

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة الوطنية للعلوم والتقنية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Par : Negadi Amira Douaâ

Sujet

L'ANALYSE DES MODIFICATIONS TEMPORELLES DES PRÉCIPITATIONS ET LEURS TENDANCES À L'AIDE DES PLUVIOMÈTRES ET DE DONNÉES SATELLITAIRES

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr Megnounif Abdesselam

Mr Bouanani Abderrazak

Mr Ghenim Abderrahmane

Mr Benabdelkrim M. El Amin

Professeur

Professeur

Professeur

Doctorant

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examinateur

Encadreur

Co-Encadreur

Année universitaire : 2022 /2023

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude pour ma thèse de Master. Leurs encouragements, leur soutien et leur expertise ont été inestimables tout au long de ce parcours académique.

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans l'aide précieuse de certaines personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance.

Tout d'abord, mon remerciement s'adresse en premier lieu à mon encadreur **Mr GHENIM ABDERRAHMANE NEKKACHE**, pour sa guidance précieuse, ses conseils éclairés, sa disponibilité tout au long de cette recherche et ces conseils lors des consultations me permis d'élaborer ce travail.

Je tiens aussi à remercier **Mr BENABDELKRIM Mohamed EL Amine** qui n'a ménagé aucun effort pour me prodiguer conseils aide et soutien afin que je puisse arriver à la fin de ce travail avec beaucoup de satisfaction et d'en faire ce qu'il est aujourd'hui.

Je suis extrêmement reconnaissante envers **Mr. MEGNOUNIF Abdesselam** d'avoir eu le privilège de bénéficier de votre aimable acceptation en tant que président du jury de mon mémoire. Je tiens à exprimer ici toute ma gratitude et mon profond respect envers vous.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers **Mr. BOUANANI Abderrazak** d'avoir accepté d'examiner ce travail, Je suis honorée que vous ayez accepté d'évaluer mon travail. Je souhaite que vous témoigner toute ma considération et mon profond respect.

Mes sincères remerciements vont également à tous mes professeurs et enseignants qui m'ont prodigué leur guidance tout au long de ma formation en Master, ainsi qu'à ceux qui m'ont apporté leur soutien, que ce soit de manière directe ou indirecte.

Dédicace

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la capacité et la patience de terminer ce travail qui fait notre fierté, je dédie cette thèse :

A ma merveilleuse mère,

En cette occasion spéciale de mon projet de fin d'études, je tenais à te dédier ces mots empreints d'amour et de gratitude. Tout au long de mon parcours académique, tu as été ma plus grande source d'inspiration et de soutien. Ta présence bienveillante et tes encouragements inconditionnels m'ont permis d'atteindre ce moment important de ma vie.

A mon très cher père,

En cette occasion, je souhaite t'adresser cette dédicace empreinte de reconnaissance et d'affection. Tout au long de mon parcours, tu as été mon pilier, mon modèle et mon guide.

Je suis reconnaissante pour les valeurs que tu m'as transmises, pour ta patience et ta détermination à me voir réussir. Grâce à toi, j'ai acquis la confiance nécessaire pour réaliser ce projet et atteindre mes objectifs, Je suis fière d'être ta fille.

A mes chères sœurs, Lila, Nihel, Sara et leurs époux

A mon frère, Farouk

A ma belle-sœur Souhila

Cette dédicace est dédiée à vous, mes compagnons de vie, mes confidents et mes amis. A travers les hauts et les bas, nous avons partagé des moments précieux et construit des souvenirs inoubliables.

A mes neveux et nièces adorés,

Mes anges, les rayons de soleil qui illuminent ma vie. Votre présence joyeuse et vos sourires contagieux apportent tant de bonheur à ma vie.

A mes chers grands-parents qui n'ont jamais cessés de prier pour moi

A ma chère Amie « Mekkioui Fatima Zohra».

Toi qui as été à mes côtés dans les moments de joie et de peine, tu es une amie précieuse. Tu as su m'encourager, me motiver et me rappeler de croire en moi-même lorsque les doutes

surgissaient. Les moments partagés, les conversations profondes et les éclats de rire que nous avons eu ensemble ont été des souvenirs précieux qui ont rendu cette période encore plus mémorable, Que notre amitié perdure et continue à grandir, car tu es une personne spéciale à mes yeux.

A toute la promotion Hydraulique Urbain 2023

Chacun d'entre vous a apporté une couleur unique à cette expérience. Ensemble, nous avons partagé des moments de travail acharné, de collaboration, de rires et de joie. Votre amitié a rendu cette étape de ma vie plus agréable et m'a donné la force de persévérer.

Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait. Que notre amitié continue à grandir et à s'épanouir au-delà de ces années d'études. Vous avez une place spéciale dans mon cœur, et je suis honorée d'avoir pu partager cette expérience avec vous.

Je n'oublie pas non plus tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet. Vos encouragements, vos conseils et votre appui ont été précieux et ont rendu cette réalisation possible.

Amira Douaâ

Résumé

La mesure précise des précipitations revêt une importance cruciale dans de nombreux domaines liés à l'environnement. Cependant, il est souvent difficile d'estimer avec précision les précipitations à une échelle fine en raison des limitations du réseau d'observation au sol. Afin de remédier à cette problématique, les données satellitaires provenant de missions dédiées à la mesure des précipitations sont couramment utilisées pour estimer les précipitations sur de vastes étendues terrestres. La présente étude se concentre sur l'évaluation de la fiabilité des données satellitaires en le comparant aux données recueillies par des stations pluviométriques situées dans le Bassin Versant Mekerra en Algérie. Les données de précipitations provenant de 12 stations réparties à travers le bassin ont été utilisées sur une période allant de 1984 à 2011. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons soumis les séries pluviométriques à un ensemble de tests et de procédures scientifiques. Ces tests comprenaient le test de Man Kendall, le test de Man Kendall modifié, le calcul de l'indice de saisonnalité (SI), le calcul de l'indice de concentration des précipitations (PCI), le calcul de l'indice de concentration journalier (CI), ainsi que les calculs du PCD (Précipitation Concentration Degree) et du PCP (Précipitation Concentration Period). Pour mener à bien ces analyses, nous avons utilisé les logiciels ArcGIS et Rstudio. Les résultats obtenus indiquent que les performances du satellite varient selon les zones du bassin, avec un bon niveau de concordance observé dans les zones intérieures, une sous-estimation des précipitations lors des mois à forte pluviosité, et une surestimation des faibles quantités de précipitations. De manière générale, ces performances sont influencées par des facteurs climatiques, notamment les précipitations et l'humidité, ainsi que des facteurs topographiques, principalement liés à l'altitude.

Mots clés : Bassin Versant Mekerra, données au sol, performance, Données satellitaires, ArcGIS, Rstudio.

Abstract

The accurate measurement of precipitation is of crucial importance in various environmental-related fields. However, accurately estimating precipitation at a fine scale is often challenging due to limitations in the ground observation network. To address this issue, satellite data from dedicated precipitation measurement missions are commonly used to estimate precipitation over large land areas. This study focuses on evaluating the reliability of satellite data by comparing it to data collected from pluviometric stations located in the Mekerra Watershed in Algeria. Precipitation data from 12 stations distributed across the watershed were used over a period from 1984 to 2011. In order to achieve our objective, we subjected the precipitation series to a set of tests and scientific procedures. These tests included the Mann-Kendall test, the modified Mann-Kendall test, calculation of the Seasonality Index (SI), calculation of the Precipitation Concentration Index (PCI), calculation of the Daily Concentration Index (CI), as well as calculations of the Precipitation Concentration Degree (PCD) and the Precipitation Concentration Period (PCP). To carry out these analyses, we utilized ArcGIS and Rstudio software. The results obtained indicate that the satellite's performance varies across different zones of the watershed, with a good level of agreement observed in the interior zones, an underestimation of precipitation during high rainfall months, and an overestimation of low precipitation amounts. Overall, these performances are influenced by climatic factors, including precipitation and humidity, as well as topographical factors, primarily related to altitude.

Keywords: Mekerra Watershed, Performance characteristics, Rainfall stations, Spatial distribution maps.

ملخص

القياس الدقيق لهطول الأمطار له أهمية حاسمة في العديد من المجالات المتعلقة بالبيئة. ومع ذلك، غالبًا ما يكون من الصعب تقدير هطول الأمطار بدقة على نطاق دقيق بسبب قيود شبكة المراقبة الأرضية. من أجل معالجة هذه المشكلة، تُستخدم بيانات الأقمار الصناعية من البعثات المخصصة لقياس هطول الأمطار بشكل شائع لتقدير هطول الأمطار على مساحات كبيرة من الأرض. تركز هذه الدراسة على تقييم مصداقية بيانات الأقمار الصناعية من خلال مقارنتها بالبيانات التي تم جمعها من قبل محطات هطول الأمطار الواقعة في مستجمعات المياه في مكيرا في الجزائر. تم استخدام بيانات هطول الأمطار من 12 محطة منتشرة عبر الحوض على مدار فترة من 1984 إلى 2011. ولتحقيق هدفنا، أخضعنا سلسلة هطول الأمطار لمجموعة من الاختبارات والإجراءات العلمية. تضمنت هذه الاختبارات اختبار Man Kendall، واختبار Man Kendall المعدل، وحساب مؤشر الموسمية (SI)، وحساب مؤشر تركيز الترسيب (PCI)، وحساب مؤشر التركيز (CI)، وكذلك PCD (درجة تركيز الهطول) وحسابات PCP (فترة تركيز الهطول). لإجراء هذه التحليلات، استخدمنا برنامج ArcGIS و Rstudio. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن أداء القمر الصناعي يختلف باختلاف مناطق الحوض، مع مستوى جيد من الاتفاق لوحظ في المناطق الداخلية، وتقدير أقل لهطول الأمطار خلال أشهر مع هطول أمطار غزيرة، وإفراط في تقدير كميات قليلة من الأمطار. بشكل عام، تتأثر هذه العروض بالعوامل المناخية، لا سيما هطول الأمطار والرطوبة، فضلاً عن العوامل الطبوغرافية، المتعلقة بشكل أساسي بالارتفاع.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه Mekerra، بيانات الأرض، الأداء، بيانات الأقمار الصناعية، ArcGIS, Rstudio.

Sommaire

Introduction générale :	1
--------------------------------------	---

CHAPITRE 01 : Instruments de mesure des précipitations

I. Introduction.....	5
II. Instruments de mesure au sol	5
1. Les pluviomètres :.....	5
1.1 Les pluviomètres non enregistreurs :.....	5
1.2 Les pluviographes enregistreurs :.....	6
2. Limites de mesure de la précipitation au sol :.....	8
2.1 L'erreur instrumentale et environnementale :.....	9
III. Instruments de mesure par télédétection :	9
1. Radar météorologique:.....	9
2. Les satellites météorologiques:.....	10
IV. Conclusion:.....	12

CHAPITRE 02 : Présentation de la zone d'étude

I. Présentation du bassin versant de la Mekkera	13
II. Les Caractéristiques morpho-métriques.....	14
II.1 Surface et périmètre du bassin versant.....	15
II.2 Forme du bassin.....	15
II.3 Notion du rectangle équivalent.....	16
II.4 Altitudes caractéristiques du bassin.....	16
II.4.1 Les altitudes maximale et minimale.....	16
II.4.2 L'altitude moyenne.....	17
III. Etude du réseau hydrographique.....	17

III.1 Densité de drainage.....	18
III.2 Rapport de confluence.....	18
III.3 Rapport des longueurs.....	19
III.4 Fréquence des cours d'eau.....	19
III.5 Temps de concentration.....	20
IV. Conclusion :.....	20

CHAPITRE 03 : Données et méthodes d'étude

I. Introduction :	21
II. Données pluviométriques utilisées.....	21
II.1 Stations de mesure.....	21
II.2 Données satellitaires.....	22
II.2.1 Les outils statistiques.....	23
III. Tests de tendances.....	25
III.1 Test de Mann Kendall (MK).....	25
III.2 L'autocorrelation.....	26
III.3 Test de Mann Kendall modifié (MMK).....	26
III.4 Indice de saisonnalité (SI).....	27
III.5 Indice de concentration des précipitations (PCI):.....	28
III.6 Degré de concentration des précipitations (PCD) période de concentration des Précipitations (PCP):.....	30
IV. Conclusion.....	31

CHAPITRE 04 : Analyse spatiale et temporelle de précipitation

I. Introduction:.....	32
II. Analyse temporelle:.....	33

1.	Analyse pluviométrique à l'échelle annuelle:.....	33
2.	Analyse pluviométrique à l'échelle saisonnière:.....	35
3.	Analyse pluviométrique à l'échelle mensuelle :.....	37
III.	Tendance des précipitations par la méthode de Mann-Kendall:.....	39
1.	Echelle annuelle :.....	39
2.	Echelle saisonnier :.....	42
3.	Echelle mensuelle:.....	45
4.	l'indice de saisonnalité (SI) :.....	48
5.	l'indice de Concentration des précipitations (PCI):.....	49
6.	le degré de concentration des précipitations (PCD) et période de concentration des Précipitations (PCP):.....	50
IV.	Analyse spatiale :.....	51
V.	Comparaison de la répartition spatiale des précipitations_ :.....	51
1.	Echelle annuel :	51
2.	Echelle saisonnier :	52
3.	Echelle mensuelle :	57
VI.	CONCLUSION:.....	72

CHAPITRE 05 : discussion des résultats et conclusion générale

Discussion des résultats et conclusion générale :	73
--	-----------

Référence Bibliographique :	78
--	-----------

Liste des tableaux

N°	Tableau	Pages
1	Caractéristiques des stations pluviométriques.	22
2	Différents paramètres d'erreur statiques entre les données du pluviomètre et satellitaires pour les années de 1984-2011.	34
3	Les paramètres statistiques pour chaque saison pour la période 1984-2011.	36
4	Les paramètres statistiques pour chaque mois pour la période 1984-2011.	38
5	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle annuelle (station de jaugeage).	40
6	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle annuelle (station satellitaire).	41
7	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle saisonnier (station de jaugeage).	42
8	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle saisonnier (station satellitaires).	44
9	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle mensuelle (station de jaugeage).	46
10	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle mensuelle (station satellite).	47
11	Résultats de l'indice SI pour les deux sources de données (Stations et Satellite).	49

Liste des Figures

N°	Figures	Pages
1	Pluviomètre à lecture directe à grande capacité.	6
2	Pluviographe à augets basculeurs.	7
3	schéma des pluviographes enregistreurs par pesée et à auget basculant.	7
4	schéma pluviographe à flotteur	8
5	Radar météorologique.	10
6	Satellites à orbite polaire.	11
7	Satellites géostationnaires.	11
8	Situation géographique du bassin versant de la Mekerra et localisation des stations pluviométriques utilisées.	14
9	la variation annuelle des rapports des données (satellite/station).	33
10	la variation saisonnière des rapports des données (satellite/station).	35
11	la variation mensuelle des rapports des données (satellite/station).	37
12	Classes SI pour les 12 stations étudiées : a) Stations, b) satellitaires	49
13	Classes PCI pour les 12 stations étudiées : a) Stations, b) satellitaires	50
14	Représentation graphique PCD/PCP pour les précipitations (Station).	50
15	Représentation graphique PCD/PCP pour les précipitations (Satellite).	51
16	Cartes de distribution des précipitations annuelle de 1984-2011(données station et satellite).	52
17	Cartes de distribution des précipitations de la saison d'Automne de 1984-2011(données station et satellite).	53
18	Cartes de distribution de précipitation de la saison d'Hiver de 1984-2011(données station et satellite).	54
19	Cartes de distribution de précipitation de la saison de Printemps de 1984-2011(données station et satellite).	55
20	Cartes de distribution des précipitations de la saison d'Eté de 1984-2011(données station et satellite).	56
21	Cartes de distribution des précipitations de septembre de 1984-2011(données station et satellite).	57
22	Cartes de distribution des précipitations d'Octobre de 1984-2011(données station et satellite).	58
23	Cartes de distribution des précipitations de novembre de 1984-2011(données station et satellite).	59
24	Cartes de distribution des précipitations de Décembre de 1984-2011(données station et satellite).	61
25	Cartes de distribution des précipitations de Janvier de 1984-2011(données station et satellite).	62
26	Cartes de distribution des précipitations de Février de 1984-2011(données station et satellite).	64
27	Cartes de distribution des précipitations de Mars de 1984-2011(données station et satellite).	65

28	Cartes de distribution des précipitations d'Avril de 1984-2011(données station et satellite).	66
29	Cartes de distribution des précipitations de Mai de 1984-2011(données station et satellite).	68
30	Cartes de distribution des précipitations de juin de 1984-2011(données station et satellite).	69
31	Cartes de distribution des précipitations de juillet de 1984-2011(données station et satellite).	70
32	Cartes de distribution des précipitations d'Aout de 1984-2011(données station et satellite).	71

Liste des abréviations

K_G : Indice de compacité de Gravélius.

