



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة زيان عاشور-الجلفة  
Université Ziane Achour –Djelfa  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
قسم العلوم الفلاحية و البيطرية  
Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires



**Filière :** Sciences Agronomiques

**Spécialité :** Eau et Environnement

**Module :** Economie de l'Environnement

## Thème

# *Exploration et validation des données climatiques CHIRPS .*

**Présenté par :**

► **ZIDANE Rima**

*Devant le jury composé de :*

- |             |                      |       |                                  |
|-------------|----------------------|-------|----------------------------------|
| ► Président | : Mr. KHADER M'hamed | M.C.A | Université Ziane Achour - Djelfa |
| ► Examineur | : Mr. BOUZNAD I.E    | M.C.A | Université Ziane Achour - Djelfa |
| ► Promoteur | : Mr. MOUISSA Habib  | M.C.A | Université Ziane Achour - Djelfa |

## Dédicaces

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :*

• *Au deux personnes les plus chères à mes yeux, ceux qui ont fait de moi la femme que je suis aujourd'hui, qui m'ont donné la force et le courage de continuer, à ceux qui m'ont toujours soutenu et qui m'ont aidé à me relever à chaque fois que je touchais le fond et que je voulais tout lâcher, à mes parents adorés.*

• *A mes très chers frères Ramel, Racim et Raslane, R<sup>4</sup> pour toujours et à jamais, vous et moi sommes pareil tout comme la terre et le ciel car nos cœurs ne font qu'un, tant qu'on est ensemble rien sur terre ne nous vaincra.*

• *A mon ange gardien qui ne m'a jamais laisser tomber.*

• *A Tata zhor et ses enfants, mes frères et sœurs de cœurs Yasmine, Meriem et Abderrahmane.*

• *A mes cousines Amel et Sara qui m'ont toujours motivé et encouragé.*

• *A ma bonne fée Hayet TIACHADINE pour tout ce qu'elle a fait pour moi .*

• *A la personne qui m'a le plus aider pour ce travail et qui a toujours su choisir ses mots pour me secouer et donner le meilleur de moi-même, Sarah KASSIM EPS ZIDANE.*

## Remerciements

*Je remercie Dieu de m'avoir donné le courage et la force de finir ce travail malgré tous les obstacles et toutes les entraves rencontrées tout au long de mon cursus.*

*Je tiens à remercier Mr MOUISSA Habib, pour avoir encadré et dirigé ce mémoire avec une grande rigueur scientifique. La qualité de sa formation et de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il m'accordé, m'ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.*

*Mes vifs remerciements vont également à :*

- Mme GHAZI.M ma marraine à l'université, je ne la remercierai jamais assez de m'avoir prise sous son aile.*
- Mme KHADRI.S une enseignante en or qui ma donner de plus en plus envie de travailler dans ce domaine*
- Mes amies Mlle DIF Amani, Mme NAAMI Khadidja, Melle ATTARI Meriem, en témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire .*

# Table des matières

<i>Dédicaces</i> .....	I
<i>Remerciements</i> .....	II
Table des matières .....	III
Liste des abréviations .....	VI
Liste des figures .....	VII
Liste des tableaux.....	VII
Liste des annexes.....	VIII
<i>Introduction générale</i> .....	1
<b>Chapitre I : Notions générale sur l'eau et la précipitation</b> .....	4
1.Cycle de l'eau .....	5
1.1. Évaporation .....	6
1.2. Condensation.....	6
1.3. Précipitation .....	6
1.4. Ruissellement.....	6
1.5. Infiltration .....	6
2. Relation entre la précipitation et le climat .....	7
2.1. Climat .....	7
2.2 Précipitations.....	7
3. Les enjeux de l'eau.....	10
3.1. L'eau en Algérie .....	11
3.2. Points critiques de la gestion des eaux .....	11
3.3. Objectifs de la gestion des eaux.....	11
4.Station météorologique .....	12
4.1. Définition des stations météorologiques.....	12
4.2. Structuration et missions de l'ONM- Algérie.....	14
4.3. Rôles en matière de recherche & développement.....	15
4.4. Rôles sur le plan international .....	15
<b>Chapitre II : Télédétection de la précipitation</b> .....	16
1.Généralités sur la télédétection.....	18

1.1. Définition de télédétection .....	18
1.2. Principe de la télédétection .....	18
1.3. Rayonnement électromagnétique .....	19
1.4. La longueur d'onde .....	21
1.5. Type de télédétection .....	21
2. Les satellites .....	22
2.1. Caractéristiques des capteurs satellitaires .....	22
4. Télédétection des précipitations .....	30
<i>Chapitre III : Matériel et méthodes</i> .....	31
1.Choix de la région d'étude .....	33
1.1. Région d'étude .....	33
1.2. Géologie de la wilaya de Djelfa .....	33
1.3. Station météorologique de Djelfa .....	34
1.4. Description de la précipitation .....	35
1.5. Ressource en eaux .....	37
2. Présentation des données utilisées .....	37
2.1. Données observées .....	37
2.2. Données CHIRPS .....	39
3. Logiciels utilisés .....	41
4. Approche méthodologie .....	41
4.1. Étude statistique et modélisation .....	41
5. Méthodologie générale .....	42
<i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i> .....	44
1.Résultats .....	45
1.1. Comparaisons des données réelles avec les produits CHIRPS .....	45
2. Modélisation .....	46
2.1. Traitements et prétraitements des données .....	46
2.2. Validation des produits CHIRPS : .....	48
3. Choix des variables et du modèle pertinent pour l'exploitation du produit CHIRPS .....	50
4.Problèmes rencontrés lors de ce travail .....	52
5.Recommandations .....	53
<i>Conclusion générale</i> .....	55

<i>Reference bibliographies</i> .....	58
<i>Annexes</i> .....	71
<b>Annexe 1 : Gestion de l'eau en Algérie.</b> .....	70
<b>Annexe 2: Les stations météorologiques en Algérie.</b> .....	73

## Liste des abréviations

- °C Degrés Celsius
- CHIRPS Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data
- CRT Centre Régional de Télécommunications météorologiques
- D.P.A.T Direction de la Plantation et de L'aménagement du Territoire
- ENEMA L'établissement national de l'exploitation météorologique et aéronautique
- EPIC Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial
- GSM Global System for Mobile Communication
- Hz Hertz
- Km Kilomètre
- Km<sup>3</sup> Kilomètre cube
- L Litre
- M.D.N. Ministère de la Défense Nationale
- m<sup>2</sup> mètre carré
- m<sup>3</sup> mètre cube
- METEOSAT Satellite météorologique
- mm millimètre
- mm/h millimètre par heure
- ms-1 Mètre par seconde
- MTSAT Multifunctional Transport Satellites
- nm Nanomètre
- OMM Organisation Météorologique Mondiale
- ONM Office National de la Météorologie
- ONU Organisation des Nations unies
- PNE Programme National Exceptionnel
- R<sup>2</sup> Coefficient de détermination
- RMSE Root Mean Square Error
- SMT Système Mondial de Télécommunications météorologiques
- SPI Standardised precipitation index
- VMM La veille météorologique mondiale
- µm Micromètre
- LANDSAT Land satellite
- Dobs Données observées

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> :Cycle de l'eau global .....	5
<b>Figure 2</b> :station météorologique.....	13
<b>Figure 3</b> :Station météorologique avec enregistrement automatisé .....	14
<b>Figure 4</b> :Distribution des stations météorologiques en Algérie .....	16
<b>Figure 5</b> : Etape de la télédétection .....	19
<b>Figure 6</b> :Onde électromagnétique monochromatique.....	19
<b>Figure 7</b> :Différents domaines de spectre électromagnétique .....	20
<b>Figure 8</b> : Spectre du rayonnement électromagnétique solaire.....	21
<b>Figure 9</b> :Principe de télédétection passive et active .....	22
<b>Figure 10</b> :Orbite géostationnaire.....	23
<b>Figure 11</b> :Orbite quasi-polaire .....	24
<b>Figure 12</b> :Satellite géostationnaire [EUMETSAT] .....	25
<b>Figure 13</b> :Satellites météorologiques.....	27
<b>Figure 14</b> :Couverture des satellites météorologiques géostationnaires opérationnels depuis l'espace .....	27
<b>Figure 15</b> :Situation géographique de la zone d'étude .....	34
<b>Figure 16</b> : Carte de la précipitation annuelle à l'échelle nationale produite sous la plateforme Google Earth Engine (GEE) à partir des données CHIRPS de 1981 à 2021 .....	35
<b>Figure 17</b> :Carte des anomalies des précipitations enregistrées durant la période 1981 – 2021 à l'échelle nationale produite sous la plateforme GEE à partir des données CHIRPS .....	36
<b>Figure 18</b> : Nombre d'articles publiés utilisant les données CHIRPS. ....	39
<b>Figure 19</b> : Précipitations annuelles de la wilaya de Djelfa selon les données CHIRPS (1981/2021) .....	41
<b>Figure 20</b> : Organigramme méthodologique suivi pour la validation des données CHIRPS (Djelfa, période allant de 1981 à 2020). ....	43
<b>Figure 21</b> : Les estimations des données CHIRPS en comparaison avec les données réelles de la station de Djelfa (1981-2020).....	45
<b>Figure 22</b> : nuage de point correspondant aux données de traitement CHIRPS (1981-2020).....	49
<b>Figure 23</b> : Barres représentatives des coefficients de détermination des différentes fonctions utilisées .....	51
<b>Figure 24</b> : Barres représentatives des écarts quadratiques moyens des différentes fonctions utilisées .....	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Tableau récapitulatif des indices spectraux relatifs à l'eau .....	29
<b>Tableau II</b> : Données pluviométriques de la station météorologique de Djelfa de (1975-2020) .....	38
<b>Tableau III</b> : Données CHIRPS de la région de Djelfa de (1981-2021) .....	40
<b>Tableau IV</b> : Précipitations estimées et réelles de la région de Djelfa (1981-2020) .....	47
<b>Tableau V</b> : Données de traitement 70% .....	48
<b>Tableau VI</b> : Données de validation 30% .....	49
<b>Tableau VII</b> : Différentes fonctions et leurs formules.....	50
<b>Tableau VIII</b> : Résultats de l'application des fonctions .....	50
<b>Tableau IX</b> : Résultats de la modélisation .....	51



## Liste des annexes

<b>Annexe 1 : Gestion de l'eau en Algérie.....</b>	<b>70</b>
<b>Annexe 2: Les stations météorologiques en Algérie.....</b>	<b>73</b>

*Introduction*

*générale*

## ***Introduction générale***

Notre planète "bleue" est justement nommée parce que 75% de sa surface est recouverte d'eau. Or, l'eau douce constitue moins de 3 % de cette ressource abondante, dont 70 % sont piégés dans les glaciers (données 2011). En conséquence, moins de 1 % de nos ressources en eau peuvent répondre à nos besoins sous forme de rivières et d'eaux souterraines (BRGM – 2011).

Ces ressources en eau se renouvellent en permanence grâce au cycle naturel de l'eau. L'évaporation continue de l'océan se traduit par des précipitations sur les continents, alimentant les cours d'eau et les eaux souterraines. Cette ressource en eau stable et renouvelable détermine la disponibilité des réserves d'eau et la protection des écosystèmes biologiques (zones humides, forêts) (BRGM – 2011).

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants et les écosystèmes. Les zones arides et semi arides sont particulièrement touchées par des changements climatiques, des sécheresses récurrentes et prolongées et la question de l'eau qui représente un véritable enjeu au cours de ce siècle (Mohamed & Talia, 2011).

Le changement climatique causera des phénomènes climatiques extrêmes comme des tempêtes, sécheresses, des précipitations abondantes... arrivent de plus en plus fréquemment (Christensen et al., 2007). Les saisons sont devenues très instables ce qui provoque entre autres des conséquences grave sur l'agriculture, la faune et la flore (Williams et al., 2007).

Le niveau des mers monte ce qui constitue une menace pour des millions de personnes vivant à proximité des côtes ...etc. Les besoins d'information sur l'évolution du climat à l'échelle régionale et locale constituent un grand sujet de débat. Cette information est très importante pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur les systèmes humains et naturels et pour mettre au point de bonnes stratégies nationales d'adaptation et d'atténuation (IPCC ,2013).

L'évolution du climat passé et future peut être évaluée en utilisant un modèle climatique. Un tel modèle permet d'effectuer des simulations du climat de plusieurs années et représente le système climatique terrestre réel de manière numérique. Le système climatique est en réalité très complexe, au sein duquel divers milieux sont en interaction : l'atmosphère, l'océan, la végétation, les rivières... échangent notamment de l'eau et de l'énergie en permanence (Christensen et al, 2007).

Ces composantes du système climatique peuvent être représentées par des modèles numériques, que développent des scientifiques et ingénieurs spécialisés. Ces modèles s'appuient sur les lois de la physique et de mathématique et sont régulièrement testés de manière à ce que chacun d'entre eux simule correctement le milieu qu'il représente (Jones et al., 2011).

Une mesure fiable et précise de la quantité de précipitations est cruciale pour les hydrologues et les décideurs afin de modéliser les processus hydrologiques, de surveiller les catastrophes hydriques et d'évaluer les ressources en eau douce (Yong et al., 2010 ; Liu, 2015).

À ce jour, les scientifiques peuvent mesurer les précipitations directement, grâce à des instruments basés sur des jauges tels que les pluviomètres, ou indirectement, en utilisant des techniques de télédétection (radars météorologiques et capteurs satellitaires) (Li et al., 2013 ; Tang et al., 2015).

Les pluviomètres peuvent fournir des mesures précises des précipitations à l'échelle ponctuelle, mais la surface de l'orifice de tous les pluviomètres opérationnels dans le monde est très petite et l'incertitude des

## ***Introduction générale***

mesures basées sur les jauges augmente avec la distance par rapport à l'emplacement de la jauge (Huff, 1970 ; Kidd et al., 2017).

En ce qui concerne le radar météorologique, il peut fournir des estimations de précipitations à haute résolution et presque continues, mais il n'est pas disponible dans de nombreuses régions, en particulier dans les zones montagneuses encore confrontées à des défis importants (Dinku et al., 2002 ; Sharif et al., 2002).

Les satellites d'observation de la Terre peuvent fournir des estimations rapides, fréquentes et fiables des précipitations à l'échelle mondiale, alors qu'une telle couverture mondiale est impossible pour les réseaux de pluviomètres traditionnels ou les radars météorologiques terrestres (Tian et al., 2009 ; Xie et al., 2011 ; Kidd et al., 2012).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la pertinence du produit CHIRPS et de son évolution au fil du des années au niveau de la station météorologique de la région de Djelfa en Algérie.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire intitulé : exploitation et validation des données climatiques CHIRPS dans la région de Djelfa, il se divise en quatre chapitres :

Chapitre I : Consacré à l'étude des processus hydrologiques, nous a donné l'occasion de détailler les divers phénomènes intervenants dans le cycle de l'eau ;

Chapitre II : Consacré à la télédétection et ses divers aspects ;

Chapitre III : L'approche méthodologique adoptée pour la réalisation de l'étude ;

Chapitre IV : Résume les principaux résultats obtenus ainsi que leurs interprétations.

Enfin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

# Chapitre I :

Notions générale sur l'eau et la précipitation .

## 1. Cycle de l'eau

L'eau circule en permanence dans l'enveloppe de la surface de la Terre dans plusieurs grands compartiments à savoir : Océan, Cryosphère (neige et glace), Lithosphère (sol et sous-sol), Atmosphère et Biosphère (Ducharne et Laval, 2015).

Le cycle de l'eau global (Voir figure 1) est constitué par deux branches horizontales, l'une atmosphérique et l'autre continentale, associées à des transports opposés, et couplées par deux branches verticales, où les échanges d'eau impliquent un changement de phase, qui précède leur transfert vertical (Ducharne et Laval, 2015).

En moyenne globale, chaque mètre carré ( $m^2$ ) de la surface de la Terre évapore 1 000 L, soit une hauteur de 1 m, d'eau par an, et reçoit une précipitation équivalente. Ces valeurs masquent cependant de forts contrastes, dans le temps (variabilité saisonnière et interannuelle) et dans l'espace. En particulier, l'évaporation annuelle moyenne par  $m^2$  est deux fois plus forte depuis les océans que depuis les continents, où l'eau est moins facilement disponible. Dans le domaine océanique, l'évaporation excède les précipitations, à l'inverse du domaine continental. Ce déséquilibre entraîne un transport de vapeur d'eau dans l'atmosphère depuis les océans vers les continents, contrebalancé par le transport d'un volume équivalent d'eau liquide depuis les continents vers les océans.

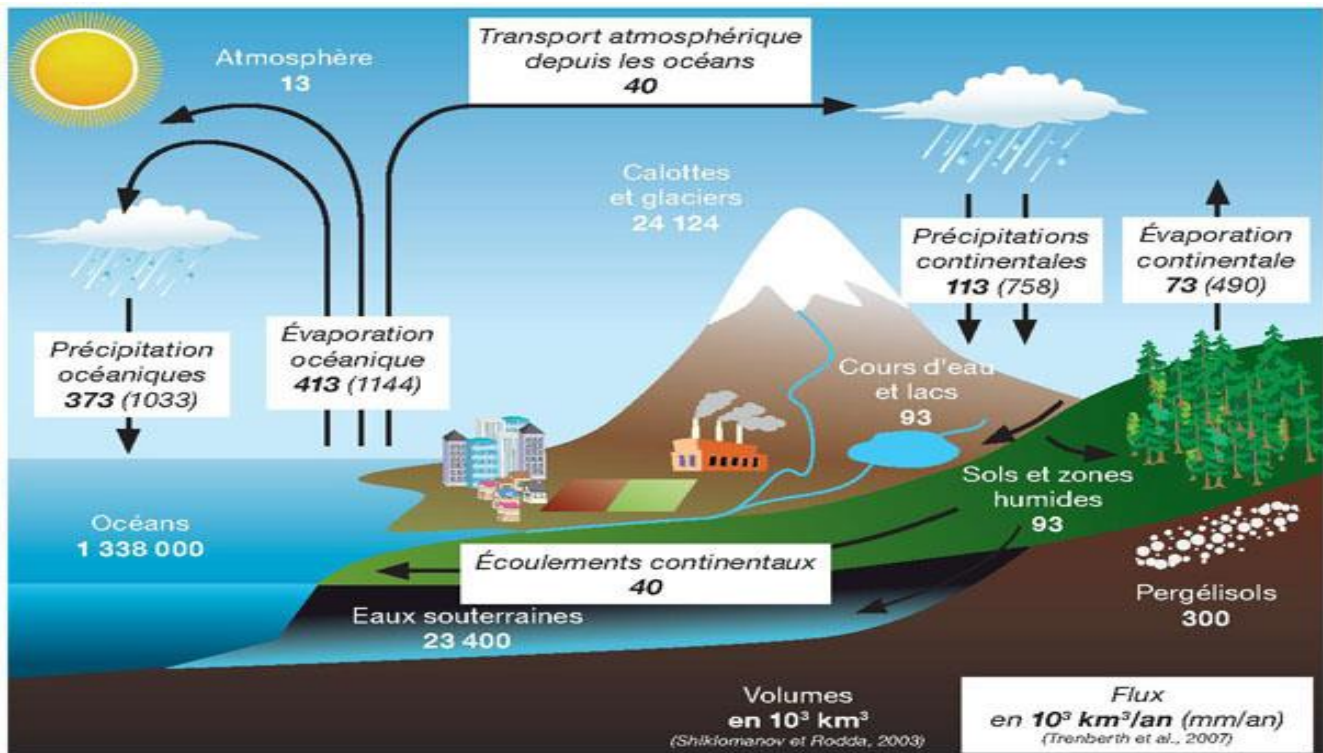


Figure 1 : Cycle de l'eau global © E. Godet

## **Chapitre I**

Le cycle de l'eau est l'élément naturel le plus important car il est vital pour toutes formes de vie sur Terre. En effet, l'eau ne reste pas dans un certain état, son mouvement, accompagné de ses changements d'états, constitue le cycle de l'eau, aussi appelé cycle hydrologique.

Ce cycle est le résultat d'échanges entre différents réservoirs : océans, fleuves, lacs, glace, atmosphère, etc. L'eau fait partie du cycle naturel qui est en mouvement constant entre la Terre et l'atmosphère. Il continue de s'évaporer au-dessus des océans, des lacs et des forêts. Ensuite, il se condense en nuages et est soufflé dans le ciel par le vent. Les nuages sont précipités sous forme de pluie, de neige ou de grêle par des phénomènes météorologiques complexes, impliquant principalement des différences de vent et de température (Bouziani, 2000).

Dans l'atmosphère, l'eau existe principalement sous forme de vapeur. Puis, sous l'action du refroidissement, l'eau passe d'un état vapeur à un état liquide. Une fois l'eau arrivée au sol, sa circulation s'effectuera de façon essentiellement liquide. Seule une infime fraction de cette eau se déplace et la grande majorité est stockée dans les nappes souterraines. Une partie de l'eau est utilisée par les plantes et le reste est déversé dans les rivières ou les nappes phréatiques. Les racines du couvert végétale vont capter l'eau, qui s'évapore ensuite par la transpiration.

Le moteur de ce cycle est le soleil, ou plus précisément l'énergie solaire qu'il émet. En fait, c'est cette dernière qui fait changer l'état de l'eau : la formation et la fonte des glaces, ou encore l'évaporation de l'eau et sa remontée dans l'atmosphère (Maurel, 2006).

Ce cycle, entre ciel et terre, suit son déroulement selon cinq étapes d'évaporation, de condensation, de précipitation, d'infiltration et de ruissellement (Selhi et Smail, 2004).

### **1.1. Évaporation**

L'énergie solaire provoque l'évaporation de l'eau et la transpiration des organismes, ce qui transforme l'eau liquide en un état gazeux. Le vent transporte l'eau sous forme de vapeur ou de nuages (les nuages se forment par condensation ou solidification de la vapeur d'eau).

### **1.2. Condensation**

La vapeur d'eau qui retourne dans l'atmosphère se condense pour former des nuages.

### **1.3. Précipitation**

Une fois que les gouttelettes formant les nuages ont pris suffisamment de poids, elles retombent sur la terre sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

### **1.4. Ruissellement**

L'eau qui ne peut pas s'infiltrer, circule à la surface du sol et se concentre en eau qui rejoint, uniquement par voie de surface (l'écoulement des eaux à la surface de la terre notamment la surface des sols) les fleuves et les rivières.

### **1.5. Infiltration**

Une partie de l'eau de pluie est piégée dans le sol et utilisée pour la végétation. L'autre partie s'infiltré plus profondément jusqu'à un niveau imperméable

### 2. Relation entre la précipitation et le climat

#### 2.1. Climat

Le mot climat est apparu en français au 12<sup>ème</sup> siècle et est un mot latin dérivé du grec pour indiquer l'inclinaison de la terre par rapport au soleil (Helga-Jane Scarwell et al ,2010). Les premiers découpages climatiques ont été établis selon l'inclinaison des rayons du soleil par rapport à l'horizon.

Le climat est défini comme l'état moyen sur une période d'au moins 30 ans de l'atmosphère en un lieu donné, en termes de températures et de précipitations ou encore d'humidité. La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établis à partir de mesures annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent, sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels (Pagney, 1993). Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie et l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau (Daif, 2017).

Selon le phénomène qui domine, le climat est qualifié de : chaud, froid ou tempéré, sec ou humide, calme ou venteux. Toutefois la chaleur qui exerce la plus grande influence, viennent ensuite les quantités d'eau tombée dans les diverses saisons de l'année, l'humidité ou la sécheresse de l'air, les vents dominants, le nombre et la répartition des orages au cours de l'année, la nébulosité de l'air, la nature du sol et celle de la végétation qui le recouvre (Donald et Wilhite, 2005).

