:

***La graine doit être capable de germer lorsqu'elle:***

**Vivante**, c'est-à-dire avoir une faculté germinative non encore altérée par un âge trop élevé. Cette faculté se maintient pendant 3 à 4 ans et décroît ensuite plus ou moins vite selon la variété et les conditions de récolte et de conservation. Bien entendu la faculté germinative dépend aussi de l'intégrité de la graine; les grains cassés, percés par des insectes, ne germent pas normalement (Soltner, 1990).

**Mure**, physiologiquement, cette maturité physiologique ne correspond pas forcément à la maturité commerciale, atteinte lorsque le taux d'humidité tombe à 15-16 % la plupart des variétés de blé à grains roux (les plus cultivées). ont une dormance de 15 à 30 jours, ce qui est un avantage : les grains ne peuvent germer sur l'épi si l'été est très humide. au contraire, l'absence de dormance chez les variétés à grain blanc et le blé dur entraîne des risques de germination sur l'épi (Soltner, 1990).

***Le sol doit fournir à la graine eau, oxygène et chaleur :***

- ✓ **De l'humidité**, pour réhydrater les cellules au repos de la graine, et permettre la mise en solution et la circulation des réserves vers la plantule;
- ✓ **De l'oxygène**, pour oxyder les réserves que la plantule va utiliser. Parallèlement, le sol doit pouvoir évacuer le gaz carbonique résultant de ces oxydations.
- ✓ **De la chaleur**, pour accélérer ces réactions chimiques et la division cellulaires.

**La bonne réalisation de ces trois exigences dépend en partie des travaux de préparation du sol et du semis:**

- ✓ **un sol suffisamment tassé** en profondeur facilite la remontée de l'eau,
- ✓ **un semis en surface** (moins de 3 cm) en sol à structure grumeleuse, non roulé après semis, permet les échanges gazeux, en une période où l'excès d'eau et la destruction de la structure en surface, risquent d'asphyxier la plantule.

***Le tallage modes de développement propre aux graminées***

A l'aisselle des premières feuilles du blé, des bourgeons axillaires entrent alors en activité pour donner de nouvelles pousses : les talles. la première talle se forme à la base de la première feuille, la deuxième talle à la base de la deuxième feuille, et ainsi de suite.

***Le stade A, ou débauche de l'épi, intervient avant la fin du tallage (stade de Jonard)***

Observé à la loupe sur un blé au stade 4 feuilles, le bourgeon terminal du maître brin ou d'une talle montre un apex court dont la base ne différencie que des ébauches de feuilles.

Une coupe du plateau de tallage faite plus tard, le maître brin ayant alors 5 à 6 feuilles. Fait apparaître un changement net :

- ✓ Une série de stries claires et sombres
- ✓ Le bourgeon terminal, ou apex cesse de former des ébauches de feuilles.

***Le stade B, marque la fin du tallage et le début de la montaison***

Au moment où, sur le jeune épi, s'amorce la formation des glumes, la croissance des talles est stoppée. Une coupe du plateau du tallage à ce stade montre :

- ✓ Des entre-nœuds nettement écartés
- ✓ Sur le jeune épi, l'ébauche des glumes

La durée de la phase A-B qui correspond au tallage actif, varie de 30 à 60 jours selon la date de semis et la variété.

***La Montaison et le gonflement (Stade B, C, D De Jonard-Vincent)***

Sitôt le stade B, les entre-nœuds d'un certain nombre de talles herbacées s'allongent très rapidement, tandis que sur le dernier nœud s'élève l'épi continuant à se former.

Une température élevée durant la montaison limite le nombre de talle-épi, tout en augmentant la quantité totale de matière sèche formée.

La durée de cette phase est très peu variable : 28 à 30 jours. Elle se termine au moment de la différenciation des stigmates des fleurs.

***L'Épiaison et la fécondation (stade E et F de Jonard-Vincent)***

Cette nouvelle étape a également une durée peu variable : 32 jours environ.

C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que s'effectue la fécondation. Le nombre de fleurs fécondées au cours de cette troisième période

critique dépendra de la nutrition azotée disponible et d'une évapotranspiration pas trop élevée.

***Le grossissement du grain correspond à la croissance de l'ovaire (stade M de Jonard)***

Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse .comme il n'y a plus de croissance des feuilles et des tiges, la matière sèche synthétisée dans les feuilles est entièrement destinée à l'accumulation des réserves. Mais à la fin de cette courte phase de 15 à 18 jours, 40 à 50 % seulement de ces réserves se sont accumulées dans le grain. Celui ci, bien qu'ayant sa taille définitive, est mou et encore vert .c'est le stade « grain laiteux ».

***La maturation du grain (stade M de Jonard)***

Dernière phase du cycle végétatif, la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité ;

- ✓ Un peu de la photosynthèse dite nette, qui persiste dans les dernières feuilles vertes.
- ✓ Surtout de la migration des réserves accumulées dans les feuilles et les tiges jaunissantes, mais non séchée.

Cette migration nécessite une circulation d'eau dans la plante, si faible soit-elle. Si à ce moment l'évapotranspiration est trop forte, la plante se dessèche brusquement sans que les réserves aient eu le temps de migrer. Le grain privé de ces réserves sera ridé et léger : c'est le phénomène de l'échaudage (Soltner, 1990).

**1.1.3. Les facteurs édapho – climatiques**

Les céréales sont cultivées sous conditions pluviales, d'une manière continue dans le Nord algérien, sur des sols de texture fine, le plus souvent. Les surfaces destinées aux céréales irriguées cloîtent à l'échelle nationale à 600 000 d'hectares à la fin de 2018. Cette surface est très faible et représente à peine 2% de la surface agricole utile.

Cependant, l'efficacité de la production agricole d'un végétal, qu'elle soit mesurée en termes de productivité ou de rendement, est conditionnée par le programme génétique du végétal cultivé, mais aussi par certains facteurs du milieu dans lequel il se trouve.

**1.1.3.1. Les besoins en températures**

Le blé présente une capacité d'adaptation très large. Les températures permettant une croissance optimale et un rendement maximum sont comprises entre 15 et 20°C (DuPont et Altenbach, 2003). En conditions méditerranéenne, les fortes températures au-dessous de 30°C sont stressantes. En effet, elles provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine. Mais elles affectent aussi le poids final des grains en réduisant la durée de remplissage. Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante. Quant aux basses températures et la tolérance au froid, le blé dur a la capacité de supporter les températures inférieure à 4°C considérée comme la température minimale pour la croissance. Cependant, une seule journée à une température minimale de l'ordre de -4°C entre le stade épi 1 cm et un nœud, pénalise le nombre de grains par épi (Gate, 1995).

**1.1.3.2. Les besoins en eau**

En région méditerranéenne, la sécheresse est l'une des causes principales des pertes de rendement du blé, qui varient de 10 à 80% selon les années. Les besoins en eau de la culture varient de 450 à 650 mm. Au début du cycle, ces besoins sont relativement faibles. C'est à partir de la phase épi 1 cm jusqu'à la floraison qu'ils sont les plus importants. En effet, la période critique en eau se situe de 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (Loué, 1982). De nombreuses recherches ont été faites dans ce contexte: Une étude souligne l'effet pénalisant du manque d'eau sur la physiologie de la plante et les composantes du rendement montrent qu'un déficit hydrique survenant au stade jeune tallage réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsque ce déficit survient aux stades gonflement ou anthèse, il réduit plutôt le poids des épis et le rendement en grain. C'est cependant le stade juste avant épiaison qui demeure le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% (Ben Naceur et al., 1999).

En Algérie, la pluviométrie est un facteur prédominant dans le rendement de blé conditionnant fortement les récoltes (Feliachi, 2000). La pluviométrie est globalement déficitaire, puisque dans les zones les plus emblavées en céréales, elle varie de 350 mm à 550 mm (Akkouche et Gahmousse, 2017).

**1.1.3.3.Le sol**

Le sol joue un rôle clé pour la production agricole. Plus de sept milliards de personnes se nourrissent de produits qui proviennent du sol. L'importance du sol ne se limite pas seulement à la production agricole, mais implique aussi diverses autres fonctions, comme le stockage de l'eau et des nutriments. Abritant une très riche diversité d'organismes, le sol est l'un des habitats les plus diversifiés de la planète (Orgiazzi A, et al. 2016, Bender et al. 2016). Cette biodiversité est indispensable pour le bon fonctionnement du sol et donc pour la production agricole. En outre, les sols séquestrent environ 600 à 1300 pétagrammes de carbone (C) au plan mondial, soit une quantité supérieure à ce qui est contenu dans l'atmosphère et dans toutes les plantes réunies (Wieder et al. 2013). Par conséquent, les sols jouent un rôle global essentiel et de nombreux problèmes environnementaux ne peuvent pas être résolus sans que les sols et leur qualité soient pris en considération (réchauffement climatique, érosion et dégradation du sol, lessivage de nutriments et de polluants, nitrates dans l'eau potable, inondations, perte de fertilité du sol). Un sol qui soit à même de remplir toutes ses fonctions naturelles est par conséquent d'une importance capitale.

Le blé qui est l'objet de notre expérience s'accommode de terre biens différentes, si l'on emploie les fumures et les variétés appropriées.

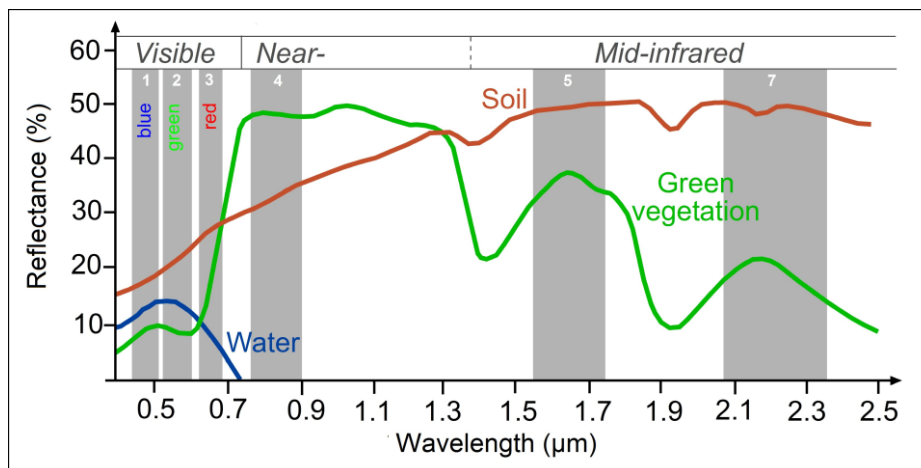
**1.2.Application de la télédétection à la l'étude du couvert végétal**

La télédétection de la végétation est la mesure du rayonnement électromagnétique issu des plantes et son interprétation en termes de paramètres physiologiques, phénologiques ou physiques. Elle trouve principalement des applications en écologie et en agronomie comme par exemple, la cartographie de l'occupation des sols ou l'aide à la conduite des cultures (Fournier, 2013).

**1.2.1. Propriété spectrale des feuilles**

L'interaction des feuilles avec le rayonnement électromagnétique se traduit par des phénomènes d'absorption, de réflexion, de transmission et de diffusion. La réflexion et la transmission d'un élément de couvert peuvent être représentées comme des diffusions arrière et avant respectivement. L'absorption est principalement liée à la présence de pigments photosynthétiques, à l'eau et à la matière sèche (Baret et Fourty, 1997, Fourty et

Baret, 1998). Pour ces raisons, les spectres de la végétation se caractérisent par une même allure typique. La figure 2 représente les propriétés spectrales d'une feuille. On distingue trois zones spectrales :



**Fig.2** : Signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation vis à vis du spectre électromagnétique entre 350 et 2500 nm.  
Source: SEOS Project

### **UV-Visible (300-700 nm)**

Dans ce domaine, la feuille manifeste une faible réflectance et transmittance due à une forte absorption du rayonnement par les pigments foliaires. Les polyphénols, contenus dans l'épiderme absorbent le rayonnement UV proche, les pigments (Chlorophylle a et b, caroténoïdes) absorbent l'UV, le visible et le proche infrarouge (300-700 nm), plus faiblement entre 500 et 600 nm.

### **Proche infrarouge (700-1300 nm)**

Il s'agit d'une zone de faible absorption. Le niveau du plateau de réflectance (plateau proche infrarouge) dépend essentiellement de la structure anatomique de la feuille (taille des cellules, des espaces intercellulaires, nombre d'interfaces).

### **Moyen infrarouge (1300-2500 nm)**

Le moyen infrarouge est fortement absorbé par l'eau et par des macromolécules (lignine, cellulose, protéines, ...).

### 1.2.1.1. Structure du couvert

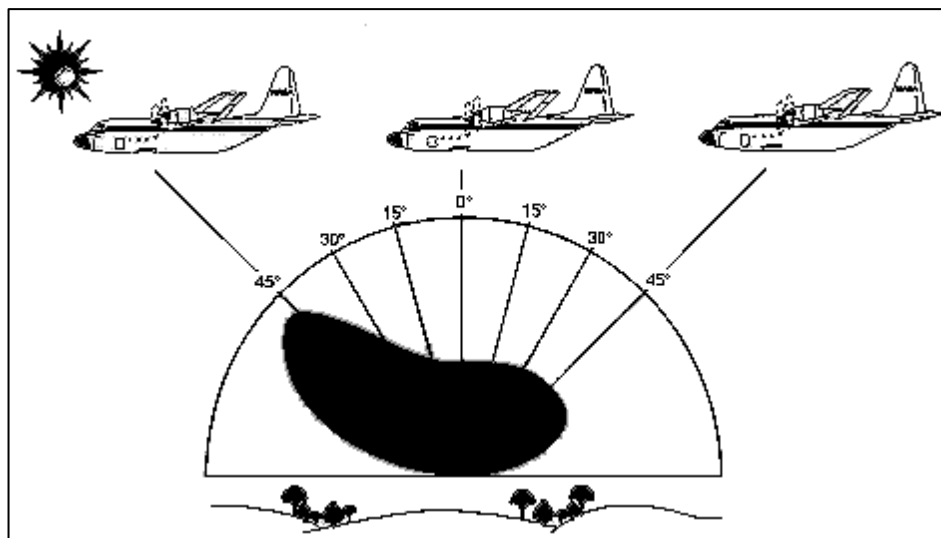
La structure du couvert (forme et composition) détermine l'interception de l'éclairement et le transfert radiatif au sein du couvert. Elle conditionne donc la variation directionnelle de la réflectance mais aussi l'émission de fluorescence du couvert. Elle est caractérisée par des paramètres reliés à la biomasse (*Leaf Area Index*= LAI) et à l'orientation et la disposition des feuilles (*inclinaison, arrangement spatial*).

L'indice LAI caractérise la surface d'échange (eau, carbone, rayonnement) avec l'atmosphère. Il est défini comme la surface cumulée sur toute la hauteur du couvert, des faces supérieures des feuilles par unité de surface de sol. Il est largement utilisé en écophysiologie pour modéliser les fonctionnements du couvert puisque ce sont essentiellement les feuilles qui conditionnent l'évapotranspiration et les flux de carbone entre la biosphère et l'atmosphère (Rosenberg et al., 1983). Il varie typiquement de 0 pour un sol nu à une valeur maximale de 5 à 6 pour une culture annuelle, et peut atteindre 10 dans le cas des forêts tropicales.

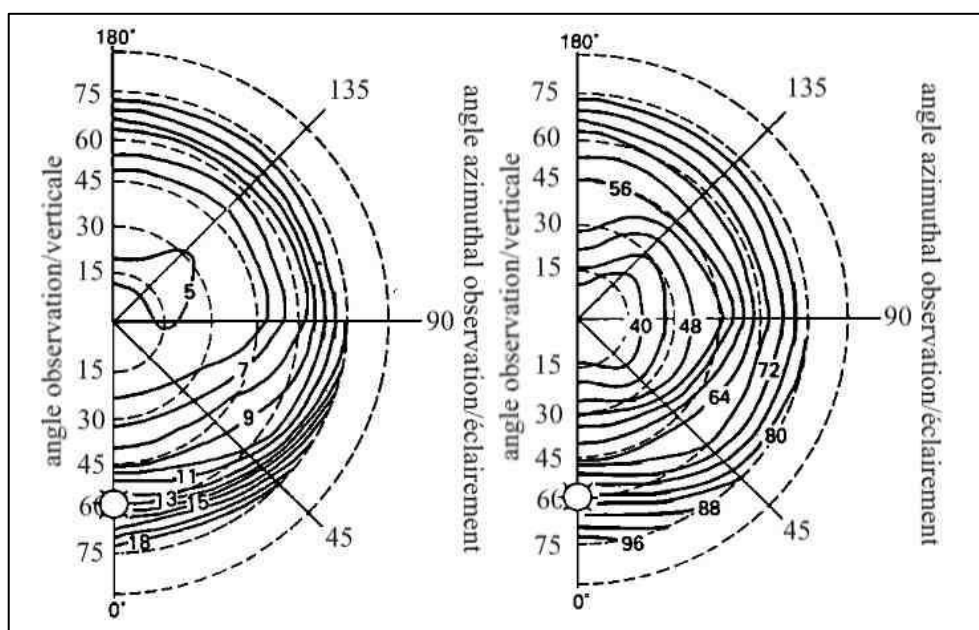
### 1.2.1.2. Propriété spectrale et directionnelle de la réflectance du couvert

La réflectance du couvert végétal dépend fortement des directions d'éclairement, d'observation et de la longueur d'onde (fig.3). Le flux réfléchi par le couvert végétal est en effet défini par l'interception de la lumière par le couvert et par la réflectance des éléments qui le constituent (Kuusk, 1985 ; Hapke et al., 1996). Le capteur qui regarde dans la direction de l'éclairement verra majoritairement des éléments éclairés. Cet effet est prononcé sur les couverts végétaux. La disposition géométrique des feuilles va conditionner l'intensité et l'extension de cet effet.