P : Périmètre du bassin versant.

A : Surface du bassin versant.

D_d : Densité de drainage.

R_c : Rapport de confluence.

R_L : Rapport des longueurs des cours d'eau.

F_s : Fréquence des cours d'eau.

T_c : Temps de concentration.

R^2 : Le coefficient détermination.

ME : erreur moyenne.

RMSE : erreur moyenne quadratique.

σ : écart type.

IDW : Méthode de pondération de distance inverse.

MK: Test de Mann-Kendall.

MMK: Test de Mann-Kendall modifié.

GPM: Global Precipitation Measurement.

CMORPH: Climate Prediction Center Morphing Technique.

PERSIANN-CDR: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record.

TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission.

ANRH : l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

SI : Indice de saisonnalité.

PCI : Indice de concentration des précipitations.

PCD : Degré de concentration des précipitations.

PCP : Période de concentration des précipitations.

Introduction générale

Le cycle hydrologique est un processus important pour le renouvellement des ressources en eau où les précipitations représentent l'une de ses variables les plus cruciales. Les données de précipitations sont utiles pour les prévisions météorologiques, l'alerte aux inondations et la gestion efficace des ressources en eau. Les instruments de mesure au sol tels que les pluviomètres et les pluviographes fournissent les mesures ponctuelles dans un endroit de la zone de couverture.

Lorsqu'on mesure une grandeur, il est rare d'obtenir une valeur exacte. Les erreurs de mesure peuvent être dues à de nombreux facteurs tels que la précision de l'instrument utilisé, l'expérience de l'opérateur et les conditions environnementales. Les erreurs systématiques se produisent dans le même sens et peuvent être éliminées par le calcul. Elles sont généralement causées par des biais dans l'instrument ou le processus de mesure. Pour corriger les erreurs systématiques, on peut effectuer des corrections en utilisant des méthodes telles que l'étalonnage de l'instrument ou l'utilisation de formules de correction. Les erreurs fortuites ou accidentelles sont des erreurs aléatoires qui ne se reproduisent pas dans le même sens et ne peuvent être réduites qu'en faisant une moyenne de plusieurs mesures. Elles peuvent être causées par des fluctuations environnementales telles que la température ou la pression atmosphérique, ou par des erreurs de lecture humaine. En effectuant plusieurs mesures et en prenant la moyenne, on peut réduire l'effet de ces erreurs fortuites et obtenir une mesure plus précise. Il est important de noter que même en prenant toutes les précautions nécessaires, il est impossible d'éliminer complètement toutes les erreurs de mesure. Cependant, en appréciant les différents types d'erreurs et en utilisant des méthodes appropriées pour les corriger, on peut obtenir des mesures plus précises et fiables.

Il est courant que les réseaux de stations de mesure comportent des lacunes, car les stations ne peuvent pas être installées dans toutes les régions ou dans tous les types d'environnements. Cela peut entraîner une perte de données importantes, qui peuvent affecter la précision des analyses et des prévisions. De plus, les stations de mesure peuvent être déplacées ou supprimées pour diverses raisons, telles que des travaux de construction ou des rénovations. Cela peut également entraîner des lacunes dans les données, ce qui peut être préjudiciable pour les analyses à long terme.

La distribution inégale des réseaux de mesure de précipitations ne permet pas de couvrir toutes les zones concernées. Toutefois, l'utilisation de satellites pour estimer les précipitations

peut résoudre ce problème en fournissant des observations continues et densément réparties dans l'espace et dans le temps, grâce aux avancées significatives en matière de géo-spatialisation.

Les satellites peuvent fournir une grande variété de données utiles pour la recherche scientifique telles que : Imagerie pour prendre des images haute résolution de la Terre, qui peuvent être utilisées pour des études géologiques, des observations météorologiques, des cartes topographiques, des études de l'utilisation des terres. La Télédétection pour capturer des données dans différentes bandes du spectre électromagnétique. Le Positionnement pour fournir des données de localisation précise. La Communications pour les communications à longue distance, offrant une couverture mondiale et permettant une communication rapide et efficace et la surveillance de l'environnement pour surveiller les changements environnementaux tels que les niveaux d'eau, la déforestation et les changements climatiques.

Les satellites offrent de nombreux avantages. Ils prennent des photos de diverses choses sur Terre et dans l'espace, à la lumière visible ou dans d'autres domaines du spectre électromagnétique, et envoient et reçoivent une variété de signaux pour les téléviseurs, les téléphones portables et les appareils GPS, mais présentent également des inconvénients. Parmi ces inconvénients, les coûts de développement, de lancement et de maintenance des satellites qui sont très élevés, difficiles à entretenir et pas toujours fiables. La réception du signal peut être inégale et le délai de propagation peut causer des problèmes, ce qui peut limiter l'accès à ces technologies pour certains pays ou organisations.

Des études antérieures ont comparé les données satellitaires et stationnaires des précipitations dans le monde. Parmi ces études, on note le travail de Adedeji et al. (2019). Cette étude compare les données de précipitation satellitaires et stationnaires en Afrique et montre que les données satellitaires ont une couverture spatiale plus étendue, mais que les données stationnaires ont une résolution temporelle plus élevée et sont plus précises pour des événements de précipitations extrêmes. D'autre part, les travaux de Tesfaye et al. (2021), comparent les données de précipitation satellitaires et stationnaires dans le bassin du Nil bleu et montrent que les données satellitaires produisent une erreur plus élevée que les données stationnaires, en particulier pour les événements de précipitations faibles à modérées. Cependant, en Algérie, les études d'évaluation des produits satellitaires sont très limitées.

Dans le contexte spécifique du nord de l'Afrique, plusieurs satellites ont été étudiés pour évaluer leur efficacité dans la collecte de données des précipitations. Dans une étude menée

par Boukabara, et al. (2020), les auteurs ont comparé les données de précipitation du satellite TRMM avec celles du satellite GPM (Global Precipitation Measurement) pour la région du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie) entre 2014 et 2018. Les résultats ont montré que les données de GPM étaient plus précises que celles de TRMM, en particulier pour les événements de faible intensité. Les auteurs ont donc conclu que GPM était un outil efficace pour surveiller les précipitations dans cette région. Une autre étude menée par Mezghani et al. (2019), a comparé les données de précipitation de TRMM avec celles de deux autres satellites, CMORPH (Climate Prediction Center Morphing Technique) et PERSIANN-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record), pour la Tunisie entre 2002 et 2016. Les résultats ont montré que les trois satellites ont fourni des estimations similaires pour les événements de forte intensité, mais que CMORPH et PERSIANN-CDR étaient plus précis pour les événements de faible intensité. Ces évaluations ont pour objectif de mieux comprendre comment ces satellites peuvent contribuer à une meilleure compréhension des modèles de précipitation et améliorer les prévisions météorologiques dans cette région.

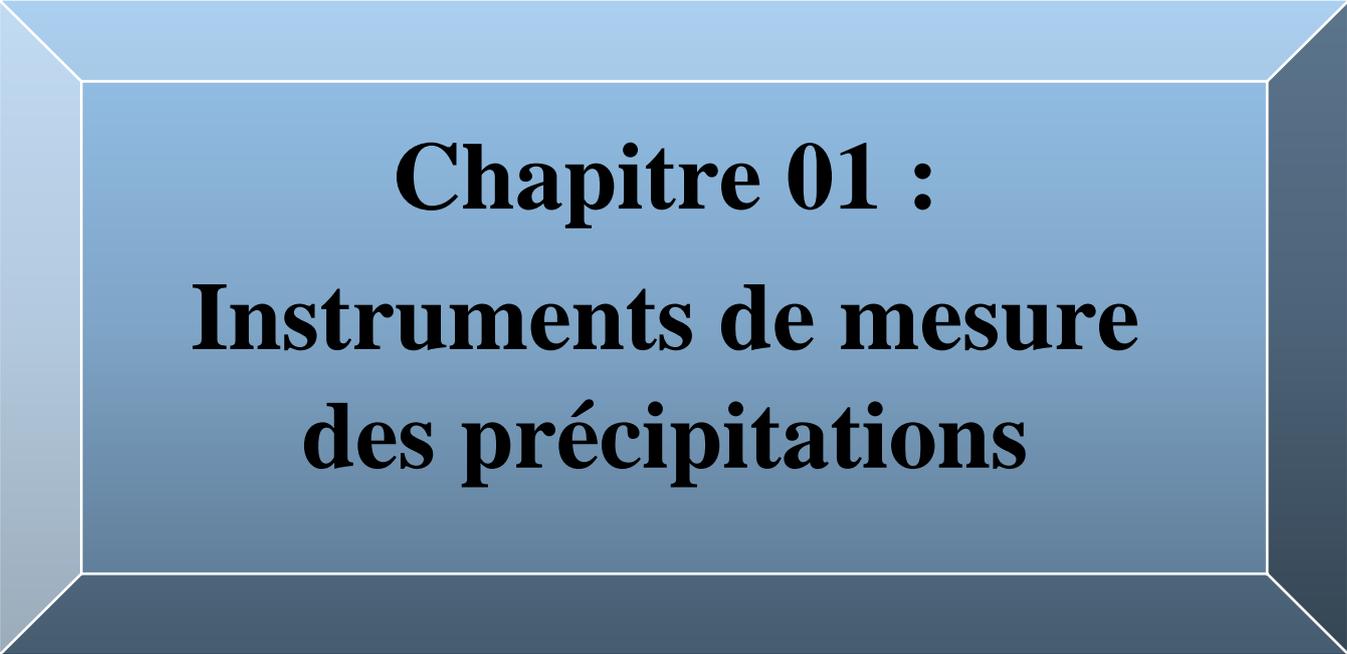
Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à tester l'efficacité des données satellitaires utilisées par le site [Web **https://chrsdata.eng.uci.edu/**](https://chrsdata.eng.uci.edu/). Ce site utilise des données provenant du satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) pour mesurer les précipitations. Nous avons entrepris cette étude dans le but d'évaluer la pertinence et la fiabilité de ces données pour le nord de l'Afrique.

En testant l'efficacité de ces données satellitaires, nous avons cherché à déterminer leur capacité à reproduire avec précision les schémas de précipitations observés dans la région. En analysant les données recueillies, nous avons pu évaluer la qualité et l'exactitude des estimations de précipitations fournies par ce satellite spécifique dans le contexte du Nord-Africain.

Ces travaux de recherche sont importants car ils permettent d'améliorer notre compréhension des précipitations dans le nord de l'Afrique et d'affiner les outils de prévision météorologique dans cette région. Les résultats de notre étude contribueront à la validation et à l'amélioration des données satellitaires utilisées par le site CHRS, offrant ainsi des informations précieuses pour la gestion des ressources en eau, l'agriculture et d'autres secteurs clés du nord de l'Afrique.

Dans ce contexte le bassin versant de l'oued Mekerra qui appartient au bassin versant de la Macta a fait l'objet de cette étude afin d'évaluer la fiabilité des données satellitaires en les comparant aux mesures de 12 stations pluviométriques dans le Bassin Versant de l'oued Mekerra pour la période allant de 1984 à 2011. Une comparaison des données a été réalisée à l'échelle annuelle, saisonnière et mensuelle.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres. Le premier chapitre présente une revue des appareils de mesure de précipitation les plus utilisés, leur principe de fonctionnement et leurs limites. Le deuxième chapitre présente le bassin d'étude, y compris sa localisation, ainsi que ses caractéristiques physiques telles que la géologie et la topographie. Le troisième chapitre décrit les données utilisées, la méthodologie adoptée, les indices statistiques utilisés et leurs définitions. Le quatrième chapitre se concentre sur les analyses spatiale et temporelle des données pluviométriques, notamment l'étude de leur distribution et leur tendance. Enfin, le cinquième chapitre présente les résultats et discussion des données pluviométriques, effectuée à l'échelle annuelle, saisonnière et mensuelle.



Chapitre 01 :
Instruments de mesure
des précipitations

I. Introduction

La mesure de la précipitation consiste à quantifier la quantité d'eau tombée sur une surface horizontale pendant une période donnée. Elle est exprimée en hauteur d'eau ou en lame d'eau (mm). La surveillance des précipitations est effectuée en utilisant divers instruments, qui peuvent être regroupés en deux grandes catégories : ceux qui mesurent les précipitations au sol, tels que le pluviomètre et le pluviographe, et ceux qui opèrent par télédétection, tels que les radars et les satellites météorologiques. Dans ce qui suit, on présente les instruments de mesure des précipitations les plus couramment utilisés et leurs modes de fonctionnement.

II. Instruments de mesure au sol

II.1. Les pluviomètres

Le pluviomètre est un instrument météorologique conçu pour mesurer la quantité de précipitations, en particulier la pluie, qui tombe sur une zone donnée pendant un intervalle de temps déterminé. Il s'agit de l'un des instruments les plus couramment utilisés dans les stations météorologiques dont certains étant à mesure directe et d'autres à mesure automatique. Ces derniers, appelés pluviographes, peuvent être reliés à des enregistreurs de la hauteur d'eau des précipitations.

II.1.1. Les pluviomètres non enregistreurs

Les pluviomètres non enregistreurs sont les instruments les plus couramment utilisés pour mesurer les précipitations dans les domaines de l'hydrologie et de la météorologie. Ils ont été développés à la fin du XIXe siècle et consistent en un cylindre gradué avec un collecteur. Dans la plupart des pluviomètres, la graduation est de 0,2 mm jusqu'à 25 mm. Si la quantité de précipitations est trop importante pour être contenue dans le cylindre principal, le surplus est dirigé vers un autre récipient.

Lorsqu'une mesure est prise, le technicien note la hauteur de l'eau atteinte sur le cylindre pour déterminer la quantité des précipitations tombée. Si de l'eau est présente dans le récipient de surplus, elle doit être transférée dans un autre cylindre gradué et ajoutée à la mesure. Entre chaque lecture, le technicien doit vider le pluviomètre pour éviter toute erreur de mesure.

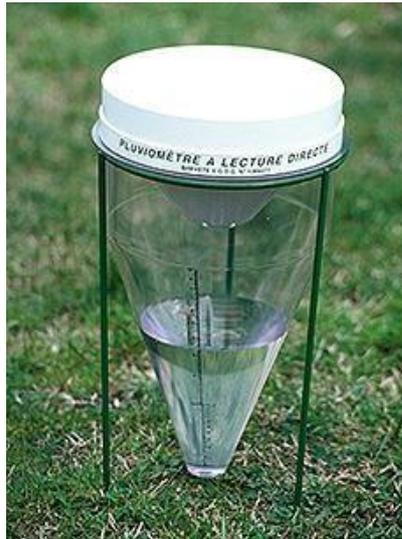


Figure 1 : Pluviomètre à lecture directe (météo France).

II.1.2 Les pluviographes enregistreurs

Le pluviographe se différencie du pluviomètre en ce sens que la précipitation n'est pas directement collectée dans un récipient, mais passe plutôt à travers un dispositif spécifique qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de la précipitation. Grâce à cet enregistrement continu, il est possible de déterminer non seulement la hauteur des précipitations, mais aussi leur répartition dans le temps et donc leur intensité.

Les pluviographes fournissent des diagrammes de hauteurs cumulées des précipitations en fonction du temps. Il existe trois types courants de pluviographes enregistreurs : le pluviographe à augets basculeurs, le pluviographe à peser et le pluviographe à flotteur.

➤ **Pluviographe à auget basculeur**

On peut distinguer différents types de pluviographes, dont celui à augets basculeurs. Ce dernier comporte un entonnoir pour collecter l'eau, suivi d'une pièce pivotante comportant deux compartiments qui peuvent chacun recevoir l'eau tour à tour. Lorsqu'une certaine quantité d'eau est accumulée dans un des compartiments, la bascule change de position, vidant le premier compartiment et faisant commencer le remplissage du deuxième. Les basculements sont comptés mécaniquement ou électriquement, permettant de recueillir des données en temps réel. Les pluviographes à augets basculeurs sont actuellement les plus précis et couramment utilisés pour mesurer les précipitations.

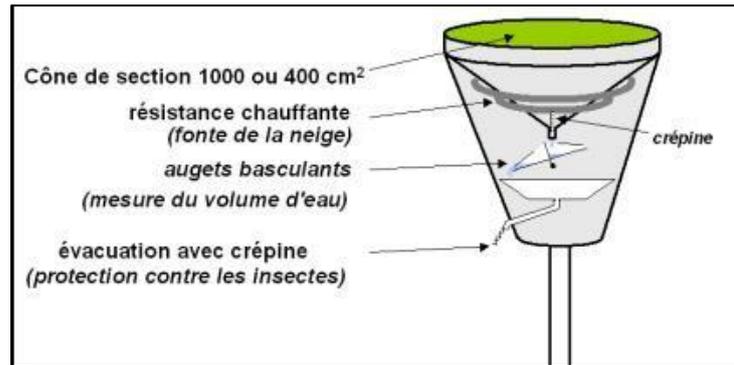


Figure 2 : Pluviographe à augets basculeurs

➤ **Pluviographe à pesée**

On peut décrire le pluviographe à peser comme un dispositif enregistreur qui mesure la masse totale des précipitations recueillies par une surface réceptrice et représente directement sur un graphique la hauteur d'eau correspondante en fonction du temps. Contrairement aux autres pluviographes, cet appareil offre une mesure continue de la précipitation, ce qui permet de détecter des intensités de pluie très élevées. En outre, le risque de blocage de l'orifice de collecte est très faible. Toutefois, l'évaporation peut entraîner une perte de précipitation et le coût d'acquisition de cet équipement reste relativement élevé.