Il correspond à la distribution statique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période de temps donnée. La météorologie désigne la prévision du climat à venir à court terme et dans des zones précises.

Selon Rouag-Saffedine (2007 /2008), les facteurs principaux qui interviennent directement dans l'étude d'un climat sont essentiellement :

- La température de l'air mesuré en °C à l'ombre à une hauteur de 1,2 et 1,8 m.
- L'humidité (% de saturation de l'air en eau)
- Les radiations solaires (Watts / m<sup>2</sup>)
- Le mouvement de l'air soit le vent (mesuré en m/s)
- Les précipitations (mesuré en mm)
- La nébulosité (nuages) (mesuré en octets)

#### 2.2 Précipitations

Représentent les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (brume, pluie, averse) et/ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,). En revanche, la pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux précipitant, qui dépend de la microphysique des nuages et des mouvements atmosphériques à grande échelle (Berne, 2002).



## Chapitre I

D'après Bennis (2007), les précipitations sur les terres proviennent de l'évaporation à partir des océans (40 %) et à partir de l'évaporation au niveau des plans de l'atmosphère et du sol (60 %).

### 2.2.1. Mesure des précipitations

La pluviométrie (ou mesure des volumes de précipitations), varie dans le temps et dans l'espace. Le suivi et la mesure des précipitations sont essentiels pour gérer les ressources en eau, estimer les besoins d'irrigation en agriculture, mieux comprendre le débit des cours d'eau, évaluer la recharge des nappes souterraines, etc.

La mesure des précipitations est l'une des plus complexes en météorologie car on observe une forte variation spatiale selon le déplacement de la perturbation, le lieu de l'averse, la topographie et les obstacles géographiques locaux gênant sa captation. On exprime généralement les précipitations en hauteur ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). Si on rapporte cette hauteur d'eau à l'unité de temps, il s'agit d'une intensité (mm/h). La précision de la mesure est au mieux de l'ordre de 0,1mm (Musy, 2005).

L'enregistrement des pluies en général, et des averses en particulier, se fait au moyen de divers appareils de mesure. Les plus classiques sont les pluviomètres et les pluviographes, à enregistrement mécanographique ou digital (Roche, 1963). Au contraire de ces approches ponctuelles, il existe aussi des méthodes de mesures globales fondées sur les méthodes radar et la télédétection.

Citons toutefois les deux appareils de mesures fondamentaux qui sont:

**Le pluviomètre** : instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés.

**Le pluviographe** : instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités.

### 2.2.2 Contraintes de mesure des précipitations

Malgré le développement de ce domaine les chercheurs y trouvent plusieurs difficultés dû à de différents facteurs. Tous les chercheurs y compris les modélisateurs sont convaincus que quel que soit le degré de sophistication d'un modèle de simulation, ses résultats restent tributaires de la qualité des données.

Les principaux problèmes rencontrés pour la mesure des précipitations concernant (Molinie, 2004) :

- Perturbation des mesures par la circulation atmosphérique :  
Les obstacles (végétation, construction, le pluviomètre lui-même, ...) à la circulation de l'aire perturbent les trajectoires des précipitations lorsque le vent est violent. Par exemple, lors d'averses violentes, les mesures de pluies sont affectées par l'inclinaison globale des filets de pluie (angle d'incidence) et par les turbulences de l'atmosphère au voisinage de l'impluvium. Parfois, seule une faible proportion de l'eau tombant au sol est captée par le pluviomètre. En effet, il a été montré que l'angle d'incidence de la pluie est une fonction croissante de la vitesse et du caractère ascendant du vent. Par ailleurs, cet angle est d'autant plus important que le diamètre des gouttes de pluie est faible.

## *Chapitre I*

- S'il on plaçait le pluviomètre au niveau du sol (enterré), le rebond des gouttes ou fragment de gouttes d'eau sur la modénature pouvant changer au cours de l'averse perturberait aussi la mesure. De plus sur une longue période de la croissance de la végétation pourrait porter atteinte à l'uniformité des conditions de mesures. La fragilité du système de mesure serait aussi accrue vu l'accessibilité des appareils pour les animaux par exemple.
- Pour les systèmes a mesuré totale des précipitations, il faut prendre garde à ce que le cumul de précipitation ne soit pas évapore entre les mesures.
- Nécessite d'enregistrer les données.
- Choix de la localisation pour assurer la fiabilité, la reproductibilité, et une certaine homogénéité des mesures d'un point à l'autre.

Etant convaincu qu'une mauvaise mesure vaut mieux qu'un bon calcul, (Roche,1963).

C'est pour cela que les dernières recherches reposent sur la mesure des précipitations est donc La naissance de la cartographie.

### **2.2.3. Variabilité spatio-temporelle des précipitations**

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, Elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle Spatiale prise en compte. D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans Le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

### **2.2.4. Variabilité temporelle des précipitations**

Les précipitations n'ont cessé de fluctuer à toutes les échelles de temps. L'étude de variabilité des précipitations est importante pour toute étude hydrologique. Egaleme nt, elle est d'un apport considérable dans l'étude des changements climatiques.

Le climat et plus exactement les précipitations ont connus des variations importantes ; un réchauffement et une baisse des précipitations sont observés depuis la moitié des années 1970 à l'échelle globale.

La circulation atmosphérique générale joue un rôle déterminant dans la variation du climat. Qui se trouve plus influence par l'oscillation nord atlantique (Taibi.2011).

Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, peut être déterminé par un certain nombre de tests statistiques.

### 2.2.5 Indices pluviométriques

Comme les indices pluviométriques, permettent d'étudier la variabilité climatique. L'un des indices les plus utilisés pour la caractérisation du régime pluviométrique notamment dans le suivi de la sécheresse est :

#### Indice pluviométrique standardiser

L'indice pluviométrique est un outil très intéressant pour caractériser les années sèches et les années humides. Il met en évidence la répartition temporelle de ces années. L'indice standardisé de précipitation « SPI » (standardised precipitation index) a été développé en 1993 par (McKee et al) en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il reflète l'impact de sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. Cet indice est calculé surtout lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée, notamment pour des périodes inférieures à 12 mois.

Selon Taibi (2011), pour l'Algérie, le SPI fait ressortir deux périodes bien distinctes : une période excédentaire (1936,1975), suivie d'une période déficitaire (1976,2001). Il ressort que la décennie 1966-1976 apparaît la plus excédentaire par rapport à la décennie 1986-1996.

## 3. Les enjeux de l'eau

L'eau est une ressource naturelle de plus en plus rare qui fait partie du patrimoine national et humain. La protection, l'amélioration et le développement des ressources disponibles dans le cadre de l'équilibre naturel sont d'une importance universelle pour la nation et le monde. C'est devenu un défi majeur, et seuls les pays qui parviennent à protéger leur capital eau peuvent survivre (Kettab, 2019).

En revanche, Plusieurs organisations internationales telles que l'ONU, le Conseil Mondial de l'eau, mènent une réflexion profonde sur les politiques de gestion durable de ressources en eau et sur les règles de sa gouvernance dans le sens d'une pérennité de cette ressource vitale (Kettab, 2017). Il est désormais largement admis que la mise en place d'un développement durable exige de mettre en équation aussi bien les préoccupations sociales et économiques qu'environnementales en tenant compte du facteur essentiel et limite à savoir l'eau. L'eau est un produit indispensable et est irremplaçable.

Toujours selon Kettab (2017), En Algérie la stratégie de développement du secteur de l'eau à travers la loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau et du PNE adoptés par le gouvernement a érigé le secteur de l'eau comme une des priorités nationales à travers un investissement colossal en infrastructure hydraulique.

### 3.1. L'eau en Algérie

L'Algérie ait traversé par plusieurs étapes dans secteur de l'eau depuis l'indépendance Jusqu'à maintenant, ils caractérisent par organisation des instruments et les acteurs ou création de nouveaux organismes et institutions concernant de la gestion des eaux pour améliorer et développer ce secteur. L'annexe 01, résume les grandes étapes historiques de la gestion de l'eau en Algérie. Dans les trois sections suivant nous présentant : le potentiel de l'Algérie en eau, Points critiques de la gestion des eaux et enfin les objectifs de la gestion des eaux.

#### 3.1.1. Potentiel de l'Algérie en eau

Notamment, en Algérie, les ressources en eau se répartissent comme suit:

- 100 milliards de m<sup>3</sup> de précipitations totales dans le nord de l'Algérie, dont 85 % s'évaporent et 15 % constituent le ruissellement de surface ;
- 12,4 milliards de m<sup>3</sup> de ruissellement de surface ;
- 1,8 milliard de m<sup>3</sup> d'eau souterraine disponible dans le nord, dont près de 90 % ont été aménagés ;
- Compte tenu des emplacements techniquement favorables (hydrologie, topographie, géologie, etc.), 6 milliards de m<sup>3</sup> peuvent être utilisés ;
- 4,8 milliards de m<sup>3</sup> actuellement disponibles ;
- 2 milliards de m<sup>3</sup> mobilisés pour 100 barrages ;

#### 3.2. Points critiques de la gestion des eaux

- ✓ Les consommations élevées d'eau potable qui peuvent causer des situations de pénurie
- ✓ Le transport des déchets par l'eau;
- ✓ Le coût très important des infrastructures de distribution, d'assainissement et d'épuration
- ✓ La consommation en énergie trop importante pour certains processus de purification de l'eau;
- ✓ La pollution des eaux naturelles et de l'environnement en général par la présence de micropolluants, par les déversements lors d'orages, par les dysfonctionnements des déversoirs et par l'évacuation et l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement;
- ✓ La dégradation qualitative implique des traitements de plus en plus sophistiqués et donc plus coûteux, pour la production d'eau potable;
- ✓ L'absence de responsabilisation et de prise de conscience des multiples acteurs.

#### 3.3. Objectifs de la gestion des eaux

- ✓ Garantir la santé et la sécurité des communautés humaines;
- ✓ Garantir la protection de l'environnement;
- ✓ Permettre le développement économique;

## Chapitre I

- ✓ Assurer la conformité de la gestion des eaux aux préceptes du développement durable (Charlotte. P; 2003).

### 4.Station météorologique

Aujourd'hui la météorologie joue un rôle très important pour de nombreuses activités humaines qui nécessite une parfaite connaissance sur les variations des phénomènes climatiques de l'environnement de la planète, mais elle était toujours difficile de prévoir les perturbations climatiques Sans instruments de mesure. Les stations météorologiques sont très intéressantes. Elles sont utilisées dans plusieurs domaines, tel que la sécurité routière, la navigation aérienne pour surveiller les conditions optimales des circulations et assurer la sécurité des passagers et le trafic continu des avions.

Les données sont également utilisées dans des programmes de prévision de climat ainsi que l'estimation des gisements des énergies renouvelables.

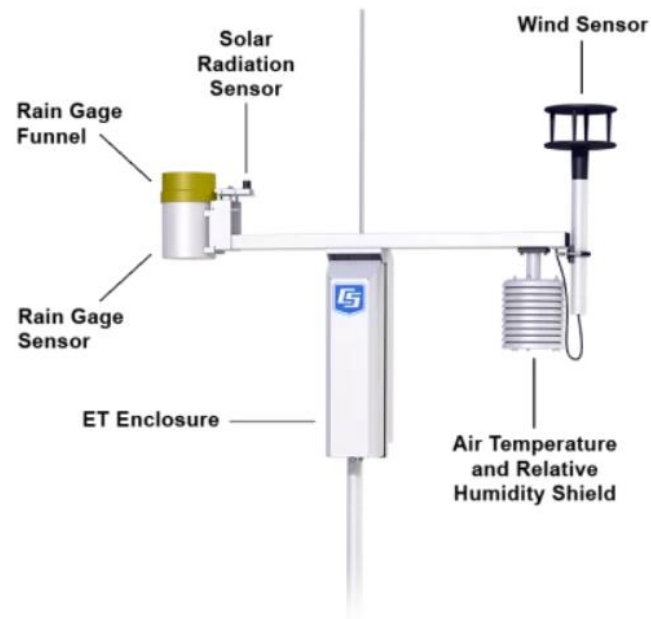
Dans cette partie, nous allons donner des notions sur la météo et partie historique sur les stations météorologiques est représentée dans l'annexe 2.

#### 4.1. Définition des stations météorologiques

Une station météorologique c'est un ensemble des appareils de mesure, constitué de différents capteurs qui enregistrent et fournissent des informations concernant les mesures physiques liées aux variations du climat. Ces grandeurs physiques peuvent être la température, la vitesse du vent, la pluviométrie, etc.

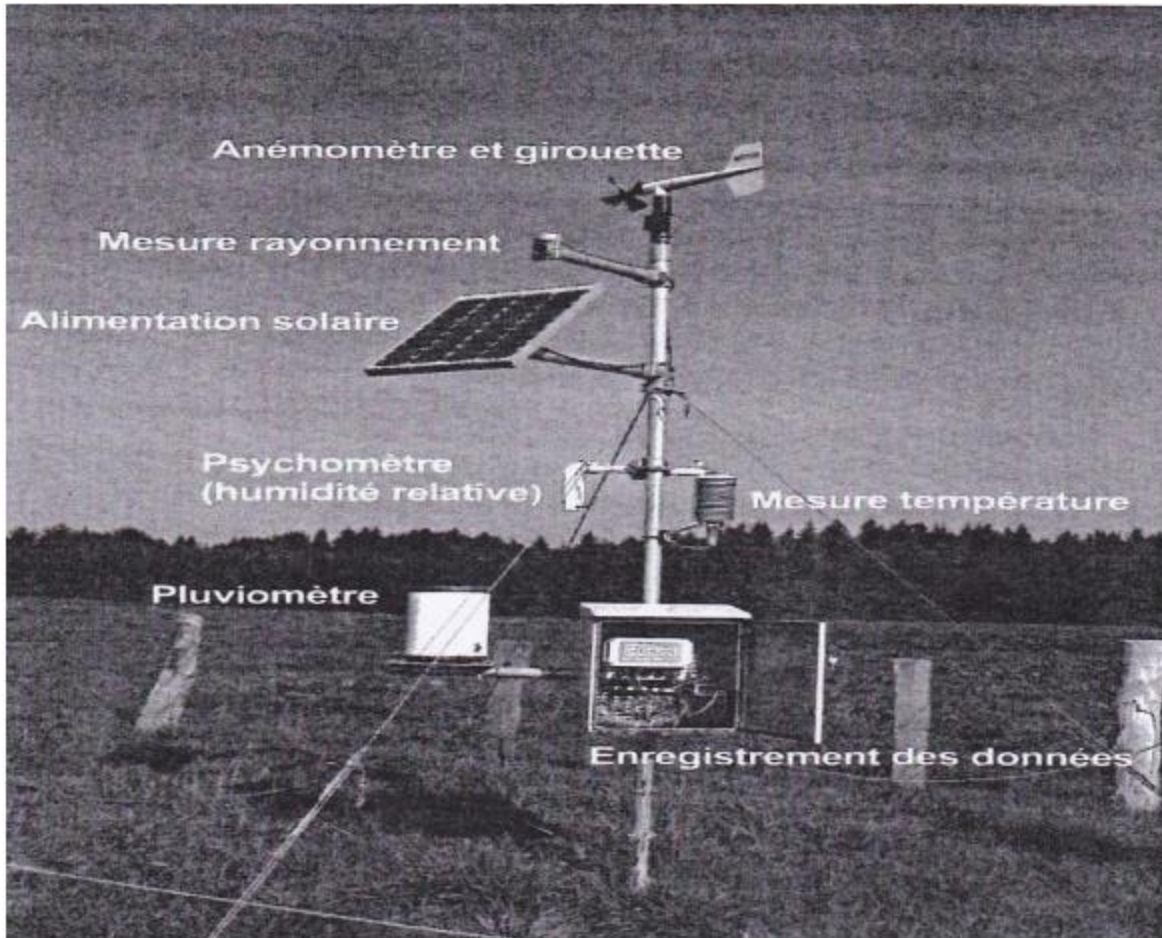
Les stations de mesure météorologique se composent généralement d'une maquette sur lequel des capteurs sont installés (voir figure 2). Ces derniers sont reliés au boîtier qui fait l'enregistrement sur une base de données et l'envoi des mesures, généralement via le réseau mobile. La photo ci-dessous montre un exemple de station de mesure (Luyet, 2010).

Les stations météorologiques sont liées par un câble ou sans fil. Les câblés sont utilisés pour fixer la console d'affichage à l'intérieur d'un boîtier des capteurs intégrés. Ceux-ci sont généralement moins chers que leurs homologues sans fil. Cependant, les utilisateurs sont obligés à percer un trou dans le mur pour passer le câble. Les stations météorologiques sans fil, le plus cher, elles utilisent des signaux radio ou GSM au lieu d'un câble pour permettre aux capteurs à communiquer avec la console intérieure. La distance de transmission du signal à la console dépend du type de porteur du signal et le milieu de transports (Foudil, 2020).



**Figure 2:**station météorologique

Source : <https://www.campbellsci.fr/blog/et-station-components-to-maintain> (consulté le: 05/10/2022)



**Figure 3:** Station météorologique avec enregistrement automatisé

(Oulhaci, 2015)

## 4.2. Structuration et missions de l'ONM- Algérie

Dans cette partie la structuration et les missions de l'ONM – Algérie, les rôles en matière de recherche et développement sont prises du site officiel de météo-Algérie ([www.meteo.dz](http://www.meteo.dz))

L'ONM est issu de l'établissement national de l'exploitation météorologique et aéronautique (ENEMA). Elle a été créée par ordonnance N°75-25 du 29 avril 1975. L'ONM est devenu Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) à vocation scientifique et technique par décret N° 98-258 à partir du 25 Août 1998 soumis sous la tutelle du Ministère des Transports.

Météo Algérie est le service météorologique et climatologique national (Office National de la Météorologie), est l'unique intervenant pour la mise en œuvre de la politique nationale et internationale en matière de météorologie. Il est implanté à travers tout le pays. Son organisation

## **Chapitre I**

comporte des directions centrales et régionales. Il exploite un réseau d'observations composé de 80 stations d'observation en surface (voir carte de distribution figure 04) qui constituent le réseau national d'observation météorologique professionnel, dont 05 stations de sondage en altitude et deux (02) du M.D.N.

Météo Algérie a pu renforcer son réseau d'observation par la dotation des aéroports d'Algérie par des stations d'aérodromes et des stations automatiques, ce qui a permis parfois même de tripler les équipements de secours notamment pour la mesure des paramètres pertinents à savoir le vent et la pression. C'est dans cet élan que s'inscrit le projet d'équipement des stations météorologiques d'aérodromes les plus importants du pays par des stations d'aide à la navigation aérienne de dernière génération. Dans le cadre de renforcement de son réseau d'observation, l'Office a lancé une opération d'installation de ses stations climatologiques interrogeables par GSM acquises en 2017.

### **4.3. Rôles en matière de recherche & développement**

L'ONM a également une vocation scientifique et technique. Il mène dans ce cadre, en collaboration avec des partenaires nationaux et internationaux, des activités de recherche développement.

Ses activités en la matière se rapportent :

- ✓ Au développement des techniques de prévision numérique du temps à différentes échelles spatio-temporelles ;
- ✓ A la météorologie des zones arides et semi- arides ;
- ✓ A la physique des nuages et à la modification artificielle du temps ;
- ✓ A la veille sur l'atmosphère globale, sur les études du climat et sur le changement climatique ;

### **4.4. Rôles sur le plan international**

L'ONM assure la représentation de l'Algérie auprès de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

Il contribue ainsi à la veille météorologique mondiale (VMM) aux niveaux interne et externe au pays en :

- ✓ Exploitant un réseau répondant aux normes internationales et en assurant la gestion des données et des informations météorologiques produites par le réseau national conformément au Système Mondial de Télécommunications météorologiques (SMT).
- ✓ Assurant la responsabilité et les missions d'un Centre Régional de Télécommunications météorologiques (CRT) du Système Mondial de Télécommunications météorologiques (SMT). À ce titre, il concentre et échange les données météorologiques de l'Algérie, du



## Chapitre I

- Maroc, de la Tunisie et de la Libye avec les autres centres régionaux mondiaux, notamment ceux de Toulouse, de Djeddah, du Caire et de Dakar.
- ✓ En contribuant au développement de la météorologie régionale et mondiale en tant que partenaire de certains pays d’Afrique et de l’OMM,
  - ✓ En assurant une contribution significative sur le plan technique et scientifique au sein de plusieurs groupes de travail de l’OMM.



**Figure 4:** Distribution des stations météorologiques en Algérie

**NB :** A part l'étroite bande littorale, la plus grande partie du pays présente de grandes zones lacunaires en stations météorologiques.

# *Chapitre II :*

**Téledétection de la précipitation.**

## Chapitre II

Impliquant de nombreux domaines d'expertise différents, la science de la télédétection spatiale implique l'analyse d'événements atmosphériques et terrestres. Les principales ressources du projet sont des images et des mesures prises à l'aide de plates-formes. L'air et l'espace proviennent du même domaine d'étude (González F.E et al ,2013).

Depuis les années quatre-vingt-dix les capteurs Radar ont été largement utilisés, puisque leurs microondes peuvent pénétrer les nuages et prendre des images jour et nuit. De plus, ils offrent une information supplémentaire et précise sur l'étendue des zones inondées et sur la géométrie des rivières (Di Baldassarre, 2012 *in* Sleimi, 2018).

### 1.Généralités sur la télédétection

#### 1.1. Définition de télédétection

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe « l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Comitas, 1988).

La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information (Soudani, 2007).

#### 1.2. Principe de la télédétection

Le rayonnement émis par une source d'énergie ou d'illumination (A) parcourt une certaine distance et interagit avec l'atmosphère (B) avant d'atteindre la cible (C). L'énergie interagit avec la surface de la cible, en fonction des caractéristiques de rayonnement et des propriétés de la surface. Le rayonnement est réfléchi ou diffusé vers le capteur (D), qui l'enregistre et peut ensuite transmettre l'énergie par des moyens électroniques à une station de réception (E) où l'information est transformée en images (numérique ou photographique). Une interprétation visuelle et /ou numérique de l'image (F) et ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. La dernière étape de processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier (G) (voir Figure 05) (CCT).

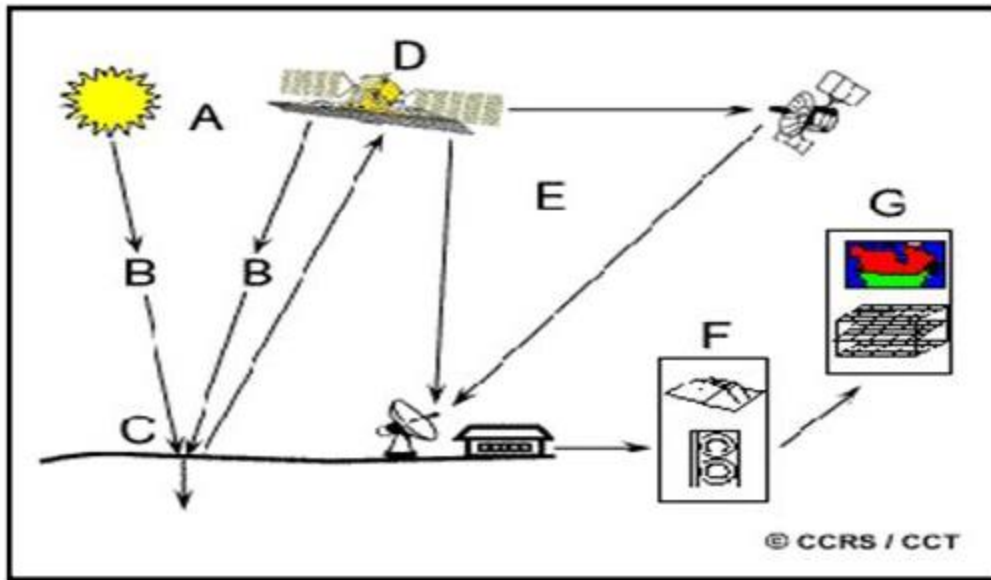


Figure 5: Etape de la télédétection

(CCT)

### 1.3. Rayonnement électromagnétique

Le véhicule de l'information est le rayonnement électromagnétique.