Les propriétés directionnelles de la réflectance des feuilles ont sans doute peu d'effet direct sur la distribution directionnelle de réflectance du couvert en raison d'un effet moyennage sur l'ensemble des angles d'inclinaison des feuilles. Par contre, les propriétés spectrales de la réflectance et de la transmittance des feuilles déterminent le transfert radiatif au sein du couvert.



**Fig.3 :** Illustration de la distribution bidirectionnelle de la réflectance d'un couvert végétal. (D'après Ranson et al., 1994)



**Fig.4 :** Distribution de réflectance (en %) d'un couvert de blé dans le visible (580-680nm) à gauche et dans le proche infrarouge (730-1100 nm) à droite. Le soleil est représenté par un icône (azimut 0°, élévation 60°) (d'après Roujean et al., 1992).

La réflectance du couvert est donc une quantité complexe qui dépend de nombreux paramètres à différentes échelles. La figure 4 illustre la distribution complexe de la réflectance des couverts végétaux avec un effet d'opposition et de réflexion spéculaire prononcé.

**1.2.2. Indices spectraux de réflectance**

Les indices spectraux de réflectance ce sont des combinaisons de valeurs de réflectance acquises dans plusieurs bandes spectrales, destinées à corrélérer la réflectance spectrale à des caractéristiques de la végétation via des relations simples. Ces indices sont une approche empirique de l'interprétation des données de télédétection. Les canaux les plus utilisés sont le rouge et le proche infrarouge, où le contraste avec le sol est le plus prononcé. Les plus utilisés sont le PVI (*Perpendicular Vegetation Index*) de Richardson et Wiegand (1977), le TSAVI (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*) de Baret et Guyot (1991) et surtout le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de Tucker (1979).

## Matériel et méthode

### 2.1. Téléchargement des données Landsat\_8OLI/TIRS

En 2013, le nouveau capteur Landsat\_8 OLI/TIRS a été installé (fig.5) avec des améliorations supplémentaires à la précédente série Landsat, particulièrement pour le nombre ainsi que la résolution spatiale des bandes thermiques (Storey et al., 2014).

Dans notre étude une scène multi spectrales (Tableau.2) et multi dates (20 Février, 18 Mars, 19 Avril, 26 Mai, 25 Juin, 13 Juillet et 14 Aout 2016) de Landsat\_8 de *Path\_197/Row\_035* a été acquise. Le modèle numérique du terrain (*ASTER GLOBAL DEM*) acquise, le 17/10/2011 à 36° latitude et 00° longitude d'une résolution spatiale de 30 mètres, a été obtenu. Ces deux données satellites ont été téléchargées à partir du site d'USGS<sup>1</sup>. Les données sont intégrées et analysées dans un environnement SIG pour cartographier les caractères physiographiques ainsi que le phénomène qui fait notre objet d'étude.

Landsat 8	
Altitude	705 km
Fauchée	185 km (angle de vue : 15°)
Heure de passage (noeud descendant)	10:00
Revisite (1 sat)	16 jours
GSD VNIR	15/30 m
Masse au lancement	2782 kg masse sèche : 1512 kg
Masse instrument OLI	432 kg
Masse instrument TIRS	225 kg




Fig. 5 Représentation des satellites Landsat\_8 OLI/TIRS

<sup>1</sup><http://earthexplorer.usgs.gov>

Tableau .2 Landsat\_8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)

<b>Landsat_8 OLI et TIRS</b>	
<b>Pays</b>	USA
<b>Date de lancement</b>	2013
<b>Altitude</b>	705 Km
<b>Capteur</b>	OLI et TIRS
<b>Type</b>	radiomètre à balayage
<b>Bandes spectrales</b>	1 (CA) [0,43 - 0,45 $\mu\text{m}$ ]
	2 (B) [0,45 - 0,51 $\mu\text{m}$ ]
	3 (V) [0,53 - 0,59 $\mu\text{m}$ ]
	4 (R) [0,64 - 0,67 $\mu\text{m}$ ]
	5 (IR) [0,85 - 0,88 $\mu\text{m}$ ]
	6 (SWIR1) [1,57 - 1,65 $\mu\text{m}$ ]
	7 (SWIR2) [2,11 - 2,29 $\mu\text{m}$ ]
	8 (Pan) [0,50 - 0,68 $\mu\text{m}$ ]
	9 (Cirrus) [1,36 - 1,38 $\mu\text{m}$ ]
	10 (IRT1) [10,60 - 11,19 $\mu\text{m}$ ]
	11 (IRT2) [11,50 - 12,51 $\mu\text{m}$ ]
<b>Résolution spatiale (dimension des pixels)</b>	30 m Bande 8 :15 m Bande 10 et 11 : 100 m
<b>Dimension d'une scène</b>	185 x 172 Km
<b>Séréoscopie</b>	Non
<b>Fréquence de passage</b>	16 jours
<b>Vocation</b>	Végétation et occupation du sol
<b>Particularité</b>	Grande variété spectrale

## 2.2. Prétraitements des données satellites

Les images téléchargées nécessitent des prétraitements avant de générer les produits. Ils consistent à :

✓ Téléchargement des images : les images téléchargées sont au format *tif*. faisant que toutes les images d'un produit sont dans un seul fichier.

✓ Extraction et masquage : les images téléchargées couvrent un territoire plus vaste (185 x 172 Km) et plus diversifier en termes des objets terrestres ne possède pas d'informations pertinentes vis-à-vis des indices diffusés. Il est donc nécessaire de découper ces images et de supprimer les pixels qui ne font pas l'objet de notre travail. Le découpage s'effectue avec l'outil « *Mask* » dans le kit « *spatial analyst* ». Les données MNT\_30m sont introduites et analysées au moyen du kit « *spatial analyst* » intégré dans l'ArcGIS 10.3 afin de délimiter le sous-bassin de SMBA drainé par les différents cours d'eau existants. Deux principaux modèles « *hydrology* » et « *conditional* » existants dans le kit « *spatial analyst* » ont été utilisés avec leurs applications « *fill, flow direction, flow accumulation* et *con* ». Ces différentes étapes sont effectuées en premier lieu pour déterminer le réseau

hydrographique qui draine l'ensemble du sous bassin versant. Ensuite les deux applications « *Stream Ordre et Stream to feature* » dans le modèle « *hydrology* » ont été utilisées. Enfin, le sous bassin est délimité en fixant l'exutoire des oueds qui drainent la région d'intérêt en appliquant l'outil « *Watershed* ».

✓ Le kit « *spatial analyst* » génère automatiquement d'autres données complémentaires qui semblent indispensables dans notre travail entre autres, la pente, les courbes de niveau, l'exposition des reliefs ... etc. Les couches thématiques obtenues sont des données superposables dans le SIG pixel par pixel.

### 2.3. Contexte géographique et climatique de la région d'étude

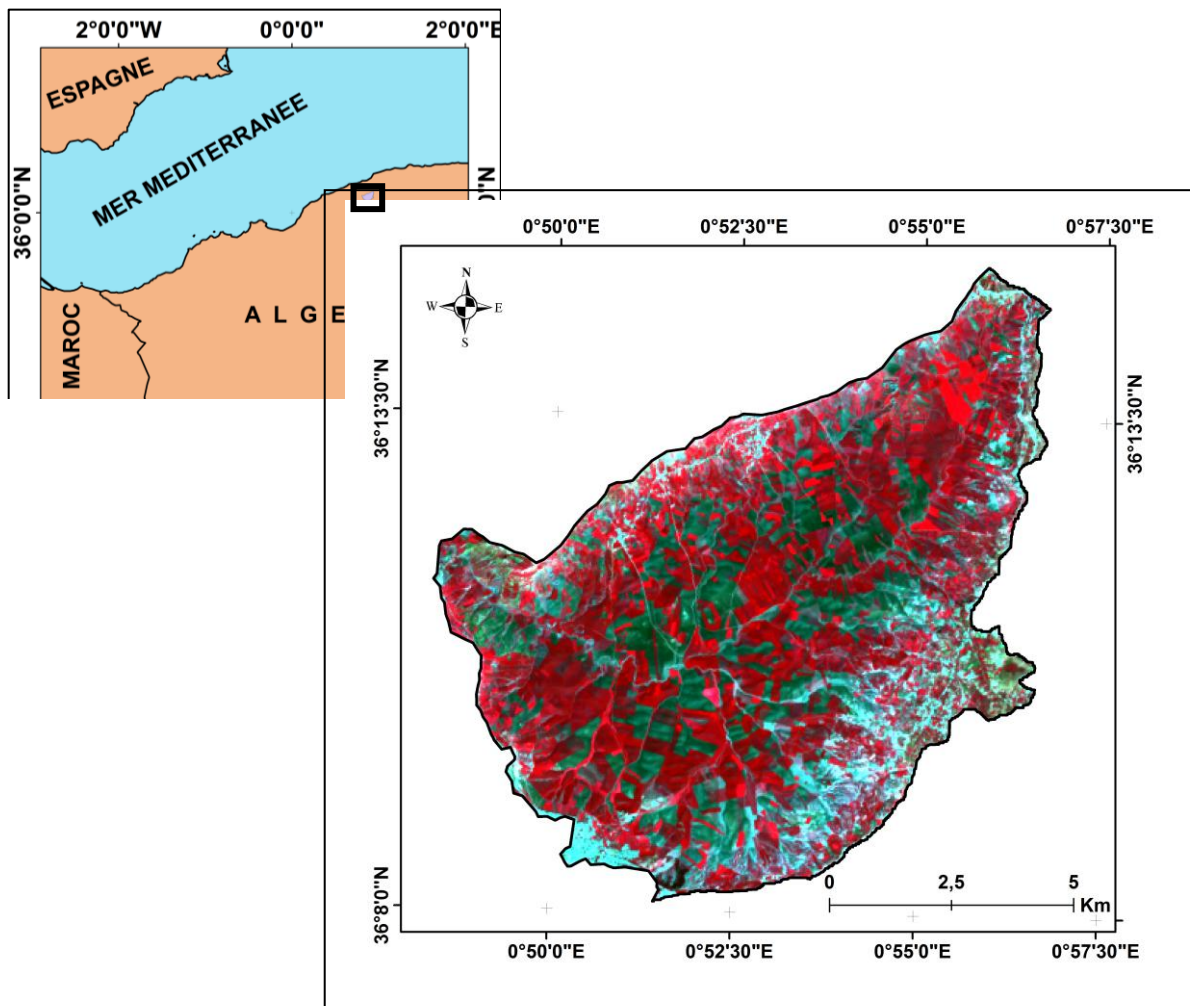


Fig.6 Localisation de la zone d'étude

Le sous bassin de l'oued SMBA se situe dans la partie Nord-ouest de l'Algérie. Il fait partie amont du bassin versant de l'oued Kramis. D'une superficie de 93,3 Km<sup>2</sup> et d'une

forme arrondie, il est encadré par le massif montagneux du Dahra au Nord, et par les monts de Taougrite et Chaabnia à l’Est, au Sud limité par les monts Nord de la plaine de Chélif. Il se situe entre les latitudes Nord de 36° 7' 50" et 36° 15' 3" et les longitudes Est de 0° 48' 28" et 0° 56' 41". La totalité de la surface du sous bassin versant (96 %) est occupée par des plaines d’une activité de la production céréalière.

**2.3.1. Données climatiques**

Les données pluviométriques<sup>2</sup> ont été complétées par des données obtenues auprès de l’ANRH, de la DSA, de la conservation des forêts ...etc. de la wilaya de Rélizane.

**Les stations pluviométriques**

**Tableau. 3** Caractéristiques des stations pluviométriques de la zone d’étude

n°	Station	<i>Projected Coordinate System: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_31N</i>						
		X (dd)	Y (dd)	Altitude (m)	Localisation	Période de mesure	P (mm)	T (°C)
1	Taougrite	0,92	36,25	530	(+)	22	453,6	18,1
2	Mazouna	0,88	36,13	454	(-)	22	449,7	19,4
3	SMBA	0,85	36,15	381	(+)	22	417,5	26,2
4	Dahra	0,85	36,26	489	(-)	22	427,6	17,2
5	Ain Merane	0,98	36,16	497	(-)	22	451,9	20,5
6	Nekmaria	0,62	36,19	308	(-)	22	410,2	19,5
7	Achaacha	0,64	36,25	236	(-)	22	431,8	19,7
8	Khadra	0,58	36,25	151	(-)	22	406,5	18,4
9	Benizentis	0,66	36,11	421	(-)	22	395,7	21,2
10	Mediouna	0,75	36,13	463	(-)	22	440,2	20,9
11	Dadas	0,55	36,23	154	(-)	10	340,0	17,5

(+) se localise au sein de la zone d’étude, (-) se localise hors zone d’étude

Les stations pluviométriques sont réparties spatialement comme suit: deux stations localisées au sein de la zone d’étude et neuf autres sont situées hors de la zone d’étude. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau 3.

Les données ponctuelles des précipitations et des températures moyennes mensuelles sont traitées dans une page Excel avec leurs coordonnées géographiques en utilisant la projection « *Projected Coordinate System: Nord\_Sahara\_1959\_UTM\_Zone\_31* », ensuite

<sup>2</sup>ont été obtenues à partir du site Web: <http://tn.freemeteo.com/letemps/historique/historique-quotidien/?gid=2492205&date=2015-05-06&station=13004&language=french&country=algeria>(disponible sur net au cours de notre d’étude) pour les onze stations (Taougrite, Mazouna, Sidi Mhamed Benali, Dahra, Ain Merane, Nekmaria, Achaacha, Khadra, Benizentis, Mediouna et Dadas) de la zone d’étude

ces données sont introduites dans l'ArcGIS. L'outil « *geostatisticalanalyst* » a été utilisée afin d'extrapoler ces données. Les cartes résultantes nous ont permis d'interpréter la variabilité spatiale de l'effet de ces fondamentaux facteurs climatiques sur le secteur de notre zone d'étude.

### 2.3.2. Les paramètres physiographiques

L'étude des caractères physiographiques dans une approche environnementale est un paramètre clés, qui détermine en grande partie l'effet interdépendant des facteurs climatiques et leur influence sur le paysage des terres (El Hmaïdi et al., 2014) ainsi que la croissance des végétaux. Les démarches méthodologiques afin d'extraire les caractères physiographiques sont mentionnées dans le dernier paragraphe de prétraitement des données satellitaires.

### 2.3.3. Les indices de végétation

#### 2.3.3.1. NDVI

Le NDVI (Rouse et Haas, 1973; Tucker, 1979) est un indice de végétation standard dans l'étude de la végétation (Gao, 1996). Cet indice se calcule avec les bandes électromagnétiques du rouge (R) et du proche infrarouge (PIR). Le résultat est normalisé entre -1 (autre que végétation tel l'eau) et + 1 (végétation dynamique).

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

Ces bandes sont employées d'après leur interaction avec la végétation. En effet, l'énergie de la bande du rouge est majoritairement absorbée par la végétation (chlorophylle), au contraire du proche infrarouge qui est réfléchi principalement par l'eau contenu dans la végétation (parenchyme lacuneux). Ainsi, plus la végétation sera dynamique, plus il y aura absorption dans le rouge et de réflectance dans le proche infrarouge.

Ainsi, le NDVI calcule la différence de réflectance entre le R et le PIR. Plus cette différence est importante, plus la végétation sera dynamique et le NDVI proche de 1. Sur la figure 1 (chapitre I), la signature spectrale de l'eau et du sol sont également observables. De par l'utilisation du R et du PIR pour calculer le NDVI, il est compréhensible que cet indice permette également de distinguer ces deux occupations du sol.

Concernant l'eau, sa réflectance est nulle dans le PIR et légère dans le R, ayant pour effet d'avoir un NDVI inférieur à 0. Pour le sol, selon différents paramètres (couleur, composition, humidité, rugosité) les réflectances dans le R et le PIR sont équivalentes, induisant un NDVI proche de 0.