Pluviographes enregistreurs

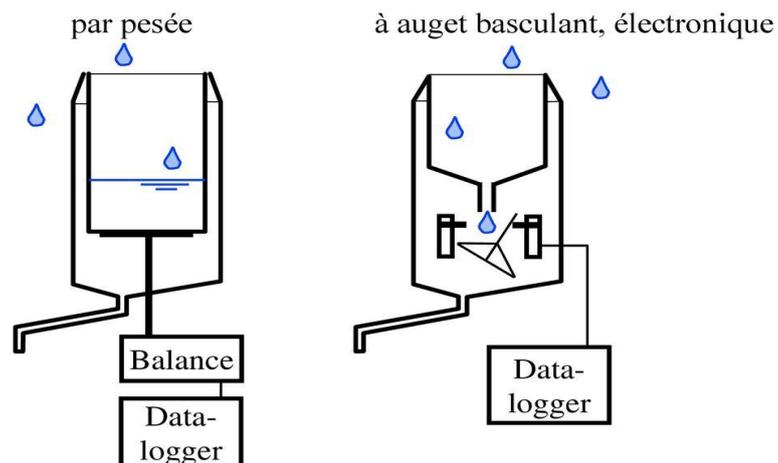


Figure 3 : schéma des pluviographes enregistreurs par pesée et à auget basculant

➤ Pluviographe à flotteur

La conception de ce dispositif d'enregistrement des précipitations est fondée sur un mécanisme élémentaire. La collecte de la pluie dans un cylindre est mesurée par le déplacement d'un flotteur. Lorsque le cylindre est rempli, un siphon est activé, ce qui entraîne une vidange rapide. Les mouvements du flotteur sont enregistrés par un tambour rotatif à vitesse constante, entouré d'un papier, et produisent un pluviogramme représentant la hauteur de précipitations en fonction du temps.

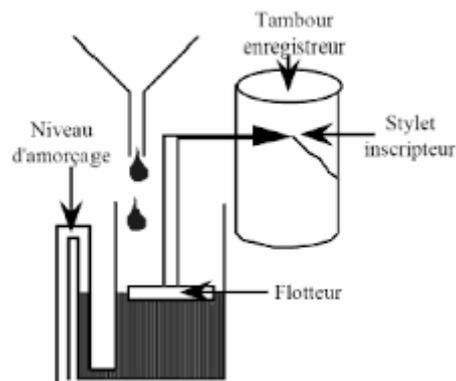


Figure 4 : schéma pluviographe à flotteur

II.2. Limites de mesure de la précipitation au sol

Bien que les pluviomètres offrent de nombreux avantages pour la collecte de données de précipitations, ces données peuvent être affectées par des erreurs liées à divers facteurs tels que les conditions environnementales et instrumentales, la conception de l'appareil et son emplacement par rapport aux obstacles environnants. Cependant, l'utilisation d'un réseau de pluviomètres peut permettre de planifier les cultures, de prévoir les besoins en irrigation, d'estimer le potentiel hydroélectrique et d'émettre des avertissements aux populations en cas de pluies torrentielles. En outre, les pluviomètres peuvent être utilisés pour étalonner les données recueillies par d'autres instruments météorologiques tels que les radars météorologiques.

II.2.1. L'erreur instrumentale et environnementale

Les erreurs instrumentales et environnementales sont multiples ; elles ont presque toutes pour conséquence de sous-estimer les quantités précipitées. On distingue :

- Les erreurs de captation (5 à 80 %) : pluie inclinée, fortes pentes, turbulences du vent autour du pluviomètre.
- Les erreurs de l'instrument (environ 0,5 %) : déformation de l'appareil de mesure (par exemple déformation du papier enregistreur).
- Les erreurs dues aux rejaillissements (environ 1%).
- Les pertes par mouillage (environ 0,5 %) : déficit équivalent à l'eau qui humecte les parois intérieures du pluviomètre.
- Les erreurs dues à l'évaporation dans le récipient (environ 1%).
- Les erreurs propres aux pluviographes : en cas de fortes pluies, la vidange du système à siphon, et respectivement la vitesse de basculement des augets peuvent être trop lentes. Des pertes d'eau au moment du basculement des augets peuvent aussi avoir lieu.

III. Instruments de mesure par télédétection

La technique de la télédétection a été introduite suite à l'apparition de la photographie et au développement de l'aviation, mais c'est surtout à partir des années 1970 que cette technique s'est améliorée grâce aux satellites d'observation de la Terre et aux capteurs numériques. La télédétection est utilisée dans de nombreux domaines, que ce soit pour des applications scientifiques ou opérationnelles, notamment dans la météorologie, la reconnaissance militaire, la gestion des ressources agricoles et forestières, la cartographie, la gestion des catastrophes, l'étude du climat, ou encore la modélisation des processus atmosphériques.

III.1. Radar météorologique

Un radar permet de faire de la télédétection ; détection de cibles, mesure à distance. Cela diffère de la télémesure, terme plus ancien qui consiste à placer un capteur dans un milieu à analyser et à récupérer les données à distance. Le radiosondage en est un bon exemple.

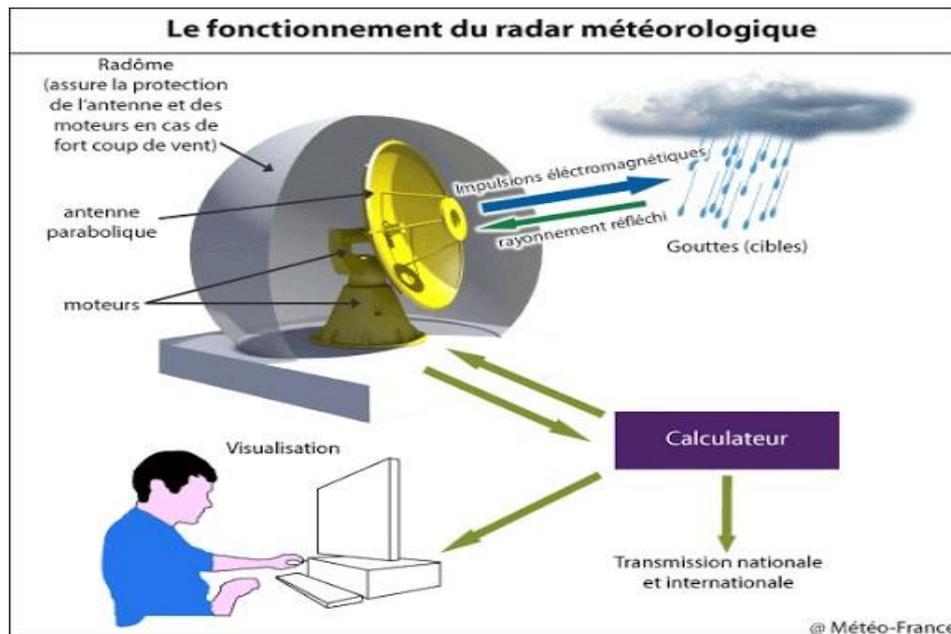


Figure 5 : Radar météorologique

La mesure radar repose sur le principe de la réflexion des ondes électromagnétiques par certains objets appelés cibles. Le radar météorologique est utilisé pour mesurer la puissance rétrodiffusée par un ensemble de gouttes de pluie.

Les radars météorologiques ne mesurent pas d'intensité de précipitation (mm/h), mais déduisent de la mesure de la puissance rétrodiffusée une réflectivité radar.

III.2. Les satellites météorologiques

Un satellite météorologique est un type de satellite artificiel conçu pour recueillir des données utilisées dans la surveillance du climat de la Terre. Sa mission principale est de couvrir une zone spatiale étendue, notamment dans les zones où les pluviomètres et les radars météorologiques au sol ne sont pas disponibles, comme sur les océans. Les satellites météorologiques sont généralement classés en deux catégories : les satellites géostationnaires et les satellites à orbite polaire.

✓ **Satellites à orbite polaire :** Les satellites polaires diffèrent des satellites géostationnaires par leur altitude, qui est de seulement 850 km au-dessus de la surface terrestre. Ils ont pour fonction d'observer la Terre avec une résolution supérieure, en particulier pour les régions qui ne sont pas visibles depuis les satellites géostationnaires.

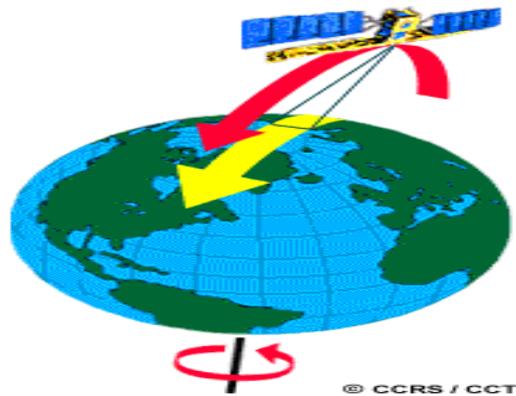


Figure 6 : Satellites à orbite polaire

✓ **Satellites géostationnaires :** Les satellites géostationnaires sont des satellites qui se déplacent en même temps que la Terre et sont donc fixes par rapport à un point spécifique de sa surface. Ils se trouvent à une altitude de 35 800 km au-dessus de l'Équateur.

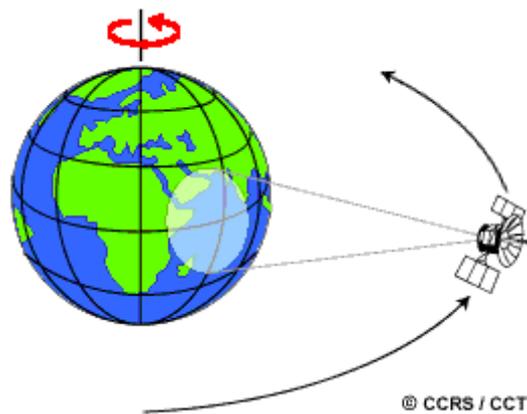
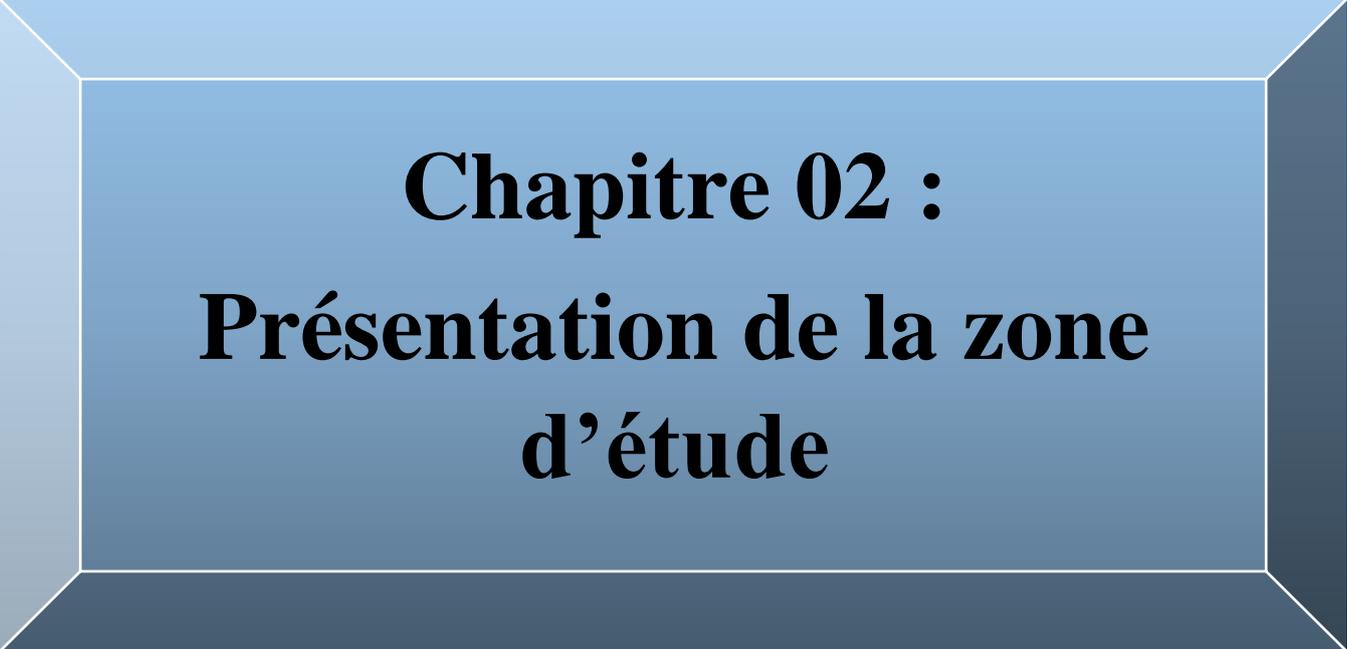


Figure 7 : Satellites géostationnaires

IV. Conclusion

Ce chapitre présente une description des différents instruments généralement utilisés pour mesurer les précipitations. Les pluviomètres et les pluviographes, les plus anciens des instruments, fournissent des estimations quantitatives généralement fiables mais ponctuelles. Le radar météorologique permet de suivre qualitativement et quantitativement les précipitations sur des zones très étendues. Les satellites météorologiques, quant à eux, constituent les moyens d'observation les plus privilégiés pour estimer les précipitations sur des régions vastes et difficiles d'accès (océans, montagnes, etc.) avec une meilleure résolution spatio-temporelle. Les mesures satellitaires sont indirectement liées à la quantité de pluie atteignant la surface terrestre et peuvent donc être moins précises que les mesures au sol. Les données utilisées dans cette étude c'est pour comparer les performances de chacun dans le bassin versant Mekker, dont les caractéristiques géophysiques et climatiques sont détaillées dans le chapitre suivant.



Chapitre 02 :
Présentation de la zone
d'étude

I. Présentation du bassin versant de la Mekerra

Le bassin versant de la Mekerra est un sous bassin du grand bassin versant de la Macta, situé dans le nord-ouest de l'Algérie et couvrant une superficie totale de 1734 km². Il est compris entre la longitude ouest -1°14' et -0°32' et la latitude nord 34° et 36° (Figure 8). Il est bordé par les montagnes de Tessala au nord, le massif tabulaire de Tlemcen et Saïda au sud, le bassin de l'Oued Isser à l'ouest, et les montagnes de Beni Chougran et Oued El Hammam à l'est (Otmane, A., Baba Hamed, K., Bouanani, A., 2019. Apport de la variabilité spatiale des caractéristiques physiques du bassin versant dans la modélisation hydrologique et les sous-produits du bilan hydrologique : cas du bassin versant de l'aval Mekerra, Algérie. Réseau 32, 117–144). L'Oued Mekerra traverse la plaine sur 34 km, avec un climat présentant deux saisons distinctes : une saison sèche et chaude, et une saison froide et pluvieuse. Les précipitations annuelles moyennes dans le bassin versant varient entre 198 et 311 mm, avec une humidité plus accrue au nord qu'au sud.

Les températures annuelles varient de 10°C à 26°C. La moyenne annuelle d'évaporation est d'environ 1987 mm, tandis que l'évapotranspiration interannuelle potentielle moyenne est estimée à 1182 mm, expliquant ainsi la semi-aridité du climat de la région. Le bassin de la Mekerra est principalement couvert de végétation, comprenant des terres agricoles (principalement cultivées en blé), des forêts, des zones urbaines, des pâturages et des terres improductives.

Les cultures irriguées sont pratiquées en dérivant l'eau de la Mekerra ou en pompant de l'eau, nécessitant d'énormes besoins en eau qui sont souvent satisfaits par des puits. La région est caractérisée par une insolation significative, avec une moyenne annuelle de 8,6 heures de soleil par jour, une humidité relative moyenne annuelle de 65 % et un vent relativement stable tout au long de l'année, avec une vitesse moyenne annuelle de 2,4 m/s variant entre 2,2 et 2,9 m/s.