Selon la théorie corpusculaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (dans le vide  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ) (voir figure 06). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence (Soudani,2007).

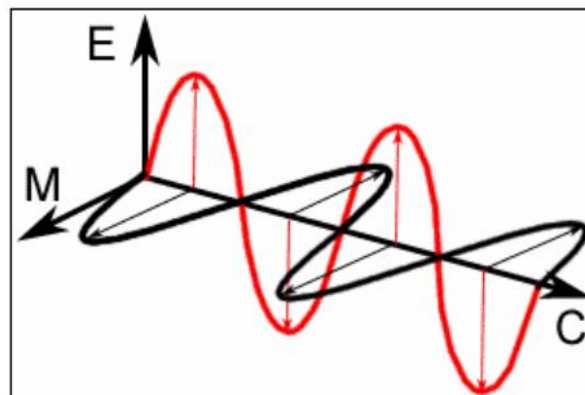


Figure 6:Onde électromagnétique monochromatique

(Source : Centre Canadien de Télédétection)

## Chapitre II

Le rayonnement électromagnétique d'origine naturelle ou artificielle, existe pour une gamme très étendue de fréquences ou de longueurs d'onde (de 9 à 105m), qui constitue le spectre électromagnétique (voir figure 07).

Une partie très limitée de ce spectre, entre 0,390  $\mu\text{m}$  (390 nm) et 0,7  $\mu\text{m}$  (700 nm) de longueur d'onde, constitue la lumière visible à laquelle est sensible l'œil humain. Une décomposition en fonctions des longueurs d'onde de la lumière visible (lumière blanche) aboutit à distinguer les lumières colorées avec la longueur d'onde correspondante:

- Violet (390 à 450 nm),
- Bleu (450 à 490 nm),
- Vert (490 à 580 nm),
- Jaune (580 à 600 nm),
- Orange (600 à 620 nm),
- Rouge (620 à 700 nm).

Les longueurs d'onde inférieures à 390 nm (ou les fréquences supérieures à celle du violet) ne sont pas perçues par l'œil humain ; il s'agit du rayonnement ultra-violet. De même, les longueurs d'onde supérieures à 700 nm, également non-perçues par l'œil humain, constituent le domaine infrarouge (SALIM.A,2018).

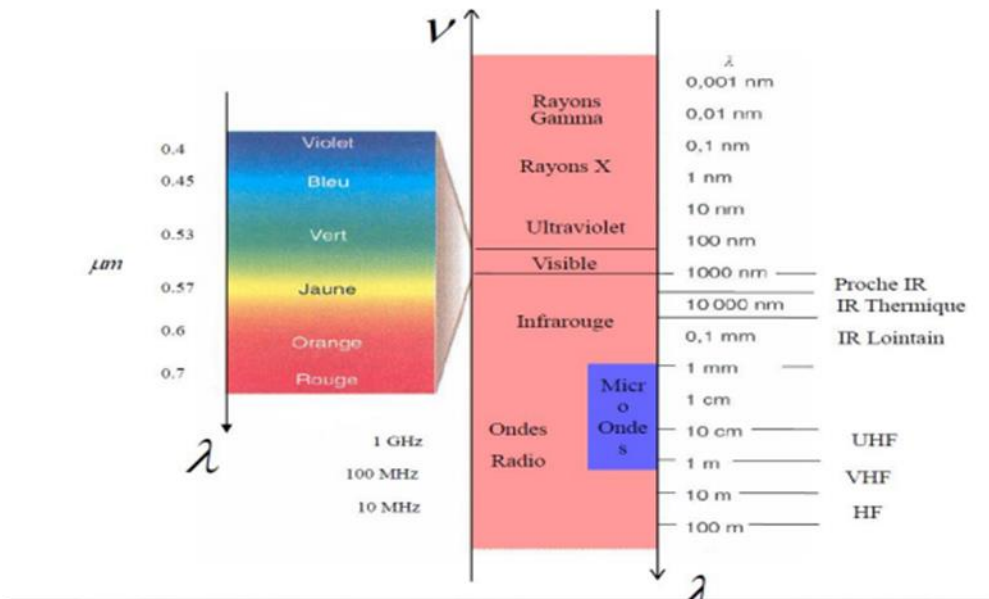


Figure 7: Différents domaines de spectre électromagnétique

### 1.4. La longueur d'onde

Est la distance entre deux points homologues (deux crêtes ou deux creux) qu'on note  $\lambda$  (m). La fréquence est le nombre d'oscillations par unité de temps qu'on note  $\nu$  (nombre oscillations/s ou Hertz Hz) (Soudani, 2007).

La relation reliant ces deux propriétés est :

$$c \text{ (m s-1)} = \lambda \text{ (m)} \nu \text{ (Hz)}$$

Les différentes longueurs d'ondes sont données dans la figure suivante :

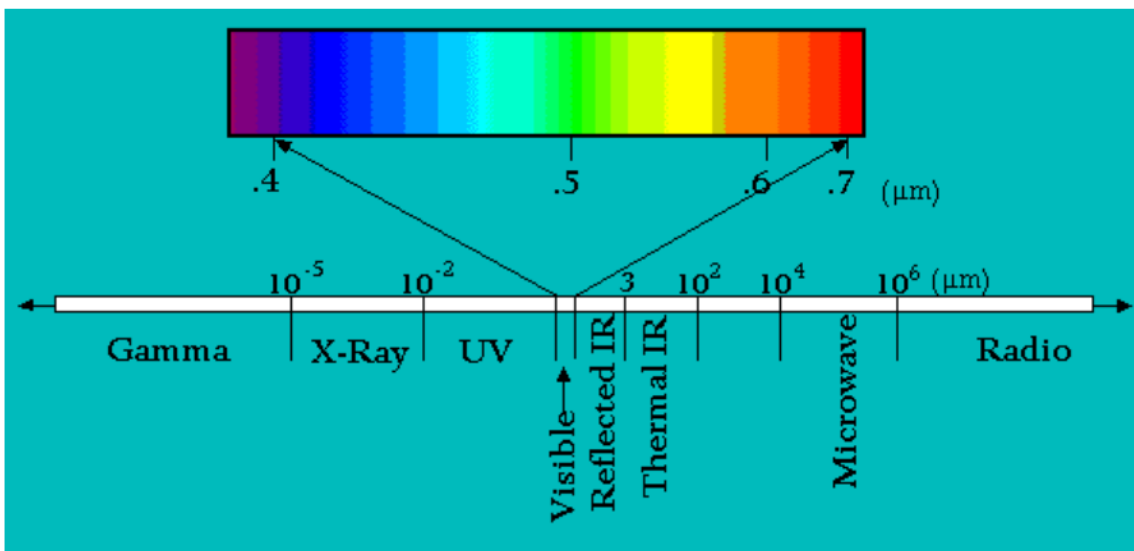


Figure 8: Spectre du rayonnement électromagnétique solaire

### 1.5. Type de télédétection

Existe deux grands domaines dans la télédétection : la télédétection passive capte des rayonnements émis naturellement par le milieu ausculté (Capteur passifs), et la télédétection active (capteur actifs) émet le rayonnement à la source de la mesure (Centre National de Recherches Météorologiques).

### 1.5.1. Capteurs passifs

Le soleil est la source d'énergie ou de rayonnement utilisé en télédétection. Cette énergie est soit réfléchi (la portion visible) ou absorbée et transmise (fluorescence, infra -rouge thermique) par la cible. Les capteurs passifs sont des dispositifs de télédétection qui mesure l'énergie disponible naturellement.

### 1.5.2. Capteurs actifs

Produisent leur propre énergie pour illuminer la cible, et mesurer le signal rétrodiffusé dans sa direction. Ce sont des radiomètres opérant dans le domaine des hyperfréquences, ils ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.

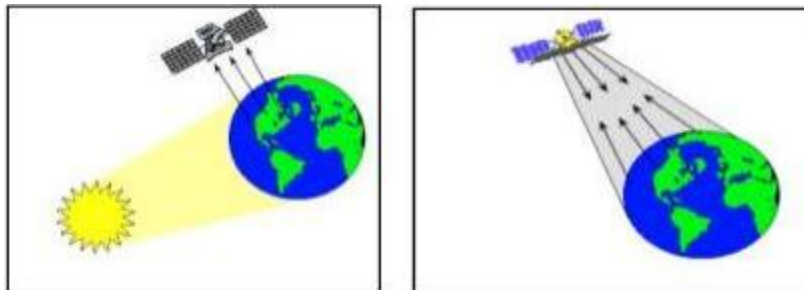


Figure 9: Principe de télédétection passive et active

## 2. Les satellites

Les mesures issues d'un capteur satellitaire résultent d'un processus de discrétisation de l'espace observé, elles peuvent être représentées sous forme d'une grille à deux dimensions (images) ayant des propriétés spécifiques selon l'optique du capteur et la chaîne d'acquisition (Robin, 2007).

### 2.1. Caractéristiques des capteurs satellitaires

Pour une application donnée, le choix d'un capteur est généralement déterminé par les résolutions spatiale et spectrale de ses acquisitions, ainsi par sa fréquence d'acquisition. Ces trois propriétés sont indépendantes et résultent directement des propriétés optiques du capteur ainsi que de la trajectoire et de l'altitude du satellite sur lequel il est embarqué (Robin, 2007).

#### 2.1.1. L'orbite

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée orbite. L'orbite d'un satellite est choisie en fonction de la capacité des capteurs qu'il transporte et des objectifs de sa mission. Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre. Certains satellites ont une altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la Terre. Ils ont une orbite géostationnaire dans le plan équatorial de la Terre. Ces satellites angulaires ont une altitude d'environ 36 000 kilomètres et se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant ainsi l'impression qu'ils sont stationnaires. Cette configuration orbitale permet au satellite d'observer et d'amasser continuellement de l'information sur une région spécifique, par exemple le satellite météorologique METEOSAT (Mc Ximens et al, 2005).

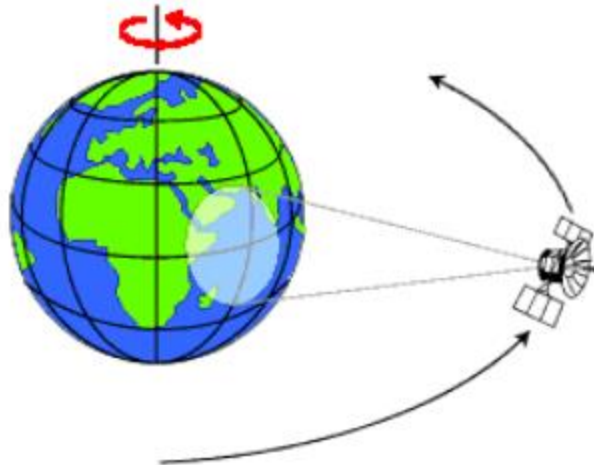


Figure 10:Orbite géostationnaire

La surface terrestre n'est cependant pas intégralement couverte par des satellites géostationnaires. Par conséquent cette configuration orbitale n'est pas adaptée aux études liées à l'observation de la terre dans sa globalité. D'autres plates-formes spatiales suivent une orbite légèrement inclinée par rapport à l'axe des pôles. Cette configuration, combinée à la rotation de la Terre (Ouest-Est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé la presque totalité de la surface de la Terre. Ce type d'orbite est appelé orbite quasi polaire à cause de l'inclinaison de l'orbite par rapport à une ligne passant par les pôles Nord et Sud de la Terre. Par exemple le satellite SPOT. La plupart des satellites sur orbite quasi-polaires ont aussi une orbite héliosynchrone ; c'est-à-dire qu'ils observent toujours chaque région du globe à la même heure locale solaire. Pour une latitude donnée, la position du Soleil dans le ciel au moment où le satellite survole une certaine région au cours d'une saison donnée sera donc toujours la même. Cette caractéristique orbitale assure des conditions d'illumination solaire similaires, lorsqu'on recueille des données pour une saison particulière sur plusieurs années ou pour une région particulière sur plusieurs jours (Robin,2007).



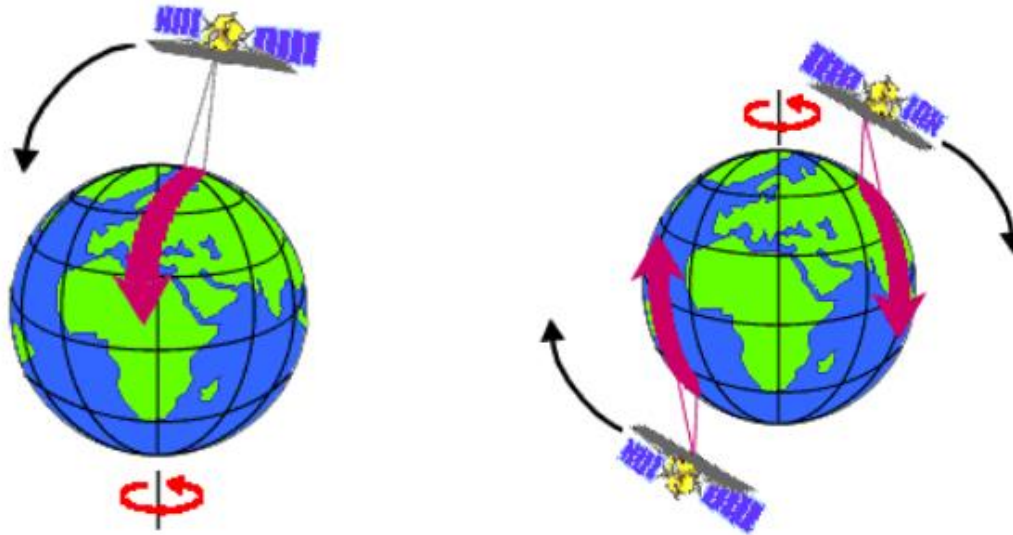


Figure 11:Orbite quasi-polaire

### 2.1.2. Les satellites Géostationnaires

Les satellites géostationnaires tournent dans le même sens de la Terre et avec la même vitesse de rotation. Ils sont situés à 36 000 km d'altitude (35 859 km pour METOSAT) sur une orbite au-dessus de l'équateur. Leur mouvement étant synchronisé avec la rotation de la Terre (période de la rotation de terre 23h 56 mn 4.09 s) autour de l'axe des pôles, ils surplombent toujours la même partie de notre globe terrestre (voir figure 12).

Pour la télédétection, un satellite stationnaire présente l'avantage de toujours visualiser la terre sous le même angle. Autrement dit, il peut enregistrer la même image à intervalles rapprochés. Cette propriété est particulièrement utile pour l'observation des conditions météorologiques. L'un des inconvénients des orbites géostationnaires est leur grande distance par rapport à la terre ce qui réduit la résolution spatiale.

Le système de satellites actuellement en opération comprend Météosat (EUMETSAT), GOES (Etats-Unis), GOMS (Russie), MTSAT (Japon) qui a remplacé la série de GMS et FY-2 (Chine). Ces satellites ont été conçus pour des applications météorologiques. Les sondes à bord ont des résolutions géométriques, radiométriques et spectrales très basses.

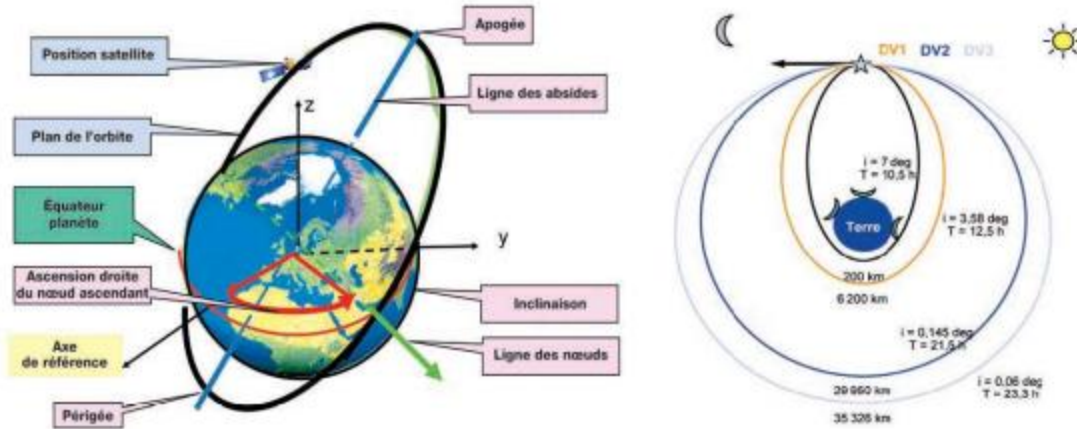


Figure 12: Satellite géostationnaire [EUMETSAT]

### 2.1.3. Les satellites défilants (Satellites Polaires)

Les satellites défilants tournent autour de la Terre sur une orbite quasi circulaire passant près des pôles dans des trajets Nord-Sud (NOAA pour les Américains et METOP pour les européens par EUMETSAT), à une altitude un peu inférieure à 1 000 km (850 km) et donnent une meilleure résolution (des détails de l'ordre de 2 km). Ils font le tour de la Terre en près de deux heures. L'orbite du satellite et la rotation de la terre permettent une couverture complète de la surface de la planète après un cycle orbital complet. Ils délivrent des informations sur une même zone 2 fois par jour. Ils sont utilisés pour alimenter les modèles de prévision à plusieurs jours d'échéance. Ils permettent surtout l'observation des régions qui ne sont pas couvertes par les satellites géostationnaires.

De plus, à chaque passe, ces satellites examinent une bande d'une largeur d'environ 1900 km qui se situe plus à l'Ouest à cause de la rotation de la Terre vers l'Est. Plusieurs heures s'écoulent entre les passes au-dessus du même endroit de moyenne ou basse altitude. Chaque satellite en orbite polaire peut observer la planète entière en 24 heures. Pour la plupart des satellites météorologiques polaires, les orbites sont choisies de telle sorte qu'elles soient héliosynchrones, cela signifie que l'orbite garde un angle constant avec le soleil durant toute l'année, donc le satellite passe au-dessus d'un endroit donné à la même heure solaire locale chaque jour.

Ces satellites nous fournissent les renseignements sur l'état du "trou" dans la couche d'ozone, les photos composites de la couverture de la neige et les températures à la surface des océans.

### 2.1.4. Satellites météorologiques

Les satellites météorologiques sont des plates-formes en orbite à partir desquelles des instruments peuvent détecter le rayonnement et l'énergie thermique de l'atmosphère et des surfaces sous-jacentes.

Ces satellites sont devenus indispensables, à la fois pour la météorologie et la climatologie, ils consistent un système perpétuel d'observation de l'atmosphère terrestre et permet de générer des images de la planète entière. De plus, ces satellites peuvent déterminer la température et le contenu de la vapeur d'eau à diverses altitudes dans l'atmosphère...

## *Chapitre II*

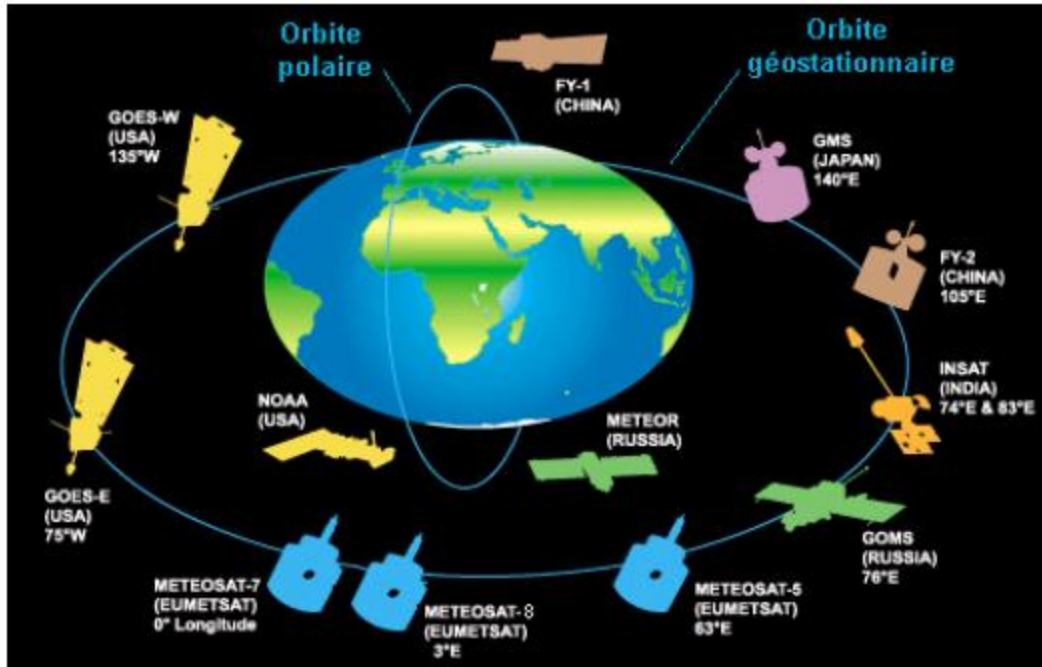
Les observations effectuées par ces satellites, consistent un apport essentiel aux systèmes de prévisions météorologiques numériques et aident également les prévisionnistes à reconnaître le développement de phénomènes météorologiques susceptibles de causer des sinistres. Les capteurs à bord des satellites réagissent à deux types d'énergie rayonnante de base :

- Le soleil, qui produit la lumière visible réfléchiée par les surfaces de la Terre et des nuages vers le satellite ;
- L'énergie infrarouge ou thermique, émanant de surfaces dont les températures se situent dans la gamme de celles des surfaces Terrestres ou aquatiques de la Terre et des sommets de nuages.

Le premier satellite météo, Tiros 1, a été lancé par les Américains en 1960. Les images de l'atmosphère qu'il transmettait n'étaient pas vraiment exploitables. Mais, depuis cette date, la technique a beaucoup progressé. De nos jours, il existe deux familles de satellites météorologiques : les défilants et les géostationnaires.

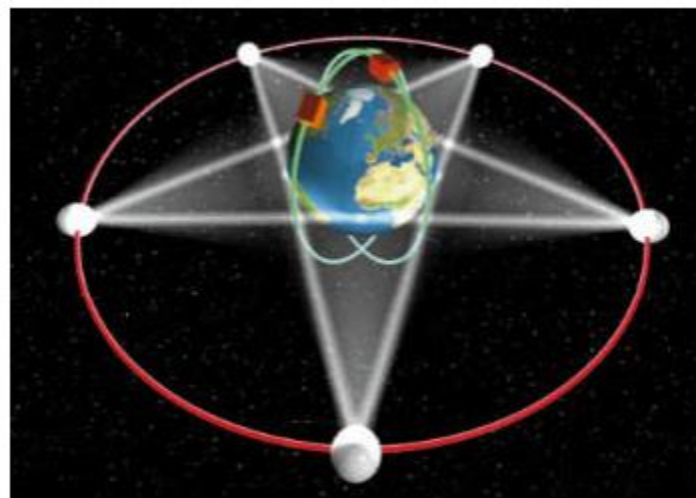
Les satellites météorologiques sont souvent géostationnaires. Ils sont principalement METEOSAT maintenu par l'Europe (Eumetsat), GOES par les Etats-Unis, GMS par le Japon, FY par la Chine, GOMS par la Russie et INSAT par l'Inde.