### **2.3.3.2. NDWI**

L'indice normalisé de différence de l'eau (NDWI) de McFeeters (1996) et Xu (2006) consiste à analyser les caractéristiques de chaque cible terrestre entre différentes bandes spectrales, puis à délimiter les terres des eaux libres. NDWI montre le résultat inverse de NDVI. Selon Sims et Gamon (2003), le NDWI est un indice d'absorption de l'eau approprié par rapport au NDVI. Il varie également de -1 à +1 (McFeeters, 1996). Chowdary (2008) a mentionné que pour les zones gorgées d'eau, la valeur varie de 0 à +1. GAO (1996) et Huang et al. (2009) ont présenté un indice d'eau de différence normalisé (NDWI) modifié pour minimiser les erreurs de NDWI sur la surveillance de l'eau du sol en utilisant le proche infrarouge (NIR) et l'infrarouge moyen (MIR). Il est également connu sous le nom de NDWIGAO. Dans les données de landsat\_5 TM, NIR présenté par bande quatre et MIR présenté par la bande cinq pour identifier l'humidité du sol d'une manière plus efficace. Wilson et Sader (2002) ont également utilisé des composites à bande identique, tels que NDWIGAO, pour calculer l'indice d'humidité par différence normalisée (NDWI), visant à étudier l'humidité du sol. Selon Crist et Cicone (1984) et Wilson et Sader (2002), le NDWI et le NDMI sont théoriquement similaires pour la détection de la variation spatiale de l'humidité de surface. Ici, pour l'imagerie Landsat\_8, pour calculer NDWIGAO ou NDMI, la formule est la suivante: NDWIGAO ou NDWI = (bande 5 - bande 6) / (bande 5 + bande 6), suivant la formule pour les bandes TM et ETM+. Quand il s'agit de Landsat\_8, la bande cinq au lieu de la bande quatre pour le PIR et la bande six au lieu de cinq pour le MIR correspondent aux variations de longueur d'onde entre les séries satellites Landsat\_8. Dans le NDWI, les valeurs élevées indiquent une plus grande humidité du sol et des valeurs faibles indiquent une faible teneur en humidité du sol.

$$\mathbf{NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)}$$

Où:

**MIR** : Réflectance dans la bande infrarouge moyenne.

PIR : Réflectance dans la bande proche infrarouge.

2.3.3.3. La température du sol (LST) et l'émissivité (LES)

Démarche méthodologique pour calculer : la radiance spectrale ( $L\lambda$ ), la luminance spectrale (BT), la proportion de végétation (PV), l'émissivité (LSE) et la température de la surface du sol (LST)

La température de la surface du sol (LST) a été calculée à partir de l'image satellite proche infra thermique (bande 10) de Landsat\_8 suivant les étapes de la figure.7. Les bandes 4 et 5 ont été utilisées pour calculer le NDVI. Les données de l'image satellite utilisée dans le calcul de la température de la surface du sol sont présentées dans le tableau 4.

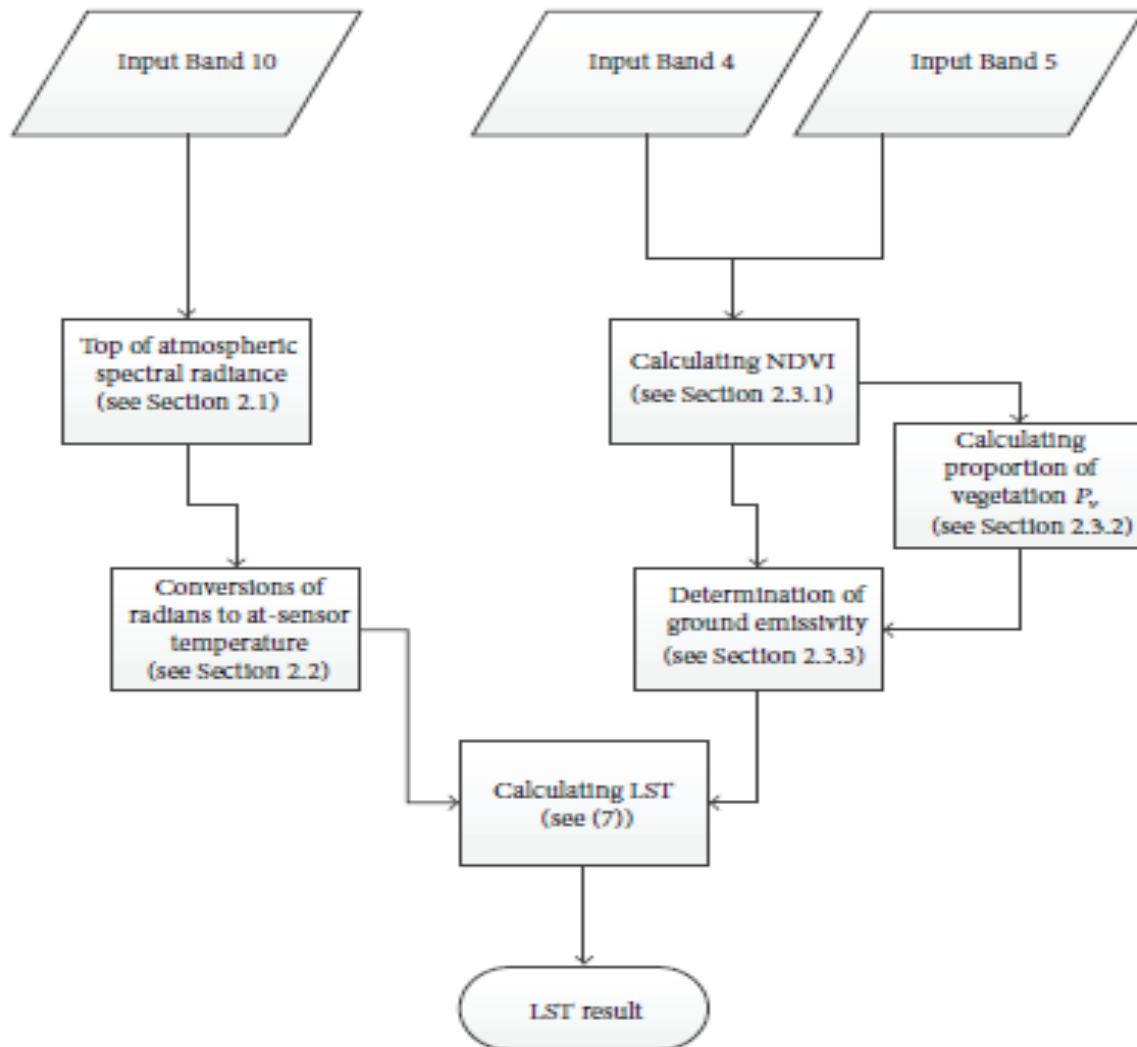


FIGURE 1: Flowchart for LST retrieval.

Fig. 7 L'organigramme du calcul de LST

Tableau .4 les métadonnées de l'image TIR

Les coefficients		Valeur
$K_1$	Constante thermique	1321,08
$K_2$		777,89
$\alpha$	Facteur de redimensionnement	0,000342
$\beta$		0,1

### Calcul de la radiance spectrale ( $L_\lambda$ )

Le calcul de la radiance spectrale est la première étape. Cette radiance a été obtenue à l'aide de la formule suivante :

$$L_\lambda = \alpha \cdot CN + \beta \text{ (w(m}^2\text{.sr.}\mu\text{m))}$$

Où :

CN, le compte numérique lié à la bande et  $\alpha$  et  $\beta$ , coefficients de calibration (tableau 0).

### La luminance spectrale (BT) mesurée au niveau du capteur TIRS

Une fois le compte numérique (CN) convertit en réflectance, les données de la bande 10 doivent être converties de la luminance spectrale à la température de luminosité (BT) en utilisant les constantes thermiques mentionnées dans le tableau 4 de métadonnées :

$$BT = (K_2 / (\ln (K_1 / L_\lambda) + 1)) - 273,15$$

Pour obtenir les résultats en degrés Celsius, on doit soustraire une valeur de 273,15 (Xu et Chen, 2004).

### La proportion de végétation (PV)

La proportion de végétation est un indice permettant d'estimer la capacité d'une surface à évaporer, qu'elle soit composée de végétation ou non. Il représente ainsi un indicateur pour, par exemple, identifier des situations de stress hydrique (Bastiaanssen et al., 2003; Nutini et al., 2014) particulièrement à partir d'une série temporelle (disponible sur GéoBretagne). L'utilisation de données auxiliaires, comme les précipitations, il est possible d'affiner cette information.

Il est aussi employé pour estimer l'évapotranspiration réelle des surfaces continentales. Cet indice se calcule avec un autre indice renseignant sur la couverture de la

végétation (*Fraction of Végétation Cover*) calculé à partir du NDVI et des mesures de températures de jour et de nuit. Les valeurs de cet indice vont de 0 (surface non évaporante) à 1,26 (surface très évaporante). Le modèle S-SEBI (Roerink et al., 2000) et le coefficient de Priestley-Taylor sont employés pour calculer le PV.

Cet indice a été calculé par la formule suivante:

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))$$

### Calcul de l'émissivité (LSE)

L'émissivité de la surface terrestre (LSE) est un paramètre important aussi bien pour la caractérisation des surfaces et pour des méthodes de correction atmosphérique. Dans ce sens, LST doit être connue afin d'estimer avec précision la température de surface (LST) à partir de mesures de radiance.

L'estimation de la température de surface LST à partir des données de télédétection nécessite la connaissance de l'émissivité de surface. L'absence de l'information sur cette dernière peut introduire une erreur sur LST de 0,2 à 1,4 pour LSE = 0,98 et une hauteur par rapport au sol de 0 Km, et une erreur rangée de 0,8°K à 4,8 pour une émissivité de LSE = 0,93 en appliquant la méthode du canal unique (Dash et al., 2002). L'estimation de l'émissivité de surface doit avoir une précision de  $\pm 0,005$  pour obtenir une erreur de LST en dessous de 0,4°K (Sobrino et al., 1991).

$$LSE = 0,004*PV+0,986$$

### La température de surface du sol (LST)

La température de surface du sol (LST) contrôlée par le bilan énergétique de surface, l'état atmosphérique, les propriétés thermiques de la surface est un paramètre important contrôlant la plupart des processus physico-chimiques et biologiques de la terre Becker et Li (1990). LST est un bon indicateur de la dégradation des sols le changement climatique et peut être utilisé pour la détection de la sécheresse et l'évaluation de l'impact basé sur l'estimation d'indices du stress de la végétation, spécialement conçu pour surveiller la santé, l'humidité et les conditions thermiques de la végétation Peres et Dacamara (2004). La réponse en température de surface est fonction de la teneur en eau du sol et du couvert végétal (Owen et al., 1998).

$$\text{LST} = (\text{Band10\_Sat-temper} / 1 + \text{CN\_band10} * (\text{Band10\_Sat-temper} / 14830) * \ln(\text{LSE}))$$

Où :

Band10\_Sat-temper : La température de la luminance spectrale correspondant à la bande10

CN : Compte numérique de la bande10

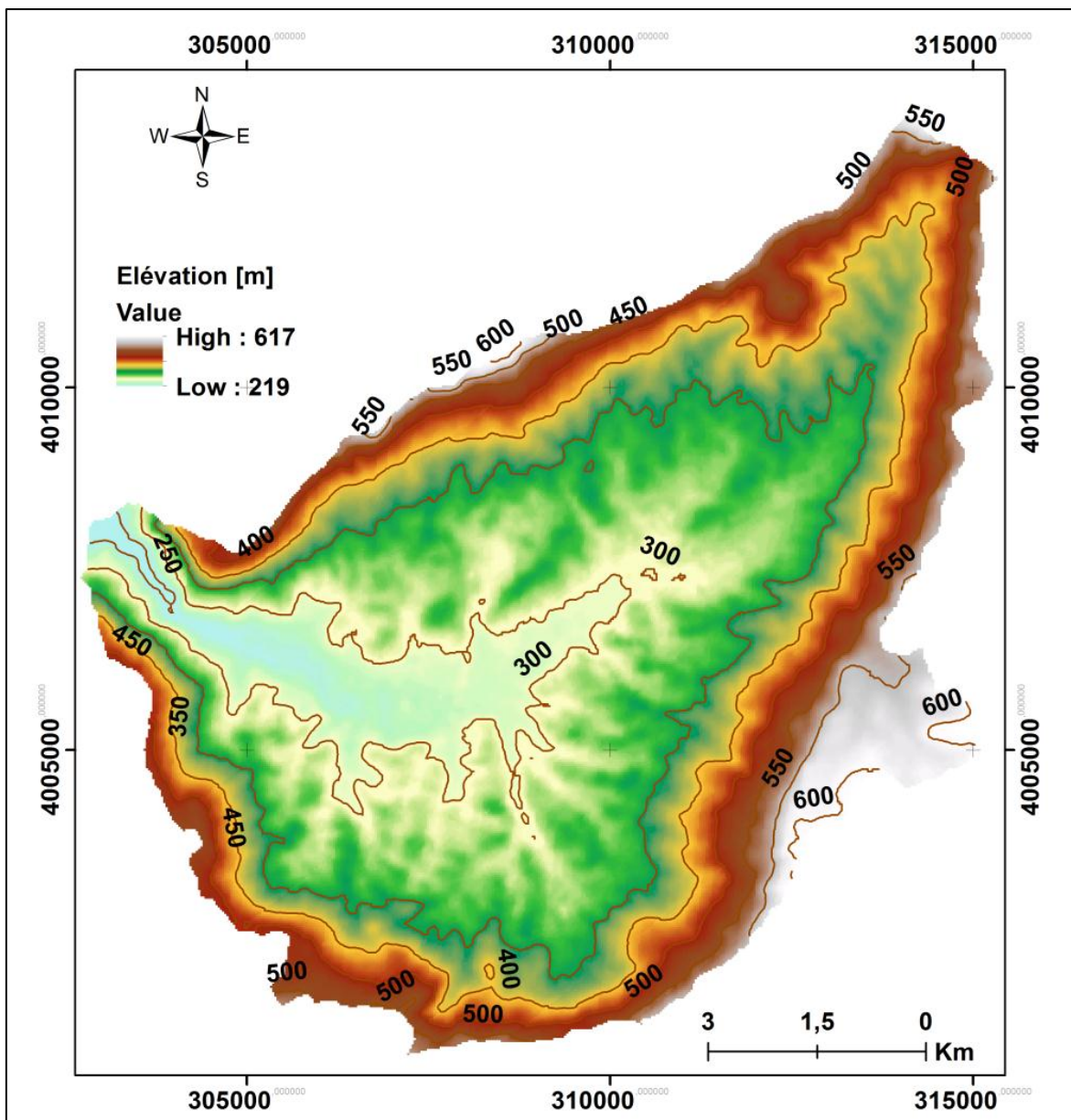
LSE: l'émissivité de la surface

## Résultats et discussion

### 3.1. Modélisation physiographique

#### 3.1.1. Les courbes de niveau

L'hypsométrie consiste à joindre les points d'égaies altitudes; dans le cas où elles sont rapprochées la pente est raide, et lorsqu'elles sont éloignées la pente est faible et le terrain a un aspect plat.



**Fig.8** : Carte d'élévation

Les courbes de niveau de notre zone d'étude ont été extraites à partir du MNT\_30m intégré dans le logiciel ArcGIS au moyen de l'outil « *surface* » dans le kit « *spatial* »

analyst». L'altitude du bassin versant, varie de 219 m à 617 m. Elle décroît de l'Est vers l'Ouest avec une élévation moyenne de 379,4 m avec des reliefs très contrastés, constitués de plateaux entaillés et de versants raides (fig.8).