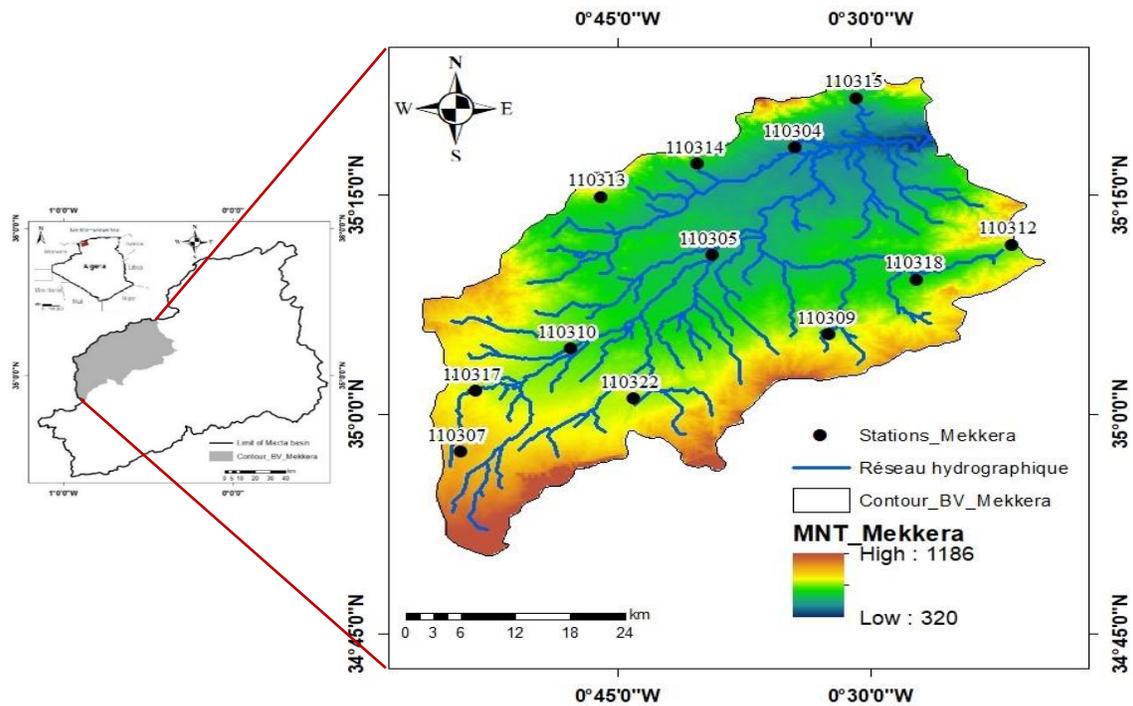


Figure 8 : Situation géographique du bassin versant de la Mekerra et localisation des stations pluviométriques utilisées

II. Les Caractéristiques morpho-métriques

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant jouent un rôle crucial dans sa réponse hydrologique. Parmi ces caractéristiques, nous pouvons citer la taille du bassin (sa superficie), sa forme, sa pente et son orientation. D'autres facteurs tels que le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique peuvent également avoir un impact significatif. Ces facteurs physiques peuvent être estimés à l'aide de cartes appropriées et de techniques numériques telles que le logiciel ArcGIS pour la digitalisation et la détermination du modèle numérique du terrain (MNT).

II.1 Surface et Périmètre

Le bassin versant est défini comme la région où les précipitations sont recueillies et les cours d'eau sont alimentés. La quantité de débit de sortie est donc fortement influencée par la surface du bassin versant.

La technique de digitalisation permet de déterminer avec précision la surface et le périmètre du bassin versant. En utilisant cette méthode, nous avons obtenu la surface et le périmètre du bassin versant :

Surface = 1734 Km².

Périmètre = 217 Km.

II.2 La forme du bassin versant

La configuration du bassin versant exerce une influence significative sur l'écoulement et détermine la forme de son hydrogramme. Selon Roche (1963), un bassin étiré ne réagit pas de la même manière qu'un bassin compact ayant des caractéristiques similaires. L'indice de compacité de Gravelius est souvent utilisé pour évaluer la forme d'un bassin versant. Cet indice est calculé en comparant le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle de même superficie (A) :

$$K_G \cong 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

K_G : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

A : Surface du bassin versant (Km²).

L'indice de compacité K_G est proche de 1 pour un bassin versant de forme presque circulaire et est supérieur à 1 pour un bassin allongé. Dans le cas de notre bassin versant, la valeur de l'indice de compacité $K_G = 1,47$ indiquant que le bassin est plutôt allongé.

II.3 Notion du rectangle équivalent

Ce paramètre traduit l'impact de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. En utilisant une simple transformation géométrique du contour du bassin versant en un rectangle de même surface (A) et de périmètre (P), on peut identifier un rectangle équivalent ayant une longueur (L) et une largeur (l), d'un indice de compacité K_G , les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle. La longueur et la largeur du rectangle est déduite à partir des équations (2 et 3) suivantes :

$$L = \frac{1}{2} \cdot K_G \cdot \sqrt{\pi \cdot A \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot K_G} \right]^2} \right]} \quad \text{Avec } K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}} \quad (2)$$

$$l = \frac{1}{2} \cdot K_G \cdot \sqrt{\pi \cdot A \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot K_G} \right]^2} \right]} \quad \text{Avec } K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}} \quad (3)$$

Avec:

A: la surface du bassin (km²).

K_G : l'indice de compacité.

L'application des équations (2) et (3) donnent les résultats suivants :

L= 89,9 Km.

l= 19,22 Km.

II.4 Les Altitudes caractéristiques

II.4.1 Altitudes Maximale et Minimale (H_{\max} et H_{\min})

Sur le plan altimétrique, le bassin versant possède une altitude maximale correspondant à la plus haute élévation au-dessus du niveau de la mer, ainsi qu'une altitude minimale représentant le point le plus bas du bassin, généralement situé à son exutoire. Ces deux altitudes sont obtenues directement à partir du modèle numérique de terrain.

$H_{\max} = 1185 \text{ m.}$

$H_{\min} = 317 \text{ m.}$

II.4.2 L'altitude Moyenne (H_{moy})

L'altitude moyenne se déduit à partir d'une carte topographique. Elle est obtenue en divisant la somme des produits des surfaces partielles par leur altitude moyenne correspondante par la surface totale du bassin (A).

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i \times h_i}{A} \quad (4)$$

$$H_{\text{moy}} = 586,8 \text{ m.}$$

Avec :

h_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives (m).

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau consécutives (Km^2).

A : Superficie du bassin versant (Km^2).

III. Réseau Hydrographique

Le réseau hydrographique correspond à l'ensemble des cours d'eau, naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, participant à l'écoulement des eaux d'un bassin. Cette caractéristique revêt une importance majeure dans l'étude du bassin, car elle peut prendre diverses formes. Les caractéristiques d'un réseau hydrographique sont déterminées par quatre facteurs :

- La géologie : la forme du réseau hydrographique est influencée par la nature du substratum.
- Le climat : La densité du réseau hydrographique est fortement influencée par les conditions climatiques de la région. Dans les zones montagneuses soumises à des précipitations importantes, le réseau hydrographique est densément présent, alors qu'il tend à disparaître dans les régions arides et désertiques.

- La pente du terrain : La pente du terrain : Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- Les cours d'eau : En altitude élevée, les cours d'eau sont souvent en phase érosive, participant ainsi à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. En revanche, dans les plaines, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

Le réseau hydrographique est défini à partir de différents paramètres, parmi lesquels figurent la densité de drainage (D_d), le rapport de confluence (R_c), le rapport des longueurs (R_l), la fréquence des cours d'eau (F_s) et le temps de concentration (T_c).

III.1. Densité de drainage

La densité de drainage correspond à la proportion entre la longueur totale des cours d'eau présents dans le bassin versant et sa surface totale. Elle se calcule par la relation suivante :

$$D_d = \sum L_i / A \quad (5)$$

$$D_d = 0,33 \text{ (km/km}^2\text{)}$$

Avec

D_d : Densité de drainage en (km/km²).

L : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : Aire du bassin en km².

III.2. Rapport de confluence

Il se calcule par l'équation suivante :

$$R_c = \frac{N_n}{N_{(n+1)}} \quad (6)$$

$$R_c = 8,05$$

Avec :

Rc: Rapport de confluence.

Nn : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

III.3. Rapport des longueurs

Le rapport des longueurs permet d'évaluer la complexité du réseau hydrographique et son potentiel pour l'écoulement des eaux. Il se calcule par la formule suivante :

$$R_L = \frac{L_i}{L_{i+1}} \quad (7)$$

$$R_L = 5,65$$

Avec :

R_L : Rapport des longueurs des cours d'eau.

L_i : Longueur des cours d'eau d'ordre i.

L_{i+1} : Longueur des cours d'eau d'ordre suivant.

III.4. La fréquence des cours d'eau

La densité hydrographique est définie comme le rapport entre le nombre de cours d'eau présents dans le bassin versant et sa surface totale. Elle peut être exprimée par la formule suivante :

$$F_S = \frac{N}{A} \quad (8)$$

$$F_S = 0,047$$

Avec :

F_S : Fréquence des cours d'eau.

N : Nombre de talweg.

A : Surface du bassin en Km².

III.5. Le temps de concentration

Le temps de concentration est défini comme la durée nécessaire à une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin versant pour atteindre la sortie. Sa détermination fait appel à la formule de Giandotti (1934) :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L_{Tp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (9)$$

$$T_c = 18,5$$

Avec :

T_c : Temps de concentration (heures)

A : Superficie du bassin (km²)

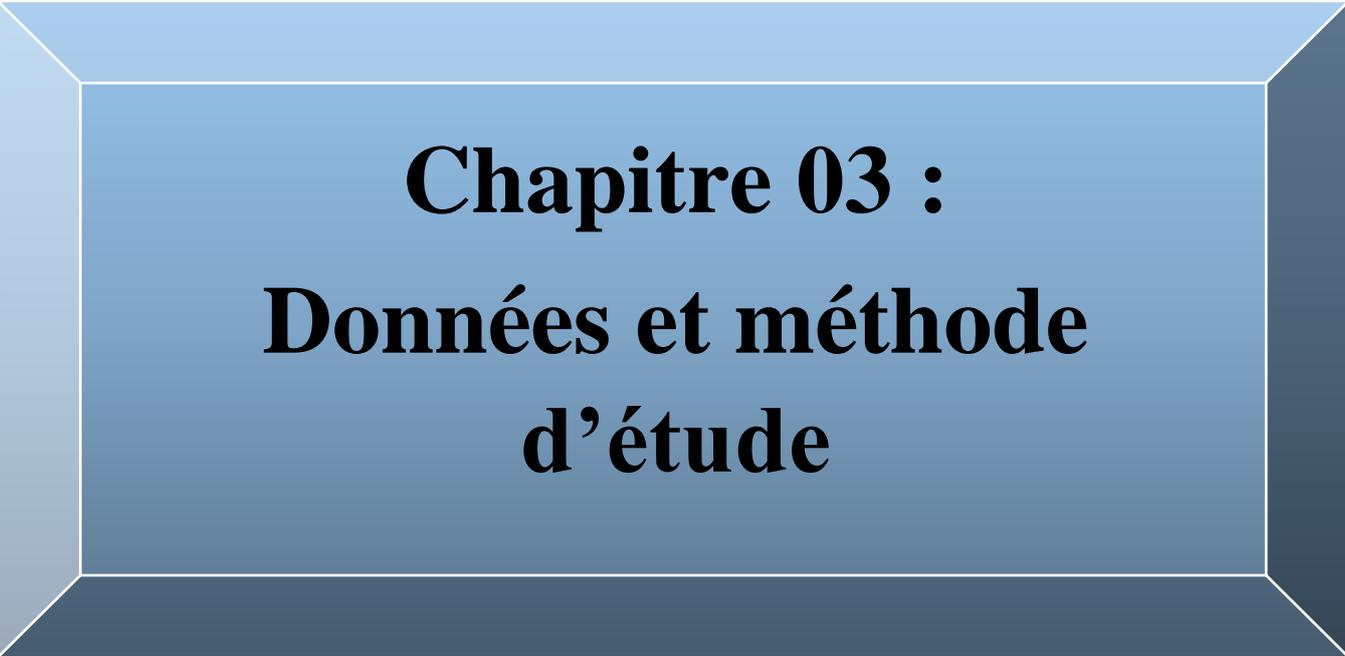
L : longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

IV. Conclusion

Le bassin versant de la Mekerra en Algérie est l'un des principaux bassins versants du Maghreb. Il se caractérise par une diversité naturelle remarquable, avec des variations édaphiques, topographiques et géologiques significatives. Le climat de la région présente également une grande variabilité inter-saisonnière et une variation spatiale marquée. Par conséquent, l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans ce bassin revêt une importance cruciale.



Chapitre 03 :
Données et méthode
d'étude

I. Introduction

L'étude de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans un bassin versant repose couramment sur l'analyse des séries temporelles de précipitations collectées par différentes stations pluviométriques. Une sélection appropriée des stations est essentielle, afin qu'elles soient judicieusement réparties et représentatives de l'ensemble du bassin versant, tout en disposant d'une chronologie d'observations substantielle. Parallèlement, cette étude se concentre sur l'apport de la télédétection pour caractériser la variabilité spatiotemporelle des précipitations, en comparant les données terrestres aux données satellitaires. Dans ce chapitre, nous exposons d'abord les données utilisées dans cette étude, puis nous décrivons la méthode adoptée ainsi que les outils statistiques employés.

II. Données Pluviométriques utilisées

II.1 Stations de mesures

Les données des précipitations mensuelles de 12 stations appartenant au bassin de la Mekkera (Figure8, tableau 1) ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) (<http://www.anrh.dz/>). Les séries de données ont été enregistrées sur une période de 28 ans, de 1983-1984 à 2010-2011, et présentent un taux moyen de données manquantes inférieur à 10 %.

Tableau 1 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

Station	Code ANRH	X (°)	Y (°)	Altitude (m)
Ben badis	110307	-0,90583333	34,9566667	732
Sarno bge	110304	-0,57416667	35,3041667	425
Hassi daho	110309	-0,54055556	35,0911111	642
Mostpha ben brahim	110312	-0,36055556	35,1933333	596
Ain trid	110314	-0,67111111	35,2855556	530
Bel-Abbess	110305	-0,65694444	35,1816667	470
Tessala	110313	-0,76722222	35,2475	580
Ain berd	110315	-0,51333333	35,3605556	492
Sidi lahcene	110318	-0,45388889	35,1536111	501
Tabia	110322	-0,735	35,0175	617
Hassi zahana	110317	-0,89111111	35,0261111	630
Lamtar	110310	-0,79666667	35,0747222	552

II.2. Données satellitaires

Les données de précipitations satellitaires ont été collectées à partir du portail de données du Centre d'Hydrométéorologie et de Télédétection (CHRS) (<https://chrsdata.eng.uci.edu/>) qui utilise principalement les données satellitaires provenant du satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) pour mesurer les précipitations. Le satellite TRMM a été développé en collaboration entre la NASA et l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (JAXA). Pour chaque mois, une carte de précipitation relative au bassin versant de la Mekker a été obtenue avec une résolution de pixel de 4km * 4km. Par la suite, l'extraction des données pour chaque station a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS.

II.2.1. Les outils statistiques

L'évaluation ou la mesure des performances d'un modèle se fait selon les objectifs qu'on se fixe, et par conséquent, le critère qu'on choisit. Un même modèle peut être évalué de plusieurs façons, l'unique contrainte étant l'objectif du jugement. Pour satisfaire les différents objectifs, plusieurs critères d'évaluation ont été développés, qui sont soit des critères graphiques, soit des critères analytiques.

- **L'écart type (σ)**

L'écart-type d'une série statistique nous renseigne sur la dispersion autour de la moyenne des valeurs de cette série. Plus l'écart-type est grand, plus les valeurs sont dispersées autour de la moyenne ; plus l'écart-type est petit, plus les valeurs sont concentrées autour de la moyenne. Il est défini par l'équation suivante :

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((Xi - X)^2)\right)} \quad (10)$$

X_i : la différence entre les données satellitaire et les données de pluviomètre mesurées.

X : la moyenne de la différence entre les données satellitaire et les données de pluviomètre mesurées.

i : l'indice de nombre des pixels.

n : le nombre total des paires pixels-données.

- **Le coefficient détermination (R^2)**

Le coefficient détermination est le carré du coefficient de corrélation. Il représente la fraction de la variance totale de la variable dépendante qui est expliquée par la régression. Il est également connu sous le nom de R carré et il mesure la qualité de l'ajustement d'un modèle à la variable dépendante. Il est important de noter que le coefficient détermination peut varier entre 0 et 1. Une valeur proche de 1 indique un ajustement fort du modèle à la variable dépendante, tandis qu'une valeur proche de 0 indique un ajustement faible. Il est défini par :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Si - S)(Gi - G)}{\sigma S * \sigma G * n} \quad (11)$$

Si : la précipitation donnée par les satellites.

Gi : la précipitation mesurée par pluviomètre.

G : la moyenne de précipitation mesurée par pluviomètre.

S : la moyenne des données satellitaire.

σ : L'écart type.