Ces satellites météorologiques (voir figure 13, 14) peuvent en outre remplir les fonctions de satellites de collecte de données météorologiques dans le cadre du système mondial de télécommunications.



**Figure 13:**Satellites météorologiques

(Source EUMETSAT).



**Figure 14:**Couverture des satellites météorologiques géostationnaires opérationnels depuis l'espace

(Source EUMETSAT).

Avec chaque nouvelle génération, les senseurs à bord de ces satellites deviennent plus performants et divisent l'information en plus de canaux de telle sorte qu'on peut les utiliser pour différencier les divers phénomènes nuages, précipitations, vents, brouillard, etc. Il y a deux types géostationnaire et polaire (Source EUMETSAT).

### 1.2.1. Importance de la télédétection des précipitations

La télédétection des précipitations est un élément important pour l'observation intégrée du cycle de l'eau de la Terre. Alors que les radars météorologiques et les pluviomètres sont la principale source d'estimations des précipitations dans de nombreuses régions, ils sont généralement limités aux zones peuplées du monde et ne peuvent couvrir que des eaux d'environ 150 km (Kidd et al. 2017).

Les satellites servent donc à combler ces énormes lacunes en matière de données et, en combinaison avec des observations in situ complémentaires, peuvent fournir les meilleures informations globales. Les satellites étant opérationnels depuis plusieurs décennies, les informations sur les précipitations régionales et mondiales évoluent, bien que de nombreux défis subsistent. Un certain nombre d'instruments et de techniques de récupération différents sont utilisés pour estimer les précipitations à partir des satellites. Les forces et les faiblesses des différentes méthodes, tandis que les détails des classes générales de méthodes sont présentés dans les trois sections suivantes. Les satellites utilisés pour estimer les précipitations sont généralement classés en orbite terrestre basse (LEO) et en orbite géostationnaire (GEO). Les différents algorithmes de récupération sont alors généralement classés en fonction de leur spectre d'observation (ex : DVI visible, infrarouge dIR, micro-onde passive PMW, micro-onde active AMW). Multispectral" approches. Plus récemment, différentes méthodes combinent les meilleures propriétés de chaque produit individuel et, dans certains cas, des données in situ ; celles-ci sont appelées "algorithmes combinés". Le but de cet article est de décrire ce large éventail de méthodes de précipitations pour la télédétection par satellite, en soulignant leurs forces et leurs faiblesses et en donnant des exemples de leur application.

Voici si dessous le tableau I qui résume les indices spectraux relative à l'eau selon le site index data base ( <https://www.indexdatabase.de/> ) ( voir tableau I) :

**Tableau I :** Tableau récapitulatif des indices spectraux relatif à l'eau

Nr	Name	Abbrev.	Formula	Variables
1	Crop water stress index	CWSI	$\frac{C-A}{B-A}$	
2	Disease water stress index	DSWI	$\frac{802nm+547nm}{1657nm+682nm}$	
3	Disease-Water Stress Index 5	DSWI-5	$\frac{800nm-550nm}{1660nm+680nm}$	
4	Leaf Water Content Index	LWCI	$\frac{\log(1-(NIR-MIDIR))}{-\log(1-(NIR-MIDIR))}$	
5	Normalized Difference 1094/1205 Leaf water VI 2	LWVI-2	$\frac{1094nm-1205nm}{1094nm+1205nm}$	
6	Normalized Difference 1094/983 Leaf water VI 1	LWVI-1	$\frac{1094nm-893nm}{1094nm+893nm}$	
7	Normalized Difference 857/1241 Normalized Difference Water Index	NDWI2	$\frac{857nm-1241nm}{857nm+1241nm}$	
8	Normalized Difference 860/1240 Normalized Difference Water Index	NDWI	$\frac{860nm-1240nm}{860nm+1240nm}$	
9	Normalized Difference 860/1640	SIWSI	$\frac{860nm-1640nm}{860nm+1640nm}$	
10	Relative Water Content Index	RWC	$\frac{FW-DW}{TW-DW}$	
11	Simple Ratio 1058/1148	RVThyp	$\frac{1058nm}{1148nm}$	
12	Simple Ratio 1193/1126 Water content	WC	$\frac{1193nm}{1126nm}$	
13	Simple Ratio 1660/550 Disease-Water Stress Index 2	DSWI-2	$\frac{1660nm}{550nm}$	
14	Simple Ratio 1660/680 Disease-Water Stress Index 3	DSWI-3	$\frac{1660nm}{680nm}$	
15	Simple Ratio 550/680 Disease-Water Stress Index 4	DSWI-4	$\frac{550nm}{680nm}$	
16	Simple Ratio 800/1660 Disease-Water Stress Index 1	DSWI-1	$\frac{800nm}{1660nm}$	
17	Simple Ratio 860/1240	SRWI	$\frac{860nm}{1240nm}$	
18	Simple Ratio 895/972 Water band index 4	WBI4	$\frac{895nm}{972nm}$	
19	Simple Ratio 950/900 Water band index	WBI3	$\frac{950nm}{900nm}$	
20	Simple Ratio 970/900 Plant Water Index, Water Band Index (WBI), Water Index (WI)	PWI	$\frac{970nm}{900nm}$	
21	Simple Ratio 970/902 Water band index	WBI	$\frac{970nm}{902nm}$	
22	Three-Band Ratio 1200	RATIO1200	$2 \frac{[1180:1220]}{[1090:1110]+([1265:1285])}$	
23	Three-Band Ratio 975	RATIO975	$2 \frac{[960:990]}{[920:940]+[1090:1110]}$	

**NB :** Un indice spectral se définit comme une variable synthétique, numérique qui caractérise l'intensité ou l'extension d'un phénomène trop complexe pour être décomposé en un nombre maîtrisable de paramètres (Caloz, 1994).

### 4. Télédétection des précipitations

En 1997, la mission de mesure des précipitations tropicales (TRMM) dirigée par l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) et l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale (JAXA) a été lancée. En tant que successeur de TRMM, la mission Global Precipitation Measurement (GPM) (<https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>) est un réseau international de satellites qui vise à fournir la prochaine génération d'observations mondiales de la pluie et de la neige. Le satellite GPM Core Observatory a été lancé avec succès le 28 février 2014. Dans l'ensemble, la mise en œuvre de ces deux programmes scientifiques a fait progresser notre compréhension du cycle de l'eau et de l'énergie de la Terre, amélioré la prévision des événements extrêmes et fourni des informations précises et opportunes sur les précipitations au bénéfice direct de la société.

Sous les auspices scientifiques des programmes TRMM et GPM, les capteurs satellitaires liés aux précipitations et les algorithmes de récupération associés ont connu un développement rapide dans les 30 dernières années. À ce jour, un certain nombre de produits de précipitations satellitaires quasi mondiaux opérationnels, basés sur des micro-ondes passives combinées (PMW), des infrarouges calibrés PMW (IR) et des estimations fusionnées PMW et IR, ont été rendus publics avec différentes résolutions spatiales et temporelles. Plusieurs produits quasi mondiaux incluent RMM Multi satellite Precipitation Analysis (TMPA) (Huffman et al., 2007), Climate Prediction Center morphing technique (CMORPH) (Joyce et al., 2004), Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) (Kubota et al., 2007), Précipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) (Hong et al., 2004 ; Sorooshian et al., 2000) et Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) (Huffman et al., 2014).

Cependant, la pénurie de produits pluviométriques issus des stations terrestres à faible latence et à long enregistrement rend difficile pour les scientifiques et les analystes de placer les précipitations extrêmes récentes dans un contexte historique (Funk et al., 2015).

La plupart des produits de précipitations satellitaires opérationnels actuels ne peuvent pas satisfaire les exigences pratiques de certains utilisateurs avec à la fois des périodes d'enregistrement relativement longues et des latences raisonnablement faibles. Pour combler cette lacune, les scientifiques de l'Université de Californie à Santa Barbara et de l'U.S.Geological Survey (USGS) ont développé deux nouveaux ensembles de données satellites quasi-globales (50°S-50°N) sur les précipitations : le Climate Hazards Group Infrared Précipitations (CHIRP) et les Précipitations Infrarouges avec Stations du Groupe des Dangers Climatiques corrigées (CHIRPS), principalement basées sur l'observation infrarouge de la durée des nuages froids (CCD) (Funk et al., 2014 ; Funk et al., 2015). Ces deux archives de produits haute résolution ( $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  Soit une résolution 5 KM \* 5Km) avec un ensemble de données de précipitations quotidiennes, pentadales et mensuelles s'étendent de 1981 à presque aujourd'hui, fournissant une durée adéquate d'enregistrement de données (environ 40 ans) et une latence moyenne d'environ 2 jours (estimations CHIRP en temps réel) et 3 semaines (produits CHIRPS post-temps réel) pour leurs utilisateurs hydrométéorologiques (Aadhar et al., 2017).

Leur processus algorithmique intègre les informations satellitaires de trois manières :

- En utilisant des données satellitaires pour estimer les climatologies de précipitations à haute résolution,
- En utilisant des champs CCD pour calculer les anomalies de précipitations,



## Chapitre II

- En utilisant des champs de précipitations satellitaires pour produire des fonctions de décroissance de la distance locale.
- Enfin, le système de récupération produit trois composants principaux, à savoir la climatologie des précipitations du groupe des risques climatiques (CHPclim), le CHIRP uniquement par satellite et le CHIRPS corrigé en fonction de la jauge.

Le produit CHIRPS a été initialement conçu pour soutenir le réseau de système d'alerte précoce contre la famine de l'Agence des États-Unis pour le développement international (FEWS NET) pour la surveillance de la sécheresse à grande échelle. CHIRPS utilise plusieurs réseaux de jaugeage au sol, notamment Global Summary of Day (GSOD), Global Historical Climate Network (GHEN), Southern African Science Service Center for Climate Change and Adaptive Land Management (SASSCAL) et le système mondial de télécommunication de l'Organisation météorologique mondiale (GTS), dans CHIRP en utilisant un algorithme modifié de pondération inverse de la distance (Funk et al., 2015). CHIRPS donne des estimations des précipitations sur les terres émergées avec un décalage de 1 à 3 semaines après la génération des champs de précipitations CHIRP.

CHIRPS fournit également des produits quotidiens, pentadaux et mensuels, qui peuvent être téléchargés à partir du site Web officiel du Climate Hazards Group

### 4.1.3. Ensembles de données satellitaires sur les précipitations (CHIRPS v.2.0)

CHIRPS est un ensemble de données pluviométriques quasi-globales (50°S-50°N) qui fournit des informations de 1981 à presque aujourd'hui, à haute résolution (0,05°), et quotidiennes, pentadales, et des résolutions spatio-temporelles mensuelles. La création de CHIRPS a soutenu les efforts du réseau de systèmes d'alerte précoce contre la famine de l'USAID (FEWS NET) pour surveiller les sécheresses (Funk et al., 2015).

Les résultats d'évaluation régionale indiquent que les estimations du CHIRPS concordent bien avec les observations au sol des réseaux de pluviomètres locaux et ont des performances assez prometteuses, en particulier pour la surveillance de la sécheresse. Même certains chercheurs ont souligné que CHIRPS surpassait apparemment à 'The Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks- Climate Data Record' (PERSIANN-CDR), un autre produit de précipitation par satellite à long terme basé sur l'infrarouge, dans le nord-ouest de la Chine (Gao et al., 2018).

Il existe encore peu d'études visant à comparer CHIRP et CHIRPS dans le monde. Parmi quelques études quasi mondiales, Funk et al. (2015), ont mené une première évaluation de CHIRP et CHIRPS sur le domaine (126°W-153°E) en utilisant le GPCC comme base de référence pendant la période 2000-2010. Leurs résultats suggèrent que CHIRP et CHIRPS ont des distributions de précipitations assez similaires pendant la saison des pluies. De plus, ces deux produits semblent particulièrement adaptés au suivi des sécheresses dans les zones de plaine où les estimations de précipitations CCD se comparent plutôt bien aux observations au sol.



# *Chapitre III :*

Matériel et méthodes.

### Chapitre III

L'objectif du travail consiste à la validation des produits CHIRPS en comparaison avec les données météorologiques de la station de la wilaya de Djelfa ; à fin d'évaluer l'exactitude des données CHIRPS et à quel point sont-elles fiables.

Cette partie a pour objet d'apporter une véritable réflexion sur le sujet par la confrontation de la pratique à la théorie.

#### 1.Choix de la région d'étude

L'étude c'est effectué sur une partie de la wilaya de Djelfa (Commune de Djelfa). Cette étude est limitée à la station météorologique de Djelfa (en raison de la disponibilité des données pluviométriques sur une période allant de 1981 à 2020).

La disponibilité des données gratuites a été une limite importante pour la sélection et la diversification de la région d'étude.

##### 1.1. Région d'étude

La wilaya de Djelfa, issue du découpage administratif de 1974, est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, au-delà des piémonts sud de l'Atlas Tellien sur un vaste espace de 33 236 km<sup>2</sup>, soit 1,36 % du pays (Merabet, 2018).

Elle se trouve au sud d'Alger, entre 33° et 35° de latitude Nord et 2°, 5° longitude Est (DPSB, 2017). Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt
- A l'Est par les wilayas de M'sila et de Biskra
- A l'Ouest par les wilayas de Laghouat et de Tiaret
- Au Sud par les wilayas d'Ouargla, d'El oued de Ghardaïa

##### 1.2. Géologie de la wilaya de Djelfa

La Wilaya de Djelfa est caractérisée par une séries sédimentaire s'étalant du Trias au Quaternaire, issue des mouvements tectoniques alpins (Chibane et *al.*, 2010).

Pour la lithologie, la majorité des territoires de Djelfa sont fossilisés par des croutes calcaires et des calcaires d'origine lacustre (Pouget, 1980). Selon le même auteur, la totalité des roches sont carbonatées souvent gypseuses et salées.

Les chenaux des Chebkhats et des Chaabets aboutissant dans des dépressions fermées : Dayas, Chotts, Sebkhass sont les paysages les plus rencontrés dans ces zones de type aride et semi-aride. Ils modifient considérablement la structure plane de la plateforme saharienne. L'aspect continental d'origine néogène plus ou moins détritique et salifère, se présente par des affleurements importants aux fonds des Oueds (Diaf et Saadoune, 2011).

### 1.3. Station météorologique de Djelfa

La station météorologique de Djelfa (source principale des données météorologiques de l'étude) est située sur la latitude 34°,20' Nord et la longitude 3°,23', et sur une altitude de 1180,5m, au Sud Est de la ville, à une distance de 3213 m du centre de la ville.

Le territoire de la station est plat sans végétation à l'exception d'une bande de reboisement du pin d'Alep située au Nord à environ 360 m avec une dénivelée de 8 m plus bas. De même pour le tissu urbain, il se trouve à un niveau plus bas d'environ 10m, sauf quelques édifices de l'université Ziane Achour-Djelfa situé au Nord Est qui sont au même niveau de sol de la station, et à une distance de 73 m (voir figure 15) (Boubakeur et *al.*, 2014).



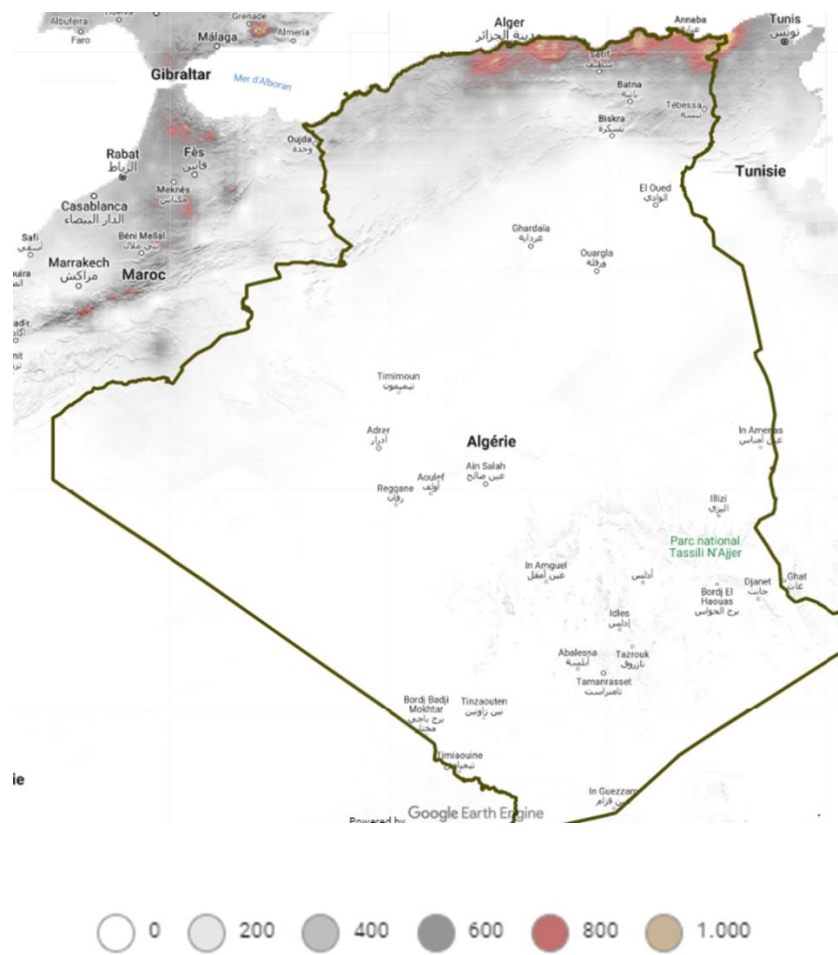
Figure 15: Situation géographique de la zone d'étude

Source : (ANIREF, 2013)

### 1.4. Description de la précipitation

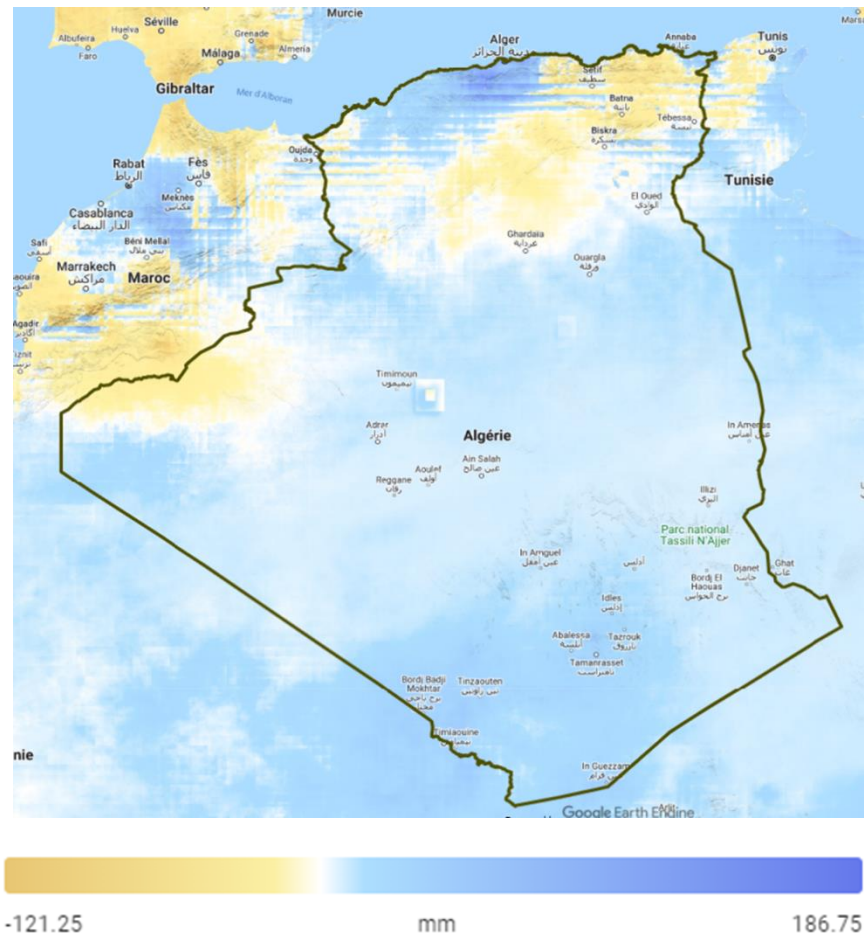
En raison de ces altitudes élevées, la partie centrale de la wilaya est celle qui reçoit le plus de pluies avec une moyenne de 250 à 300 mm/ans. La pluviométrie est cependant moins importante dans la région Nord de la wilaya avec une moyenne de 250 mm/ans et dans les régions Sud avec une moyenne de 150 mm/ans. À l'extrême Sud de la wilaya elle est au-dessous de 150 mm/ans. D'une manière générale, la pluviométrie est marquée par une grande irrégularité d'une année à une autre. Les pluies sont souvent sous forme d'orage, accentuant de ce fait le phénomène d'érosion des sols (DPAT, 2003).

Un traitement à titre démonstratif a été effectué pour la description de la précipitation à l'échelle nationale par l'utilisation des données CHIRPS. Des cartes présentant les précipitations annuelles et les anomalies enregistrées durant la période 1981 – 2021 sont représentées par les figures 16 et 17.



**Figure 16:** Carte de la précipitation annuelle à l'échelle nationale produite sous la plateforme Google Earth Engine (GEE) à partir des données CHIRPS de 1981 à 2021

**NB :** On remarque que les précipitations au nord-est de l'Algérie sont plus élevées par rapport aux autres régions.



**Figure 17 :** Carte des anomalies des précipitations enregistrées durant la période 1981 – 2021 à l'échelle nationale produite sous la plateforme GEE à partir des données CHIRPS

**NB :** On remarque que le maximum des anomalies sont enregistrées dans le centre, l'Est et le Sud-ouest de l'Algérie.

## **1.5. Ressource en eaux**

### **1.5.1. Eaux superficielles**

Le réseau hydrographique de la wilaya est en grande partie endoréique : (DPAT,2012). Il est constitué principalement

- Au Centre, le bassin fermé des chotts qui collecte, outre les eaux de la dépression des Oued Nail
- Au Sud, le bassin de l'Oued Djedi qui collecte les eaux de ruissellement du versant Sud de l'Atlas saharien.
- Au Nord, le bassin versant du haut Cheliff qui chaîne les dépressions de la région de Ain Oussera

### **1.5.2. Eaux souterraines**

Selon la DPAT (2012), les nappes les plus connues sont

- Les nappes alluviales de l'Oued Touil et de l'Oued Ouark ;
- Le synclinal de Djelfa ;
- Les nappes de Zahrez.

## **2. Présentation des données utilisées**

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé les données CHIRPS à partir de la plateforme GEE et les données de la station météorologique de Djelfa sur une période de 39 ans.

### **2.1. Données observées**

Le tableau ci dessous représente les données pluviométriques de la région de Djelfa obtenus à partir de la station météorologique de Djelfa (Voir tableau II).