3.1.2. Les pentes

Tableau. 5 : Les classes des pentes

Classes	Surface	
	Km <sup>2</sup>	%
0 - 5°	42,8	45,8
5 - 15°	46,4	49,7
15 - 30°	4,1	4,4
> 30 °	0,0	0,0
Total	93,3	100,0

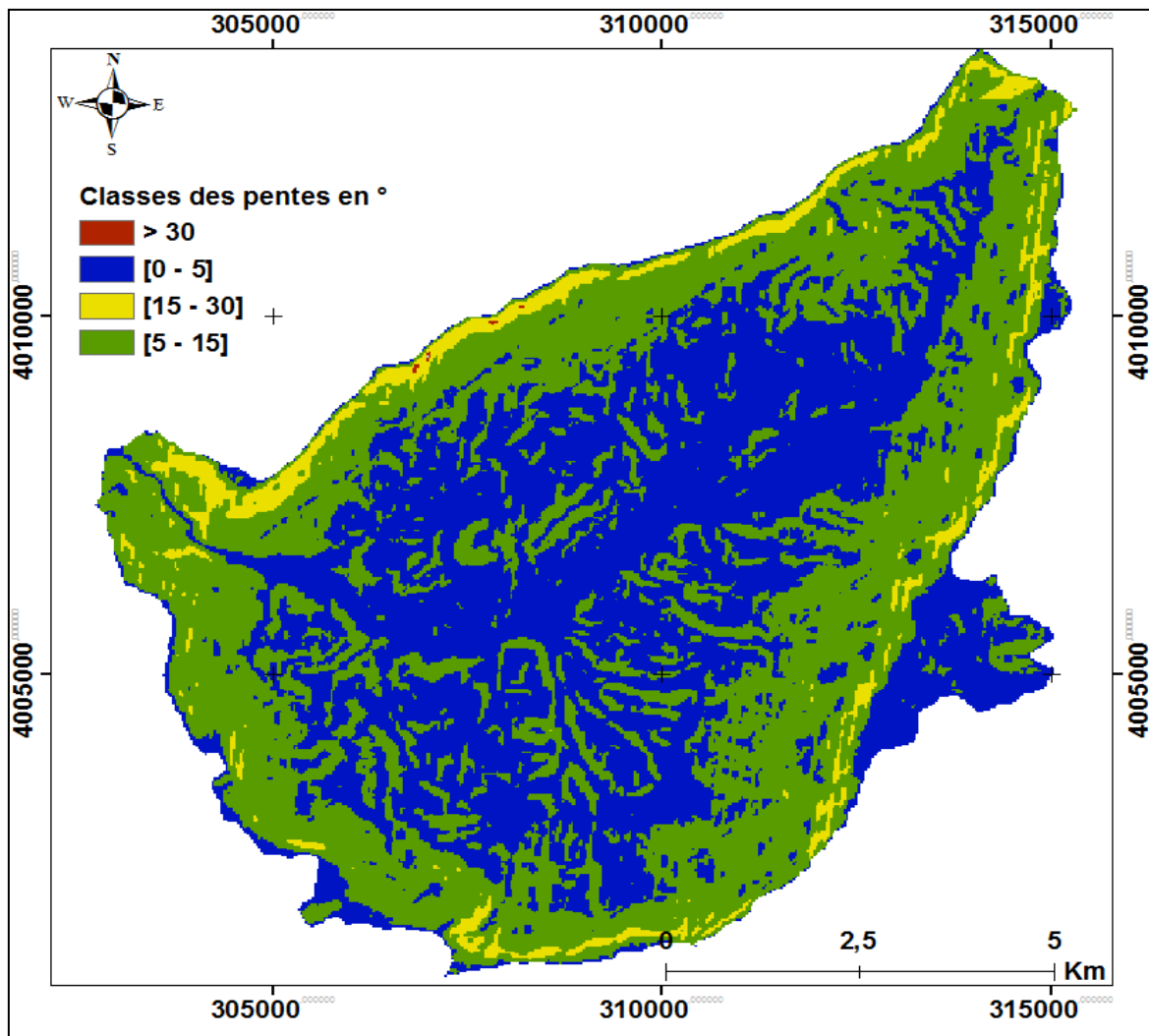


Fig. 9 : Carte des pentes

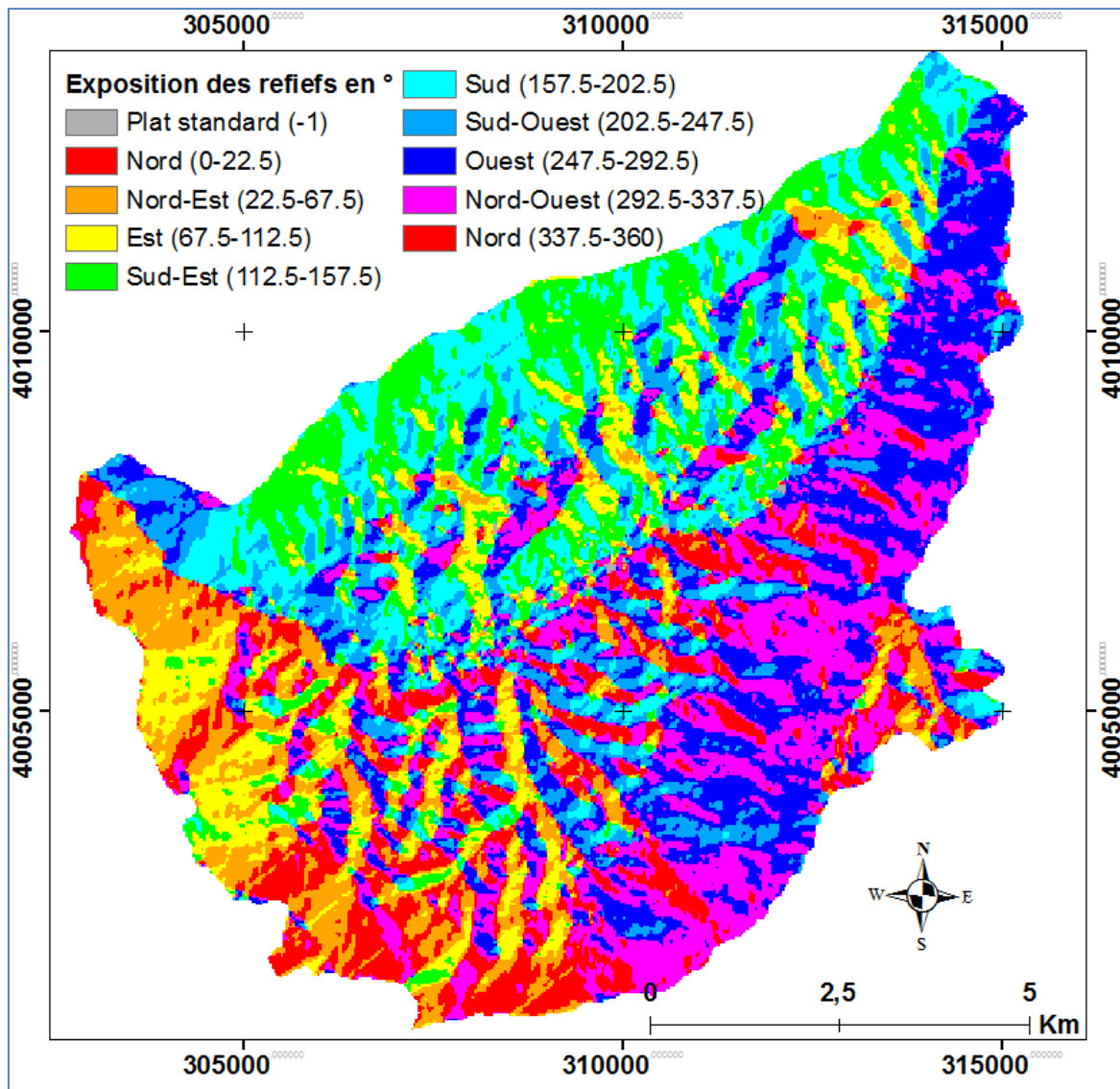
La carte des pentes (fig.9) donne la topographie générale de la région d'étude. D'après la classification de Dimitrios et *al.* (2013), la grande partie de la zone d'étude est caractérisée par des pentes faibles à modérées (0 – 15% avec une surface de 89,2%). La majeure partie de ces deux classes de pentes se situent exclusivement dans le secteur centre.

### 3.1.3. Les expositions

**Tableau.6** : Les classes des orientations

Exposition en °	Surface	
	Km <sup>2</sup>	%
Nord	10,9	12
Nord-est	9,3	10,0
Est	8,4	9,1
Sud-est	12,2	13,0
Sud	11,6	12,4
Sud-ouest	9,6	10,3
Ouest	15,7	16,9
Nord-ouest	15,2	16,3
Total	93,0	100,0

Toute couverture végétale dans une région terrestre varie d'un secteur à un autre. Dans celui-ci la variabilité spatiale est due principalement au facteur relief.



**Fig.10 :** Carte d'exposition des reliefs

L'influence de l'orientation des versants est déterminée par l'intermédiaire des facteurs tels que, la durée d'ensoleillement, l'état hydrique du sol et la direction des vents (notamment ceux qui sont dominants).

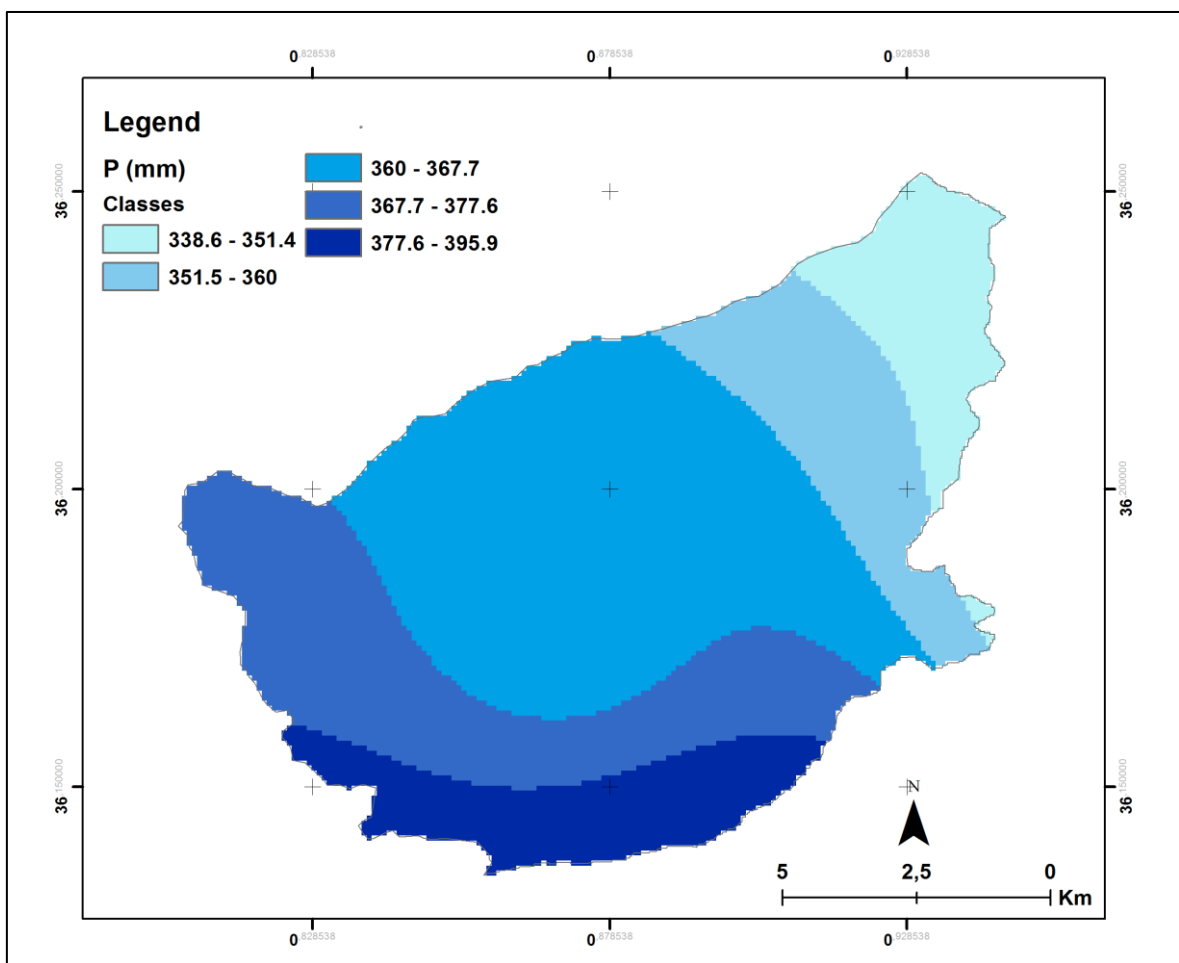
La carte d'exposition des versants a été obtenue en intégrant le MNT\_30m, à l'aide de l'outil « *surface/aspect* » dans le kit « *spatial analyst* » dans l'ArcGIS. Cette extraction automatique dans un environnement SIG nous a permis de déterminer les pourcentages des surfaces des versants (fig.10). A cet effet, huit classes d'orientation sont considérées (Nord, Nord-est, Est, Sud-est, Sud, Sud-ouest, Ouest, Nord-ouest). Ainsi, l'exposition des reliefs est dominée principalement par l'orientation Ouest (16,9 % de la surface de la zone d'étude).

**3.2. Modélisation des paramètres climatiques**

Le sous bassin versant de SMBA est encadré vers l’Est et le Sud par des montagnes d’altitudes relativement élevées qui forment des barrières face aux courants continentaux apportant des vents chauds. Il est par contre ouvert vers l’Ouest et le Nord sur la mer méditerranéenne, ce qui le soumet aux influences des courants marins humides.

**3.2.1. La variabilité spatiotemporelle des facteurs climatiques dans la zone d’étude**

**3.2.1.1. Les pluies**



**Fig.11** : Répartition spatiale de précipitations moyennes annuelles

Les précipitations constituent la principale entrée des systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée

blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

Sur une période de 22 ans (1994 – 2016) et au vu des résultats obtenus (fig.11) on constate que l'altitude des reliefs agisse de manière frappante sur la répartition spatiale des chutes des pluies et par conséquent, sur la répartition spatiale du couvert végétal. En effet, la répartition des moyennes de précipitations se fait selon un gradient pluviométrique sur la zone d'étude d'Est en Ouest. Au sud, la moyenne annuelle des précipitations dépasse 396,1 mm/an. Elle devient très faible à l'Est enregistrant une valeur de 338,5mm/an.

3.2.1.2. Les températures

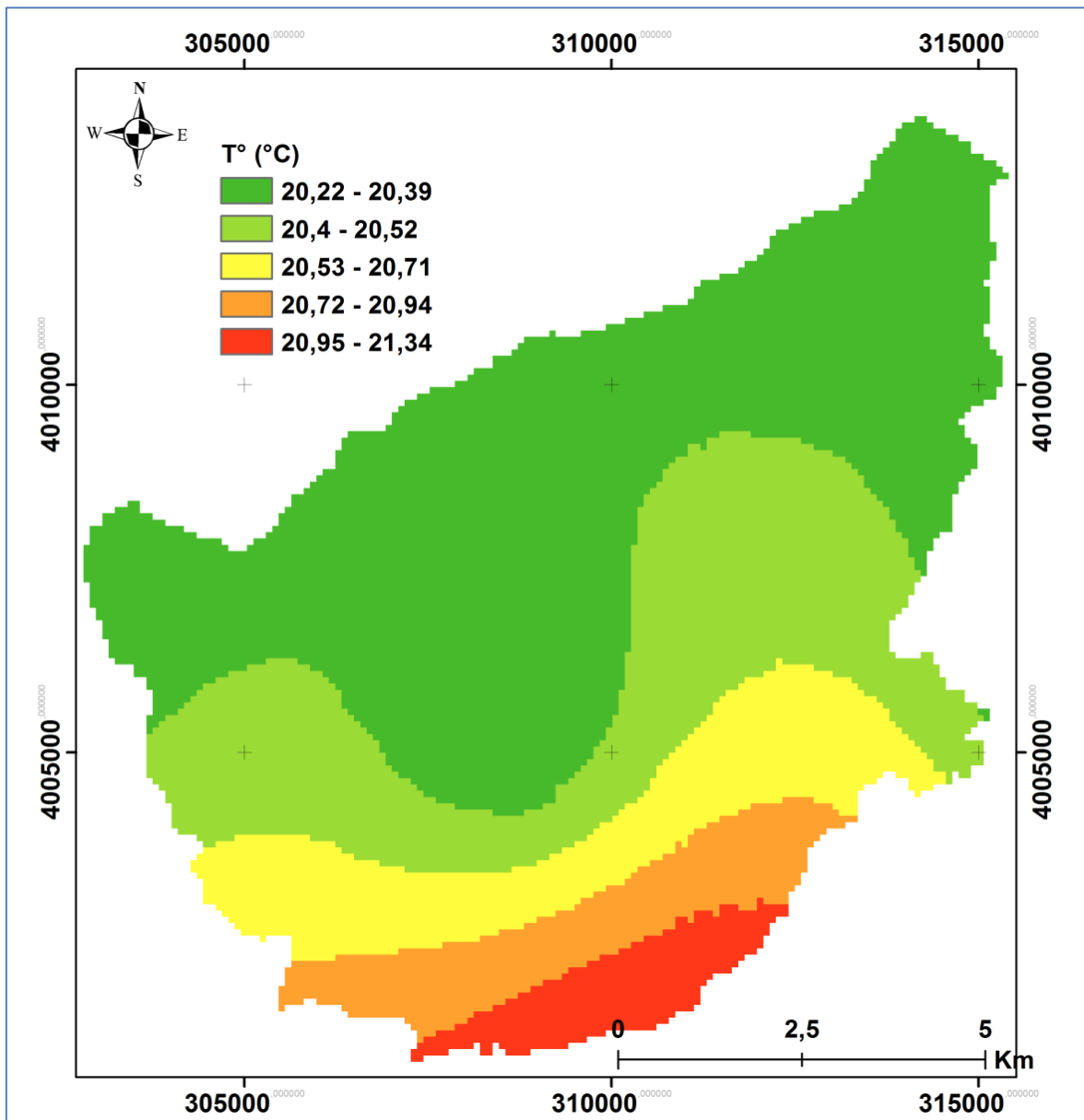


Fig.12 : Répartition spatiale de températures moyennes annuelles

De la figure 12, on observe que, comme les précipitations, les températures moyennes annuelles présentent aussi un gradient d'un secteur à l'autre. Le secteur Sud a enregistré des valeurs relativement élevées (20,95 °C) par rapport à celui qui se situe au Nord (20,22 °C). Cette variabilité spatiale des températures est la conséquence de certaines conditions écologiques dont l'altitude des reliefs ainsi que l'exposition des versants aux vents continentaux. En effet, les monts de Sidi Mhamed Benali qui représentent le dos Sud de cette région sont exposés immédiatement aux vents provenant des plaines de la Mina.

Ces dernières sont caractérisées par un climat très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver (Douaoui et *al.*, 2006).