- **L'erreur moyenne (ME)**

Elle est notée ME et définie par la moyenne des écarts entre les valeurs observées et les valeurs calculées.

$$\mathbf{ME} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mathbf{Si} - \mathbf{Gi}) \quad (12)$$

Si : la précipitation donnée par les satellites.

Gi : la précipitation mesurée par le pluviomètre.

NB : plus cette erreur se rapproche de zéro, plus les écarts entre les valeurs (mesures/satellites) sont faibles.

- **L'erreur quadratique moyenne (RMSE)**

Cette erreur se calcule comme étant la racine carrée de la moyenne des carrées des écarts entre les valeurs observées et les valeurs calculées. Sa formule est la suivante.

$$\mathbf{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((\mathbf{Si} - \mathbf{Gi})^2)\right)} \quad (13)$$

Si : la précipitation donnée par les satellites.

Gi : la précipitation mesurée par le pluviomètre.

NB : plus cette erreur quadratique tend vers zéro, plus les écarts sont faibles.

III. Tests de tendances

La recherche de tendance s'effectue par la mise en œuvre du test de Mann Kendall sur l'ensemble des chroniques quelles que soient leur distribution.

III.1 Test de Mann Kendall (MK)

Le test de Mann-Kendall est une méthode non paramétrique qui permet de déterminer si une tendance est présente dans une série temporelle, y compris celles avec une composante saisonnière. Cette méthode de test de tendance non paramétrique a été développée en améliorant le test proposé initialement par Mann (1945), puis révisé par Kendall (1975) et finalement optimisé par Hirsch (1982, 1984) pour prendre en compte les variations saisonnières. Les tests de Mann-Kendall sont basés sur le calcul de tau de Kendall, qui mesure l'association entre deux échantillons, en utilisant les rangs à l'intérieur des échantillons. L'hypothèse nulle H_0 (absence de tendance) de ces tests est qu'il n'y a pas de tendance, tandis que les hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive peuvent être sélectionnées. Et sous l'hypothèse nulle (H_0 : Absence de tendance), sa loi de répartition est asymptotiquement une loi normale de moyenne.

$$* E(t) = n(n-1) / 4 \quad (14)$$

Avec : $t = \sum_i n_i$ (2) et i : Chronologie de la série de la statistique t

La variance :

$$* Var(t) = n(n-1)(2n+5) / 72 \quad (15)$$

$$\text{Alors : } * U(t) = (t - E(t)) / \sqrt{Var(t)} \quad (16)$$

Et nous déterminons à l'aide d'une table de la loi normale réduite tel que :

$$* \alpha_2 = P(|U| > |U(t)|) \quad (17)$$

L'hypothèse nulle est acceptée ou rejetée au niveau de signification α pour un seuil de 0,05 :

Si : $\alpha_0 > \alpha_2$ alors H_0 est acceptée

Si : $\alpha_0 < \alpha_2$ H_0 est rejetée

Lorsque les valeurs de $u(t)$ sont significatives, on conclut une tendance croissante ou décroissante selon que $u(t) > 0$ ou $u(t) < 0$ (Sneyers 1975).

CHAPITRE 03 : DONNEES ET METHODE D'ETUDE

Lorsqu'une série présente une tendance significative, il est souvent nécessaire de déterminer la période à partir de laquelle cette tendance a commencé. Dans ce cas, la statistique du test de Mann-Kendall est mieux adaptée pour effectuer des calculs progressifs et régressifs. Le calcul progressif de $u(t)$, similaire au calcul de $u'(t)$, consiste à déterminer les rangs des observations dans l'ordre chronologique de la série. Le calcul régressif de $u'(t)$ est effectué en commençant par la fin de la série. La date de début de la tendance est donnée par l'intersection des valeurs de $u(t)$ et de $u'(t)$.

III.2 L'autocorrélation

L'autocorrélation (ou l'auto-covariance) est un phénomène présent dans les séries temporelles ou spatiales où la mesure d'un phénomène à un moment donné peut être corrélée aux mesures précédentes (à $t - 1$, $t - 2$, $t - 3$, etc.) ou aux mesures suivantes (à $t + 1$, $t + 2$, $t + 3$, ...) avec t est l'index de l'observation qui varie de 2 jusqu'à n . Ainsi, une série auto-corrélée est corrélée à elle-même avec un décalage (lag) spécifique.

L'autocorrélation est définie par l'équation suivante :

$$\left(\frac{-1-1,645*(N-2)^{0,5}}{N-1} \right) = < \mathbf{R} = < \left(\frac{1+1,645*(N-2)^{0,5}}{N-1} \right) \quad (18)$$

N : La taille de l'échantillon.

III.3 Test de Mann Kendall modifié (MMK)

Dans le Test de Mann-Kendall modifié, une série de données auto-corrélées est prise en compte. Ce test de tendance non-paramétrique modifié est basé sur une valeur modifiée de la variance de la statistique du test de tendance de Mann-Kendall, adaptée aux données auto-corrélées. Dans ce test, seules les valeurs relatives de tous les termes dans la série X_i sont utilisées, ce qui implique de remplacer les valeurs X_i par leurs rangs k_i . Chaque valeur est alors attribuée à un ordre de 1 à N .

La deuxième étape consiste en le calcul de la statistique P qui se déroule de la manière suivante :

- Le rang (k_1) de la première valeur est comparé à celui des valeurs ultérieures de la seconde à la N ième valeur.

CHAPITRE 03 : DONNEES ET METHODE D'ETUDE

- Le nombre de valeurs ultérieures dont le rang dépasse k_1 est alors compté et désigné par N_1 .
- Le rang de la deuxième valeur (k_2) est ensuite comparé avec celui des valeurs ultérieures, et le nombre de valeurs ultérieures qui dépassent k_2 est compté et désigné par N_2 . Continuez cette procédure pour chaque valeur de temps se terminant par k_{N-1} et son numéro correspondant à $(N - 1)$.

P se calcule par l'équation suivante :

$$P = \sum_{i=1}^{N-1} n_i \quad (19)$$

Le calcul statistique de τ est donné comme suit :

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (20)$$

La valeur de la statistique τ peut être utilisée comme une base d'un test de signification en le comparant avec :

$$(\tau)_t = 0 \pm \text{tg} \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (21)$$

III.4 Indice de saisonnalité (SI)

L'Indice de Saisonnalité (SI), également connu sous le nom d'Indice de Variation Saisonnière, est un indicateur statistique utilisé pour évaluer la variation saisonnière des données sur une période donnée. Cet indice permet de quantifier l'amplitude des variations périodiques au sein d'un ensemble de données, en particulier lorsque ces variations sont influencées par des facteurs saisonniers tels que les saisons de l'année.

L'indice de saisonnalité est généralement calculé à partir de séries temporelles et peut être utile dans divers domaines tels que l'économie, la climatologie, la démographie, et d'autres disciplines où des variations saisonnières jouent un rôle important.

CHAPITRE 03 : DONNEES ET METHODE D'ETUDE

Le calcul de l'Indice de Saisonnalité (SI) varie selon le contexte, mais une formule commune est :

$$\mathbf{SI = (Max - Min) / (Max + Min)} \quad \mathbf{(22)}$$

Où :

Max : est la valeur maximale observée dans une période saisonnière (par exemple, une année).

Min : est la valeur minimale observée dans la même période saisonnière.

L'indice de saisonnalité peut prendre des valeurs entre 0 et 1, où :

- SI = 0 indique qu'il n'y a pas de variation saisonnière, c'est-à-dire que les données sont relativement stables tout au long de la période.
- SI = 1 indique une variation saisonnière maximale, avec des valeurs maximales et minimales clairement distinctes.

L'Indice de Saisonnalité permet de quantifier de manière objective la régularité et l'importance des variations saisonnières dans les données, ce qui peut être utile pour la prise de décisions, les prévisions et l'analyse des tendances saisonnières.

III.5 Indice de concentration des précipitations (PCI)

L'Indice de Concentration des Précipitations (PCI), proposé par Oliver en 1980, est un outil couramment utilisé pour évaluer la répartition temporelle des précipitations au cours d'une année dans une zone géographique donnée. Il permet de quantifier la concentration ou la dispersion des précipitations sur les différents mois de l'année, offrant ainsi des informations précieuses sur les régimes climatiques locaux. Le PCI est un indicateur important pour comprendre la saisonnalité des précipitations et ses implications pour diverses applications telles que l'agriculture, l'hydrologie et la gestion des ressources en eau. Le calcul du PCI repose sur une équation mathématique qui prend en compte les précipitations mensuelles et leur relation avec la moyenne annuelle des précipitations. L'indice varie généralement entre deux valeurs: une valeur proche de zéro représente une répartition uniforme des précipitations tout au long de l'année, tandis qu'une valeur proche de 100 suggère une forte concentration des précipitations dans un mois spécifique.

CHAPITRE 03 : DONNEES ET METHODE D'ETUDE

Plus spécifiquement, la formule de calcul du PCI consiste à diviser la somme des carrés des écarts entre les précipitations mensuelles et la moyenne annuelle par deux fois la carré de la moyenne annuelle. Ce calcul traduit la concentration relative des précipitations par rapport à leur moyenne annuelle, fournissant un indice adimensionnel qui permet d'évaluer la répartition temporelle des précipitations sur une échelle de 0 à 100. En interprétant les valeurs du PCI, on peut distinguer les situations suivantes :

- Un PCI proche de 0 indique une distribution uniforme des précipitations tout au long de l'année, ce qui signifie que les précipitations sont relativement bien réparties sur les mois.
- Un PCI proche de 100 suggère une concentration élevée des précipitations dans un ou plusieurs mois spécifiques, ce qui peut indiquer des saisons de pluie ou de sécheresse plus marquées.

Ainsi, le PCI fournit un moyen quantitatif de caractériser la répartition saisonnière des précipitations, ce qui peut avoir des implications importantes pour la planification des activités agricoles, la gestion des ressources en eau, la prévision des inondations et d'autres applications liées au climat et à l'environnement. L'indice est généralement calculé en utilisant la formule suivante :

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_i - \bar{P})^2}{2 * (\bar{P})^2} \quad (23)$$

Où :

P_i : représente les précipitations mensuelles pour le mois i (septembre à Aout).

\bar{P} : est la moyenne annuelle des précipitations, calculée en additionnant les précipitations mensuelles et en divisant par 12.

Le PCI est utilisé pour caractériser les régimes de précipitations et aider à comprendre les variations saisonnières dans différents contextes, tels que l'agriculture, la gestion des ressources en eau et les études environnementales.

III.6. Degré de concentration des précipitations (PCD) et période de concentration des

Précipitations (PCP)

Le Degré de Concentration des Précipitations (PCD) et la Période de Concentration des Précipitations (PCP) sont des indices utilisés pour évaluer la distribution temporelle des précipitations sur une période donnée. Ils fournissent des informations sur la concentration ou la dispersion des événements de précipitations sur différentes périodes et aident à comprendre les régimes de précipitations dans une région donnée.

III.6.1.Degré de Concentration des Précipitations (PCD)

Le Degré de Concentration des Précipitations (PCD) est un indicateur qui mesure la concentration relative des précipitations sur une période donnée, généralement mensuelle. Il permet de quantifier si les précipitations sont plus fortement concentrées sur quelques mois spécifiques ou plus uniformément réparties tout au long de la période considérée, il est défini par l'équation suivante :

$$\text{PCD} = N / (n-1) \quad (24)$$

Où :

N : est la somme des carrés des différences entre les valeurs de précipitations mensuelles et la moyenne des précipitations mensuelles.

n : est le nombre total de mois.

III.6.2.Période de Concentration des Précipitations (PCP)

La Période de Concentration des Précipitations (PCP) représente la période de l'année pendant laquelle les précipitations atteignent leur maximum ou leur minimum. Elle identifie les mois où les précipitations sont les plus intenses ou les moins abondantes.

Formule de la PCP :

$$\text{PCD} = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{R_i} \quad (25)$$

Avec :

$$R_i = \sum Y_{ij} \quad (26)$$

$$R_{xi} = \sum Y_{ij} \cdot \sin \theta_j \quad (27)$$

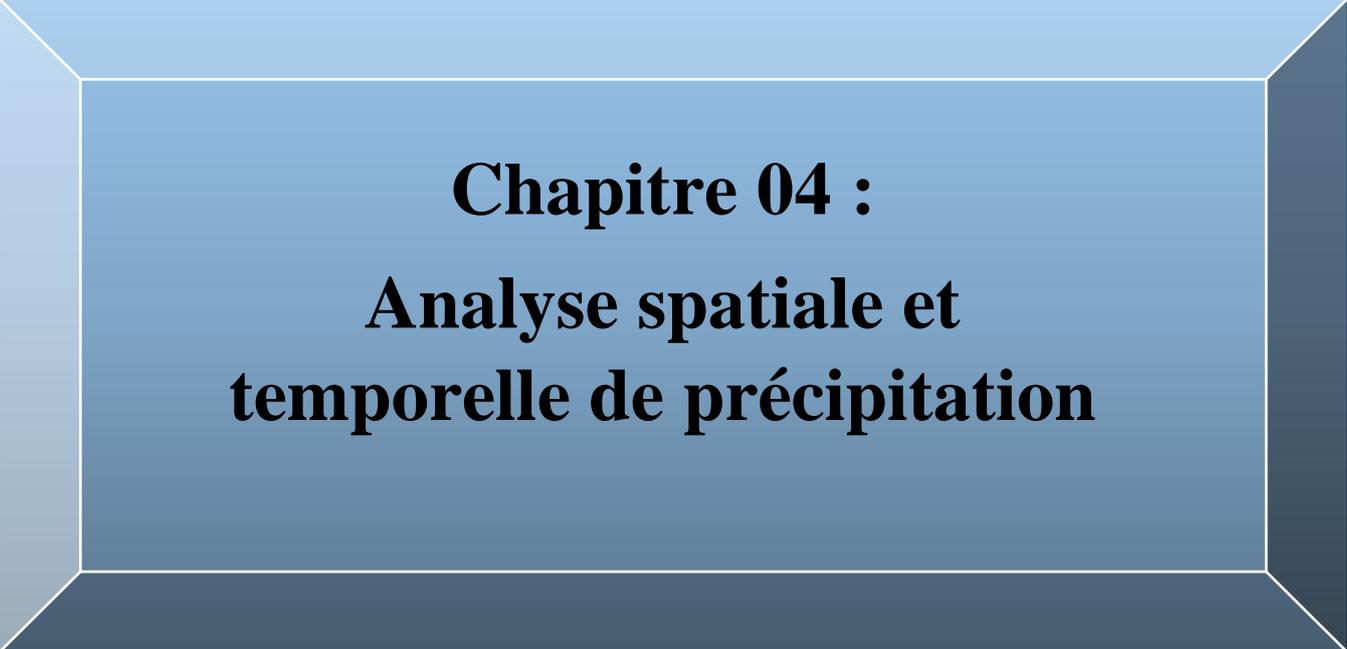
$$R_{yi} = \sum Y_{ij} \cdot \cos \theta_j \quad (28)$$

NB : La PCP n'a pas de formule mathématique spécifique. Elle est généralement déterminée en analysant les données de précipitations pour chaque mois et en identifiant les mois où les valeurs sont les plus élevées (maximum) ou les plus faibles (minimum).

Ces indices fournissent des informations importantes sur les régimes de précipitations et la distribution temporelle des précipitations sur une période donnée. Ils sont utilisés pour caractériser les variations saisonnières et les tendances dans les données de précipitations, ce qui peut avoir des implications pour la gestion des ressources en eau, l'agriculture et la planification régionale.

IV. Conclusion

Deux types de données ont été utilisés dans cette étude sur la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le bassin Mekerra. Le premier type est constitué des données pluviométriques et le deuxième type de données est issu de sources satellitaires recueillies pour 12 stations pluviométriques situées de manière quasi-régulière dans tout le bassin, couvrant la période de (septembre 1984 à août 2011). Ces données ont été analysées et comparées en utilisant différents indices statistiques pour évaluer leur aptitude à détecter les événements extrêmes dans le bassin d'étude. Ce chapitre met en évidence l'importance de disposer de données provenant de stations pluviométriques bien réparties et représentatives, ainsi que l'utilisation de données satellitaires pour caractériser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans un bassin versant. Les outils statistiques sont essentiels pour comparer et analyser ces données, et pour obtenir des informations précieuses sur les variations des précipitations dans l'espace et dans le temps.



Chapitre 04 :
Analyse spatiale et
temporelle de précipitation

I. Introduction

L'estimation précise des précipitations à une échelle fine demeure un défi majeur, en raison des limitations inhérentes au réseau d'observation au sol. Cette précision est essentielle, car elle a un impact significatif sur la prise de décision et la gestion des ressources en eau, notamment dans des régions sujettes aux sécheresses ou aux inondations.