### Chapitre III

**Tableau II:** Données pluviométriques de la station météorologique de Djelfa de (1975-2020)

Années	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Σ des P
1981	6,2	45,2	36,4	67,4	5,3	6,1	10,6	33	73,3	12	1	33,5	330
1982	26,27	42,1	20,3	72,7	48	17,3	4,6	7	10,5	60,1	75,1	31,8	415,77
1983	8,53	15,5	15,2	19,6	25,6	15,5	8,6	45,7	0,7	2	17,6	11,3	185,83
1984	30,3	5	38	0,6	8,7	19	0,9	4,2	4,2	66,3	29,7	36,7	243,6
1985	48,1	12	65,1	1,3	59,4	13,3	9,7	0,5	39,6	31,7	30,8	51,9	363,4
1986	23,3	46,9	75,1	12,8	36,3	12,6	5,5	11,8	18,9	34,9	80,5	34,7	393,3
1987	58,5	34,4	13,6	22,7	12,4	21,8	41,4	3,1	3,7	8,6	55,1	23,4	298,7
1988	18,3	38	13,8	32,4	62,2	54,8	1,4	21,5	25,6	8,6	19,5	37,4	333,5
1989	13,6	8	9,1	36,1	50,4	52,6	6,5	72,4	10,6	17,5	41,2	18,1	336,1
1990	117	0,3	30	65,4	84,4	61	12,6	10,3	14,2	4	13,6	34,6	447,4
1991	24	52	74	39	35	16	9	13	33	117	20	22	454
1992	60	11	57	49	122	6	11	1	19	1	24	21	382
1993	8	71,1	40,2	13,5	39	12	16	27,6	25	5	19	15	291,4
1994	50	52	20	7	10	1	4	17	96	78	28	8	371
1995	46	13	50	11	6	46	0	13	13,2	49	3,9	30	281,1
1996	91,8	74	58	57	51	27	5	28	16	3	1	27	438,8
1997	39	5	1	87	43	9	2	45	77	11	55	17	391
1998	7	26	5	35	38	2	0	19	28	5	3	9	177
1999	61	24	25,1	0,9	3	13	3	16,6	25	29	26	69	295,6
2000	0	0	1	10	27	3,2	0,4	1,5	63	8	15	23,1	152,2
2001	60	12	2	3,7	3	0	0,4	22,8	78	28	12	17	238,9
2002	11	5,3	2	38,2	4,9	5,9	13	35,6	7,6	15,3	37,9	36,1	212,8
2003	53,3	45,3	13	17,8	14,8	2,8	5	0,3	6,3	41,4	41,3	54	295,3
2004	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42	376
2005	2	20,5	13	6,8	1	35	12	0	64	49	19	25,5	247,8
2006	49,6	43,4	3,1	47,3	36,5	1,1	19,2	9,9	17,3	0,7	18,9	41	288
2007	4,8	26,6	72,6	28,8	31	16,3	12,8	18,2	32,2	38,3	12,3	3,5	297,4
2008	6,1	3,4	5,3	0,4	33,8	33,4	24,1	77,8	44,8	74,4	9,8	24	337,3
2009	72	44	48	55	12	11	15	1	69	5	27	30	389
2010	16,2	60,6	18,6	34,6	0	28,8	5,3	19,3	10	52,5	11,4	9,1	266,4
2011	12,3	37,2	32,8	56,3	32,1	26,9	30,2	19,9	10,1	29,7	21,9	19,2	328,6
2012	0,8	9	37	48,8	8,2	30,8	1,7	24,6	16,2	24,3	27,8	6,8	236
2013	27,7	20,3	13,7	32,2	28,9	0	13,2	4,5	16	122	19,4	51,5	349,4
2014	23,1	18,5	73,6	0,3	44,9	45,4	0	11,2	12,2	2,8	30,2	18,8	281
2015	8,4	48,9	11,7	0,04	5,4	20,4	0	45,3	86	46,7	4,7	0	277,54
2016	6,1	24,3	29,6	35,8	6,9	0,6	6,4	3,5	17,9	12,8	23,6	22,7	190,2
2017	77,7	2,4	0,2	0,6	31,6	14	4,1	0	1	20,1	3	21,8	176,5
2018	12,3	20,6	60	77,6	54	20	1,3	53,4	84	49,9	20,5	8,4	462
2019	27	5,6	29	23,5	2,6	7,39	20,9	22,3	21,5	9,9	28,6	7,6	205,89
2020	18,3	0	21,3	54,1	7,1	5,6	8,1	0,8	11,2	2,5	36,6	12,2	177,8

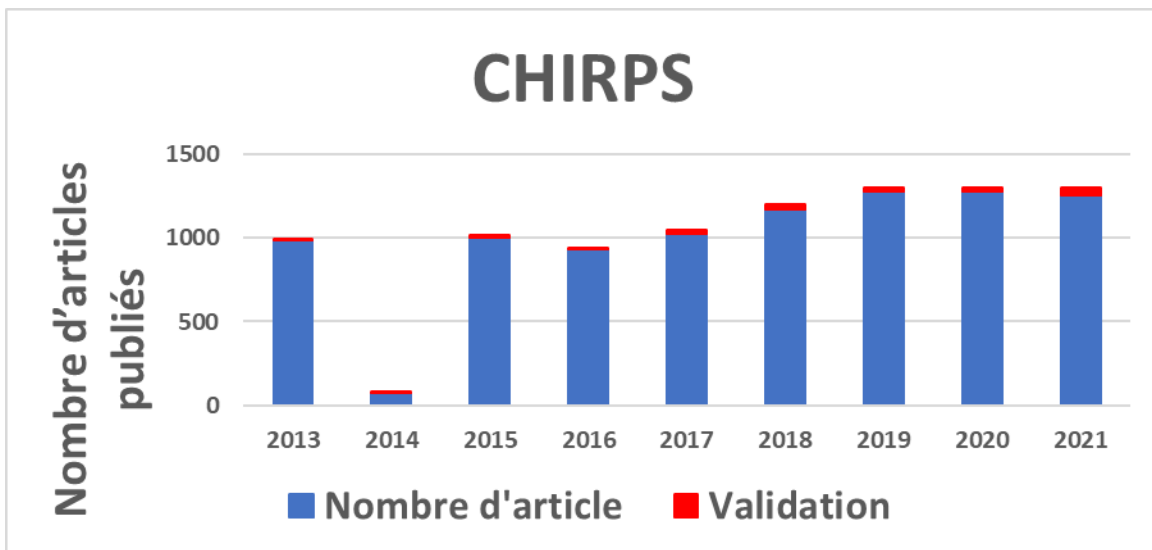
Suite à l'analyse de ces données, on remarque que l'année 1976 est la plus pluvieuse de cette période avec une moyenne annuelle 510 mm, contraire à l'an 2000 qui était beaucoup moins humide avec une moyenne annuelle de 152,2 mm.

## 2.2. Données CHIRPS

D'une manière générale, l'utilisation des données CHIRPS ont connus une large utilisation. Malgré la popularité de l'utilisation des CHIRPS au niveau de la communauté scientifique, peu de travaux sont réalisés sur leur validation.

La figure 5 représente le nombre des articles publiés utilisant les données CHIRPS dans le monde. Il est important de signaler que les articles traitant les aspects de validation de ce type de données sont très faible. Ceci nous a motivé pour tester la pertinence des CHIRPS et de faire une validation par l'utilisation des données d'observation.

L'histogramme suivant (voir figure 18). Représente le nombre des articles publiés utilisant la données CHIRPS. La couleur rouge représente seulement les articles traitent l'aspect de la validation.



**Figure 18** : Nombre d'articles publiés utilisant les données CHIRPS.

Source : (notre travail – non édité)



### Chapitre III

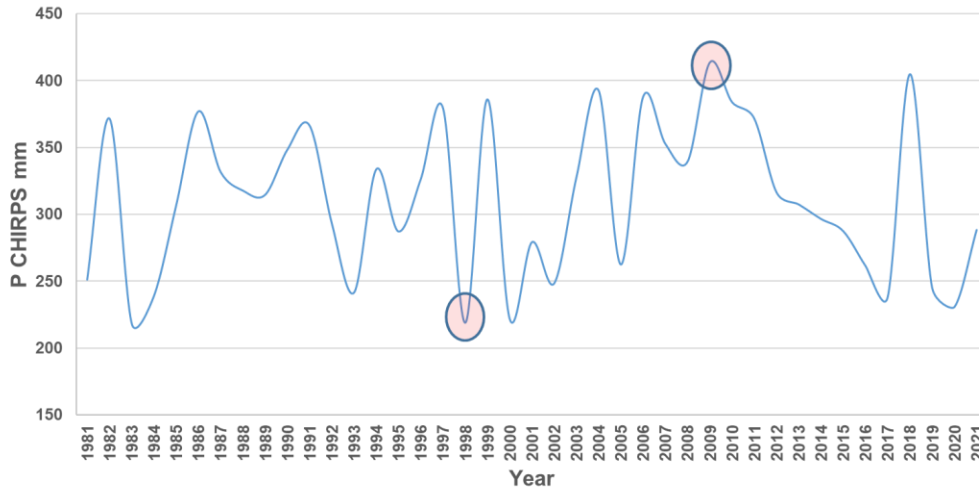
Le tableau III représente les données CHIRPS obtenus grâce à la plateforme Google Earth Engine (GEE)

**Tableau III:** Données CHIRPS de la région de Djelfa de (1981-2021)

Années	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	∑ Des P
1981	13,56	27,03	26,98	40,13	8,36	16,88	5,24	28,35	33,71	22,46	4,53	23,94	251,17
1982	33,64	46,46	26,58	46,93	36,35	17,75	6,10	12,70	29,53	39,37	55,78	20,34	371,53
1983	8,53	12,49	28,39	28,49	26,30	14,54	13,72	31,37	7,26	14,94	18,64	13,88	218,55
1984	36,64	22,11	22,24	16,40	12,22	11,11	4,81	18,69	16,05	37,96	20,13	20,52	238,87
1985	37,46	18,55	37,55	8,92	49,87	15,14	6,99	6,24	35,87	24,37	31,97	33,61	306,55
1986	40,39	53,70	73,83	13,88	28,79	10,39	8,57	18,09	27,67	26,70	50,15	24,61	376,78
1987	38,91	42,00	17,02	21,93	21,74	19,17	21,60	12,10	15,12	41,38	48,15	32,46	331,58
1988	19,63	27,40	16,79	29,00	47,55	44,43	6,28	14,02	19,33	42,11	29,74	21,40	317,69
1989	25,01	12,15	15,91	29,47	36,09	30,72	7,35	40,58	26,59	20,50	49,58	20,57	314,51
1990	48,93	7,10	35,88	53,91	62,44	38,34	12,15	11,94	22,17	12,68	22,75	19,89	348,20
1991	26,70	33,72	75,05	20,88	32,69	11,80	8,06	17,01	26,89	62,78	21,87	28,84	366,29
1992	36,47	14,04	49,19	31,53	62,89	11,80	14,38	6,43	14,79	15,04	20,58	16,12	293,26
1993	15,27	17,28	32,09	19,62	31,56	13,29	8,77	19,92	24,87	15,22	22,59	21,09	241,58
1994	38,32	33,54	33,33	8,36	15,90	8,02	5,72	13,25	63,11	84,04	20,17	9,80	333,57
1995	35,33	16,19	36,84	24,37	20,93	29,85	5,73	18,98	26,46	24,55	17,35	30,61	287,16
1996	36,53	27,72	36,90	33,85	27,87	14,58	13,44	24,41	36,87	17,36	14,87	41,71	326,11
1997	51,89	6,95	10,43	53,76	33,60	12,03	8,14	39,53	60,79	30,95	29,32	41,98	379,37
1998	16,35	19,97	11,64	27,00	43,94	12,67	5,04	13,11	29,47	16,94	11,72	11,15	219,00
1999	76,91	21,32	38,03	9,24	17,32	20,55	6,39	21,51	46,61	20,20	21,52	86,14	385,74
2000	11,63	5,79	16,46	14,76	28,21	11,15	3,60	10,85	35,94	27,94	19,13	36,37	221,84
2001	38,75	9,80	12,78	16,37	16,86	7,26	5,22	23,95	66,67	28,47	18,12	34,93	279,18
2002	17,08	11,74	13,90	29,08	13,43	12,29	16,23	36,04	14,29	21,49	44,25	18,55	248,38
2003	40,74	26,96	21,53	15,72	18,37	9,23	9,81	11,46	14,78	84,92	31,88	42,23	327,62
2004	9,85	18,44	49,28	41,85	57,56	14,75	6,68	49,77	34,80	34,64	23,97	50,80	392,41
2005	13,38	18,93	21,45	19,24	12,43	26,26	10,80	9,32	47,08	44,57	20,76	18,28	262,49
2006	44,82	52,58	9,83	61,94	52,85	12,64	16,96	16,81	39,78	14,91	17,48	47,05	387,65
2007	14,55	40,77	36,04	51,61	34,89	15,87	10,06	19,05	51,86	47,41	16,92	13,60	352,62
2008	13,12	19,03	23,18	14,18	40,60	17,16	14,43	16,96	54,28	84,81	13,28	28,30	339,32
2009	63,35	32,54	45,85	49,54	17,16	13,16	15,35	13,03	96,39	18,13	18,47	30,32	413,29
2010	24,44	78,84	27,52	41,80	41,55	23,51	6,98	29,74	29,55	44,61	14,45	20,76	383,76
2011	18,26	36,03	36,38	47,77	36,92	24,22	14,50	24,74	24,74	50,71	31,22	25,98	371,47
2012	12,90	8,22	43,46	50,76	21,01	18,49	7,01	14,60	28,12	64,58	32,79	14,43	316,37
2013	21,69	33,99	33,36	29,83	29,29	8,16	10,25	18,23	23,50	35,07	19,81	44,17	307,35
2014	34,01	23,84	40,30	11,52	37,43	28,76	7,17	10,95	42,64	12,48	29,86	17,59	296,55
2015	13,42	30,39	14,97	11,81	13,89	17,51	4,09	46,13	59,40	53,93	11,37	10,50	287,41
2016	13,38	30,51	25,63	46,68	21,31	10,13	10,29	13,61	30,95	16,88	19,04	23,10	261,49
2017	41,19	20,39	8,72	19,23	48,43	16,43	5,28	12,31	8,84	23,17	10,82	23,42	238,22
2018	24,31	13,37	38,10	72,40	61,92	15,64	4,02	42,24	54,73	39,12	26,50	12,21	404,57
2019	24,62	16,85	29,17	14,32	13,84	7,39	28,26	16,74	34,59	15,58	23,05	20,67	245,08
2020	20,66	5,53	30,02	51,44	23,91	10,03	6,39	8,12	19,02	9,82	30,36	15,47	230,77
2021	15,32	26,22	22,61	13,01	82,16	27,71	4,44	15,51	33,90	15,01	22,12	10,33	288,32

### Chapitre III

Ce graphe représente la variation annuelle des précipitations au niveau de la région de Djelfa (Voir figure 19).



**Figure 19 :** Précipitations annuelles de la wilaya de Djelfa selon les données CHIRPS (1981/2021)

### 3. Logiciels utilisés

La plateforme GEE créé par Rebecca MOORE en 2005a permis de fournir des données pluviométriques de la zone d'étude selon la période fixée par l'étude. Dans cette étude, nous avons également utilisé Ms Excel pour la caractérisation des données pluviométriques (station, CHIRPS) pour l'étude descriptive, la création des modelés estimatif de la précipitation et la validation de modelés par le calcul des erreurs quadratiques moyenne (Root Mean Squared Error RMSE)

### 4. Approche méthodologie

#### 4.1. Étude statistique et modélisation

Les mesures statistiques sont couramment utilisées pour évaluer les mesures in situ et les estimations par satellite. La modélisation et la description statistique ont été utilisées pour analyser les relations existantes entre les données d'observation et ceux obtenus à partir des données de télédétection (CHIRPS). La régression linière vs non linière a été retenus pour commander ces relations. Le coefficient Pearson et les erreurs quadratiques moyennes sont retenue pour juger la pertinence de la modélisation. Le meilleur modèle estimatif des précipitations doit présenter les valeurs R les plus importante et les RMSE les plus faible.

#### 4.1.1. Coefficient de corrélation de Pearson (R)

Il mesure la force d'une relation linéaire entre deux variables et est noté par (r). Le coefficient de corrélation de Pearson a été obtenu en divisant la covariance des deux variables par le produit de leurs écarts-types (Pearson, 1920). Ce coefficient (r) peut prendre une plage de valeurs de +1 à -1. Une valeur de 0 indique qu'il n'y a pas d'association entre les deux variables. Une valeur supérieure à 0 indique une association positive, c'est-à-dire que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable augmente également. Inversement, une valeur inférieure à 0 indique une association négative, c'est-à-dire que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable diminue.

Dans cette étude, il est bien de signaler que le R a été utilisé pour tracer la ligne de meilleur ajustement entre les données de précipitations CHIRPS et les données enregistrées au niveau de station météorologique de Djelfa.

#### 4.1.2. Évaluation de la précision des données CHIRPS

Dans des recherches antérieures, les mesures des pluviomètres ont été utilisées comme données de validation des précipitations obtenues par satellites (Liu et al., 2019 ; Pal omino-Angel ´ et al., 2019 ; Peng et al., 2020 ; Wu et al., 2019 ; Palharini et al., 2020).

L'RMSE mesure la moyenne des erreurs quadratiques, c'est-à-dire la dispersion entre les données estimées et mesurées. L'RMSE est une fonction de hasard correspondant à la valeur attendue de l'erreur de perte au carré ou de la perte au carré. La différence se produit en raison du caractère aléatoire ou parce que l'estimateur ne tient pas compte des informations qui pourraient produire une estimation plus précise. Idéalement, la valeur RMSE faible désigne les meilleurs modèles estimatifs. La formule suivante résume la note de calcul de l'RMSE (voir formule 01) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sum y - Dobs)^2}{n}}$$

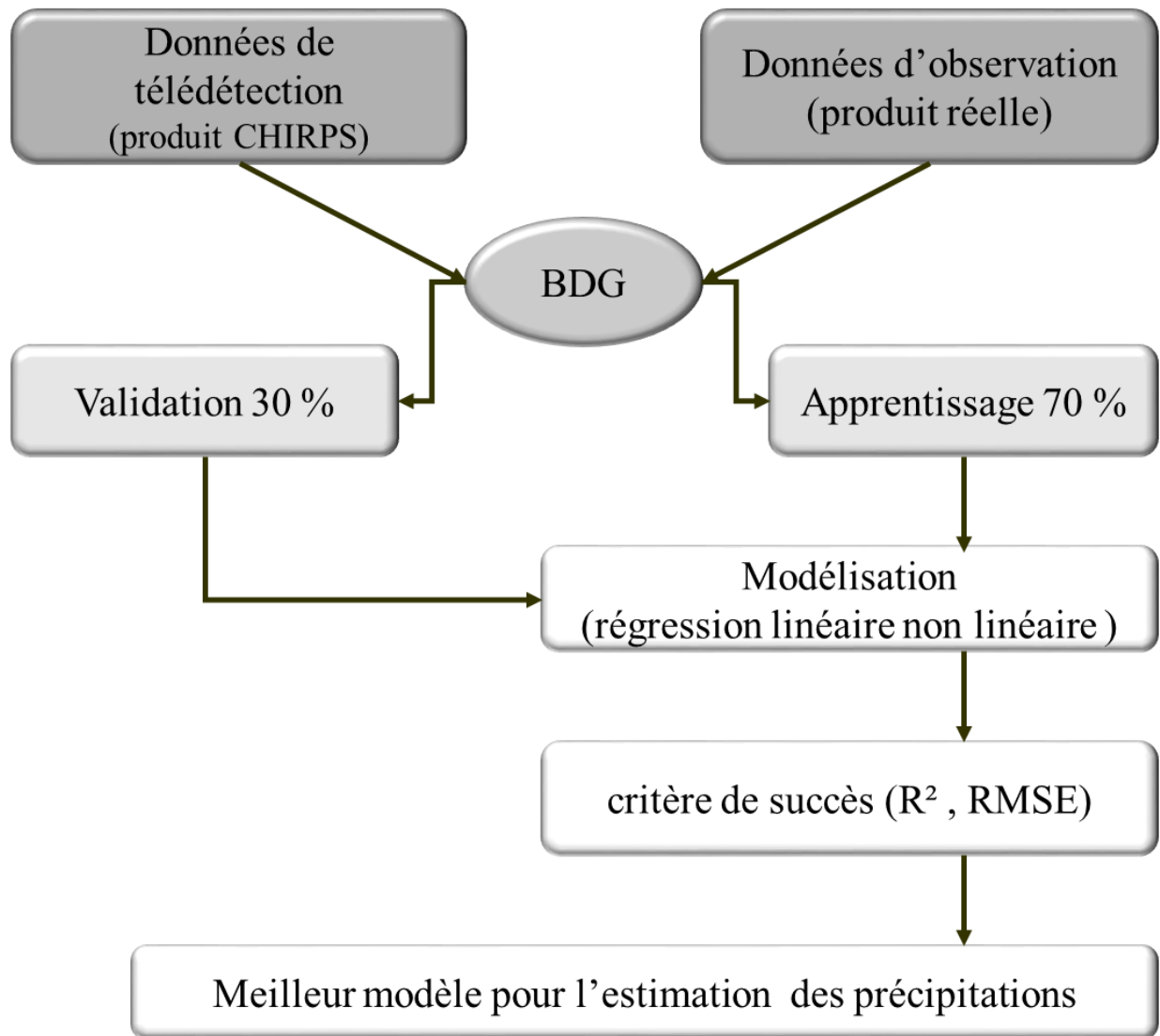
Avec :

RMSE : erreur quadriatique moyenne ; n : nombre de données total ; Dobs : données réelles

### 5. Méthodologie générale

L'organigramme méthodologique (voir figure 20) résume les étapes suivies dans la réalisation de cette étude. Il est bien de noter que les données de précipitation (CHIRPS et les données d'observation au niveau de la station météorologique de Djelfa) ont été regroupées pour constituer une base de données générale (BDG). Cette dernière a fait l'objet d'une division d'une façon complètement aléatoire en deux groupes à savoir le groupe d'apprentissage (70 % de la BDG) pour créer les modèles d'estimation des précipitations. Le deuxième groupe de données (30 % de la BDG) a été consacré à la validation des modèles.

le modèle et la méthode de modélisation pertinente pour la correction des données CHIRPS sont retenus en se basant sur les critères de succès R<sup>2</sup> et l'RMSE.



**Figure 20** : Organigramme méthodologique suivi pour la validation des données CHIRPS (Djelfa, période allant de 1981 à 2020).

# *Chapitre IV :*

Résultats et discussions.

Les résultats obtenus sont présentés et discuter dans ce chapitre

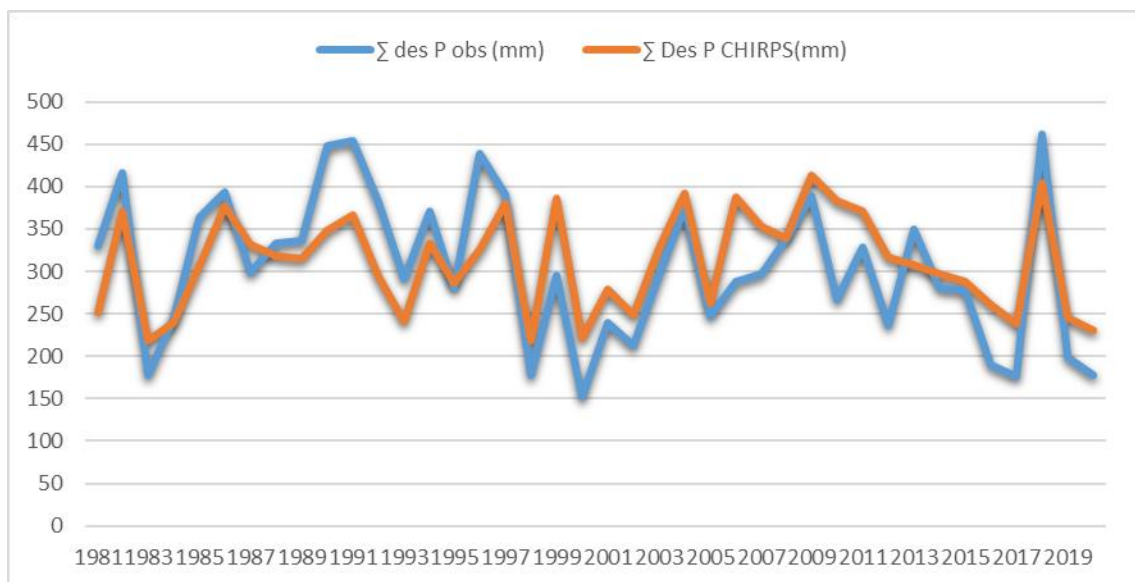
## 1. Résultats

### 1.1. Comparaisons des données réelles avec les produits CHIRPS

Notez que le produit CHIRPS présente une surestimation de faibles valeurs de précipitations et une sous-estimation des valeurs élevées (voir figure 21).