### 3.2.2. La station de référence

Tableau .7 : la surface d'influence de chaque station pluviométrique

Station Pluviométrique	surface		Pi (mm)	Si*Pi	P <sub>moyennes</sub> (mm)
	Km <sup>2</sup>	%			
Achaacha	15,2	5,0	431,8	6568	
Nekmaria	11,4	3,8	410,2	4684	
Mediouna	84,4	28,0	440,2	32607	
SMBA	75,3	24,9	417,5	31454	
Mazouna	15,5	5,1	449,7	6970	
Ain Merane	5,2	1,7	451,9	2359	<b>417,8</b>
Taougrite	40,3	13,4	453,6	18295	
Dahra	51,6	17,1	427,6	22068	
Benizentis	3,0	1,0	395,7	1187	
<b>Total</b>	<b>302</b>	<b>100</b>	<b>/</b>	<b>126194</b>	

Le choix de la station de Sidi Mhamed Benali, comme étant une station de référence de notre région d'étude, repose sur les constatations suivantes:

Les précipitations moyennes interannuelles qui sont de l'ordre de 417,5 mm/an (tableau.7) sont proches de précipitations moyennes interannuelles de l'ensemble des stations qui ont une valeur de 417,8 mm/an (tableau.8) enregistrant ainsi un écart entre elles de l'ordre de 0,3 mm.

Tableau. 8 : Les températures moyennes et les précipitations mensuelles de la station de référence (SMBA : 1994 - 2016)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Moy.
<b>P (mm)</b>	8,0	26,3	72,1	40,6	43,4	84	51,8	45,4	31,9	6,2	1,3	6,5	<b>417,5</b>
<b>Max</b> (°C)	39	36,4	28	21,7	21,7	23,6	27,5	33,7	36,4	42,2	44,6	43,6	<b>33,2</b>
<b>Min</b> (°C)	24,7	21,9	17	12,5	11,5	12	14	15,6	20	25	27,6	27,7	<b>19,1</b>
<b>Moy</b> (°C)	31,9	29,2	22,5	17,1	16,6	17,8	20,8	24,7	28,2	33,6	36,1	35,7	<b>26,2</b>
<b>(M-m)*</b> (°C)	14,3	14,5	11	9,2	10,2	11,6	13,5	18,1	16,4	17,2	17	15,9	<b>14,1</b>

\*écart entre la valeur maximale et minimale (Source: Station de Sidi Mhamed Ben Ali, 2016)

Les monts du Dahra comme ceux de la Mina, ont un climat de type méditerranéen semi-aride caractérisé par une sécheresse estivale prononcée.

En se référant à Bagnouls et Gaussen (1953), la période sèche est définie comme étant celle durant laquelle, la moyenne des précipitations (mm) est inférieure ou égale au double de la moyenne des températures (°C). Selon cette règle, et d'après la figure 25, la période de sécheresse de notre zone d'étude s'étale sur sept mois (d'Avril à Octobre).

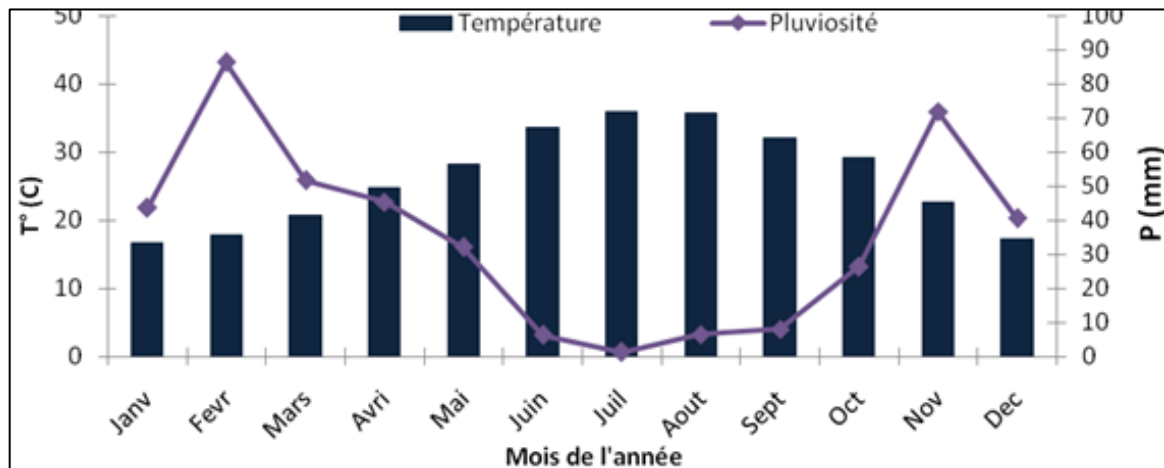


Fig.13 : Diagramme Ombrothermique (SMBA: 1994 – 2016)

D'après la figure 13, on déduit que, le mois de Février est le mois le plus humide avec un cumul pluviométrique moyen mensuel de 84 mm/an, alors que le mois du Juillet n'enregistre qu'une valeur de 1,3 mm/an.

Les températures moyennes mensuelles sont maximales au cours de la période allant du mois d'Avril à Octobre (saison chaude) et atteint leur maximum pendant le mois du Juillet avec une valeur de 44,6 °C. Les températures moyennes mensuelles sont minimales au cours de la période du mois de Novembre à Mars (saison froide) et atteint une valeur de 11,5 °C pendant le mois de Janvier.

### 3.2.3. Etage bioclimatique de la région d'étude

La synthèse bioclimatique est une étape indispensable à tout projet relatif à l'environnement. Elle s'est faite à partir des travaux d'Emberger (1930, 1955) ; Bagnouls et Gaussen (1953) ; Thornthwaite (1946) et Sauvage (1963).

**Le quotient pluvio-thermique  $Q_2$** 

L'emploi du quotient pluvio-thermique ( $Q_2$ ) est spécifique au climat méditerranéen. Il a été utilisé avec succès en Afrique du Nord et en France méditerranéenne. En effet, ce quotient permet d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes. Les valeurs du  $Q_2$  étant d'autant plus basses quand le climat est plus sec. Cet indice est calculé par la formule de Sauvage (1963):

$$Q_2 = \frac{100 \cdot P}{(M-m) \cdot \left(\frac{M+m}{2}\right)}$$

Où:

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

M: Température moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $^{\circ}\text{K}$ ).

m: Température moyenne des minima du mois le plus froid ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation. Ainsi on distingue plus souvent les étages bioclimatiques : saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide. Chaque étage comprend une stratification verticale.

Ce coefficient a été modifié par Stewart (1969), la formule obtenue est la suivante :

$$Q_2 = \frac{3,43 \cdot P}{(M-m)}$$

Où:

$Q_2$ : Le quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Pluviométrie annuelle en (mm).

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

m : Moyennes des minima du mois le plus froid en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Tableau .9** : L'indice bioclimatique d'Emberger, L (d'après Stewart, 1969) (SMBA : 1994 – 2016)

Station	P (mm)	M $^{\circ}\text{K}$	m $^{\circ}\text{K}$	$Q_2$
SMBA	417,5	317,6	285	44

En se référant au Climagramme d'Emberger (fig. 14), la station de Sidi Mhamed Benali est caractérisée par  $Q_2= 44$  et  $m = 11,5$   $^{\circ}\text{C}$ .

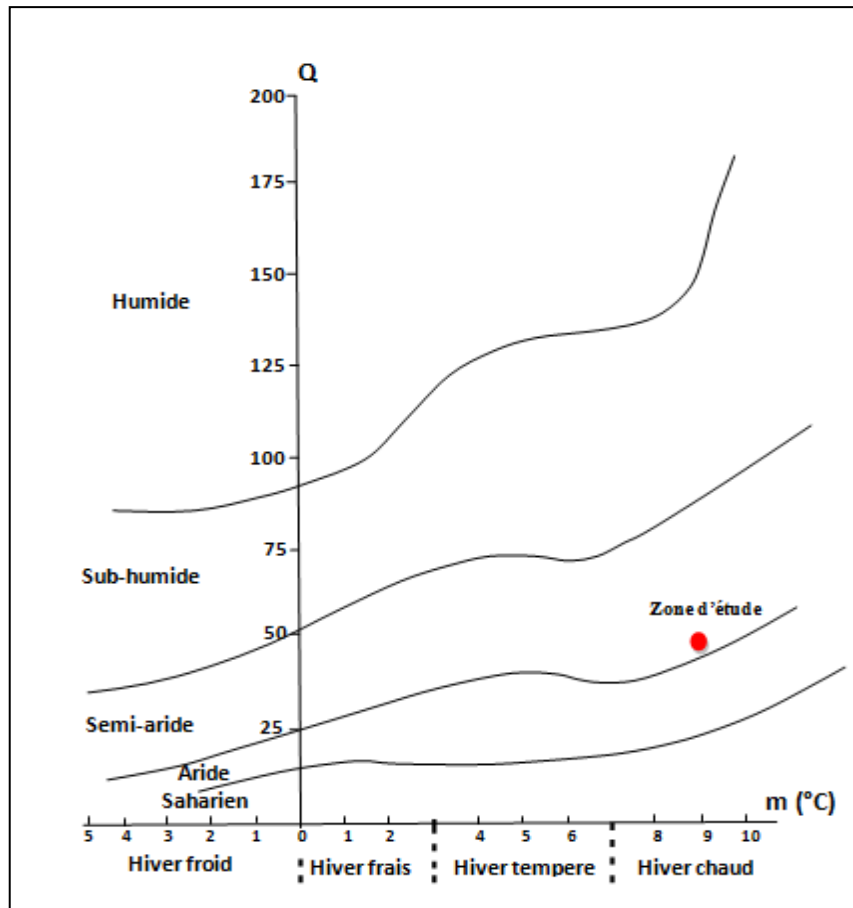


Fig.14 : Climagramme d’Emberger (SMBA: 1994 – 2016)

La valeur de  $Q_2$  portée sur le climagramme en tenant compte de  $m$ , classe la station de Sidi Mhamed Benali dans l’étage bioclimatique semi-aride à hiver chaud.

### 3.3. Validation des résultats

#### 3.3.1. Occupation des sols

L’occupation des terres et la végétation sont en rapport avec d’autres facteurs tels que: la topographie, la géologie, les sols, le climat et les caractéristiques hydrologiques (Toumi, 2013).

L’occupation du sol dans le sous bassin versant de SMBA a été analysée en se basant sur l’interprétation d’images satellites Landsat\_8 de Mai 2016. La classification de la végétation est réalisée suivant les conditions de seuillage suivantes:

NDVI < 0,45: Sol nu y compris les parcours.

NDVI : 0,45 à 0,53: Plantes à feuillages persistants ou des plantes vivaces.

NDVI : >0,53: Céréales.

Les classes d'occupation du sol ont été choisies selon la réflectance spectrale des objets. La classification a été effectuée à l'aide des images de très haute résolution spatiale (THRS) de Google Earth<sup>pro</sup> ainsi que des sorties sur terrain.

**Tableau.10** : Les classes d'occupation des sols du sous bassin versant de SMBA

Classes d'occupation du sol	Surface	
	Km <sup>2</sup>	%
Sol nu (SN) y compris les parcours	42	45
Plantes à feuillage persistant (PFP)	9,8	10,5
Céréaliculture (CRLCTR)	41,5	44,5

L'activité agricole caractérise fortement la plus grande partie du sous bassin versant. Il s'agit surtout de grandes plaines céréalières (44,5%) concentrées dans la partie centrale du secteur d'étude. Les sols nus y compris les parcours, occupent également une superficie importante de la zone d'étude (45%). Ces parcours sont caractérisés par des formations végétales garnis de formations éparses d'alfa et quelques espèces steppiques endémiques telles que, *Atriplex glauca*, *Rosmarinus officinalis*, *Salsola vermiculata*, *Artemisia herba alba*, *Dactylis glomerata*, *Marrubium vulgare*, *Asphodelus microcarpus*, *Capparis spinosa*, *Cistus monspeliensis*, *Cupressus sempervirens*, *Globularia alypum*, *Inula viscosa*, *Juniperus oxycedrus*, *Marrubium vulgare*, *Olea europea*, *Phillyrea angustifolia*, *Tetraclinis articulata*, *Thymelea hirsuta* Endel ...etc. Le couvert forestier et les plantes à feuilles persistantes ou les plantes vivaces sont concentrés sur les proximités du sous bassin (10,5%) (tableau 10) en particulier la présence de l'espèce *Nerium oleander* qui se localise sur les lits des oueds ainsi que l'espèce *Pinus halpensis* dans les monts sud à proximité de SMBA. C'est pourquoi, l'approche basée sur le NDVI été plutôt utilisée pour extraire l'occupation du sol.

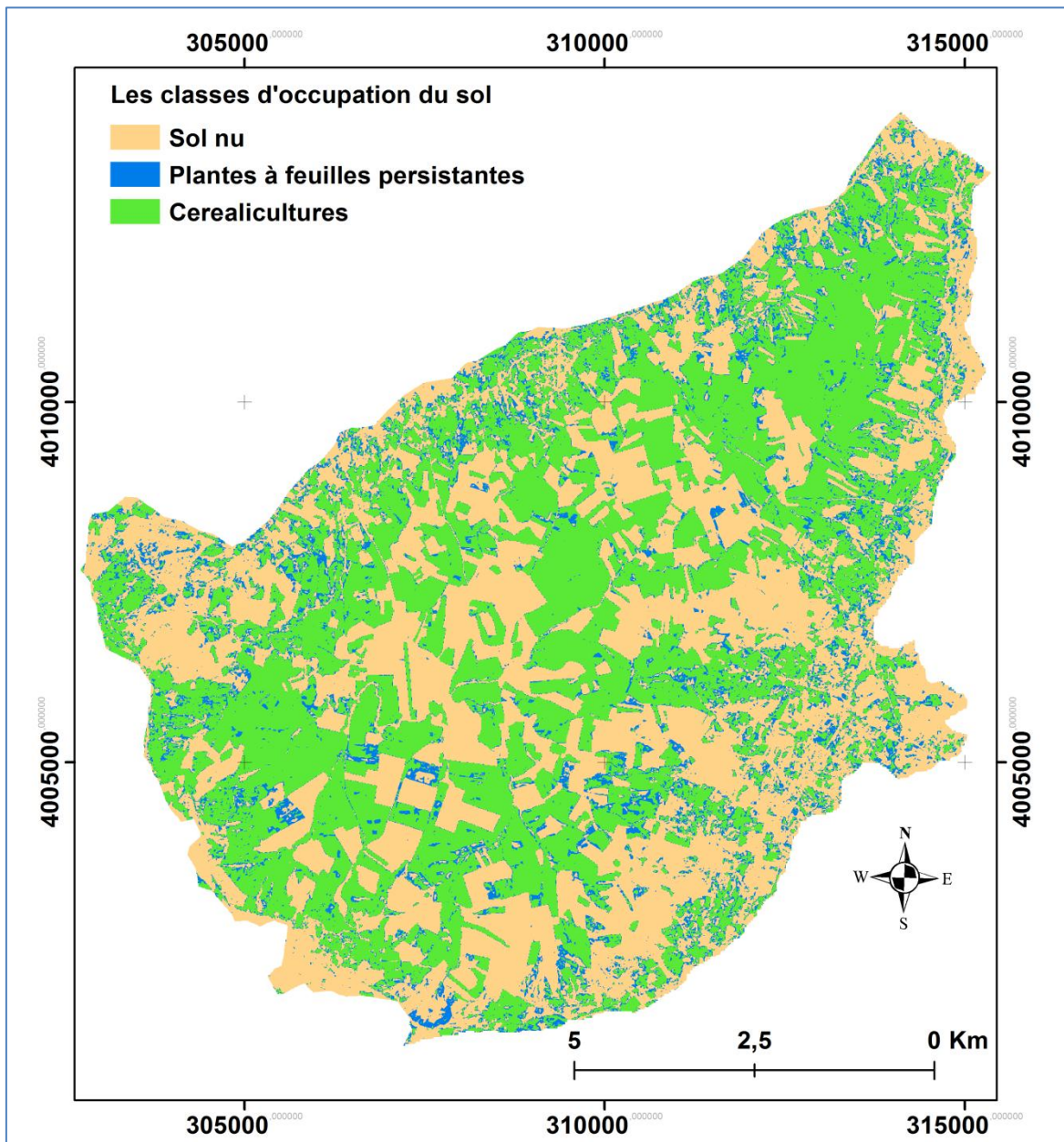
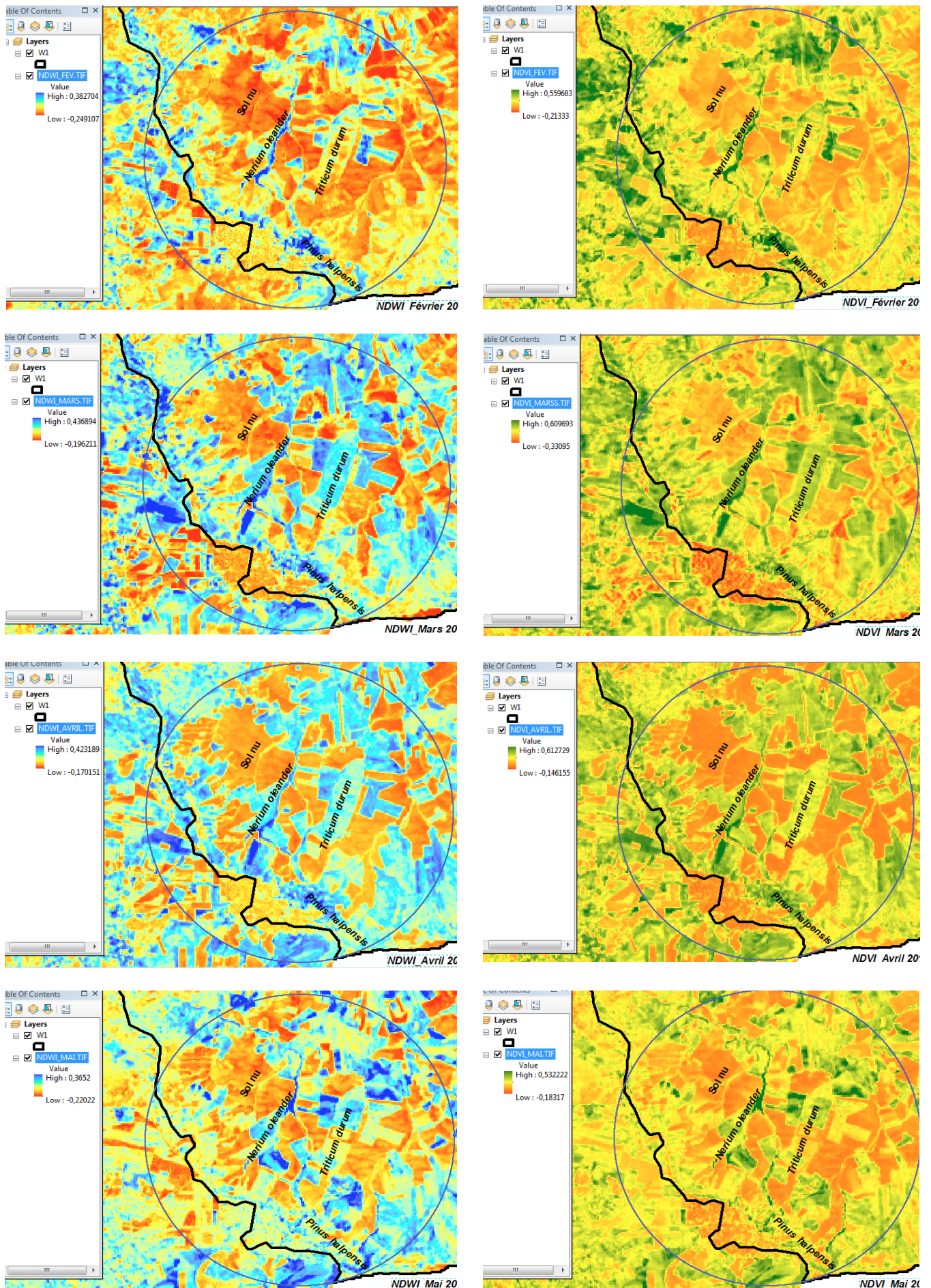