Pour pallier ces limitations, les données satellitaires provenant de missions spécifiques à la mesure des précipitations sont devenues des outils largement utilisés pour estimer les précipitations sur de vastes étendues terrestres. Cependant, il est impératif d'évaluer la cohérence et la fiabilité de ces données satellitaires en les comparant aux mesures effectuées par les stations pluviométriques au sol.

Dans cette perspective, une étude a été entreprise sur une période s'étendant de 1984 à 2011. Cette étude a utilisé des données pluviométriques collectées à partir d'un réseau de 12 stations soigneusement réparties dans l'ensemble du bassin de la Mekerra, ainsi que des données satellitaires. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la concordance des données satellitaires avec les observations au sol, en mettant l'accent sur la cohérence temporelle et spatiale.

La première partie de cette analyse a été consacrée à l'examen des données à différentes échelles temporelles, à savoir annuelle, saisonnière et mensuelle. Les taux de précipitations obtenus à partir des deux sources ont été comparés et soumis à une analyse graphique et des méthodes statistiques.

La seconde partie de cette étude s'est focalisée sur l'analyse temporelle et spatiale de l'ensemble des données du bassin de la Mekerra. Pour cela, différentes méthodologies d'analyse ont été détaillées dans cette partie.

II. Analyse temporelle

L'analyse temporelle consiste à étudier les variations des précipitations au fil du temps, en examinant l'évolution des précipitations aux échelles annuelles, saisonnières et mensuelles. Elle permet de détecter des schémas de changement ou d'abondance de précipitations, et d'évaluer la cohérence entre les données stationnaires et satellitaires sur différentes échelles temporelles. Pour ce faire, nous avons étudié le rapport entre les données satellitaires et les données des stations au sol, ce qui nous a permis de mieux comprendre comment ces deux sources d'information se comparent dans le contexte de l'analyse temporelle des précipitations.

1. Analyse pluviométrique à l'échelle annuelle

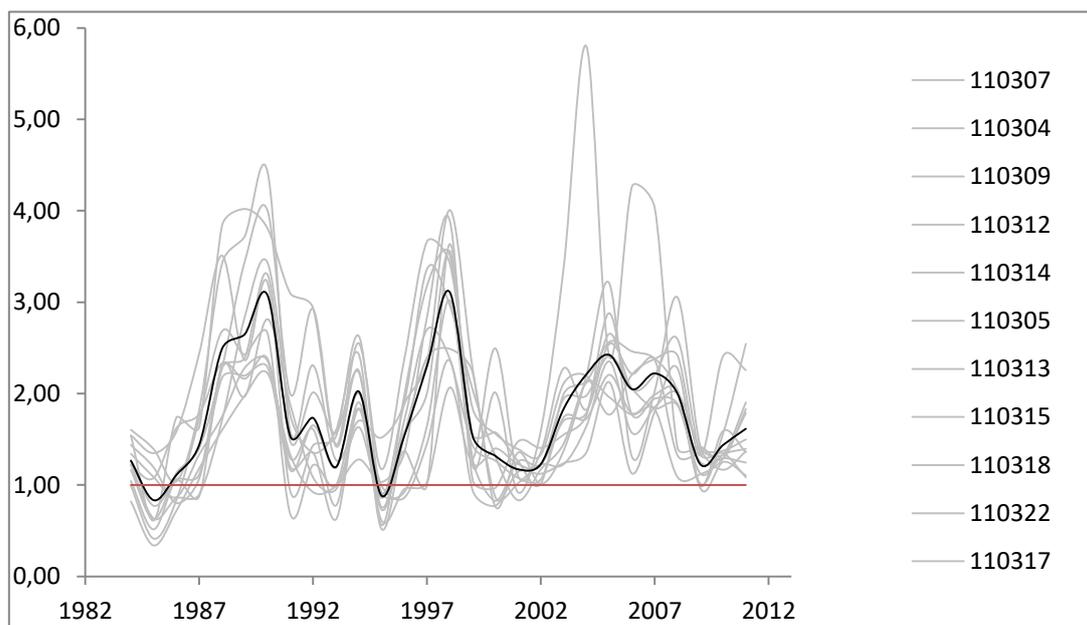


Figure. 9 : la variation annuelle des rapports des données (satellite/station).

La figure. 9, présente le rapport entre les données satellitaires et les données des stations au sol pour la période de 1984-2011 dans le bassin versant de la Mekerra.

L'analyse de ce graphique met en évidence la variabilité de la précipitation annuelle d'une année à l'autre et d'une région à une autre. En comparant les données pluviométriques et les données satellitaires, une tendance générale de surestimation des données satellitaires sur

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

l'ensemble du bassin est observé, La surestimation des rapports entre les données satellites et les stations à l'échelle annuelle signifie que les mesures obtenues à partir des satellites donnent des valeurs supérieures à celles obtenues à partir des stations de surveillance. Cela peut être dû à plusieurs facteurs, tels que : erreurs de traitement des données, limitations des capteurs satellitaires, interférences atmosphériques et erreurs de calibrage.

Cependant, pour les années où le taux de précipitation dépasse 600 mm/an, le produit satellitaire sous-estime la quantité de précipitations, La sous-estimation des rapports entre les données satellites et les stations à l'échelle annuelle signifie que les mesures obtenues à partir des stations de surveillance donnent des valeurs supérieures à celles obtenues à partir des données satellites.

Tableau 2 : Différents paramètres d'erreur statiques entre les données du pluviomètre et satellitaires pour les années de 1984-2011.

Paramètres statistiques	Valeurs
R² (%)	19
ME (mm/an)	139
RMSE (mm/an)	270
Ecart-type (mm/an)	186

Ce tableau présente les paramètres statistiques et leurs valeurs correspondantes. Le coefficient de détermination (R^2) est de 19%, ce qui indique que le modèle n'est pas très performant pour expliquer la variation des données. Cela signifie que seulement 19% de la variation des données peut être expliquée par le modèle utilisé.

L'erreur moyenne (ME) est de 139 mm/an, ce qui représente la différence moyenne entre les valeurs observées et les valeurs satellitaires. En d'autres termes, en moyenne, les valeurs satellitaires diffèrent des valeurs observées de 139 mm/an. Une erreur moyenne plus faible indiquerait une meilleure concordance entre les valeurs prédites et les valeurs observées.

Le RMSE (racine carrée de l'erreur quadratique moyenne) est de 270 mm/an. Il mesure l'écart moyen entre les valeurs observées et les valeurs prédites. Un RMSE plus faible indiquerait une meilleure adéquation entre les valeurs prédites et les valeurs observées.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Enfin, l'écart-type est de 186 mm/an, ce qui représente la dispersion des données autour de la valeur moyenne. Un écart-type plus élevé indique une plus grande variabilité des données, tandis qu'un écart-type plus faible indiquerait une plus grande cohérence des données.

Il convient de souligner que ces paramètres statistiques fournissent des indications et des données importantes sur la performance du modèle utilisé pour estimer les valeurs prédites par rapport aux valeurs observées. Ils aident à évaluer la précision et la fiabilité du modèle, ainsi que la dispersion et la variabilité des données autour de la tendance estimée.

2. Analyse pluviométrique à l'échelle saisonnière

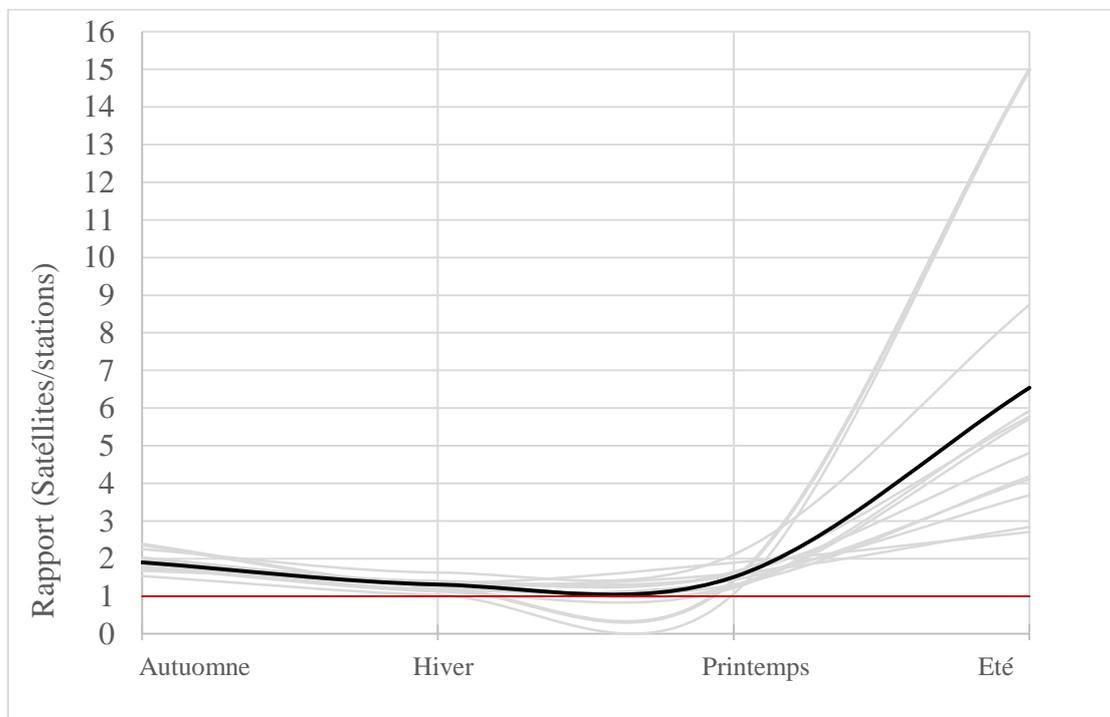


Figure. 10 : la variation saisonnière des rapports des données (satellite/station).

La figure 10 présente le rapport saisonnier entre les précipitations satellitaires et les précipitations des stations de jaugeages sur la période de 1984 à 2011. On peut observer une tendance de surestimation dans les données satellitaires pendant toutes les saisons, particulièrement marquée durant la saison estivale, où le rapport de surestimation varie de plus de 2 à plus de 15 fois. Par ailleurs, une sous-estimation est perceptible entre les saisons hivernale et printanière dans les stations 110313 et 110315. La figure montre que pendant la saison d'automne le rapport entre les deux produits est en moyenne égal à 2, cela veut dire que pendant cette saison le taux des précipitations satellitaire est deux fois le taux des

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

précipitations mesurées au sol. Pour les saisons d'hiver et du printemps le rapport est presque de 1 indiquant une légère différence entre le taux des précipitations des deux produits.

Tableau 3: Les paramètres statistiques pour chaque saison pour la période 1984-2011.

Paramètres statistiques				
	Automne	Hiver	Printemps	Été
R² (%)	37	26	45	30
RMSE (mm/saison)	120	104	92	54
ME (mm/saison)	76	36	44	37
Ecart type (mm/saison)	93	97	79	38

Le tableau présente les paramètres statistiques correspondant à chaque saison. Ces paramètres sont destinés à évaluer la qualité de l'ajustement du modèle ainsi que la précision des prédictions spécifiques à chaque période. Le coefficient de détermination (R^2) manifeste des variations inter-saisons, affichant des valeurs de 37 % pour l'Automne, 26 % pour l'Hiver, 45 % pour le Printemps et 30 % pour l'Été. Ces résultats laissent entrevoir que le modèle explicatif de la variance des données varie en fonction de chaque saison, le Printemps se distinguant avec le coefficient de détermination le plus élevé. En d'autres termes, les données semblent mieux s'adapter au Printemps par rapport aux autres saisons

Le RMSE (racine carrée de l'erreur quadratique moyenne) présente également des variations entre les saisons. Les valeurs sont de 120 mm/saison pour l'Automne, 104 mm/saison pour l'Hiver, 92 mm/saison pour le Printemps et 54 mm/saison pour l'Été. Un RMSE plus faible indique une meilleure précision des prédictions, et dans ce cas, l'Été présente le RMSE le plus bas.

L'erreur moyenne (ME) représente l'écart moyen entre les valeurs prédites et les valeurs observées pour chaque saison. Les valeurs sont de 76 mm/saison pour l'Automne, 36 mm/saison pour l'Hiver, 44 mm/saison pour le Printemps et 37 mm/saison pour l'Été. Une valeur faible de l'erreur moyenne (ME) indique une meilleure concordance entre les valeurs prédites et observées, et dans ce cas, l'Hiver présente la ME la plus faible.

L'écart type mesure la dispersion des données autour de la valeur moyenne pour chaque saison. Les valeurs sont de 93 mm/saison pour l'Hiver, 97 mm/saison pour le Printemps, 79

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

mm/saison pour l'Été et 38 mm/saison pour l'Automne. Un écart type plus élevé indique une plus grande variabilité des données, et ici, l'Hiver présente l'écart type le plus élevé.

Les saisons montrent des niveaux de performance variables en ce qui concerne l'ajustement du modèle et la précision des prédictions. Le Printemps semble être la saison avec le meilleur ajustement du modèle et la plus faible erreur moyenne, tandis que l'Hiver présente la plus grande variabilité des données.

3. Analyse pluviométrique à l'échelle mensuelle

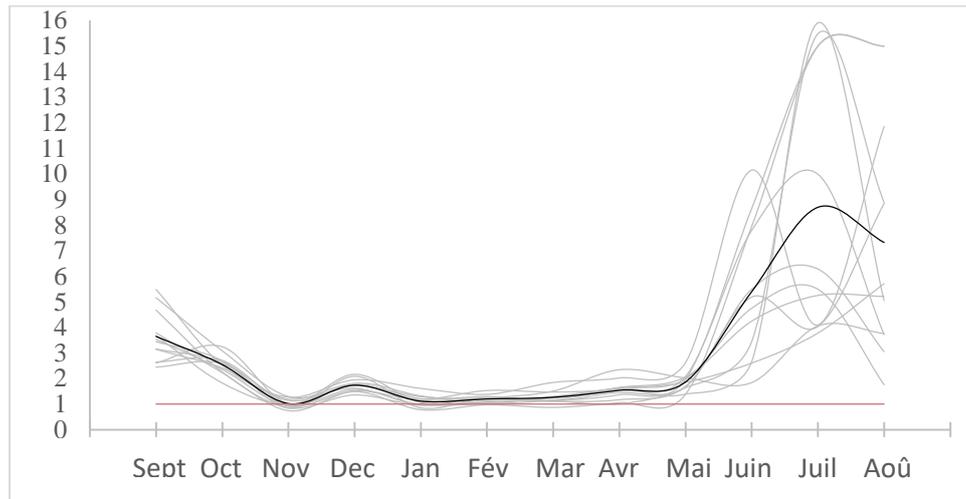


Figure. 11 : la variation mensuelle des rapports des données (satellite/station).

La Figure. 11 présente le rapport moyen mensuel entre les données satellitaires et les données stationnaires pour la période de 1984-2011 dans le bassin de la Mekerra.

L'observation initiale révèle une variation significative des rapports d'un mois à l'autre, ce qui suggère une variation saisonnière dans la performance des données satellitaires par rapport aux données des stations pluviométriques. Certains mois affichent des rapports proches de 1 comme les mois de novembre, janvier et mars surtout pour les stations (110304, 10314, 110312, 110305, 110317), indiquant une concordance relativement bonne entre les deux sources de données. En revanche dans les mois de la saison estivale (de mai à aout ou de juin à aout) le rapport est très important atteignant jusqu'à 15 fois surtout pour les stations (110313, 110315, 110314, 110317, 110318) indiquant une surestimation des précipitations par le satellite. cette surestimation est due à l'erreurs de mesure ou de collecte des données, variabilité naturelle, modèles de prédiction inadéquats, etc.

Par ailleurs, on observe que certains mois présentent des rapports régulièrement supérieurs à 1, suggérant une surestimation systématique des données satellitaires par rapport aux données

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

des stations pour ces périodes. À l'inverse, d'autres mois peuvent afficher des rapports régulièrement inférieurs à 1, indiquant une sous-estimation systématique des données satellitaires. Ces variations peuvent être attribuées à des facteurs tels que les fluctuations climatiques interannuelles ou les variations de performance des capteurs satellitaires et des stations pluviométriques.

Tableau 4 : Les paramètres statistiques pour chaque mois pour la période 1984-2011.

Indicateurs	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
R ² %	45	54	24	24	46	41	65	46	23	25	23	30
ME (mm/mois)	39	36	0	25	4	8	9	14	20	15	6	16
RMSE (mm/mois)	68	63	51	71	49	44	41	45	50	26	14	32
Ecart type (mm/mois)	55	51	51	66	48	43	39	42	45	21	12	27

Le tableau 4, présente les indicateurs statistiques pour chaque mois de l'année, permettant d'évaluer la qualité de l'ajustement du modèle et la précision des estimations pour chaque mois spécifique. Le coefficient de détermination (R^2) varie d'un mois à l'autre, allant de 24% à 65%. Un R^2 plus élevé indique une meilleure adéquation du modèle aux données observées. Les résultats du tableau montrent que la majorité des mois présentent un R^2 qui ne dépasse pas les 50 % à l'exception des mois d'octobre avec un $R^2 = 54$ % et le mois de mars avec un $R^2 = 65$ %.