En général, le produit CHIRPS montre une sous-estimation modérée de la quantité de précipitation observée entre 0 et 200 mm/an ; alors qu'il tend à sous-estimer ces valeurs au-delà de 200mm/an et ce jusqu'à l'année 1997 où il Y'a un changement par a port au estimation, on remarque qu'il y'a une légère surestimation du produit CHIRPS par a port au données réelles.

Les résultats de cette analyse suggèrent que les estimations de faibles précipitations pourraient masquer les conditions de sécheresse (en particulier, l'absence de précipitations), ce qui est une caractéristique très défavorable pour les régions sujettes à la sécheresse ; cependant, il convient de noter que ces mesures de performances globales ne fournissent pas d'informations spatiales pour cette caractéristique (c'est-à-dire les régions ou elle se produit).



**Figure 21** : Les estimations des données CHIRPS en comparaison avec les données réelles de la station de Djelfa (1981-2020)

Les résultats montrent que les données CHIRPS sont bien corrélées avec les observations, mais ont tendance à surestimer les faibles précipitations et sous-estimer les fortes précipitations (>200 mm/an).

## **2. Modélisation**

### **2.1. Traitements et prétraitements des données**

En premier lieu, les données on étaient obtenus sous forme de précipitations mensuelles ; en suite afin de faciliter cette étude les données en étaient transformer en données annuelles (1981-2020) ; cela en calculant les sommes de chaque année, ça a permis d'obtenir le tableau de données si dessous (voir tableau IV).

**Tableau IV:** Précipitations estimer et réelles de la région de Djelfa (1981-2020)

<b>Années</b>	<b><math>\Sigma</math> des P obs (mm)</b>	<b><math>\Sigma</math> Des P CHIRPS(mm)</b>
1981	330	251,17
1982	415,77	371,53
1983	177,3	218,55
1984	243,6	238,87
1985	363,4	306,55
1986	393,3	376,78
1987	298,7	331,58
1988	333,5	317,69
1989	336,1	314,51
1990	447,4	348,20
1991	454	366,29
1992	382	293,26
1993	291,4	241,58
1994	371	333,57
1995	281,1	287,16
1996	438,8	326,11
1997	391	379,37
1998	177	219,00
1999	295,6	385,74
2000	152,2	221,84
2001	238,9	279,18
2002	212,8	248,38
2003	295,3	327,62
2004	376	392,41
2005	247,8	262,49
2006	288	387,65
2007	297,4	352,62
2008	337,3	339,32
2009	389	413,29
2010	266,4	383,76
2011	328,6	371,47
2012	236	316,37
2013	349,4	307,35
2014	281	296,55
2015	277,54	287,41
2016	190,2	261,49
2017	176,5	238,22
2018	462	404,57
2019	198,5	245,08
2020	177,8	230,77



## 2.2. Validation des produits CHIRPS :

Dans cette section nous allons présenter l'application de la démarche méthodologique adoptée pour la réalisation de ce travail. Après l'obtention des données de précipitations (estimer et réelles).

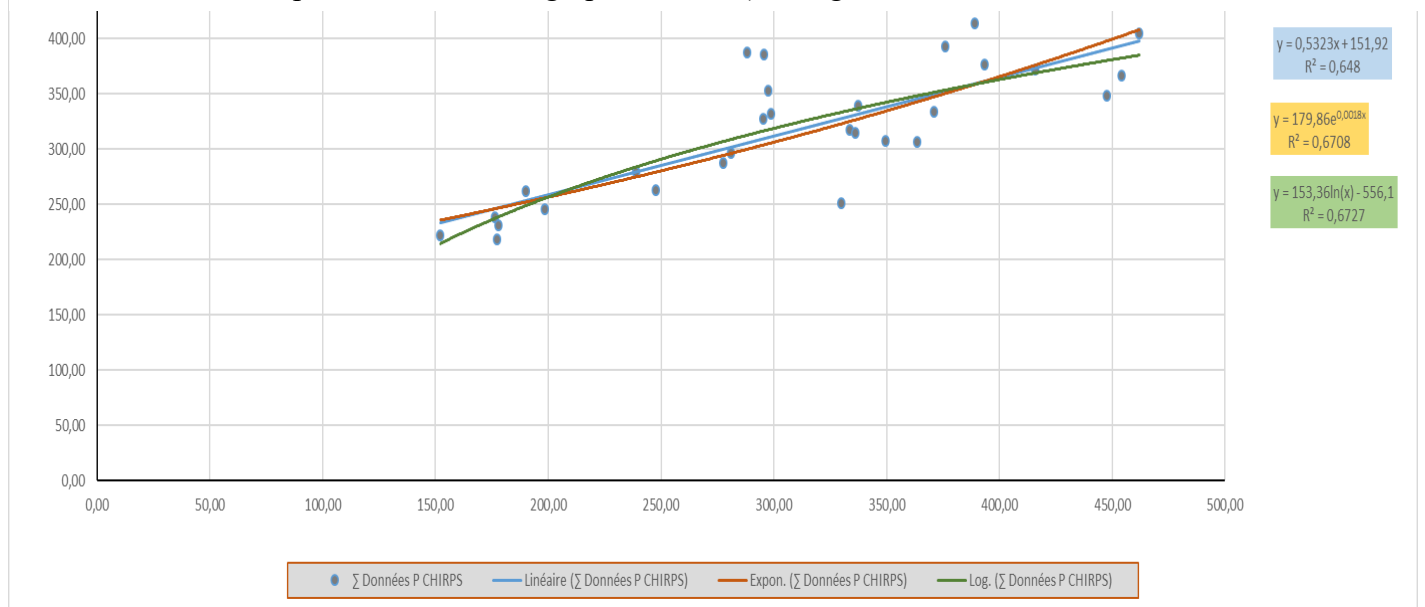
Il faut noter que la division aléatoire de la BDG en deux groupes ; groupe de traitement des données 70% de la BDG (soit 29 données) (voir tableau V).

**Tableau V:** Données de traitements 70%

Années	$\Sigma$ Données P obs	$\Sigma$ Données P CHIRPS
1981	330,00	251,17
1982	415,77	371,53
1983	177,30	218,55
1985	363,40	306,55
1986	393,30	376,78
1987	298,70	331,58
1988	333,50	317,69
1989	336,10	314,51
1990	447,40	348,20
1991	454,00	366,29
1994	371,00	333,57
1999	295,60	385,74
2000	152,20	221,84
2001	238,90	279,18
2003	295,30	327,62
2004	376,00	392,41
2005	247,80	262,49
2006	288,00	387,65
2007	297,40	352,62
2008	337,30	339,32
2009	389,00	413,29
2013	349,40	307,35
2014	281,00	296,55
2015	277,54	287,41
2016	190,20	261,49
2017	176,50	238,22
2018	462,00	404,57
2019	198,50	245,08
2020	177,80	230,77

## Chapitre IV

Le tableau ci-dessus a permis d'obtenir le graphe suivant (voir figure 22).



**Figure 22 :** nuage de point correspondant aux données de traitement CHIRPS (1981-2020)

Et le groupe de validation 30% (soit 11 données) (voir tableau VI).

**Tableau VI :** Données de validation 30%

Années	$\Sigma$ Données P obs	$\Sigma$ Données P CHIRPS
1984	243,60	238,87
1992	382,00	293,26
1993	291,40	241,58
1995	281,10	287,16
1996	438,80	326,11
1997	391,00	379,37
1998	177,00	219,00
2002	212,80	248,38
2010	266,40	383,76
2011	328,60	371,47
2012	236,00	316,37

### 3. Choix des variables et du modèle pertinent pour l'exploitation du produit CHIRPS

A l'aide de la figure 22 on a pu obtenir les fonctions suivantes (voir tableau VII)

Dans le but de choisir le modèle final pour la validation du produit CHIRPS nous avons préféré étudier le potentiel de l'ensemble des variables adéquate à la validation des produits estimer. Ceci a été possible grâce aux différents courbe de tendance construite en utilisant les produits de traitement CHIRPS. Dans notre cas nous avons obtenus choisi 3 fonctions .la première c'est la fonction linéaire ; la deuxième, en fonction exponentiel et pour finir la troisième, en fonction logarithmique.

Les formules de chaque fonction sont mises dans le tableau si dessous (voir tableau VII)

**Tableau VII :** Différentes fonctions et leurs formules

Fonction	Formule
• linéaire	$y = 0,53x + 151,92$
• exponentiel	$y = 179,86e^{0,0018x}$
• logarithmique	$y = 153,36\ln(x) - 556,1$

En appliquant les formules précédentes (voir tableau VII) on obtiendra les résultats suivants (voir tableau VIII) :

**Tableau VIII:** Résultats de l'application des fonctions

Années	Données obs	Données CHIRPS	$y = 0,5323x + 151,92$	$y = 179,86e^{0,0018x}$	$y = 153,36\ln(x) - 556,1$
1984	243,6	238,87	279,07	276,48	283,69
1995	281,1	287,16	304,78	301,59	311,93
1992	382	293,26	308,02	304,92	315,15
1996	438,8	326,11	325,51	323,50	331,43
1993	291,4	241,58	280,51	277,83	285,41
1997	391	379,37	353,86	356,04	354,63
1998	177	379,37	353,86	356,04	354,63
2002	212,8	248,38	284,13	281,26	289,67
2011	328,6	371,47	349,66	351,02	351,40
2012	236	316,37	320,32	317,87	326,78
2010	266,4	316,37	320,32	317,87	326,78

## Chapitre IV

Cela nous a permis d'observer le pouvoir estimatif des produits CHIRPS collecter pour cette étude par rapport aux données observées au sol.

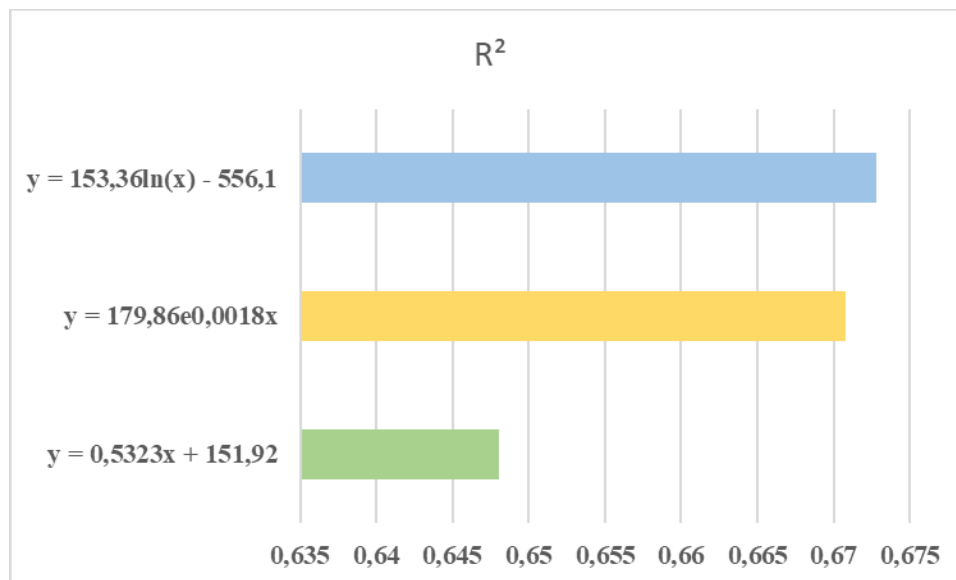
Les résultats de la modélisation ( $R^2$ , RMSE) obtenus par la régression ordinaire sont représentés dans le tableau suivant (voir tableau IX).

**Tableau IX:** Résultats de la modélisation

	$y = 0,53x + 151,92$	$y = 179,86e0,0018x$	$y = 153,36\ln(x) - 556,1$
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,64</b>	<b>0,67</b>	<b>0,672</b>
<b>RMSE</b>	<b>78,89</b>	<b>79,05</b>	<b>79,65</b>

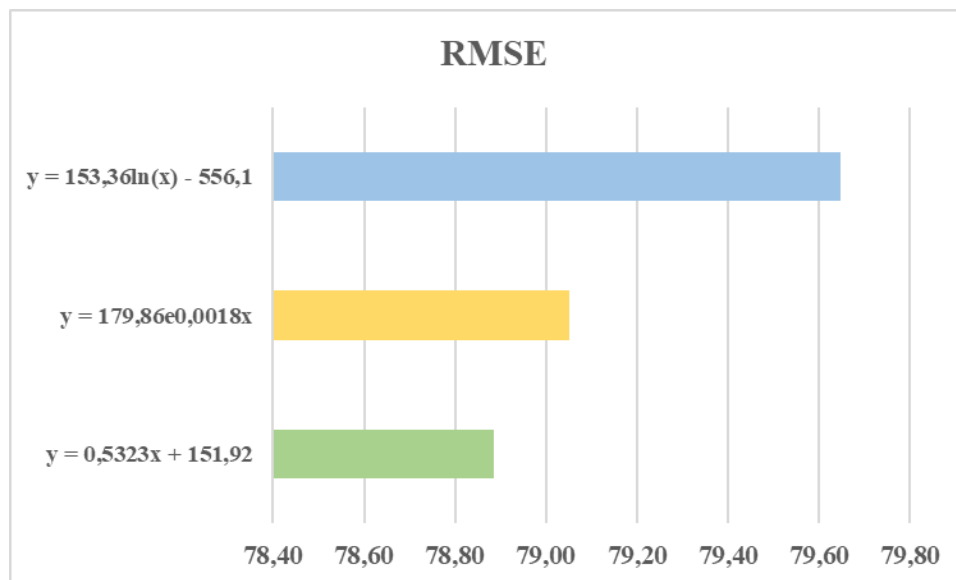
L'histogramme ci-dessous représente les différents coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenus suite à la modélisation.

L'histogramme ci-dessous représente les différents coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenus suite à la modélisation.



**Figure 23 :** Barres représentatives des coefficients de détermination des différentes fonctions utilisées

L'histogramme ci-dessous représente les différents coefficients de détermination ( $R^2$ ) obtenus suite à la modélisation.



**Figure 24 :** Barres représentatifs des écarts quadratiques moyens des différentes fonctions utiliser

Comme le montre les données obtenus si dessus (tableau IX, figure 23, figure 24), les résultats de toutes les fonctions sont très rapprochés, pour le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de la fonction linéaire on note 0,64, alors que pour la fonction exponentielle on note 0,67 et pour la fonction logarithmique nous avons noté 0,672 (on voit que le  $R^2$  des deux fonctions exponentiel et logarithmique sont beaucoup plus rapprochées qu'avec la fonction linéaire)

Et par rapport aux valeurs des erreurs quadratiques (RMSE) c'est plus tôt similaire avec le  $R^2$ , les résultats sont très rapprochés dans les 03 fonctions. Pour la fonction linéaire on a obtenu 78,89, alors que pour la fonction exponentielle on note 79,05, et pour la dernière fonction utilisée dans cette étude la fonction logarithmique on a obtenu un RMSE égal à 79,65.

Le meilleur modèle estimatif de la précipitation est issu du modèle estimatif :  $P_e = 0,53 \text{ CHIRPS} + 151,92$ . Les RMSE les plus importantes étaient au niveau de la régression ordinaire avec 78,89 mm ( $R^2$  égale à 0,64).

#### 4.Problèmes rencontrés lors de ce travail

Nous invitons les chercheurs à se baser de plus en plus sur l'utilisation des données de télédétection en Algérie ; car au cours de cette étude on a eu quelques difficultés sur tout pour l'obtention des données réelles et cela du au taux de couverture moyen en station météorologique, selon l'ONM il n'y a que 80 stations sur tout le territoire national et c'est faible pour un pays aussi vaste que l'Algérie.

## **5.Recommandations**

Ce travail peut être amélioré et enrichi suivant certaines propositions que nous recommandons ci-après :

- Tester d'autres méthodes de modélisations,
- Tester la validation pour les données mensuelles,
- Création de modèles spécifiques pour chaque étage bioclimatique,
- Augmenter le nombre de stations d'observations,
- Avec quelques considérations et traitements des utilisations des données de télédétection (CHIRPS, CHIRPS v2.0, ECMWF, etc.) vont faciliter maintes recherches.
- Citons comme par exemple ces études :
  - Carlos Lopez-Bermeo , Rubèn D. Montoya , Francisco J. Caro-Lopera , José A. Díaz-García ,(2022), Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America, Physics and Chemistry of the Earth, volume 127 ,p21.
  - Mokhtari.S, Sharafati.A & Raziéi.T, (2022), Validation of CHIRPS satellite-based precipitation data against the in situ observations using the Copula method: a case study of Kosar Dam basin, Iran, Acta Geophys (70), 465–484 (2022).  
<https://doi.org/10.1007/s11600-02100682-7>

CONCLUSION

générale

## *Conclusion générale*

Cette étude a été conçue dans le but d'évaluer les performances des estimations de précipitations par satellite CHIRPS par rapport à 40 années d'observations pluviométriques pour la période 1981-2020 dans la région de Djelfa. Ensuite, les performances de CHIRPS ont été comparées aux produits pluviométriques enregistrés par la station météorologique de Djelfa.

Au cours de l'analyse, les produits pluviométriques de la station ont également été validés. L'estimation des précipitations CHIRPS a été utilisée dans cette étude principalement afin d'être évaluée par rapport au produit réel.

Une comparaison point à grille a été effectuée à une échelle de temps annuelle et temporelle à l'aide d'outils de validation statistiques catégoriels, volumétriques et continus. Les données annuelles ont ensuite été utilisées pour la validation des RMSE à différentes années.

De la validation globale à l'échelle temporelle annuelle, CHIRPS a montré une compétence élevée. En effet, CHIRPS a obtenu des valeurs très comparables avec le produit réel.

En résumé, les performances de CHIRPS dans la région de Djelfa en Algérie sont très encourageantes. Plus précisément, les performances fiables de CHIRPS à différentes altitudes et pendant les mois humides pourraient rendre le produit plus approprié pour diverses fonctions d'analyse hydrologique et pluviométrique dans des zones topographiques complexes, telles que la zone de cette étude.

Les performances de CHIRPS sont très comparables au produit réel et obtiennent des valeurs proches des données observées dans de nombreux indicateurs de validation, en particulier pour les rapports de RMSE.

Cette étude de validation a également fourni des preuves confirmatives que le produit CHIRPS peut résoudre le problème du manque de données réelles dans des zones topographiques complexes, et l'amélioration de cet égard est très encourageant.

Les travaux futurs impliqueront la validation du produit à différentes catégories de précipitations, à l'échelle spatiale et temporelle ainsi que pendant les périodes de sécheresse et de pluie pour une compréhension complète de son potentiel.



# Reference bibliographies

## *Reference bibliographique*

1. Agence Nationale de Développement de l'Investissement (A.N.D.I).
2. Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière (ANIREF).
3. Anonyme., 2012. Notions Fondamentales de Télédétection. Centre Canadian de Télédétection 05(5):1–266.
4. Baldassarre, Giuliano Di. 2012. Floods in a Changing Climate. Edited by Cambridge University. Cambridge.
5. Barsi, J.A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B.L., Pedelty, J.A., 2014. The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. *Remote Sens.* 6, 10232–10251. <https://doi.org/10.3390/rs61010232>.
6. Bemrah Hanane, 2013, Des stratégies de la gestion durable de l'eau potable, mémoire de master en hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
7. BENNIS. S, 2007. Hydraulique et hydrologie ,2emeedition.
8. BERNE. A, 2002 : Précipitations méditerranéennes intenses en milieu urbain : interprétation physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatiale sur la réponse de bassins versants. Université Joseph Fourier.
9. BOUBAKEUR G, SAHNOUNE M., CHAKALI G., AZOUZI B., (2014), Le réchauffement climatique, une réalité vécue à Djelfa, *Revue des BioRessources*, Vol N° 4, 10p.
10. Bouchedja Abdallah, 2012, la politique nationale de l'eau en Algérie, Agence Nationale de Bassin Hydraulique, Ministère de Ressource en Eau, 11p.
11. Bousquet O., P. Tabary, J. Parent du Chatelet, 2008: Operational Multiple-Doppler Wind Retrieval Inferred from Long-Range Radial Velocity Measurements. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47, 2929-2945.
12. BOUZIANI M. (2000). L'eau, de la pénurie à la maladie. Ed. Ibn Khaldoun. Algérie. 195p.
13. Caloz, R., 1994. Télédétection satellitaire. Cours photocopiés EPFL, Lausanne, EPFL, 131 p.
14. Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sens. Environ.* 113, 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.
15. Charlotte P, 2003, La gestion de l'eau potable sur le Haut Plateau, mémoire de licence, Université de Lausanne, Ecole De polytechnique de Lausanne.
16. Chavez, P.S., Sides, S.C., Anderson, J.A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 57, 295–303. <https://doi.org/10.1306/44b4c288-170a-11d7-8645000102c1865d>.