Fig.15 : Les classes d'occupation des sols du sous bassin versant de SMBA

3.3.2. Le suivi diachronique du NDVI en fonction de l'état hydrique (NDWI) de différentes occupations du sol par une série multi date de Landsat\_8



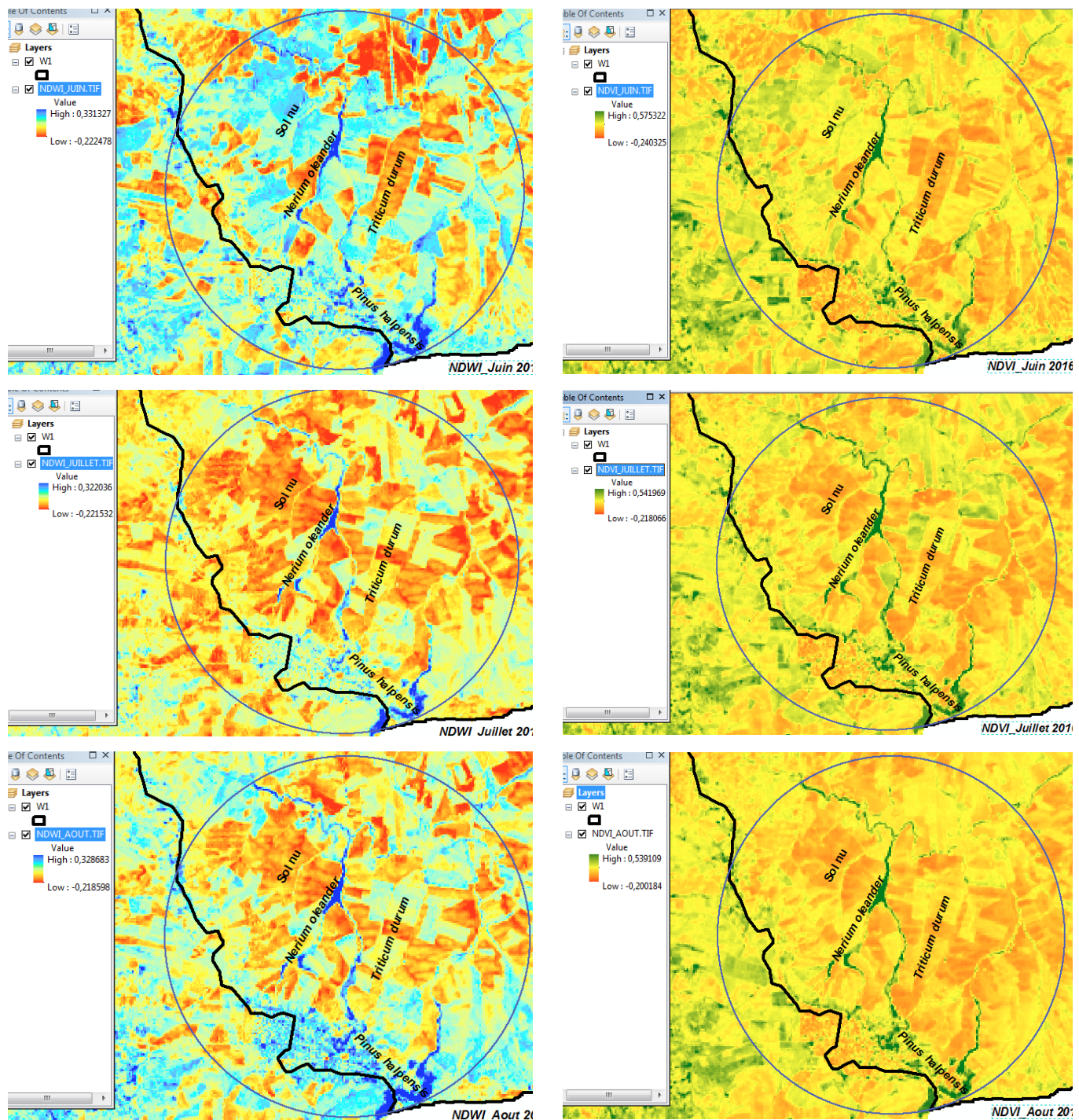


Fig.16 : L'évolution du NDVI en fonction du NDWI durant la période d'étude

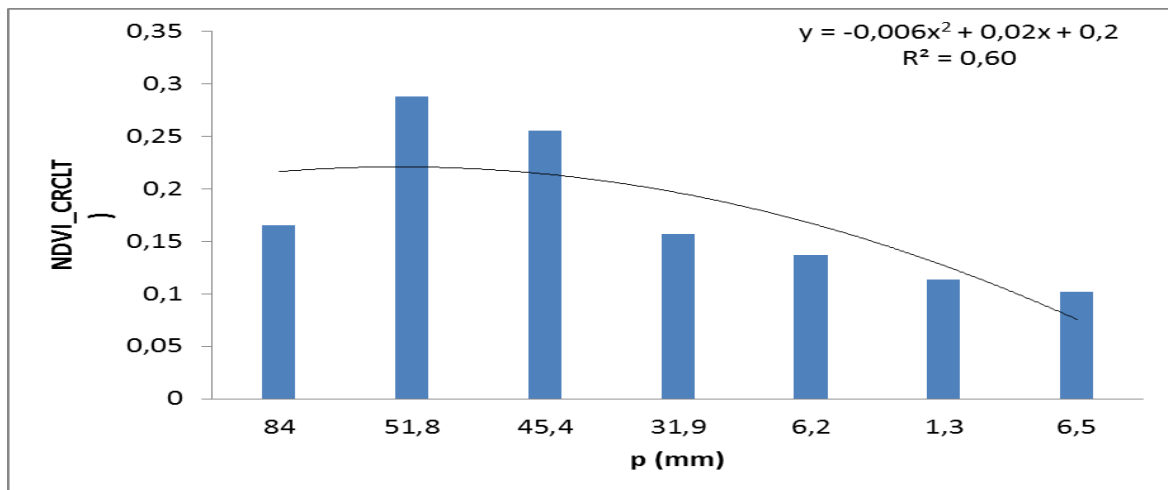
La série de la figure.16 compare le NDVI, à droite, avec le NDWI à gauche. D'après ces figures on remarque que le NDWI reste globalement dans des valeurs acceptables pour toutes les périodes étudiées (Février à Aout). Le mois de Juillet semble toutefois plus sec (NDWI\_moyen = -0,0650) par rapport aux autres mois de l'année. Cela est dû à une faible

pluviométrie enregistrée au cours de deux mois : juin et juillet (1,2 mm) (Tableau 1 en annexe). Toutefois, le mois de mars semble le plus humide avec une valeur moyenne de NDWI de 0,0912. En se référant aux données météo, nous savons que le mois de mars était exceptionnellement trop humide enregistrant une valeur de 130 mm (Tableau 1 en annexe).

Si on compare les scènes du NDVI correspondantes au NDWI (fig.16), on remarque que les champs qui ont un NDVI élevé (couleur verte) sont les mieux hydratés (couleur bleue). Parmi les champs mis en évidence dans le cercle bleu, nous pouvons voir qu'il y a une corrélation visuelle entre la verdure des cultures et l'état hydrique du sol. D'une manière surprenante sur les 7 scènes de la période d'étude, un mois très humide correspond à une activité photosynthétique plus active (haut NDVI).

**3.3.3. Variation mensuelle du NDVI de la céréaliculture en fonction des pluies**

**3.3.3.1. Pluies-NDVI/CRCLT de la zone d'étude**



**Fig. 17 :** Evolution du NDVI\_CRCLT en fonction des précipitations

L'intérêt d'une série temporelle est de pouvoir suivre l'évolution d'un phénomène. Il est important de prendre en compte l'occupation et l'usage des sols qui en est fait chaque année. Par exemple, dans le cas des parcelles céréalières, il est primordial de prendre en compte l'activité chlorophyllienne de cette culture pour effectuer une analyse pertinente.

D'après la figure.17, on remarque que la quantité des pluies et le NDVI de la culture céréalière présente une corrélation assez forte ( $R^2 = 0,60$ ). Ce qui explique que le cycle végétatif des cultures céréalières est en relation avec la quantité des précipitations.

Cependant, le régime de pluies dans la région semi-aride du Tell algérien est caractérisé par une irrégularité spatiotemporelle (Benchettouh et al., 2017). Depuis les années 1960, cette région a subi une diminution systématique de la pluviométrie et de grandes sécheresses.

Notre résultat est en concordance avec ceux trouvés dans d'autres régions portant sur de grandes zones sahéliennes. Ces études ont démontré une relation étroite entre la pluie et la productivité de la végétation en utilisant le NDVI saisonnier, à l'échelle de temps interannuelle (Tucker & Nicholson, 1999 ; Milich & Weiss, 2000; Li et al., 2004).

D'autres travaux similaires ont été effectués au Niger et au Mali par Malo et Nicholson (1990) ont montré que le NDVI mensuel est directement fonction des précipitations mensuelles. La meilleure corrélation est atteinte en utilisation la pluviométrie du mois (ou des deux mois) précédent(s) (Vintrou, 2008). Dans la même région, Justice et al. (1990) ont constaté une forte relation entre les deux paramètres tout en soulignant que le temps de réponse de la végétation aux précipitations est de une à deux décades.

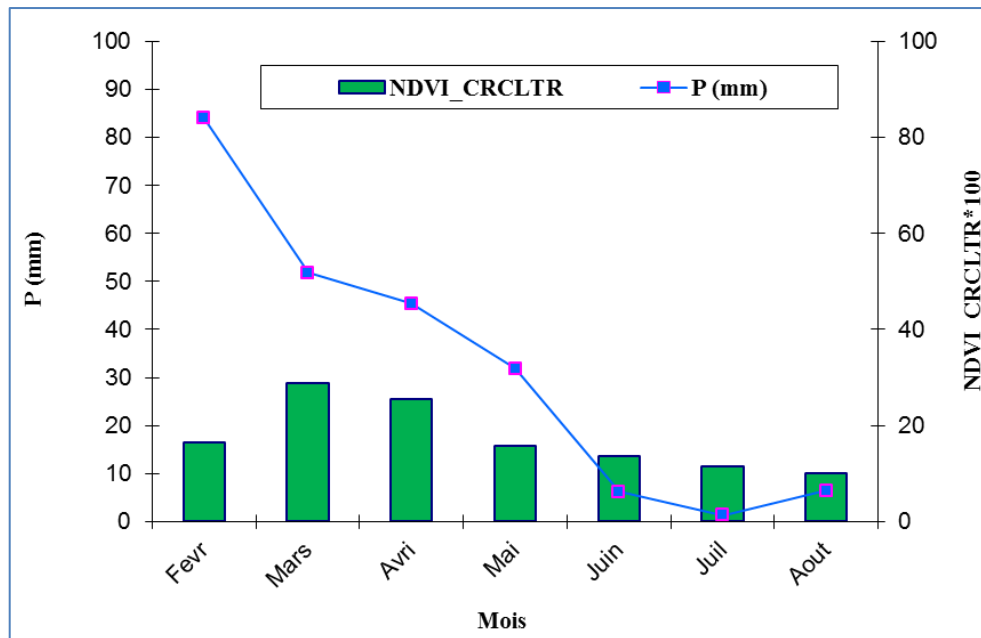


Fig.18 : Variation saisonnière du NDVI\_CRCLTR et des pluies

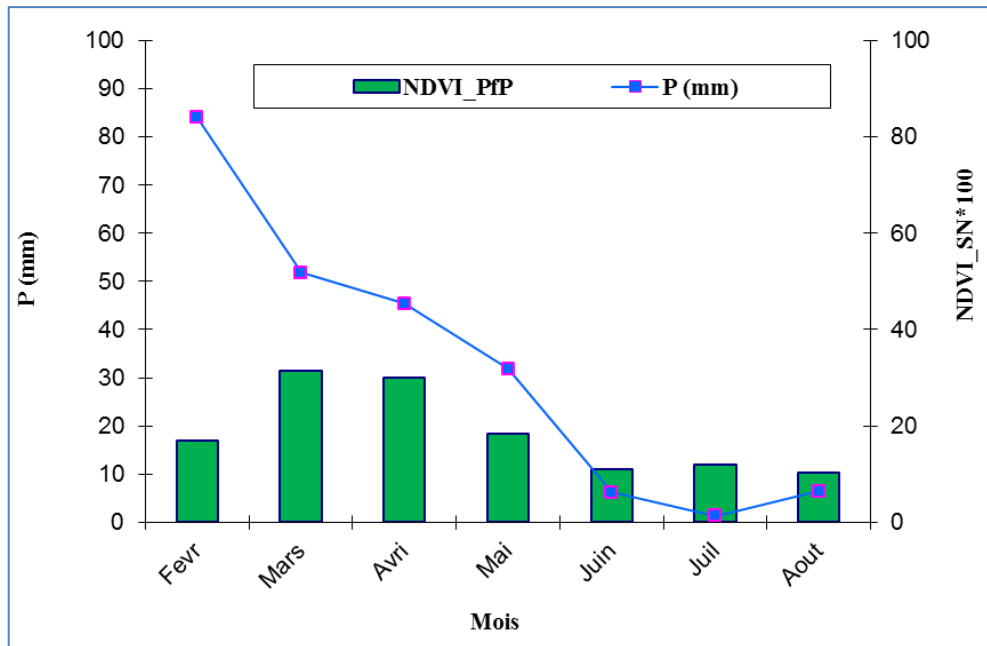


Fig.19 : Variation saisonnière du NDVI\_SN et des pluies

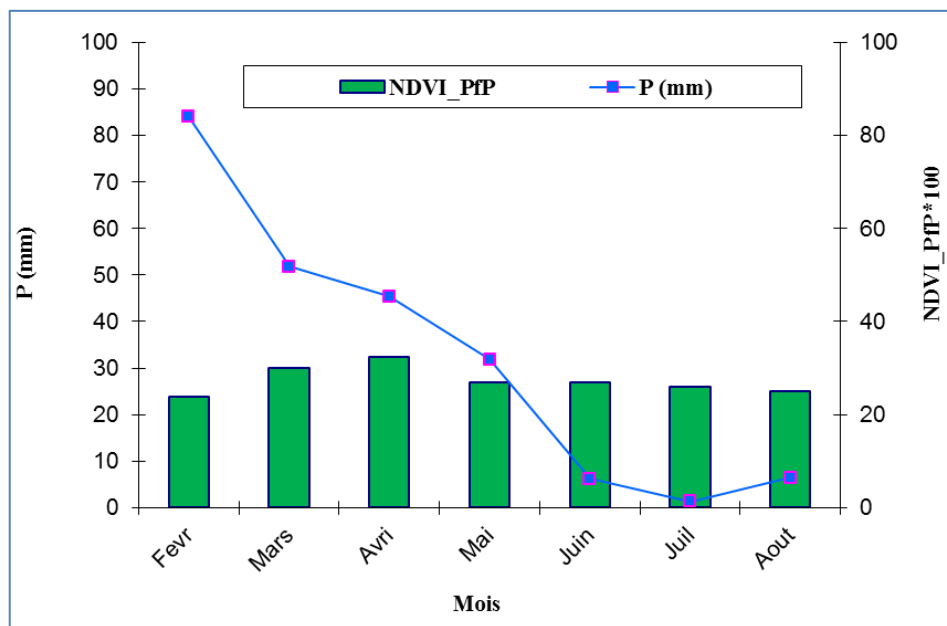


Fig.20 : Variation saisonnière du NDVI\_PfP et des pluies

Au pas de temps mensuel, en moyennant les résultats (les précipitations et les NDVI) sur les 7 mois, les résultats pour les sols nus, les sols à plantes vivaces et les céréalicultures sont présentés sur les Figures18, 19et 20. Nous voyons donc que pour les deux types d’occupations du sol nu et des sols à activité céréalière, les réactions du NDVI aux pluies sont similaires. Pour ces deux types d’occupation du sol, le NDVI atteint son maximum en

mars, c'est-à-dire un mois après la plus grosse pluie mensuelle enregistrée durant le mois de février. Il diminue rapidement après le mois d'avril.