L'erreur moyenne (ME) représente la différence moyenne entre les valeurs prédites et les valeurs observées pour chaque mois. Les valeurs sont exprimées en millimètres (mm/mois). Par exemple, en novembre, l'erreur moyenne est de 0 mm, indiquant une très faible différence entre les prédictions et les observations pour ce mois. Alors que pour les mois de septembre et octobre la différence dépasse les 30mm.

Le RMSE mesure la précision des estimations en évaluant l'écart quadratique moyen entre les valeurs prédites et les valeurs observées, également en millimètres (mm/mois). Par exemple, en juillet, juin, août, le RMSE est de 14, 26 et 32 mm/mois, suggérant une précision relativement bonne des estimations pour ces mois.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

L'écart type mesure la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Plus l'écart type est élevé, plus les données sont dispersées. En observant les valeurs d'écart type pour chaque mois, on peut interpréter la dispersion des données mensuelles par rapport à leur moyenne.

En général, une majorité des valeurs devrait se situer à l'intérieur d'une certaine plage autour de la moyenne. Pour les mois dans le tableau 4, la majorité des valeurs se situent entre 21 mm et 55 mm, Cela indique que la plupart des mois ont une certaine cohérence dans leurs mesures.

Si nous examinons les écart-types, nous pouvons voir que la valeur maximale est de 66 pour le mois de décembre. Cela indique que les données de décembre ont tendance à être plus dispersées par rapport à la moyenne, par rapport aux autres mois. Cela pourrait signifier que les valeurs pour décembre ont une variabilité plus élevée, avec des mesures qui s'écartent davantage de la moyenne.

III. Tendances des précipitations par la méthode de Mann-Kendall

En appliquant le test de Mann-Kendall et sa version modifiée, on peut évaluer les tendances des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Mekerra, déterminer leur significativité statistique et fournir des informations sur les évolutions temporelles des régimes pluviométriques.

Les résultats de l'analyse des tendances des précipitations pour les données de jaugeages et satellitaires sont les suivants :

1. Echelle annuelle

1.1 Résultat station de jaugeage

Dans ce tableau, les stations sont répertoriées avec leurs valeurs de τ de Kendall, les p-valeurs, les statistiques S et les tendances observées.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Tableau 5 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle annuelle (station de jaugeage).

Stations	résultats Mann Kendall			Tendance
	τ de Kendall	p-value	Statistique S	
110307	-0,100	0,478	-35	o-
110304	0,053	0,707	20	o+
110309	0,040	0,782	15	o+
110312	0,103	0,453	39	o+
110314	-0,153	0,260	-58	o-
110305	0,196	0,149	74	o+
110313	0,127	0,353	48	o+
110315	0,238	0,079	90	+
110318	0,138	0,314	52	o+
110322	0,265	0,050	100	+
110317	0,249	0,066	94	+
110310	0,265	0,050	100	+

τ : Tau de Kendall, S : Statistique, o- (o+) : tendance négative (positive) non significative, + (-): tendance positive (négative) significative.

NB : Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifiées.

Le tableau récapitule les résultats des tendances observées dans les 12 stations étudié. Quatre stations (110315, 110322, 110317, et 110310) ont montré des tendances positives significatives. Ces dernières sont concentrées sur le nord-ouest du bassin, soulignant ainsi une augmentation des précipitations dans cette partie. D'autre part, les huit autres stations restantes ne présentent pas de tendances statistiquement significatives. Les stations 110307 et 110314 affichent des tendances négatives non significatives, tandis que les stations 110304, 110309, 110312, 110305, 110313, et 110318 montrent des tendances positives non significative.

1.2 Résultat satellite

Le tableau 6 représente les résultats des tendances annuelles du test de Mann Kendal appliqué aux données satellitaires.

Tableau 6 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle annuelle (station satellitaire).

Satellite	résultats Mann Kendall			Tendance
	τ de Kendall	p-value	Statistique S	
110307	0,307	0,023	116	++
110304	0,243	0,072	92	+
110309	0,354	0,009	134	+++
110312	-0,043	0,770	-15	o-
110314	0,218	0,109	82	o+
110305	0,252	0,063	95	+
110313	-0,005	0,984	-2	o-
110315	0,317	0,019	120	o+
110318	0,119	0,385	45	o+
110322	0,339	0,012	128	o+
110317	0,397	0,003	150	+++
110310	0,045	0,752	17	o+

τ : Tau de Kendall, S : Statistique, o- (o+) : tendance négative (positive) non significative, -(+) : tendance négative (positive) significative au seuil $\alpha = 10\%$, ++ ($\alpha = 5\%$), +++ ($\alpha = 1\%$).

NB : Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifiées.

Le tableau récapitule les résultats des tendances observées pour les 12 stations satellitaires étudiées. Les stations (110307, 110304, 110309, 110305 et 110317) mettent en évidence des tendances positives significatives, indiquant une augmentation des précipitations. Ces stations se trouvent à des altitudes dépassant les 420 m. En revanche, les sept stations restantes ont affiché des tendances non significatives.

1.3 Comparaison des deux résultats

Les résultats des tendances, évalués par le test de Mann-Kendall pour les deux sources de données (stations et satellites), ne montrent pas de convergence. Parmi les 12 stations analysées, seules deux stations (110317 et 110318) ont présenté des tendances similaires. En revanche, les quatre stations (110307, 110312, 110314, et 110313) ont affiché des résultats contradictoires. De plus, pour le reste des stations, lorsqu'une tendance s'est avérée

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

significative dans les données des stations, elle s'est révélée non significative dans les données satellitaires, et vice versa. Ces résultats sont soutenus par les résultats du tableau 2 qui représente les paramètres statistiques entre les deux sources de données où la valeur du coefficient d'autocorrélation était faible ($R^2=19\%$).

2. Echelle saisonnier

2.1 Résultat station de jaugeage

Tableau 7 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle saisonnier (station de jaugeage).

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Été	
	τ de Kendall	Tendance						
110307	0,122	o+	-0,026	o-	0,100	o+	-0,229	o-
110304	0,106	o+	0,011	o+	-0,042	o-	0,019	o+
110309	0,053	o+	0,048	o+	-0,085	o-	-0,085	o-
110312	0,114	o+	-0,024	o-	0,117	o+	0,232	o+
110314	0,093	o+	-0,133	o-	-0,201	o-	-0,246	+
110305	0,241	+	0,011	o+	-0,085	o-	0,121	o+
110313	0,169	o+	0,042	o+	-0,053	o-	-0,139	o-
110315	0,259	+	0,111	o+	0,021	o+	-0,182	o-
110318	0,186	o+	0,034	o+	-0,048	o-	-0,036	o-
110322	0,193	o+	0,082	o+	0,101	o+	-0,018	o-
110317	0,159	o+	0,095	o+	0,058	o+	0,077	o+
110310	0,242	+	0,135	o+	-0,037	o-	0,148	o+

τ : Tau de Kendall, o- (o+) : Tendances négative (positive) non significative, - (+) : Tendances négative (positive) significative.

NB : Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifiées.

Le tableau 7 présente une vue d'ensemble des tendances saisonnières observées dans les 12 stations étudiées. Plusieurs tendances significatives et non significatives sont affichées. En Automne, les résultats ont été dominés par les tendances positives. Trois stations, à savoir 110305, 110315 et 110310 ont affichées des tendances positives significatives, reflétant une augmentation des précipitations. Alors que les 9 stations restantes ont affichées des tendances positives non significatives. En hiver, aucune tendance significative n'a été identifiée. Cependant les données ont été dominées par des tendances non significatives positives où 9 stations ont affichées des tendances positives et seulement 3 stations ont affichées des tendances négatives non significatives.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Au printemps, Les stations ne révèlent pas de tendances significatives, avec 5 stations ont affiché des tendances positives non significatives et 7 stations ont affiché des tendances négatives non significatives. Pour ce qui est de la saison d'été, une station, à savoir 110314, présente une tendance positive significative. Alors que pour le reste des stations les tendances affichées sont non significatives.

2.2 Résultat satellite

Tableau 8 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle saisonnier (station satellitaire).

saison satellite	automne		Hiver		Printemps		Été	
	τ de Kendall	tendance						
110307	0,259	+	0,271	++	0,074	o+	0,144	o+
110304	0,245	+	0,164	o+	0,151	o+	0,146	o+
110309	0,328	++	0,241	+	0,170	o+	0,189	o+
110312	0,146	o+	0,117	o+	0,077	o+	0,090	o+
110314	0,169	o+	0,156	o+	0,114	o+	0,120	o+
110305	0,242	+	0,204	o+	0,072	o+	0,146	o+
110313	-0,014	o-	0,003	o+	0,019	o+	-0,074	o-
110315	0,229	+	0,246	+	0,156	o+	0,120	o+
110318	0,322	++	0,148	o+	-0,005	o-	0,080	o+
110322	0,185	o+	0,321	++	0,148	o+	0,235	+
110317	0,215	o+	0,326	++	0,109	o+	0,269	++
110310	0,003	o+	0,024	o+	0,021	o+	0,144	o+

τ : Tau de Kendall, o- (o+) : tendance négative (positive) non significative, - (+) : tendance positive (négative) significative.

NB : Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifiées.

Le tableau 8 présente une vue d'ensemble des tendances saisonnières observées pour les stations satellitaires. Plusieurs tendances significatives et non significatives sont affichées. En Automne, les résultats ont été dominé par des tendances positives. Six stations, à savoir 110307, 110304, 110309, 110305, 110315 et 110318, exhibent des tendances positives significatives, indiquant une augmentation des précipitations. Ces dernières sont distribuées sur l'ensemble du bassin. Les 6 stations restantes ont affiché des tendances non significatives dont 5 positives et une négative. En hiver, les cinq stations (110317, 110315, 110309, 110307 et 110322) présentent des tendances positives significatives, reflétant une augmentation des précipitations. Alors que les 7 stations restantes ont affiché des tendances positives non significatives.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Au printemps, les stations ne montrent aucune tendance significative. Cependant, les résultats sont dominés par les tendances à la hausse sauf pour la station 110318 où une tendance non significative négative est observée. Et pour ce qui est de la saison d'été, deux stations, à savoir 110322 et 110317, révèlent des tendances positives significatives. Tandis que le reste des stations ont affiché des tendances non significatives dominées par les tendances à la hausse ;

Ces variations de tendances de précipitations par saison et par satellite trouvent leur origine dans diverses influences, notamment les variations saisonnières intrinsèques à chaque région ainsi que les caractéristiques géographiques spécifiques à chaque satellite. Il est donc crucial d'intégrer ces variations saisonnières et les particularités des satellites lors de l'analyse des tendances de précipitations. En somme, les tendances en matière de précipitations peuvent considérablement fluctuer en fonction des saisons et des satellites, soulignant la complexité de ces interactions temporelles.

2.3 Comparaison des deux résultats (stations/satellites)

Les résultats des tendances saisonnières, évaluées par le test de Mann-Kendall pour les deux sources de données (stations et satellites), révèlent à la fois des similitudes et des divergences significatives.

En automne, six stations (110312, 110314, 110305, 110315, 110317, et 110322) ont affiché des tendances similaires entre les deux sources de données. Cependant, pour les autres stations, une tendance significative dans les données des stations ne correspondait pas à une tendance significative dans les données satellitaires, et vice versa. Ces résultats sont renforcés par le tableau 3, qui montre que la corrélation moyenne entre les deux sources de données pour la saison d'automne est de $R^2=37\%$. Cela suggère une certaine cohérence, bien que des divergences subsistent.

En hiver, cinq stations ont présenté des tendances similaires entre les deux sources de données, tandis que trois stations ont montré des tendances opposées. Il est important de noter que le coefficient de corrélation entre les deux sources de données pour la saison d'hiver est particulièrement faible en comparaison avec toutes les autres saisons étudiées, ce qui indique une variabilité importante entre les données stationnaires et satellitaires.

Pour la saison du printemps, les résultats des tendances de Mann-Kendall ont montré des tendances non significatives dans l'ensemble du bassin. Sur les 12 stations analysées, six ont montré des tendances convergentes, tandis que six ont montré des tendances divergentes. Cependant, il est intéressant de noter que le coefficient de corrélation entre les deux sources

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

de données détecté au printemps est le plus élevé parmi toutes les saisons étudiées, atteignant $R^2=45\%$. Cela suggère malgré l'absence de tendances significatives, une corrélation plus forte entre les deux sources de données au printemps.

En été, les résultats des tendances pour les deux sources de données ont affiché cinq tendances convergentes pour les stations, quatre tendances opposées, et trois tendances pour lesquelles une significativité dans les données des stations ne correspondait pas à une significativité dans les données satellitaires, et vice versa. Le coefficient de corrélation entre les deux sources de données pour la saison d'été était de $R=30\%$.

Ces constatations soulignent la complexité des variations saisonnières et des différences entre les données des stations et les données satellitaires, mettant en lumière l'importance d'une analyse approfondie des facteurs sous-jacents à ces divergences saisonnières.

3. Echelle mensuelle

3.1 Résultat station de jaugeage

Le tableau 9 présente les résultats des tendances mensuelles de Mann-Kendall appliquées aux données des stations de jaugeage. Ces résultats mettent en évidence que, parmi l'ensemble des données analysées, 62 % ont révélé des tendances positives, dont 10 % se sont avérées significatives, principalement concentrées au cours du mois d'octobre. En parallèle, 52 % des tendances positives observées n'ont pas atteint le seuil de significativité statistique. Ces tendances positives non significatives sont principalement observées au cours des mois de septembre, novembre, décembre, avril, mai et août. Quant aux tendances à la baisse, elles ont été identifiées dans 38 % des cas. Cependant, ces tendances sont des tendances non significatives et se concentrent principalement au cours des mois de janvier, mars et juillet.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Tableau 9 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle mensuelle (station de jaugeage).

/	Tendance											
	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août
110307	o+	++	++	o-	o-	o+	o-	o-	o-	++	o-	o+
110304	o+	++	o-	o+	o-	o-	o-	o+	o+	o+	o-	o-
110309	o-	o+	o+	o+	o+	o-	o-	o+	o-	o-	o-	o+
110312	o+	+++	o+	o+	o-	o-	o-	o+	o+	o+	o+	o+
110314	o+	o+	o-	o+	o-	o-	o-	o-	o-	++	o-	o+
110305	o+	+++	o+	o+	o+	o+	o-	o+	o+	o+	o-	o+
110313	o+	++	o-	o+	o-	o-	o-	o+	o+	o-	o-	o+
110315	o+	+++	o+	o+	o-	o+	o-	o+	o-	o-	o+	o-
110318	o-	++	o+	o+	o+	o-	o-	o+	o+	o-	o-	o+
110322	o+	++	o+	o+	o-	o+	o-	o+	o+	o-	o-	o+
110317	+	o+	o+	o+	o+	o+	o-	o+	o+	o+	o-	o+
110310	+	+	o+	o+	o-	o+	o-	o+	o+	o+	o-	++

o- (+) : tendance négative (positive) non significative, - (+) : tendance négative (positive) significative.

3.2 Résultat satellite

Le tableau 10 détaille les résultats des tendances mensuelles de Mann-Kendall appliquées aux données satellitaires. Ces résultats mettent en évidence une nette prédominance des tendances à la hausse, avec 76 % des tendances détectées montrant une tendance positive, bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative. En outre, 21 % de ces tendances positives sont significatives, avec une concentration particulière en décembre et en juillet.

En revanche, les tendances à la baisse ne représentent que 3 % du total dont aucune d'entre elles ne présente de significativité statistique.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Tableau 10 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié à l'échelle mensuelle (station satellitaire).

/	Tendance											
	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août
110307	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	++	+	o+
110304	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	o+	o+	o+
110309	o+	o+	o+	++	o+	o+	++	o+	o+	+	+	o+
110312	o+	o+	o+	+++	o+	o-	o+	o+	o+	o+	+	o+
110314	o+	+	o+	+++	o+	o+	o+	o+	o+	+	+++	o+
110305	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	o+	+	o+
110313	o+	o+	o+	o+	o+	o-	o-	o+	o+	o+	+	o+
110315	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	o+	+++	o+
110318	o+	o+	o+	++	o+	o-	o+	o+	o-	o+	+	o+
110322	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	+++	++	o+
110317	o+	o+	o+	++	o+	o+	o+	o+	o+	++	++	+
110310	o+	o+	o+	o+	o+	o+	o+	o+	o+	+	++	o+

o- (+) : tendance négative (positive) non significative, + (-) : tendance positive (négative) significative.