## Reference bibliographique

17. Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., Lu, M., Zhang, W., Tong, X., Mills, J., 2014. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>.
18. Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., Yin, Z.-Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sens. Environ.* 104, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>.
19. Chibane B., Boutaleb A. et Lacroix M., 2010. Etude hydro chimique et approche isotopique en région semi-aride cas du synclinal de Djelfa (Algérie). *Ed European journal of scientific research.* Pp: 270-290.
20. Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, R., & Magaña Rueda, V. (2007) Regional climate projections. *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, Cambridge, Chapter 11, 847-940.*
21. Claverie, M., Ju, J., Masek, J.G., Dungan, J.L., Vermote, E.F., Roger, J.C., Skakun, S.V., Justice, C., 2018. The harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sens. Environ.* 219, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002>.
22. Cohen, W.B., Yang, Z., Stehman, S.V., Schroeder, T.A., Bell, D.M., Masek, J.G., Huang, C., Meigs, G.W., 2016. Forest disturbance across the conterminous United States from 1985-2012: the emerging dominance of forest decline. *For. Ecol. Manag.* 360, 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042>.
23. COMITAS, 1988. — « Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale », *Bulletin de la Société française de photogrammétrie et télédétection*, no 112, p. 1-63.
24. Cook, M., Schott, J., Mandel, J., Raqueno, N., 2014. Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a land surface temperature (LST) product from the archive. *Remote Sens.* 6, 11244–11266. <https://doi.org/10.3390/rs61111244>.
25. Cracknell, A.P., 2001. The exciting and totally unanticipated success of the AVHRR in applications for which it was never intended. *Adv. Sp. Res.* 28, 233–240. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(01\)00349-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(01)00349-0).
26. D.P.A.T., 2012. Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPTA). pp 6-22.
27. D.P.S.B. (2017). Monographie de la wilaya de Djelfa (Rapport final), 62 p.
28. Dabas A., M. L. Denneulin, P. Flamant, C. Loth, A. Garnier, and A. Dolfi-Bouteyre, 2008: Correcting winds measured with a Rayleigh Doppler LIDAR from pressure and temperature effects. *Tellus*, 60A, 206 – 215.
29. DAIF Manel., 2017, Etude des quelques variables climatiques du sous bassin de Sebaou (Tizi-Ouzou), DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE OPTION : ALIMENTATIO EN EAU POTABLE

## Reference bibliographique

30. Déficit de connaissances de la biodiversité et biologie de la conservation : le cas de l'herpétofaune d'Algérie - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Distribution-des-stations-meteorologiques-en-Algerie-A-part-troite-bande-littorale\\_fig17\\_325794835](https://www.researchgate.net/figure/Distribution-des-stations-meteorologiques-en-Algerie-A-part-troite-bande-littorale_fig17_325794835) [accessed 10 Aug, 2022]
31. Diaf H. et Sadoun O., 2011. Estimation de la biomasse racinaire et la biodisponibilité des éléments nutritifs dans la rhizosphère du grenadier (*Punica granatum* L) cas des vergers de Messaad Wilaya de Djelfa. Mémoire de fin d'études. En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en science Agronomique. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 68p
32. DPTA., (2003) : Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPTA). pp.6-22.
33. Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P., 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sens. Environ.* 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
34. DUCHARNE, Agnès ; LAVAL, Katia. 4. Le cycle de l'eau In : L'eau à découvert [en ligne]. Paris : CNRS Éditions, 2015 (généré le 06 août 2022). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/editionscnrs/9764>. ISBN:9782271119117.DOI: <https://doi.org/10.4000/books.editionscnrs.9764>.
35. Dwyer, J.L., Roy, D.P., Sauer, B., Jenkerson, C.B., Zhang, H.K., Lyburner, L., 2018. Analysis ready data: enabling analysis of the Landsat archive. *Remote Sens.* 10, 1363. <https://doi.org/10.3390/rs10091363>.
36. Foudil Zahra; « Réalisation d'un prototype d'une station météorologique dédiée aux applications des énergies renouvelables », Mémoire de Master, Université de Béchar, 2020.
37. Franz, B.A., Bailey, S.W., Kuring, N., Werdell, P.J., 2015. Ocean color measurements with the Operational Land Imager on Landsat-8: implementation and evaluation in SeaDAS. *J. Appl. Remote Sens.* 9, 096070 <https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.096070>.
38. Friedl, M.A., McIver, D.K., Hodges, J.C.F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C., 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sens. Environ.* 83, 287–302. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00078-0).
39. Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., Hall, F., 2006. On the blending of the landsat and MODIS, surface reflectance: Predicting daily landsat surface reflectance. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 44, 2207–2218. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872081>.
40. Gerace, A., Kleynhans, T., Eon, R., Montanaro, M., 2020. Towards an operational, split window-derived surface temperature product for the thermal infrared sensors onboard Landsat 8 and 9. *Remote Sens.* 12, 224. <https://doi.org/10.3390/rs12020224>.
41. Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.* 2, 045023 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045023>.

## Reference bibliographique

42. Gibbs, H.K., Ruesch, A.S., Achard, F., Clayton, M.K., Holmgren, P., Ramankutty, N., Foley, J.A., 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 16732–16737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>.
43. Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., Duke, N., 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20, 154–159.
44. Giuliani, G., Chatenoux, B., De Bono, A., Rodila, D., Richard, J.-P., Allenbach, K., Dao, H., Peduzzi, P., 2017. Building an Earth Observations Data Cube: lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD). *Big Earth Data* 1, 100–117. <https://doi.org/10.1080/20964471.2017.1398903>.
45. Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Yongchao, Zhao, Yuanyuan, Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., Zhang, Han, Zhu, P., Zhao, Z., Zhang, Haiying, Zheng, Y., Ji, L., Zhang, Y., Chen, H., Yan, A., Guo, J., Yu, Liang, Wang, L., Liu, X., Shi, T., Zhu, M., Chen, Y., Yang, G., Tang, P., Xu, B., Giri, C., Clinton, N., Zhu, Z., Chen, Jin, Chen, Jun, 2013. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *Int. J. Remote Sens.* 34, 2607–2654. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>.
46. Gordon, H.R., Clark, D.K., 1981. Clear water radiances for atmospheric correction of coastal zone color scanner imagery. *Appl. Opt.* 20, 4175. <https://doi.org/10.1364/AO.20.004175>.
47. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
48. Goward, S., Williams, D., 1997. Landsat and earth systems science: development of terrestrial monitoring. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 63, 887–900.
49. Goward, S., Williams, D., 1997. Landsat and earth systems science: development of terrestrial monitoring. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 63, 887–900.
50. Goward, S.N., 1989. Satellite bioclimatology. *J. Clim.* 2, 710–720. [https://doi.org/10.1175/15200442\(1989\)002<0710: sb>2.0.co; 2](https://doi.org/10.1175/15200442(1989)002<0710: sb>2.0.co; 2).
51. Goward, S.N., 1989. Satellite bioclimatology. *J. Clim.* 2, 710–720. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0710: sb>2.0.co; 2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0710: sb>2.0.co; 2).
52. Goward, S.N., Masek, J.G., Loveland, T.R., Dwyer, J.L., Williams, D.L., Arvidson, T., Corp, L.M., Rocchio, L.E.P., Irons, J.R., 2021. Semi-centennial of Landsat observations & pending Landsat 9 launch. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 87, 1–7. <https://doi.org/10.14358/PERS.87.8.1>.
53. Goward, S.N., Masek, J.G., Loveland, T.R., Dwyer, J.L., Williams, D.L., Arvidson, T., Corp, L.M., Rocchio, L.E.P., Irons, J.R., 2021. Semi-centennial of Landsat observations & pending Landsat 9 launch. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 87, 1–7. <https://doi.org/10.14358/PERS.87.8.1>.
54. Goward, S.N., Williams, D.L., Arvidson, T., Rocchio, L.E.P., Irons, J.R., Russell, C.A., Johnston, S.S., 2017. *Landsat’s Enduring Legacy: Pioneering Global Land Observations from Space*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD. ISBN-10: 1570831017. 586p.

## Reference bibliographique

55. Goward, S.N., Williams, D.L., Arvidson, T., Rocchio, L.E.P., Irons, J.R., Russell, C.A., Johnston, S.S., 2017. Landsat's Enduring Legacy: Pioneering Global Land Observations from Space. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD. ISBN-10: 1570831017. 586p.
56. Gross, G., Helder, D., Begeman, C., Leigh, L., Kaewmanee, M., Shah, R., 2022. Initial cross-calibration of Landsat 8 and Landsat 9 using the simultaneous underfly event. *Remote Sens.* 14, 2418. <https://doi.org/10.3390/rs14102418>.
57. Guertin, F.E.; Butlin, T.J.; Jones, R.G. (1979). *LA CORRECTION GEOMETRIQUE DES IMAGES LANDSAT AU CENTRE CANADIEN DE TELEDETECTION*. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 5(2), 118–127.
58. Guezel, Y. & Miloudi, T. (2018). Nouveau modèle numérique d'estimation du taux d'évaporation du barrage réservoir –Brizina-El-Bayadh. Mémoire Master. Université Echahide Hamma Lakhdar, d'El-Oued, Algérie.
59. H.WU, M.J.HAYES, D.A. WILHITE et M.D.SVOBODA, 2005.the effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. Edition drought mitigation center faculty publications.
60. Hilab Mouaiz ; « Réalisation d'une station météorologique à base d'Arduino UNO », Mémoire de master, université de Biskra, 2018.
61. History of Home Weather Stations: <https://www.acurite.com/learn/history-ofhomeweather-stations>. Mise à jour Mai 2021.
62. Holden, C.E., Woodcock, C.E., 2016. An analysis of Landsat 7 and Landsat 8 underflight data and the implications for time series investigations. *Remote Sens. Environ.* 185, 16–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.052>.
63. Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B., Coan, M., 2004. Development of a 2001 national land-cover database for the United States. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 70, 829–840. <https://doi.org/10.14358/PERS.70.7.829>.
64. HOUSSINE. C, Segmentation d'images par une approche biomimétique hybride, Université M'hamed bougara- Boumerdes. Thèse de Magister, 2012, pp 5-6.
65. <https://books.openedition.org/editions-cnrs/docannexe/image/9764/img-1.jpg>  
<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>.
66. Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., Van Leeuwen, W., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* 59, 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5).
67. Hufbauer, K., 1991. The Landsat case. *Science* (80-) 254, 314. <https://doi.org/10.1126/science.254.5029.314>.
68. Hulley, G.C., Hook, S.J., Abbott, E., Malakar, N., Islam, T., Abrams, M., 2015. The ASTER Global Emissivity Dataset (ASTER GED): mapping Earth's emissivity at 100 meter spatial scale. *Geophys. Res. Lett.* 42, 7966–7976. <https://doi.org/10.1002/2015GL065564>.
69. IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis Summary for Policymakers (No. Bajados de Internet/2013). IPCC.



## Reference bibliographique

70. Jones, C., Giorgi, F. & Asrar, G. (2011) The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX—an international downscaling link to CMIP5. *Clivar Exch.*56, 34–40.
71. Ju, J., Masek, J.G., 2016. The vegetation greenness trend in Canada and US Alaska from 1984-2012 Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 176, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.001>.
72. Justice, C., Townshend, J.R., Vermote, E., Masuoka, E., Wolfe, R., Saleous, N., Roy, D., Morisette, J., 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sens. Environ.* 83, 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6).
73. Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R.G., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R.B., Knyazikhin, Y., Running, S.W., Nemani, R.R., Wan, Z., Huete, A.R., Van Leeuwen, W., Wolfe, R.E., Giglio, L., Muller, J.P., Lewis, P., Barnsley, M.J., 1998. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 36, 1228–1249. <https://doi.org/10.1109/36.701075>.
74. Kamal Djilouah, 2018, Accès à l'eau et à l'assainissement en Algérie, Direction de l'alimentation en eau potable, Ministre des ressources en eau, Algérie, 3 p.
75. Kennedy, R.E., Yang, Z., Cohen, W.B., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sens. Environ.* 114, 2897–2910. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>.
76. Kettab A., R. Metiche, N. Bennacar, 2008 « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies », revue Science de l'Eau N° 21 pp 247-256.
77. KETTAB Ahmed - 2017- Les ressources en eau dans le monde : Réalités, enjeux, conflits ; stratégies ; politiques et perspectives. 1ères Journées Internationales de Chimie - JIC2017 ; 6-8 Décembre 2017 université de Nouakchott, Mauritanie
78. Kherbache Nabil, 2014, La problématique de l'eau en Algérie Enjeux et contraintes, mémoire de magistère en sciences économique, université Abderrahmane Mira, Béjia.
79. LACOMBE.J-P, Sheeren.D, La télédétection principes et applications, Département Agronomie & Environnement. Cours, pp 10.
80. Laraby, K.G., Schott, J.R., 2018. Uncertainty estimation method and Landsat 7 global validation for the Landsat surface temperature product. *Remote Sens. Environ.* 216, 472–481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.026>.
81. Li, J., Chen, B., 2020. Global revisit interval analysis of Landsat-8 -9 and Sentinel-2A -2B data for terrestrial monitoring. *Sensors* 20, 6631. <https://doi.org/10.3390/s20226631>.
82. Li, J., Roy, D.P., 2017. A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. *Remote Sens.* 9, 902. <https://doi.org/10.3390/rs9090902>.
83. Liu, Z., He, C., Zhou, Y., Wu, J., 2014. How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion. *Landsc. Ecol.* 29, 763–771. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0034-y>.
84. M.C. XIMENES, L. DUHAUTOIS, C. FOUQUE, J. BROYER « Application de la télédétection à l'étude des zones humides : identification des prairies, des roselières, des peupleraies et des

## Reference bibliographique

- gravières», Document technique, Institut français de l'environnement, Office national de la chasse et de la faune sauvage, France, 2005.
85. Malakar, N.K., Hulley, G.C., Hook, S.J., Laraby, K., Cook, M., Schott, J.R., 2018. An operational land surface temperature product for Landsat thermal data: methodology and validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 56, 5717–5735. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.282>
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., Franch, B., 2015. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sens. Environ.* 185, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>. 4828.
86. Markham, B.L., Anderson, C., Choate, M., Crawford, C., Jenstrom, D., Masek, J., Pedelty, J., Sauer, B., Thome, K., 2021. Landsat 9: ready for launch. In: Butler, J.J., Xiong, X. (Jack), Gu, X. (Eds.), *Earth Observing Systems XXVI*. SPIE, p. 26. <https://doi.org/10.1117/12.2595885>.
87. Markham, B.L., Anderson, C., Choate, M., Crawford, C., Jenstrom, D., Masek, J., Pedelty, J., Sauer, B., Thome, K., 2021. Landsat 9: ready for launch. In: Butler, J.J., Xiong, X. (Jack), Gu, X. (Eds.), *Earth Observing Systems XXVI*. SPIE, p. 26. <https://doi.org/10.1117/12.2595885>.
88. Markham, B.L., Arvidson, T., Barsi, J.A., Choate, M., Kaita, E., Levy, R., Lubke, M., Masek, J.G., 2018. Landsat program. In: *Comprehensive Remote Sensing*. Elsevier, pp. 27–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10313-6>.
89. Markham, B.L., Arvidson, T., Barsi, J.A., Choate, M., Kaita, E., Levy, R., Lubke, M., Masek, J.G., 2018. Landsat program. In: *Comprehensive Remote Sensing*. Elsevier, pp. 27–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10313-6>.
90. Markham, B.L., Helder, D.L., 2012. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: a review. *Remote Sens. Environ.* 122, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.026>.
91. Markham, B.L., Helder, D.L., 2012. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: a review. *Remote Sens. Environ.* 122, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.026>.
92. Marshall, E., 1989. Landsat: Cliff-hanging, again. *Science (80-)* 246, 1–4. <https://doi.org/10.1126/science.246.4928.321-b>.
93. Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T.-K., 2006. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990–2000. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 3, 68–72. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.857030>.
94. Masek, J.G., Wulder, M.A., Markham, B., McCorkel, J., Crawford, C.J., Storey, J., Jenstrom, D.T., 2020. Landsat 9: empowering open science and applications through continuity. *Remote Sens. Environ.* 248, 111968 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111968>.
95. MAUREL A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. 2<sup>ème</sup> Ed Tec et Doc, Paris.286p.
96. McQuillan, A.K. (1979) - *Earth Observation Systems and Information Management*, Reportto Canadian Advisory Committee on Remote Sensing, Arnprior, Ontario, April 1979.
97. Merabet, H. (2018). Application des techniques de la géomatique pour la spatialisation des indicateurs environnementaux. Cas de l'indicateur Sensibilité à la désertification de la wilaya de Djelfa, Mémoire de Master en Ecologie Forestière et Désertification, Université Ziane Achour, Djelfa, 93 p.



## Reference bibliographique

98. Météo-Algérie ([www.meteo.dz](http://www.meteo.dz) )
99. Mohamed, M. M. & Talia, A. (2011) Runoff evolution in Macta basin (Northwest of Algeria). Arab. J. Geosci.6(1), 35–41. doi:10.1007/s12517-011-0318-3
100. MOLINIE. G, 2004. Mesure des précipitations.
101. Morgane M et Alixis G, 2013, Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Institut de prospective, économique du moderne méditerranées (IPEMED),7p.
102. MOUFFOK F. (2008). Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson, manuel des travaux pratiquent des eaux. Institut Pasteur d'Algérie 2008. 53p.
103. MUSY. A, 2005. Cours d'Hydrologie Générale, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).
104. Oulhaci, D. (2015). Ruissellement Inter- Annuel En Algérie Septentrionale (Relation entre, Ruissellement Pluie et Evaporation. Thèse Doctorat. Université Kasdi Merbah Ouargla. Algérie.
105. Pagney P., 1993 : *La climatologie*. Que sais-je ? n° 171, PUF
106. Pahlevan, N., Mangin, A., Balasubramanian, S.V., Smith, B., Alikas, K., Arai, K., Barbosa, C., B'elanger, S., Binding, C., Bresciani, M., Giardino, C., Gurlin, D., Fan, Y., Harmel, T., Hunter, P., Ishikaza, J., Kratzer, S., Lehmann, M.K., Ligi, M., Ma, R., Martin-Lauzer, F.R., Olmanson, L., Oppelt, N., Pan, Y., Peters, S., Reynaud, N., Sander de Carvalho, L.A., Simis, S., Spyrakos, E., Steinmetz, F., Stelzer, K., Sterckx, S., Tormos, T., Tyler, A., Vanhellemont, Q., Warren, M., 2021. ACIX-Aqua: a global assessment of atmospheric correction methods for Landsat-8 and Sentinel-2 over lakes, rivers, and coastal waters. Remote Sens. Environ. 258, 112366 <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112366>.
107. Pahlevan, N., Schott, J.R., Franz, B.A., Zibordi, G., Markham, B., Bailey, S., Schaaf, C.B., Ondrusek, M., Greb, S., Strait, C.M., 2017. Landsat 8 remote sensing reflectance (Rrs) products: evaluations, intercomparisons, and enhancements. Remote Sens. Environ.190, 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.030>.
108. Pekel, J.F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A.S., 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature 540, 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
109. Pouget M. (1980): Les relations sol végétation dans les steppes sud algérois, O.R.S.T.O.M.- Paris -569p.
110. Qiu, S., Zhu, Z., Shang, R., Crawford, C.J., 2021. Can Landsat 7 preserve its science capability with a drifting orbit? Sci. Remote Sens. 4, 100026 <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100026>.
111. Qiu, S., Zhu, Z., Shang, R., Crawford, C.J., 2021. Can Landsat 7 preserve its science capability with a drifting orbit? Sci. Remote Sens. 4, 100026 <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100026>.
112. RAMADE F., 1984 - Elément d'écologie : Ecologie fondamentale. Mc Graw-Hill,Parie ,p 665
113. RAOUG-SAFFIDINE Djamilia. Caractérisation et Qualité des ambiances urbaines : les ambiances environnementales BISKRA : Département d'architecture de l'université de Biskra 1ere année post-graduation, cours, 2007 /08, 03p.
114. RERBOUDJ Abdelmalek., 2020. Introduction à la Télédétection, Polycopiés de cours 3ème topographie, Université de Batna, 16p.

## Reference bibliographique

115. ROBIN, « Détection de changements et classification sous pixeliques en imageries satellitaire, application au suivi temporel des surfaces continentales », Thèse de doctorat, Université PARIS DESCARTES, France, 2007.
116. ROCHE. P.A, 1963, Hydrologie de surface, OFFICE DE LA RECHERCHE ET TECHNIQUE OUTRE-MER-(PARIS), GAUTHIER-VILLARS EDITEUR.
117. Roy, D.P., Ju, J., Mbow, C., Frost, P., Loveland, T., 2010. Accessing free Landsat data via the Internet: Africa's challenge. *Remote Sens. Lett.* 1, 111–117. <https://doi.org/10.1080/01431160903486693>.
118. Roy, D.P., Kovalsky, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., Egorov, A., 2016a. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sens. Environ.* 185, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>.
119. Roy, D.P., Li, J., Zhang, H.K., Yan, L., Huang, H., Li, Z., 2017. Examination of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens. Environ.* 199, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.019>.
120. Roy, D.P., Qin, Y., Kovalsky, V., Vermote, E.F., Ju, J., Egorov, A., Hansen, M.C., Kommareddy, I., Yan, L., 2014a. Conterminous United States demonstration and characterization of MODIS-based Landsat ETM+ atmospheric correction. *Remote Sens. Environ.* 140, 433–449. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.012>.
121. Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lyburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H., Zhu, Z., 2014b. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens. Environ.* 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>.
122. Roy, D.P., Zhang, H.K., Ju, J., Gomez-Dans, J.L., Lewis, P.E., Schaaf, C.B., Sun, Q., Li, J., Huang, H., Kovalsky, V., 2016b. A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens. Environ.* 176, 255–271. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.023>.
123. Salim, A. Apport de la télédétection dans l'évolution de la couverture végétale sur le versant Nord du Haut Atlas de Marrakech au cours de ces 30 dernières années, Mémoire de Stage de Fin d'Etudes, Faculté des sciences et techniques département de géologie licence « eau et environnement », Université CADI AYYAD Marrakech, 2018.
124. SELHI S. et SMAÏL T. (2004). Analyse physico-chimique des eaux de consommation de la ville de Bejaia. Mémoire d'ingénieur. Université Abderrahmane Mira Bejaia. Spécialité Génie des procédés. 93p.
125. Simonett, D.S. et al. (1978) - Geobase Information System Impacts on Space Image Formats, SBRSU Technical Report 3, University of California.