En ce qui concerne l'occupation du sol à plantes de feuilles persistantes, le NDVI croit également en cohérence avec la pluie, mais après deux mois de grosse pluie en atteignant son maximum durant le mois d'avril. Il reste plus stable que les deux types précédents sur tous les mois d'étude. La végétation à feuilles persistantes est moins dépendante des pluies que les cultures annuelles qui occupent plus de 44,5% de la zone d'étude.

### 3.3.2.2. Efficience pluviométrique

De plus, une autre notion très présente préoccupant pour cette comparaison pluies/NDVI est le coefficient d'efficacité pluviométrique (CEP) ou (*RUE*) *Rain Use Efficiency*. Il a été défini de plusieurs manières.

Tout d'abord, le CEP a été défini en zone aride par Le Houérou (1984) comme le rapport entre la production primaire et la pluviosité annuelle.

Une cartographie de l'évolution du CEP en zone sahélienne a été proposée par Prince *et al.* (1998) en utilisant un estimateur de production végétale annuelle estimable par télédétection. Pour calculer le CEP annuel, il a utilisé la formule suivante:

$$\mathbf{RUE = NDVI/Pluie \times 100}$$

Pour pouvoir connaître l'effet des pluies sur le NDVI, nous avons commencé par analyser les résultats du calcul d'efficience annuelle par classe d'occupation du sol. Ce découpage a permis d'analyser l'efficience d'une zone homogène en termes d'occupation du sol.

Il existe deux méthodes différentes pour calculer l'efficience annuelle des pluies: une première méthode utilisant comme numérateur la somme annuelle des pluies (Hountondji, 2006), alors que la seconde utilisant une somme des quantité des pluies sur une période bien déterminée (Prince *et al.*, 1998).

$$\mathbf{Eff. Pluvio (1) = \frac{NDVI(\max\ annual)}{\sum_{Jan}^{Dec} Pluies} * 100 \quad \mathbf{Eff. Pluvio (2) = \frac{NDVI(\max\ annual)}{\sum_j^i Pluies} * 100}$$

Où *i* et *j* les mois extrêmes de la période considérée.

Vintrou (2008), et après avoir tracé des courbes de tendance, et observé les coefficients, ainsi que le  $R^2$ , a pu constater que la seconde méthode permet de mieux mettre en évidence les différences d'efficacité annuelle par occupation du sol. Nous l'utiliserons donc pour modéliser l'efficacité de la pluie par type d'utilisation du sol.

**Tableau.11** : Coefficient d'efficacité des pluies par classes d'occupation du sol

Classes d'occupation du sol	NDVImax_CRCLTR	NDVImax_PfP	NDVImax_SN
<i>RUE</i> ( <i>Rain Use Efficiency</i> )	1,71	1,62	1,48

D'après le tableau ci-dessus on remarque que, la quantité des pluies a un impact sur la production de la biomasse végétale en particulier la culture céréalière avec un coefficient d'efficacité de 1,71, suivi par les plantes vivaces et les sols nus avec respectivement un coefficient d'efficacité de 1,62 et 1,48. Cette efficacité des pluies est due au travail du sol. Les sols à activité agricole retiennent beaucoup d'eau que d'autres sols.

### 3.3.2.3. NDWI mensuelle de différentes classes d'occupations du sol: PfP, CRCLTR et SN

Une valeur élevée (plus de + 0,20) de NDWI indique une surface de sol humide avec une très bonne potentialité des eaux souterraines et de +0,20 à +0,10 indicateurs de sol humide à sec avec un potentiel modéré (Wilson et Sader 2002, Goodwin et al. 2008).

**Tableau.12** : l'humidité mensuelle de différentes occupations des sols

	NDWI Moyenne		
	SN	CRCLTR	PfP
Février	0,00	0,08	0,11
Mars	0,15	0,13	0,12
Avril	0,14	0,12	0,17
Mai	0,01	0,08	0,09
Juin	-0,08	0,04	0,09
Juillet	-0,06	0,05	0,08
Août	-0,06	0,05	0,09

Légende :  sol sec,  sol humide à sec,  humide.

D'après le tableau 12, les valeurs d'humidité des sols vont de -0,08 à 0,17. Les valeurs relativement élevées sont enregistrées chez les plantes vivaces qui vont de 0,08 à

0,17. Ces valeurs ont été enregistrées respectivement durant le mois de juillet et d’avril. Alors que les valeurs moyennement élevées sont enregistrées au niveau des sols à activité céréalière. Les sols nus ont été enregistrées uniquement deux valeurs potentiellement humides au cours du mois de mars et avril.

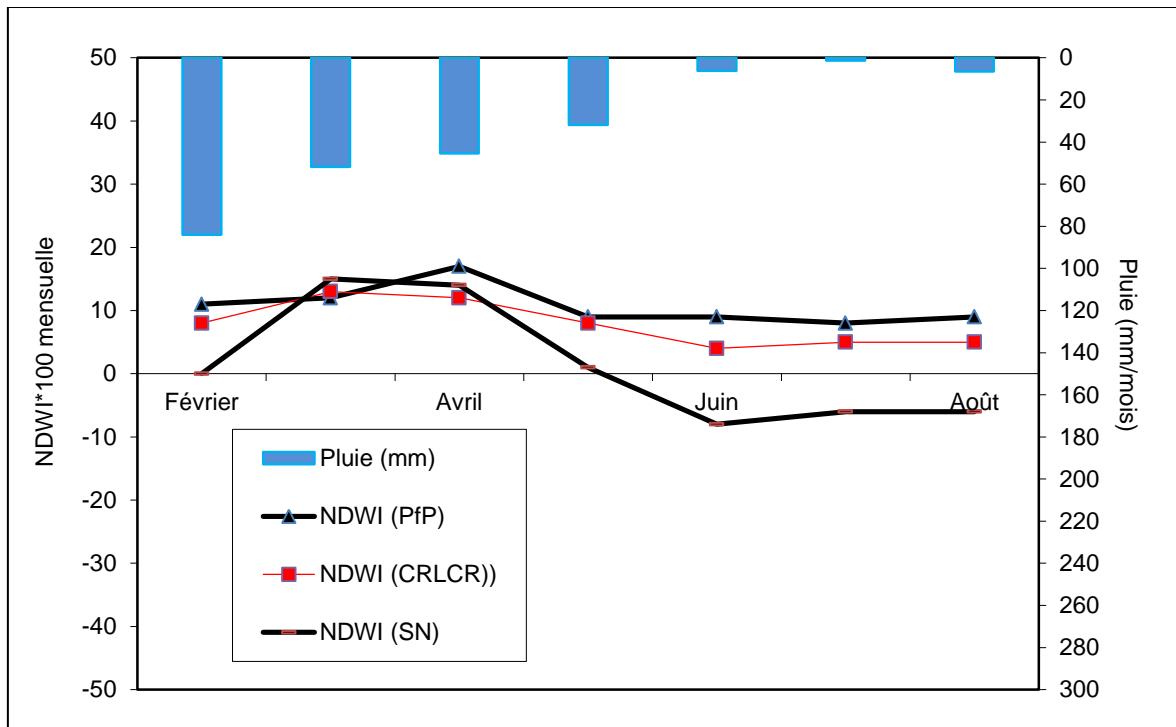


Fig.21 : La potentialité de différentes occupations des sols en humidité en fonction des précipitations

D’après la figure 21 on remarque que :

Les sols à plantes vivaces présentent une faible évapotranspiration durant les trois mois de la période d’étude avec un gain en humidité du sol atteignant une valeur de 0,07 enregistrée durant le mois d’avril. Les sols à activité céréalière soumis à une évapotranspiration importante à partir du mois d’avril avec un déficit hydrique de 0,02. Les sols nus se commencent à perdre leur potentiel hydrique à partir de la fin du mois d’avril enregistrant une valeur maximale de déficit hydrique de 0,16 durant le mois du juin.

**3.3.2.4. Validation de la température de surface du sol (LST)**

Le paramètre de calibration de la LST nécessite des mesures au sol ou la température de l’air à proximité de la surface du sol (Li et al., 2013; Srivastava et al., 2009).

Tableau.13 : Comparaison entre la température max. de l'air et celle de LST

Mois	T° max de l'air à 2 m (°C)	LST (°C)	Ecart (°C)
Février	18,6	17,9	+ 0,7
Mars	18,7	20,6	-1,9
Avril	23,9	24,7	-0,8
Mai	28,7	30,9	-2,2
Juin	34,9	36	-1,1
Juillet	39	41,5	-2,5
Août	37,5	39,8	-2,3

La différence entre les deux températures pour les sept points (mois) représentatifs a montré un écart thermique de  $\pm 2,5$  °C. Nos résultats sont similaires aux ceux trouvés par Srivastava et al.,(2009). Ces auteurs ont trouvé une différence de  $\pm 2$  °C entre les deux mesures de la température (température de l'air à 2 m et température au sol). Selon Liu et Zhang, une autre méthode utilisant la température de l'air proche de la surface pour vérifier les résultats de LST a montré que cette différence peut atteindre une valeur d'environ 0,7°C.

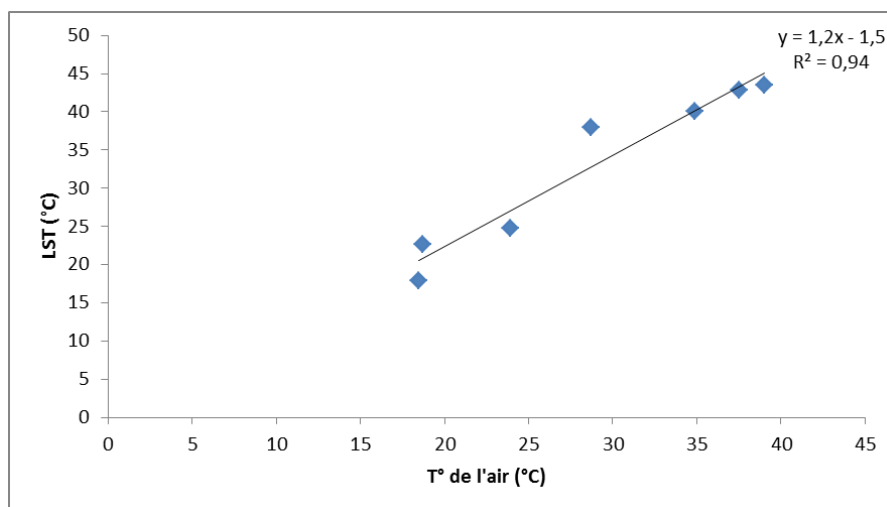


Fig.22 : Relation entre la température de l'air à 2 m du sol et celle de LST

Les résultats de la LST comparés aux résultats des mesures de la température de l'air à 2 m du sol nous ont permis de déduire que ces deux paramètres présentent une très forte corrélation ( $R^2 = 0,94$ ) (fig 22).

Cette forte corrélation est due aux facteurs météorologiques, plus particulièrement le rayonnement solaire et la température de l'air, qui influent sur la température de la surface

du sol et sur celle du sous-sol en agissant sur le taux de transmission des échanges de chaleur entre l'atmosphère et le sol.

Les valeurs de la température de l'air mesurées durant la période d'étude (février à aout) montrent que l'augmentation de la température commence à partir du mois d'avril. Les mois de juin, juillet et aout ont enregistré les valeurs les plus élevées. Cette remarque a été également enregistrée pour les températures de la surface du sol LST (Tableau.13).

### **Conclusion générale**

La mise en place d'une culture nécessite tout d'abord la prérequis de l'état hydrique. Ce dernier c'est un paramètre climatique clés dans la production agricole. Le développement des applications de la télédétection, la disponibilité croissante des données à accès gratuit, la variété des sources d'information ont permis aux données satellitaires de devenir une source importante d'information permettant de suivre l'état des cultures à différentes échelles, et ainsi combler le déficit en données et information. Un suivi diachronique sur sept mois de l'état hydrique des cultures céréalières par des séries temporelles du satellite Landsat-8 a été abordé.

Au terme de cette étude on peut tirer les constatations suivantes :

Le suivi diachronique du NDVI en fonction de l'état hydrique (NDWI) de différentes occupations du sol montre que le mois de Juillet semble le plus sec par rapport aux autres mois de l'année. Cela est dû à une faible pluviométrie enregistrée au cours de deux mois précédents. Toutefois, le mois de mars semble le plus humide.

La quantité des pluies et le NDVI de la culture céréalière présente une corrélation assez forte. Ce qui explique que le cycle végétatif des cultures céréalières est en relation avec la quantité des précipitations.

Le coefficient de l'efficacité des pluies montre que, la quantité des pluies a un impact sur la production de la biomasse végétale en particulier la culture céréalière. Cette efficacité des pluies est due au travail du sol. Les sols à activité agricole retiennent beaucoup d'eau que d'autres sols.

Les résultats de la LST comparés aux résultats des mesures de la température de l'air à 2 m du sol nous ont permis de déduire que ces deux paramètres présentent une très forte corrélation. Cette corrélation est due aux facteurs météorologiques, plus particulièrement le rayonnement solaire et la température de l'air, qui influent sur la température de la surface du sol et sur celle du sous-sol en agissant sur le taux de transmission des échanges de chaleur entre l'atmosphère et le sol.

## *Conclusion générale*

---

Les valeurs de la température de l'air mesurées durant la période d'étude montrent que l'augmentation de la température commence à partir du mois d'avril. Les mois de juin, juillet et août ont enregistré les valeurs les plus élevées.

Comme perspectives, quelques préconisations seront recommandées notamment l'utilisation des images à THRS issues d'autres satellites tels que, Ikonos-2, Quickbird-1, Orbview-3, Orbview-4 ou ASAL (Agence Spatiale Algérienne), mais sur toute l'année agricole et durant plusieurs séries temporelles.

**Références bibliographiques**

- Akkouche Y et Gahmousse A N (2017) Utilisation de l'hétérosis comme méthode de sélection pour l'amélioration du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie. Mémoire de magister, Université des Frères Mentouri Constantine. 80 P.
- Atzberger C (2013) Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, 5, pp 949-981.
- Bagnouls, F., Gaussen, H. (1955). Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 83: Pp. 193-239.
- Baret, F., & Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environments*, 35 : 161-173.
- Baret, F., & Fourty, T. (1997). Estimation of leaf water content and specific leaf weight from reflectance and transmittance measurements. *Agronomie*, 17 : 455-464.
- Bastiaansen W.G.M., Ali, S. (2003) "A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan". *Agric. Ecosyst. Environ.* 94, pp.321\_340.
- Becker, F., & Li, Z. L (1990). Temperature independent spectral indices in TIR bands. *Remote Sens. Environ*, 32, 17 – 33
- Belaid Djamel (2016) La Production de Semences en Algérie (tome 1) p17.
- Ben Naceur M., Gharbi M.S. & Paul R. 1999. L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*. 10, P :27- 33.
- Benchettouh, A., Kouri, L., Jebari, S. (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). *Arab J Geosci*, 10:79. DOI 10.1007/s12517-017-2875-6.
- Bender SF, Wagg C, van der Heijden MGA (2016) An underground revolution : Bio-diversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology and Evolution* 31 : 440 – 452.
- Boulai H., Zaghouane O., El Mourid M Et Rezgui S. (2007) Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie). Co-edition ITGC/INRA/ICARDA. 176 p.
- Chowdary VM et al. (2008) Assessment of surface and sub-surface waterlogged areas in irrigation command areas of Bihar state using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Management* 95, 754–766. doi:10.1016/j.agwat.2008.02.009

- Crist EP & Cicone RC (1984) A physically based transformation of Thematic Mapper data — the TM tasseled cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 22, 256 – 263.
- Dash, P., Göttsche, F. M., Olesen, F. S., Fischer, H. 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice—current trends. *Inter. J. of Remote Sensing* 23 (13): 2563–2594.
- Dimitrios, D. A., Diofantos, G.H., Athos, A. (2013) Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *J. Atmos. Res.* 131, 108–124.
- Douaoui, A.E, Nicolas, H., Walter, C. (2006). Detecting salinity hazard within a semi-arid context by means of combining soil and remote – sensing data. *Geoderma*, 134: 217-230.
- DuPont FM, Altenbach SB (2003) Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38: 133- 146.
- Emberger, L. (1930). La végétation de la région méditerranéenne: essai d’une classification des groupements végétaux. *Rev. Gen. Bot.* 42: 641-662, Pp. 705-721.
- Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. *Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci. Serv. Bot. Montpellier.* 7: Pp. 3-43.
- Feliachi (2000) Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. Dans. Actes du premier symposium international sur la filière blé 2000 - Enjeux et stratégies, Alger (Algérie), 7-9 février 2000, pp. 21-27.
- Fournier, A. (2013) Influence de la structure des couverts végétaux en télédétection de la fluorescence chlorophyllienne. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00794011>
- Fourty, T., & Baret, F. (1998). On spectral estimates of fresh leaf biochemistry. *International journal of remote sensing*, 19 : 1283-1297.
- Gao B.-C. (1996) "NDWI : A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Proceeding of SPIE*. Vol.58, no.3, pp.257-266.
- Gate, 1995. *Ecophysiologie du blé* Ed : Tec & Doc , lavoisier p 429 .
- Goodwin NR, Coops NC, Wulder MA, Gillanders S, Schroeder TA & Nelson T (2008) Estimation of insect dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 112, 3680-3689.
- Guerfi, M (2013) Apport de la télédétection dans un système opérationnel de suivi agricole à travers la description de crop explorer. *Courrier du savoir – n°17*, pp.121-125, pp.121-125
- Hapke, B., DiMucci, D., Nelson, R. & Smythe, W. (1996). The cause of the hot spot in vegetation canopies and soils: shadow-hiding versus coherent backscatter. *Remote sensing of environment*, 58 : 63-68.