## Reference bibliographique

126. Skakun, S., Wevers, J., Brockmann, C., Doxani, G., Aleksandrov, M., Batić, M., Frantz, D., Gascon, F., Gomez-Chova, L., Hagolle, O., Lopez-Puigdollers, D., Louis, J., Lubej, M., Mateo-García, G., Osman, J., Peressutti, D., Pflug, B., Puc, J., Richter, R., Roger, J.- C., Scaramuzza, P., Vermote, E., Vesel, N., Zupanc, A., Zust, L., 2022. Cloud Mask Intercomparison eXercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2. *Remote Sens. Environ.* 274, 112990 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112990>.
127. Skole, D., Tucker, C., 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science (80-)* 260, 1905–1910. <https://doi.org/10.1126/science.260.5116.1905>.
128. Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., Macomber, S.A., 2001. Classification and change detection using Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.* 75, 230–244. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3).
129. Soudani, K., 2007. Introduction générale à la télédétection, Polycopiés de cours, Faculté des Sciences d'Orsay, Université Paris-Sud XI, 26p.
130. Storey, J., Choate, M., Lee, K., 2014. Landsat 8 Operational Land Imager On-Orbit Geometric Calibration and Performance. *Remote Sens.* 6, 11127–11152. <https://doi.org/10.3390/rs6111127>.
131. Storey, J.C., Rengarajan, R., Choate, M.J., 2019. Bundle adjustment using space-based triangulation method for improving the Landsat global ground reference. *Remote Sens.* 11, 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs11141640>.
- OECD, 2020. Cities in the World : A New Perspective on Urbanisation, 171p
132. TAIBI, S., 2011. Thèse de magister : Analyse du régime climatique au nord de l'Algérie.
133. TIR, El, Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt, université Aboubakr belkaïd Tlemcen. Thèse de Magister, 2015-2016, pp 35
134. Tulbure, M.G., Hostert, P., Kuemmerle, T., Broich, M., 2021. Regional matters: On the usefulness of regional land-cover datasets in times of global change. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 1–12 <https://doi.org/10.1002/rse2.248>.
135. Vincent Luyet « Stations météo », Rapport, Février 2010.
136. Vogelmann, J.E., Howard, S.M., Yang, L., Larson, C.R., Wylie, B.K., VanDriel, N., 2001. Completion of the 1990s national land cover data set for the conterminous United States from Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* (June), 650–662.
137. Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens. Environ.* 89, 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>.
138. Williams, J. W., Jackson, S. T. & Kutzbach, J. E. (2007) Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104(14), 5738–5742. doi:10.1073/pnas.0606292104
139. Woodcock, C.E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., Gao, F., Goward, S.N., Helder, D., Helmer, E., Nemani, R., Oreopoulos, L., Schott, J., Thenkabai, P.S.,

## Reference bibliographique

- Vermote, E.F., Vogelmann, J., Wulder, M.A., Wynne, R., 2008. Free access to Landsat imagery. *Science* (80-) 320, 1011. <https://doi.org/10.1126/science.320.5879.1011a>.
140. Woodcock, C.E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., Gao, F., Goward, S.N., Helder, D., Helmer, E., Nemani, R., Oreopoulos, L., Schott, J., Thenkabail, P.S., Vermote, E.F., Vogelmann, J., Wulder, M.A., Wynne, R., 2008. Free access to Landsat imagery. *Science* (80-) 320, 1011. <https://doi.org/10.1126/science.320.5879.1011a>.
141. Woodcock, C.E., Loveland, T.R., Herold, M., Bauer, M.E., 2020. Transitioning from change detection to monitoring with remote sensing: a paradigm shift. *Remote Sens. Environ.* 238, 111558 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111558>.
142. Wulder, M.A., Coops, N.C., 2014. Satellites: Make Earth observations open access. *Nature* 513, 30–31. <https://doi.org/10.1038/513030a>.
143. Wulder, M.A., Coops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., Hermosilla, T., 2018. Land cover 2.0. *Int. J. Remote Sens.* 39, 4254–4284. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1452075>.
144. Wulder, M.A., Hilker, T., White, J.C., Coops, N.C., Masek, J.G., Pflugmacher, D., Crevier, Y., 2015. Virtual constellations for global terrestrial monitoring. *Remote Sens. Environ.* 170, 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.001>.
145. Wulder, M.A., Loveland, T.R., Roy, D.P., Crawford, C.J., Masek, J.G., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Belward, A.S., Cohen, W.B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J.D., Hostert, P., Hughes, M.J., Huntington, J., Johnson, D.M., Kennedy, R., Kilic, A., Li, Z., Lymburner, L., McCorkel, J., Pahlevan, N., Scambos, T.A., Schaaf, C., Schott, J.R., Sheng, Y., Storey, J., Vermote, E., Vogelmann, J., White, J.C., Wynne, R.H., Zhu, Z., 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sens. Environ.* 225, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>.
146. Wulder, M.A., Masek, J.G., Cohen, W.B., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sens. Environ.* 122, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>.
147. Wulder, M.A., White, J.C., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Belward, A.S., Cohen, W.B., Fosnight, E.A., Shaw, J., Masek, J.G., Roy, D.P., 2016. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sens. Environ.* 185, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.032>.
148. Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
149. Yan, L., Roy, D.P., 2016. Conterminous United States crop field size quantification from multi-temporal Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 172, 67–86. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.10.034>.
150. Yan, L., Roy, D.P., 2021. Improving Landsat Multispectral Scanner (MSS) geolocation by least-squares-adjustment based time-series co-registration. *Remote Sens. Environ.* 252, 112181 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112181>.

## Reference bibliographique

151. Yuan, F., Bauer, M.E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 106, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>.
152. Zhang, H.K., Roy, D.P., 2016. Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change. *Remote Sens. Environ.* 186, 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.022>.
153. Zhu, Z., 2017. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 130, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>.
154. Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C.E., 2015. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sens. Environ.* 159, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.014>.
155. Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C.E., 2015. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sens. Environ.* 159, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.014>.
156. Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2012. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 118, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>.
157. Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2012. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 118, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>.
158. Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 144, 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>.
159. Zhu, Z., Wulder, M.A., Roy, D.P., Woodcock, C.E., Hansen, M.C., Radeloff, V.C., Healey, S.P., Schaaf, C., Hostert, P., Strobl, P., Pekel, J.-F., Lymburner, L., Pahlevan, N., Scambos, T.A., 2019a. Benefits of the free and open Landsat data policy. *Remote Sens. Environ.* 224, 382–385. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>.
160. Zhu, Z., Wulder, M.A., Roy, D.P., Woodcock, C.E., Hansen, M.C., Radeloff, V.C., Healey, S.P., Schaaf, C., Hostert, P., Strobl, P., Pekel, J.-F., Lymburner, L., Pahlevan, N., Scambos, T.A., 2019a. Benefits of the free and open Landsat data policy. *Remote Sens. Environ.* 224, 382–385. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>.
161. Zhu, Z., Zhou, Y., Seto, K.C., Stokes, E.C., Deng, C., Pickett, S.T.A., Taubenbock, H., 2019b. Understanding an urbanizing planet: Strategic directions for remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 228, 164–182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020>.
162. Zhu, Z., Zhou, Y., Seto, K.C., Stokes, E.C., Deng, C., Pickett, S.T.A., Taubenbock, H., 2019b. Understanding an urbanizing planet: Strategic directions for remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 228, 164–182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.020>

**Annexes**

## **Annexe 1 : Gestion de l'eau en Algérie.**

### **1. Histoire de gestion de l'eau en Algérie**

L'Algérie a traversé par plusieurs étapes dans le secteur de l'eau depuis l'indépendance. Jusqu'à maintenant, ils caractérisent par l'organisation des instruments et les acteurs ou la création de nouveaux organismes et institutions concernant la gestion des eaux pour améliorer et développer ce secteur. Ces étapes peuvent être résumées comme suit :

#### **1.1. Période 1962-1970:**

Après l'indépendance, en 1963, les activités hydrauliques furent réparties entre le ministère de l'agriculture pour l'hydraulique agricole et le ministère des travaux publics pour les infrastructures de mobilisation (barrages et forage) et d'alimentation en eau potable (AEP) et assainissement. C'est ainsi que le ministère des travaux publics hérita en 1963 des deux services suivants :

- ✓ Le service des études agricoles des grands travaux hydrauliques chargé d'aménagement des grands barrages et adduction d'eau potable,
- ✓ Le service des études scientifiques, chargé de l'évaluation des eaux superficielles et souterraines.

Cette période a été caractérisée par l'absence, malheureusement presque totale, de l'état dans le domaine législatif et organisationnel de l'activité hydraulique. En outre, la multitude d'intervenants d'opérateurs publics et privés, a connu une dégradation des infrastructures existantes et des difficultés importantes dues à la non maîtrise technique. L'absence de bien, cette mission de service public.

#### **1.2. Période 1970-1990:**

Dans le domaine strict de la gestion, au mois de septembre 1970, les quinze premiers directeurs de l'hydraulique de l'Algérie indépendante, étaient installés au niveau des quinze wilayas existantes. L'état avait procédé aussi à la création de la société nationale de distribution d'eau potable et industrielle (SONADE) pour assurer l'alimentation en eau potable de l'ensemble du territoire national avec une position de monopole. Cette entreprise à une existence passagère et sa disparition dénote une forme de précipitation dans des décisions qui ont marqué la prise en charge de l'eau. En 1983, le secteur hydraulique a connu une réorganisation avec la création du secrétariat d'état à l'hydraulique et la création de 13 entreprises régionales (Bemrah Hanane, 2013).

Le mode de gestion est devenu plus ou moins souple, et les collectivités locales ont procédé au transfert volontaire des infrastructures hydrauliques relevant de leur territoire. C'est au terme de cette période que les premiers textes législatifs régissant l'activité liée à l'eau, ont vu le jour à travers la loi n°82-17 du 1983 portant Code des Eaux.

En 1987, le service de production et de distribution de l'eau était pris en charge par 35 établissements de l'eau, dont 9 régionaux et 26 de wilayas.

Les performances de ces établissements étaient très en deçà du niveau attendu pour un service public aussi important que celui de l'AEP et l'assainissement. Il en résulte des pertes énormes en eau, des prestations de mauvaise qualité et une perte de crédibilité dans ces établissements.

#### **1.3. Période 1990-2000:**

## *Annexe*

La période de sécheresse qu'a connue le pays, ainsi que le manque des ressources naturelles et la crise financière, ont fait que cette période soit la plus riche en débats et de réflexions pour arrêter une politique hydraulique à moyen et long terme.

Les assises nationales de l'eau du 28-30 janvier 1995 à Alger ont abouti aux cinq principes fondamentaux: d'unité de concertation, d'économie, d'écologie et d'universalité, autour du quel doit s'organiser la politique de l'eau.

Ces cinq principes ont été développés dans Le rapport sur la nouvelle politique de l'eau, édité par l'agence nationale de l'eau potable et de l'assainissement (AGEP) en février 1995.

L'arrêté interministériel portant approbation du cahier des charges type pour l'exploitation du service public d'alimentation en eau potable et assainissement a été approuvé et publié au journal officiel du 11 avril 1993. Cet arrêté a été modifié par un autre arrêté publié dans le J.O n°21-95 du 13 novembre 1995.

La volonté d'un changement et d'une ouverture de la gestion du service public de l'eau, à l'ensemble des opérateurs publics ou privés a été confirmée par la publication du décret exécutif n°97-252 du 08 juillet 1997, relatif à la concession des services publics d'alimentation en eau potable et assainissement. Cette période correspond aussi à la création du conseil national de l'eau par le décret exécutif n°96-472 du 18 décembre 1996, et la notification du Code des Eau par l'ordonnance n° 96-13 du 15 janvier 1996 des agences de bassins hydraulique (ABH) qui découlent tout la nouvelle politique de l'eau (Bemrah Hanane, 2013).

### **1.4. Période 2001-2009:**

Durant cette période, des réformes institutionnelles ont été introduites, aussi bien au niveau de l'administration centrale chargée de traduire la politique du gouvernement, qu'au niveau des organismes chargés de la mise en œuvre de cette politique. C'est ainsi que quatre grands organismes nationaux ont été créés:

- ✓ Algérienne des eaux (ADE)
- ✓ L'office national d'Assainissement (ONA)
- ✓ Agence national des barrages et des grands transferts (ANBT)
- ✓ L'office national d'Irrigation et de drainage (ONID).

Source: Ibid.

### **2.La nouvelle politique de gestion des eaux:**

Qui est considéré comme résultat aux des efflores appliqués vers gestion durable des eaux en Algérie, à savoir la " Gestion intégrée des ressources en eau".

Ce système de gestion intégrée, qui s'articule et s'appuie sur les agences régionales et nationales, a pour rôle de penser ensemble les différents aspects du secteur de l'eau (qualité et quantité, prélèvement et rejet, approvisionnement et protection) (Morgane et Alixis, 2013).

#### **2.1. Les objectifs de la nouvelle politique:**

- ✓ Priorisation des besoins domestique
- ✓ La protection des ressources en eau
- ✓ La mobilisation des ressources non conventionnelle
- ✓ L'évaluation et surveillance des ressources en eau (Kherbache, 2014)



## **2.2. Les principes de la nouvelle politique de l'eau**

- ✓ **Unité de la ressource:** Gestion unitaire à l'échelle du bassin hydrographique. Cette gestion sera assurée par les agences de bassin hydrographiques
- ✓ **Concertation:** Cette concertation se fait par le biais des comités de bassins hydrographiques.
- ✓ **Economie:** Cette économie se fera par la lutte contre les fuites et le gaspillage de l'eau avec des objectifs basés sur le comptage systématique et la réhabilitation des réseaux ainsi que par la sensibilisation des usagers à l'utilisation de cette ressource (Bouchedja, 2012).
- ✓ **Ecologie:** L'eau est une ressource rare et un bien collectif à protéger contre toute forme de pollution
- ✓ **L'universalité:** L'eau est l'affaire de tous les usagers (Kherbache, 2014).

## **3. Axes stratégique de l'eau:**

- ✓ Accroître et sécuriser la mobilisation de ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles
- ✓ Garantir l'accès à l'eau à travers l'extension des systèmes d'AEP et la modernisation de la gestion
- ✓ Assurer l'accès à l'assainissement à travers l'extension des réseaux et la multiplication des stations d'épuration des eaux usées
- ✓ Soutenir la stratégie de sécurité alimentaire avec l'extension des zones irriguées.  
(Kamal Djlouah, 2018).

## **Annexe 2: Les stations météorologiques en Algérie.**

### **1. L'histoire de l'observation météorologique**

Les outils météorologiques modernes n'ont pas commencé à se développer avant le 1400. Avant cela, l'observation météorologique était extrêmement rudimentaire, principalement basée sur l'apparence du ciel et la sensation de l'air. Une grande partie du développement de ces outils météorologiques n'était pas seulement nécessaire par l'agriculture, mais aussi en raison d'une augmentation des déplacements en mer. Parce que les tempêtes en mer peuvent être mortelles ainsi que les navires ont été propulsés par le vent. Donc, la capacité de prédire les conditions météorologiques était extrêmement importante (History of Home Weather Stations).

### **2. Stations météorologiques analogiques ou numériques**

Au début des années 1800 et 1900, les stations météorologiques locales contiennent généralement quelques outils analogiques spécialisés. Les jauges d'humidité mesurent les changements d'humidité dans l'air, tandis que les jauges de pluie et les baromètres aident à déterminer les mesures précédentes et futures.

Aujourd'hui, il existe des stations météorologiques numériques qui peuvent mieux mesurer et signaler les informations météorologiques. Certaines stations météorologiques peuvent même se connecter à des applications Android de téléphones intelligents ou aux services en ligne afin que les gens puissent accéder à leurs informations météorologiques de n'importe quel moment et n'importe quelle place.

Les observateurs météorologiques modernes peuvent utiliser ces informations pour gérer leurs jardins, surveiller leurs fermes. Les stations météorologiques numériques deviennent plus précises et plus faciles à utiliser (Hilab Mouaiz,2018).

### **3.Répartition de l'ONM :**

Au niveau central, l'ONM se compose de deux (02) directions administratives et quatre (04) directions techniques :

- ✓ Direction de l'Audit (DA),
- ✓ Direction des Ressources Humaines (DRH),
- ✓ Direction des Finances et de la Comptabilité (DFC),
- ✓ Direction de l'Exploitation Météorologiques (D.E.M)
- ✓ Direction Informatique et Technique (D.I.T)
- ✓ Direction de la Climatologie et Coordination Réseaux (D.C.C)
- ✓ Direction de la Maintenance et de la Logistique (D.M.L)

Au niveau régional, il opère avec trois (3) directions météorologiques régionales (Ouest, Est, et Sud) et trois (03) départements météorologiques régionaux (Alger, Tamanrasset et Bechar)

Les stations météorologiques forment un réseau professionnel pour assurer une veille météorologique nationale.

Les fonctions d'observations sont complétées par des fonctions de concentration, de contrôle et de diffusion permanente, assurées par les directions régionales.

Les structures techniques centrales sont chargées de coordonner toutes les activités météorologiques à l'échelle nationale et de fournir des prestations météorologiques dans les domaines de l'observation, la prévision, la climatologie et la maintenance instrumentale. L'ONM positionne sa prestation technique comme un outil de prévention, de sécurité, de planification et d'aide à la décision.

#### **4. Les domaines d'intervention de l'ONM :**

Ses domaines d'intervention sont les suivants :

- ✓ La prévision météorologique (aéronautique, marine, agro-météorologique, etc.),
- ✓ L'assistance à la navigation aérienne nationale et internationale conformément aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM - Règlement technique) et de l'Annexe 3 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI),
- ✓ L'assistance climatologique,
- ✓ L'observation en surface et en altitude et la maintenance et l'étalonnage des instruments et équipements spécifiques à la météorologie.

Son intervention dans le domaine de la sécurité des transports est essentielle car elle permet de prévenir et de gérer les risques météorologiques.

Conformément au décret du 25 Août 1998, l'ONM en tant qu'EPIC a pour missions :

- ✓ L'acquisition, le traitement, l'exploitation et la diffusion des données météorologiques aux niveaux national et international,
- ✓ L'installation, la gestion et la maintenance des différents réseaux nationaux d'observations météorologique et climatologique ainsi que le réseau des télécommunications météorologiques propre à l'Office,
- ✓ L'analyse et la prévision météorologique sur le territoire national ainsi que le lancement des avis d'alerte auprès du public et des utilisateurs,
- ✓ La conservation et l'exploitation des archives météorologiques et climatologiques,
- ✓ La réalisation d'études climatologiques et d'assistance météorologique,
- ✓ La surveillance des changements climatiques,
- ✓ La fourniture des prestations de services techniques, d'étalonnage des instruments et équipements météorologiques.

#### **5. Rôles assurés par l'ONM dans le cadre de cette mission**

##### **5. 1. Rôles en matière de sécurité publique**

L'ONM contribue à assurer la sécurité et la protection des personnes et des biens grâce à son système « Veille Météorologique Nationale Permanente ».

En prenant en charge la surveillance permanente du temps, l'Office diffuse, sur la base des données et des informations recueillies en temps réel, à travers le système de télécommunication météorologique mondial :

Un Bulletin de Prévision du Temps couvrant l'ensemble du territoire national,

## *Annexe*

Des bulletins de vigilance et de prévisions météorologiques.

### **5. 2. Rôles auprès des clients cibles**

Aujourd'hui, l'Office National de la Météorologie exerce ses activités au service de quatre catégories de clients :

- ✓ Les clients institutionnels en charge de la sécurité des personnes et des biens : les ministères de la Défense Nationale, de l'Intérieur et des Collectivités Locales, des Travaux Publics et des Transports, etc.
- ✓ Le secteur aéronautique pour lequel l'ONM est le prestataire exclusif de l'assistance météorologique pour la navigation dans l'espace aérien algérien,
- ✓ Les professionnels de divers secteurs économiques tels que le secteur de l'énergie, l'agriculture, les travaux publics, le BTP, les médias, etc.
- ✓ Le grand public.

L'ONM contribue également à la gestion des risques naturels (inondations, sécheresse, incendies de forêts, etc.).

L'Office offre également une assistance en matière d'informations de vol concernant l'espace aérien algérien :

- ✓ A toutes les compagnies aériennes utilisant les plates-formes des aéroports nationaux et des bases de certaines institutions,
- ✓ A l'Entreprise Nationale de la Navigation Aérienne,
- ✓ Aux Entreprises de Gestion de la Sécurité Aérienne,
- ✓ Au Commandement des Forces Aériennes,
- ✓ À l'Unité Aérienne de la DGSN basée à l'Aéroport H. Boumediene

Un bulletin de prévision marine est produit deux fois par jour pour le large et les côtes algériennes. Des prévisions spécifiques sont aussi réalisées pour sept ports algériens.

Par ailleurs, l'ONM assure l'élaboration et la diffusion d'un grand nombre de bulletins météorologiques d'assistance destinés aux institutions, organismes et aux entreprises économiques des secteurs public et privé.

Plus de 15 000 bulletins sont élaborés chaque année dans le cadre de conventions commerciales avec divers organismes comme :

- ✓ La Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF),
- ✓ NAFTAL,
- ✓ L'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (INSID),
- ✓ L'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH),
- ✓ La Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger (S.E.A.AL),
- ✓ La SONELGAZ,

## *Annexe*

- ✓ L'Entreprise des Travaux Maritimes (MEDITRAM),
- ✓ L'Institut National de Cartographie,
- ✓ L'Entreprise Nationale de Télévision (ENTV),
- ✓ L'Entreprise Nationale de Radiodiffusion Sonore (ENRS), etc.
- ✓ L'Office fournit, enfin, des études climatologiques à la demande, des attestations pour les assurances, etc.

## Résumé

Cette étude vise à valider l'exactitude de l'ensemble de données CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations), pour représenter la variabilité climatique sur diverses échelles de temps. L'étude est réalisée dans la région de Djelfa située au pied de l'Atlas saharien, et utilise des informations statistiquement indépendantes fournies par la station au sol de Djelfa de 1981 à 2020.

Dans cette étude, des mesures statistiques sont utilisées pour analyser la structure d'erreur des données CHIRPS. Les outils de suivi et d'évaluation des actions d'adaptation au changement climatique nécessitent la disponibilité de l'indicateur précipitation. En revanche la spatialisation de cette donnée à l'échelle régionale et/ou nationale n'est pas toujours évidente en raison de la faible densité des stations météorologiques. Dans le cadre de l'exploration et la validation des données de précipitation disponible sur les plateformes issues de la télédétection des précipitations, les données Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS) ont été combinées aux données de la précipitation moyenne annuelle enregistrées (depuis 1981 jusqu'à 2020 soit 41 ans) au niveau de la station météorologique de Djelfa en utilisant plusieurs méthodes à savoir la régression linéaire (régression ordinaire) et non linéaire (exponentielle, logarithmique). Les données ont été aléatoirement subdivisées en groupe d'apprentissage (70 %) et de validation (30 %).

Le meilleur modèle estimatif de la précipitation est issu du modèle estimatif :  $P_e = 0,53 \text{ CHIRPS} + 151,92$ . Les RMSE les plus importantes étaient au niveau de la régression ordinaire avec 78,89 mm ( $R^2$  égale à 0,64). Nous suggérons l'exploration d'autres méthodes statistiques pour améliorer les estimations des précipitations. La validation a montré que les données CHIRPS à l'échelle annuelle pouvaient être appliquées à la planification des ressources en eau, en particulier pour les évaluations de la sécheresse. Les résultats peuvent servir de référence utile à de nombreux gestionnaires de l'eau et décideurs politiques, car le pays ne peut actuellement compter que sur un réseau de surveillance météorologique clairsemé pour les données de précipitations observées qui sont de la plus haute importance dans la planification des ressources en eau.

Cette étude révèle que CHIRPS est une source de données sur les précipitations qui peut être considérée pour analyser la variabilité saisonnière et interannuelle et les modèles spatiaux de précipitations. Il offre une bonne couverture spatio-temporelle et est particulièrement adapté aux zones peu pluviométriques. L'étude a conclu que l'ensemble de données CHIRPS peut être un substitut utile aux données pluviométriques. CHIRPS peut prendre en charge des prévisions hydrologiques efficaces et des analyses de tendances dans cette région.

**Mot clés :** Validation CHIRPS, Précipitations, CHIRPS, Djelfa.

## Abstract

This study aims to validate the accuracy of the CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations) dataset, in representing climate variability on various time scales. The study is carried out in the Djelfa region located at the foot of the Saharan Atlas, and uses statistically independent information provided by the Djelfa ground station from 1981 to 2020. In this study, statistical measurements are used to analyze the error structure of CHIRPS data.

Tools for monitoring and evaluating climate change adaptation actions require the availability of the precipitation indicator. On the other hand, the spatialization of this data on a regional and/or national scale is not always obvious due to the low density of meteorological stations.

As part of the exploration and validation of precipitation data available on precipitation remote sensing platforms, Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS) were combined with recorded average annual precipitation data (since 1981 until 2020, i.e. 41 years) at the Djelfa meteorological station using several methods, namely linear regression (ordinary regression) and nonlinear (exponential, logarithmic). Data were randomly subdivided into training (70%) and validation (30%) groups. The best model estimate for precipitation is from the model estimate:  $P_e = 0.53 \text{ CHIRPS} + 151.92$ . The most important RMSEs were at the ordinary regression level with 78.89 mm ( $R^2$  equal to 0.64). We suggest exploring other statistical methods to improve precipitation estimates. The validation showed that annual-scale CHIRPS data could be applied to water resources planning, particularly for drought assessments. The results can serve as a useful reference for many water managers and policy makers, as the country can currently only rely on a sparse weather-monitoring network for observed rainfall data, which is of utmost importance in planning. Water resources.

This study reveals that CHIRPS is a source of precipitation data that can be considered to analyze seasonal and interannual variability and spatial patterns of precipitation. It offers good spatio-temporal coverage and is particularly suitable for low rainfall areas. The study concluded that the CHIRPS dataset could be a useful substitute for rainfall data. CHIRPS can support effective hydrological forecasting and trend analysis in this region.

**Keywords:** CHIRPS validation, precipitation, CHIRPS, Djelfa.