- Hountondji, Y. C., Sokpon, N., and Ozer, P. (2006). Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982-1999) for the monitoring of desertification. *International Journal of Remote Sensing* 27, 871- 884.
- Huang J, Chen D & Cosh MH (2009) Sub-pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybean cropland using normalized difference water index (NDWI) from satellites. *International Journal of Remote Sensing*. 30(8), 2075–2104
- Inbal B-R, Justice C, Sullivan, M (2010). Monitoring Global Croplands with Coarse Resolution Earth Observations: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project. *Remote Sensing*, 2 pp1589-1609.
- Justice, C. O. et Townshend, J. R. G. (1990). The spatial variation of vegetation changes at very coarse scales. *International Journal of Remote Sensing* 11, 149- 157.
- Kouadio A.L (2012) Prévisions des rendements du blé d’hiver à échelle régionale par modélisation de la courbe de chute de l’indice foliaire. Thèse présentée en vue de l’obtention du grade de Docteur en Sciences, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l’Environnement, Mai 2012. 153P.
- Kuusk, A. (1985) The hot spot effect of a uniform vegetative cover. *Soviet Journal of remote sensing*, 3 : 645-658.
- Le Houérou, H. N. (1984). Rain-use efficiency : a unifying concept in arid land ecology. *Journal of Arid Environments*, 7, 1-35.
- Li Z.L., Tang, B.H., Wu, H. (2013) “Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 131, pp. 14–37.
- Li, J., Lewis, J., Rowland, J., Tappan, G., and Tieszen, L. L. (2004). Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. *Journal of Arid Environments* 59, 463-480.
- Loué, A. (1982) Le potassium et les céréales. Dossier K<sub>2</sub>O, SCPA, N° 22, pp. 1-40
- Malo, A. R., and Nicholson, S. E. (1990). A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments* 19, 1-24.
- McFeeters SK (1996) the Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425–1432.
- Milich, L., and Weiss, E. (2000). GAC NDVI interannual coefficient of variation (CoV) images: Ground truth sampling of the Sahel along north-south transects. *International Journal of Remote Sensing* 21, 235-260.
- Mouhouche B. et Khiati M. (1999). Situation de l’alimentation et de l’agriculture Algérienne. Journée d’études à l’occasion de la journée Arabe de l’agriculture. INA d’El-Harrach, Alger.

- Mouhouche, B et Bourahla A (2007) optimisation de l'irrigation d'appoint apportée à différentes phases phénologiques d'une culture de blé dur (*triticum durum*). Sciences & technologie c - n° 25, pp.53-58.
- Nutini F., Boschetti M., Candiani G., Bocchi S., Brivio P.A., (2014). "Evaporative Fraction as an indicator of moisture condition and water stress status in semi-arid rangeland ecosystems". *Remotesens.*, 6, pp.6300- 6323.
- Orgiazzi A, et al. (2016) Global soil biodiversity atlas.
- Oussedik A, Iftène T, Zegrar A (2003). Réalisation par télédétection de la carte d'Algérie de
- Owen, TW, Carlson, TN & Gillies, RR, (1998). Remotely sensed surface parameters governing urban climate change, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 1663- 1681.
- Peres, LF and CC Dacamara (2004). Land surface temperature and emissivity estimation based on the two-temperature method: Sensitivity analysis using simulated MSG/SEVIRI data *Remote Sens Environ* 91: 377-389
- Prats, Jacques.; Clément - Grandcourt, m. (1971) les Céréales. 2 édition J.B. Baillere et fils. 351p.
- Prince, S. D., Brown De Colstoun, E., and Kravitz, L. L. (1998). Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology* 4, 359-374.
- Ranson, K.J., Irons, J.R., Williams, D.L. (1994). Multispectral bidirectional reflectance of northern forest canopies with the advanced solid-state array spectroradiometer (ASAS). *Remotesensing of environment*, 47 (2): 276-289.
- Richardson, A., & Wiegand, C. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information (by gray mapping of Landsat MSS data). *Photogrammetric engineering and remotesensing*, 43: 1541-1552.
- Roerink G., Su Z., Menenti M. (2000). "S-SEBI: A simple remotesensing algorithm to estimate the surface energy balance". *Phys. Chem. Earth Part B* 25, pp.147\_157.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L., & Verma, S.B. (1983) Microclimate: the biological environment: Wiley-interscience.
- Roujean, J.L., Leroy, M., Deschamps, P.Y. (1992). A bidirectional reflectance model of the earth's surface for the correction of remotesensing data. *Journal of geophysical research* 91 (18): 20,455-20,468.
- Rouse, JW, Haas, RH, Schell, JA, Deering, DW and Harlan, JC, (1974). Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD.
- Sauvage, Ch., 1963 - Etages bioclimatiques. Notice et carte au 1 /200 0000 ème. Atlas du Maroc Sect. II. P l. 6b. Comité Géographie Maroc. Rabat.

- Sensibilité à la désertification. Sécheresse, Volume 14, n°3, pp 195-201.
- Sims DA & Gamon JA (2003) Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment* 84, 526–537.
- Smadhi D., Mouhouche B., Mohammedou M. et Semiani M. (2002). Bilan hydrique et besoin d'irrigation de la céréaliculture en zone semi-aride. *Revue H.T.E. N° 124* : 53-56.
- Sobrino, J. A., Coli, C., Casselles, V. 1991. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-II AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sensing of Environment* 38: 19-34.
- Sogreah Conseil, Bureaux d'études Génie civil (études, réalisation) Ingénierie, bureaux d'études (divers) Environnement (conseil, études, contrôle) Constructions hydrauliques Travaux de bâtiment tous corps d'état 105 CITE MOHAMED SAIDOUNE BEN OMAR Kouba, Alger (16), Algérie
- Soltner Dominique, (1990) Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées-prairies 17<sup>ème</sup> Ed, collection sciences techniques agricoles. Pp 21-41
- Souidi Z, Hammimed A, Donze F, Seddini A, Mederbek K (2010) Estimation de l'évapotranspiration d'un couvert forestier en Algérie par télédétection. *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n°3-4, p. 164-181.
- Srivastava, P. K. Majumdar, T. J. et Bhattacharya, A. K. (2009) Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data," *Advances in Space Research*, vol. 43, no. 10, pp. 1563–1574
- Thorntwaite C. (1946). Approach towards rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38 (1) Pp. 55-94.
- Toumi, S. (2013). Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Doctorat Es-Sciences. L'école nationale supérieure d'hydraulique, Algérie, 175 p.
- Tucker, C. J., Newcomb, W. W., Los, S. O., and Prince, S. D. (1991). Mean and interyear
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of environment*, 8: 127-150.
- Wieder WR, Bonan GB, Allison SD. 2013. Global soil carbon projections are improved by modelling microbial processes. *Nature Climate Change* 3 : 909 – 912.
- Wilson EH & Sader SA (2002) Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 80, 385–396.
- Xu H (2006) Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14), 3025-3033

## *Références bibliographiques*

---

Xu H.-Q. et Chen B.-Q (2004) “Remotesensing of the urbanheatisland and its changes in Xiamen City of SE China,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 276–281, 2004.

Annexe I, Tableau 1

Date	Température quotidienne min. (°C)	Température quotidienne max. (°C)	Température Moy. (°C)	Précipitations quotidiennes totales (mm)
01/02/2016	8	22	15	0
02/02/2016	9	25	17	0
03/02/2016	8	21	14,5	0
04/02/2016	9	19	14	0
05/02/2016	7	21	14	0
06/02/2016	10	20	15	0
07/02/2016	9	17	13	0
08/02/2016	6	18	12	2
09/02/2016	7	19	13	0
10/02/2016	13	20	16,5	0
11/02/2016	15	17	16	0
12/02/2016	14	15	14,5	0
13/02/2016	14	25	19,5	0
14/02/2016	10	18	14	0
15/02/2016	6	12	9	12,9
16/02/2016	6	11	8,5	6
17/02/2016	4	14	9	2
18/02/2016	11	16	13,5	0
19/02/2016	7	21	14	0
20/02/2016	8	23	15,5	0
21/02/2016	12	20	16	0
22/02/2016	15	25	20	1
23/02/2016	11	20	15,5	0,2
24/02/2016	8	23	15,5	0
25/02/2016	11	18	14,5	0,5
26/02/2016	10	19	14,5	2
27/02/2016	6	14	10	7,8
28/02/2016	4	10	7	8,8
29/02/2016	6	15	10,5	11,9
MOY	9,1	18,6	13,8	55,1
01/03/2016	6	17	11,5	0
02/03/2016	6	20	13	0
03/03/2016	8	21	14,5	0
04/03/2016	8	22	15	0
05/03/2016	9	16	12,5	0
06/03/2016	7	14	10,5	10,9
07/03/2016	5	13	9	3
08/03/2016	6	12	9	11,9
09/03/2016	6	15	10,5	20

10/03/2016	6	13	9,5	4
11/03/2016	5	14	9,5	8,8
12/03/2016	3	16	9,5	8,8
13/03/2016	5	12	8,5	0,5
14/03/2016	7	19	13	0
15/03/2016	7	18	12,5	0
16/03/2016	9	18	13,5	0
17/03/2016	7	20	13,5	17
18/03/2016	9	22	15,5	0
19/03/2016	8	23	15,5	0
20/03/2016	8	20	14	0
21/03/2016	8	19	13,5	0
22/03/2016	10	13	11,5	7,1
23/03/2016	10	17	13,5	35
24/03/2016	9	19	14	3
25/03/2016	6	21	13,5	0
26/03/2016	9	23	16	0
27/03/2016	9	21	15	0
28/03/2016	10	23	16,5	0
29/03/2016	9	27	18	0
30/03/2016	13	33	23	0
MOY	7,6	18,7	13,2	130
01/04/2016	11	19	15	0,5
02/04/2016	7	19	13	2
03/04/2016	9	25	17	1
04/04/2016	12	23	17,5	0
05/04/2016	11	16	13,5	14,9
06/04/2016	10	16	13	6
07/04/2016	13	18	15,5	3
08/04/2016	8	20	14	0
09/04/2016	5	20	12,5	0
10/04/2016	8	25	16,5	0
11/04/2016	10	23	16,5	0
12/04/2016	10	24	17	0
13/04/2016	10	22	16	0
14/04/2016	10	27	18,5	0
15/04/2016	11	28	19,5	0
16/04/2016	13	27	20	0
17/04/2016	13	25	19	0
18/04/2016	13	29	21	0
19/04/2016	15	34	24,5	0
20/04/2016	14	21	17,5	0
21/04/2016	10	24	17	0
22/04/2016	13	25	19	0

23/04/2016	10	27	18,5	0
24/04/2016	13	24	18,5	0
25/04/2016	11	26	18,5	0
26/04/2016	12	29	20,5	0
27/04/2016	10	28	19	0
28/04/2016	14	26	20	0
29/04/2016	13	26	19,5	0
30/04/2016	13	21	17	0
MOY	11,1	23,9	17,5	27,4
01/05/2016	11	21	16	0
02/05/2016	6	24	15	0
03/05/2016	9	30	19,5	0
04/05/2016	16	33	24,5	0
05/05/2016	17	29	23	0
06/05/2016	15	18	16,5	7,1
07/05/2016	14	24	19	1
08/05/2016	13	31	22	0,2
09/05/2016	17	27	22	0
10/05/2016	14	32	23	0
11/05/2016	13	24	18,5	6
12/05/2016	13	24	18,5	0,2
13/05/2016	13	23	18	0
14/05/2016	12	25	18,5	0
15/05/2016	11	28	19,5	0
16/05/2016	12	27	19,5	0
17/05/2016	12	31	21,5	0
18/05/2016	17	28	22,5	0
19/05/2016	14	29	21,5	0
20/05/2016	14	30	22	0
21/05/2016	16	35	25,5	0
22/05/2016	18	33	25,5	0
23/05/2016	17	31	24	0
24/05/2016	17	38	27,5	0
25/05/2016	18	36	27	0
26/05/2016	16	32	24	0
27/05/2016	16	32	24	0
28/05/2016	19	31	25	0
29/05/2016	15	26	20,5	0
30/05/2016	13	29	21	0
MOY	14,3	28,7	21,5	14,5
01/06/2016	13	31	22	1
02/06/2016	17	36	26,5	0
03/06/2016	19	35	27	0

04/06/2016	18	31	24,5	0
05/06/2016	15	31	23	0
06/06/2016	16	36	26	0
07/06/2016	20	38	29	0
08/06/2016	19	38	28,5	0
09/06/2016	21	38	29,5	0
10/06/2016	21	38	29,5	0
11/06/2016	21	33	27	0
12/06/2016	18	35	26,5	0
13/06/2016	17	37	27	0
14/06/2016	23	36	29,5	0
15/06/2016	22	34	28	0
16/06/2016	18	24	21	0
17/06/2016	14	30	22	0
18/06/2016	17	30	23,5	0
19/06/2016	17	28	22,5	0
20/06/2016	15	31	23	0
21/06/2016	17	33	25	0
22/06/2016	20	38	29	0
23/06/2016	20	36	28	0
24/06/2016	19	39	29	0
25/06/2016	21	42	31,5	0
26/06/2016	25	35	30	0
27/06/2016	23	40	31,5	0
28/06/2016	26	43	34,5	0
29/06/2016	24	37	30,5	0,2
30/06/2016	20	35	27,5	0
MOY	19,2	34,9	27,1	1,2
01/07/2016	21	37	29	0
02/07/2016	21	40	30,5	0
03/07/2016	25	45	35	0
04/07/2016	26	37	31,5	0
05/07/2016	23	34	28,5	0
06/07/2016	21	39	30	0
07/07/2016	27	38	32,5	0
08/07/2016	25	41	33	0
09/07/2016	25	41	33	0
10/07/2016	23	38	30,5	0
11/07/2016	22	41	31,5	0
12/07/2016	22	41	31,5	0
13/07/2016	23	37	30	0
14/07/2016	22	36	29	0
15/07/2016	20	34	27	0
16/07/2016	20	36	28	0

17/07/2016	18	35	26,5	0
18/07/2016	21	38	29,5	0
19/07/2016	21	39	30	0
20/07/2016	23	41	32	0
21/07/2016	23	44	33,5	0
22/07/2016	25	40	32,5	0
23/07/2016	22	36	29	0
24/07/2016	22	37	29,5	0
25/07/2016	22	36	29	0
26/07/2016	22	40	31	0
27/07/2016	25	43	34	0
28/07/2016	24	41	32,5	0
29/07/2016	25	42	33,5	0
30/07/2016	24	44	34	0
MOY	22,8	39,0	30,9	0
01/08/2016	29	43	36	0
02/08/2016	25	42	33,5	0
03/08/2016	25	44	34,5	0
04/08/2016	25	42	33,5	0
05/08/2016	23	38	30,5	0
06/08/2016	23	35	29	0
07/08/2016	20	33	26,5	0
08/08/2016	20	35	27,5	0
09/08/2016	21	36	28,5	0
10/08/2016	20	35	27,5	0
11/08/2016	21	33	27	0
12/08/2016	22	35	28,5	0
13/08/2016	21	37	29	0
14/08/2016	21	35	28	0
15/08/2016	21	38	29,5	0
16/08/2016	23	35	29	0
17/08/2016	22	39	30,5	0
18/08/2016	23	39	31	0
19/08/2016	24	41	32,5	0
20/08/2016	25	41	33	0
21/08/2016	24	36	30	0
22/08/2016	23	37	30	0
23/08/2016	21	33	27	0
24/08/2016	20	36	28	0
25/08/2016	20	36	28	0
26/08/2016	21	35	28	0
27/08/2016	21	35	28	0
28/08/2016	22	42	32	0
29/08/2016	24	42	33	0

30/08/2016	22	38	30	0
MOY	22,4	37,5	30	0