3.3 Comparaisons des deux résultats

En comparant les deux tableaux, qui présentent les tendances des précipitations pour chaque mois selon les stations et les satellites, on peut observer certaines similitudes et différences :

Dans l'ensemble, les deux tableaux révèlent une prévalence des tendances positives par rapport aux tendances négatives, à la fois pour les données des stations de jaugeage et les données satellitaires. Cette observation suggère une tendance globale à l'augmentation des précipitations au fil des mois. Cependant, une divergence a été notée dans 35 % des cas, où des tendances négatives dans les données des stations ont été identifiées comme positives dans les données satellitaires. Cette divergence a été principalement constatée au cours des mois de mars, juillet et janvier. En revanche, une concordance a été observée dans 51 % des cas, principalement au cours des mois de septembre, novembre, avril et août.

Il est important de noter que, pour le reste des cas (24 %), une tendance significative dans les données des stations ne correspondait pas à une tendance significative dans les données satellitaires, et vice versa. En conclusion, bien que les tendances générales des précipitations

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

soient cohérentes entre les deux tableaux, des variations dans les tendances ont été observées pour certains mois. Ces différences peuvent être attribuées aux caractéristiques spécifiques des stations et des satellites, ainsi qu'aux méthodes d'observation utilisées pour collecter les données.

Conclusion

En conclusion, ces résultats soulignent la complexité des différences entre les données des stations et les données satellitaires. Ces variations peuvent être attribuées à une combinaison de facteurs, tels que les caractéristiques spécifiques des stations, les méthodes d'observation et les particularités des satellites. Une approche intégrée et une analyse approfondie sont essentielles pour interpréter correctement ces tendances climatiques et en tirer des implications importantes pour la gestion des ressources en eau et de l'environnement.

4. L'indice de saisonnalité (SI)

La saisonnalité des précipitations a été étudiée à l'aide de l'indice de saisonnalité (SI). Les résultats sont présentés dans la figure 12 et le tableau 11. La figure 11.a, illustre que, pour les données des stations, les précipitations présentent une répartition nettement saisonnière, avec une longue période sèche. Les valeurs de l'indice de saisonnalité (SI) varient de 0,83 à 0,98.

Concernant les données satellitaires, trois stations (110312, 110304 et 110318) ont manifesté une répartition saisonnière des précipitations, avec des valeurs de SI inférieures à 0,8. En revanche, les autres stations ont également montré une répartition nettement saisonnière, une longue période sèche, avec des valeurs de l'indice de saisonnalité (SI) variant de 0,8 à 0,8

Tableau 11 : Résultats de l'indice SI pour les deux sources de données (Stations et Satellite).

Station	SI_Stations	SI_Satellite
110307	0,96	0,83
110304	0,84	0,79
110309	0,91	0,82
110312	0,96	0,77
110314	0,85	0,83
110305	0,83	0,82
110313	0,95	0,85
110315	0,95	0,80
110318	0,94	0,79
110322	0,91	0,84
110317	0,98	0,83
110310	0,85	0,81

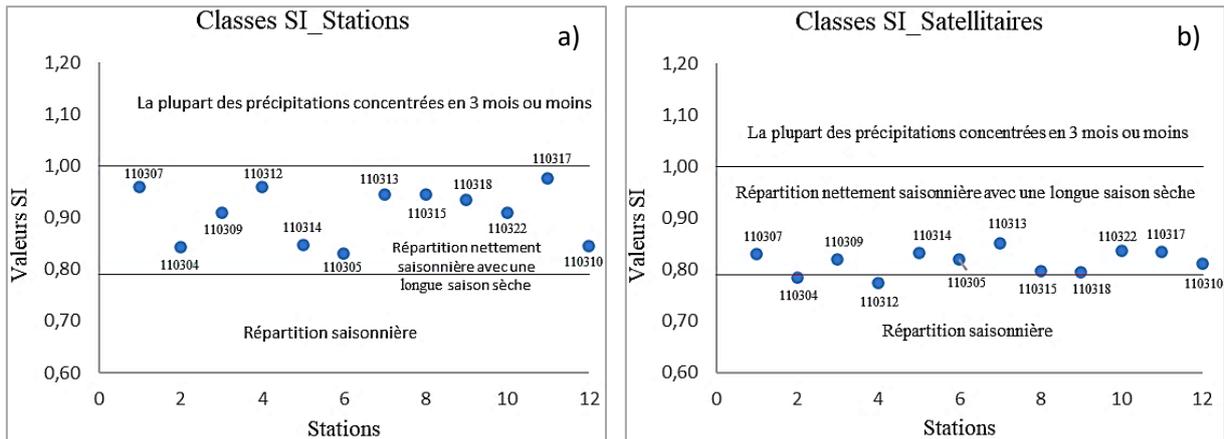


Figure 12 : Classes SI pour les 12 stations étudiées : a) Stations, b) satellitaires

5. l'indice de Concentration des précipitations (PCI)

Les valeurs de l'indice de concentration des précipitations mensuelles pour les 12 stations de la Mekkerà sont représentées dans la figure 13. Les résultats des données relatives aux stations de jaugeage (figure 13.a)), montrent que la concentration des précipitations est moyenne pour toutes les stations sauf la station 110317 qui un régime irrégulier avec un PCI=16,41. D'autre part, les données satellitaires (figure 13.b)) ont présenté une concentration des précipitations avec un PCI qui varie de 11,6 à 12,85.

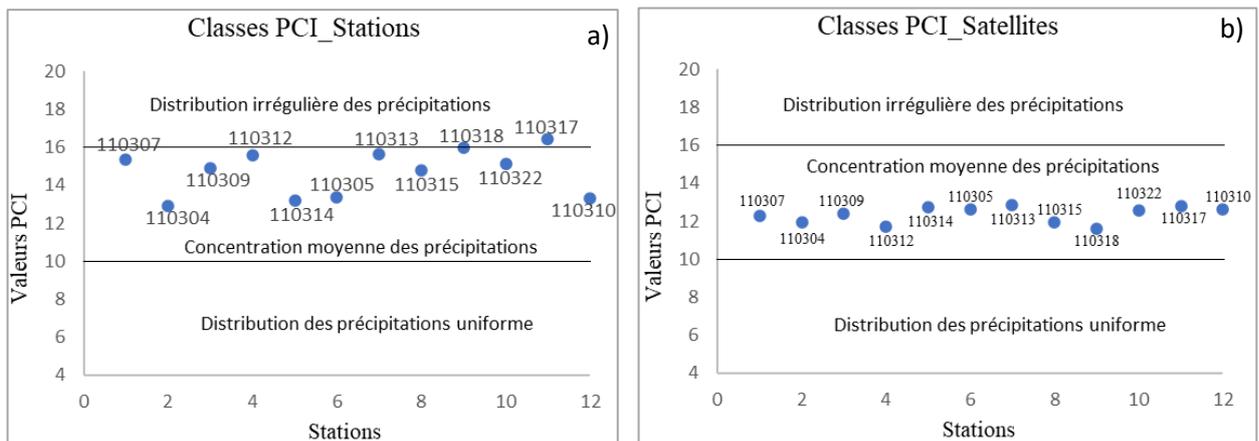


Figure 13 : Classes PCI pour les 12 stations étudiées : a) Stations, b) satellitaires

6. le degré de concentration des précipitations (PCD) et période de concentration des Précipitations (PCP)

Le degré et la période de concentration des précipitations sont utilisés pour déterminer quand les précipitations sont concentrées. Les résultats de la figure 14 révèlent que les précipitations sont principalement concentrées entre les mois de novembre et février, avec une concentration plus marquée pour la plupart des stations entre décembre et janvier. Ceci indique que la période de pluies est généralement de courte durée, couvrant à peine un quart de l'année en moyenne

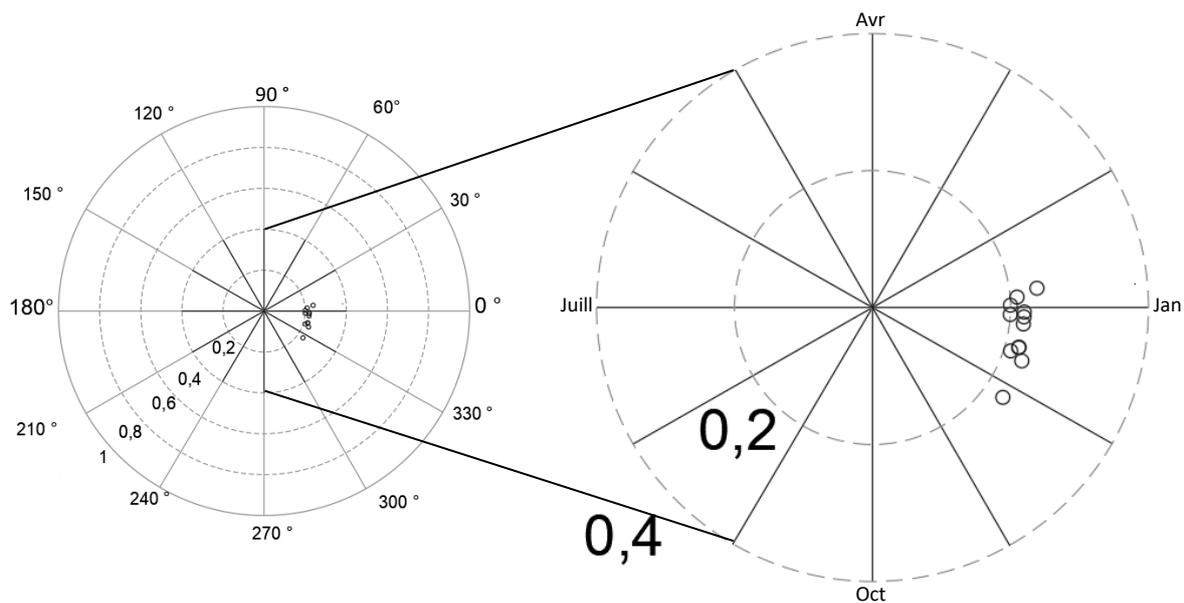


Figure 14 : Représentation graphique PCD/PCP pour les précipitations (Station). Les angles : 0° représente janvier ; 90° représente avril ; 180° représente juillet ; et 270° représente octobre.

Pour ce qui est des résultats des données fournis par le satellite. La figure 15 montre que les précipitations sont concentrées entre les mois de décembre et février avec une concentration particulièrement marquée entre le mois de janvier et le mois de février.

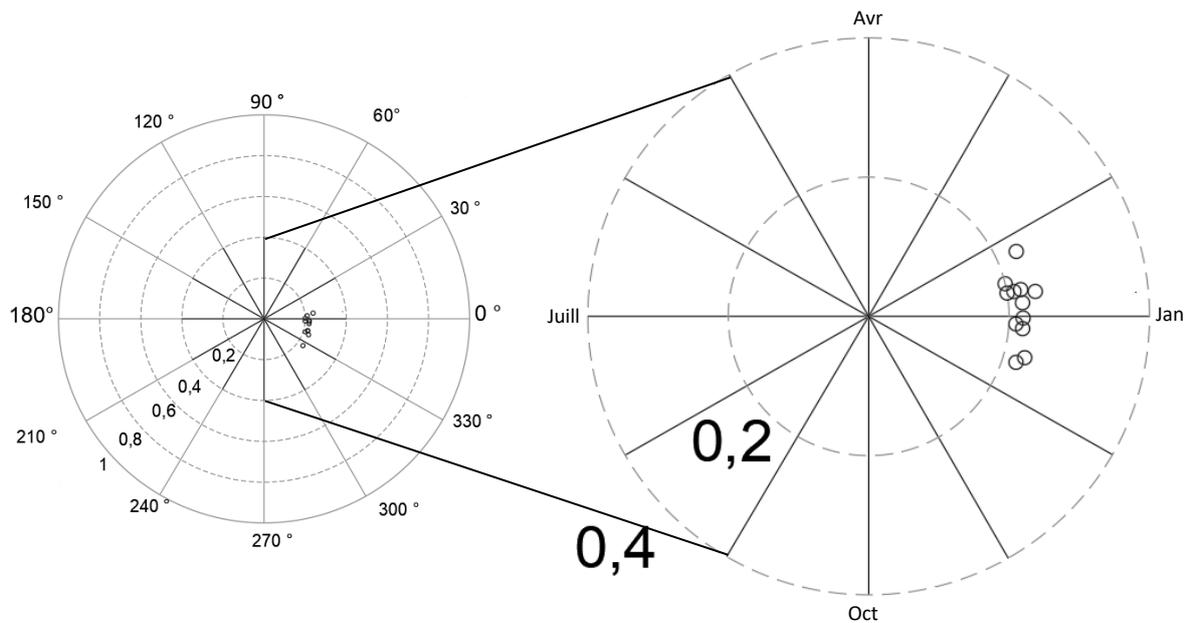


Figure 15 : Représentation graphique PCD/PCP pour les précipitations (Satellite).

Les angles : 0° représente janvier ; 90° représente avril ; 180° représente juillet ; et 270° représente octobre.

IV. Analyse spatiale

L'analyse spatiale vise à évaluer la distribution spatiale des précipitations, en examinant la variabilité des précipitations à travers un bassin versant ou une région donnée. Elle permet de mettre en évidence les différences régionales, les gradients de précipitation et d'identifier les zones présentant des discordances entre les données stationnaires et satellitaires.

Pour mener cette analyse, différentes méthodologies sont utilisées, telles que l'utilisation, d'indices statistiques et de techniques de cartographie spatiale. Ces outils permettent de quantifier les écarts entre les données stationnaires et satellitaires, d'évaluer les performances des satellites dans la mesure des précipitations et d'identifier les facteurs pouvant influencer les divergences observées.

V. Comparaison de la répartition spatiale des précipitations

1. Echelle annuel

La figure 16 illustre les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées par le biais de l'interpolation des données au moyen de la méthode de la distance inverse (IDW). L'observation révèle que la précipitation moyenne

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

annuelle, d'après les données au sol, varie entre 257,01 et 353,27 mm/an. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 455,06 et 564,62 mm/an.

Dans le bassin de Mekkera, les valeurs élevées de précipitations annuelles sont enregistrées au nord du bassin et dans sa partie nord-ouest, en se basant sur les données au sol. En contraste, en analysant les données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont plus remarquables dans les régions nord-est, nord-ouest et sud du bassin. Ces résultats montrent que la distribution des précipitations moyennes annuelles n'est pas la même.

Les relevés des stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du nord vers le sud.

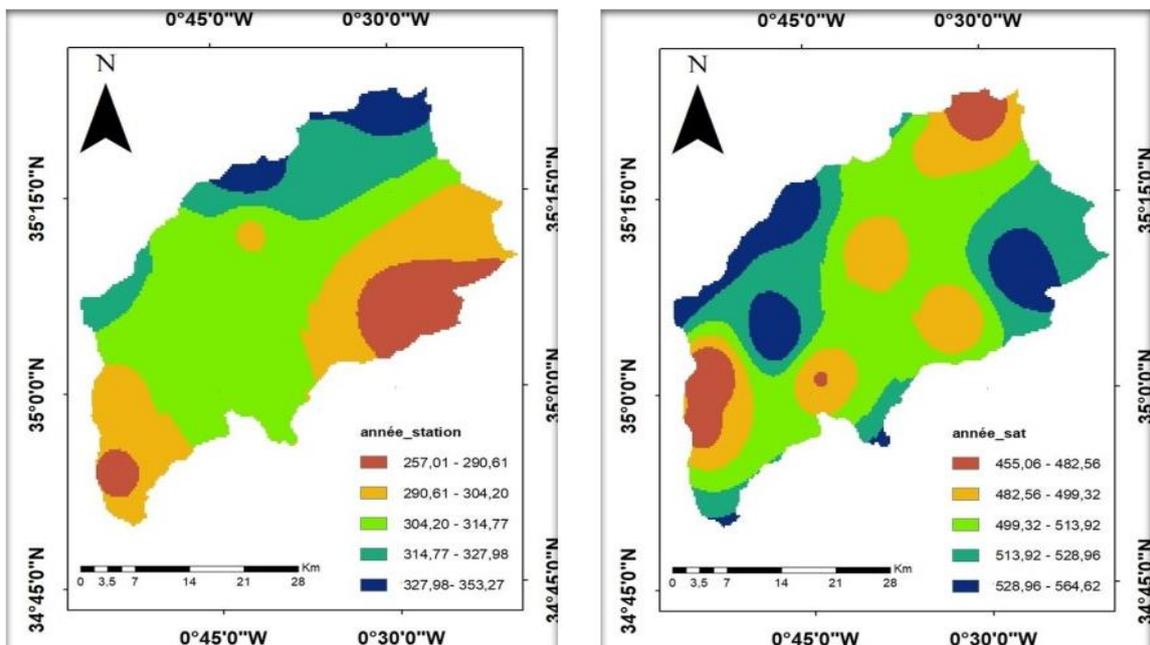


Figure 16 : Cartes de distribution des précipitations annuelle de 1984-2011(données station et satellite).

2. Echelle saisonnier

2.1 Automne

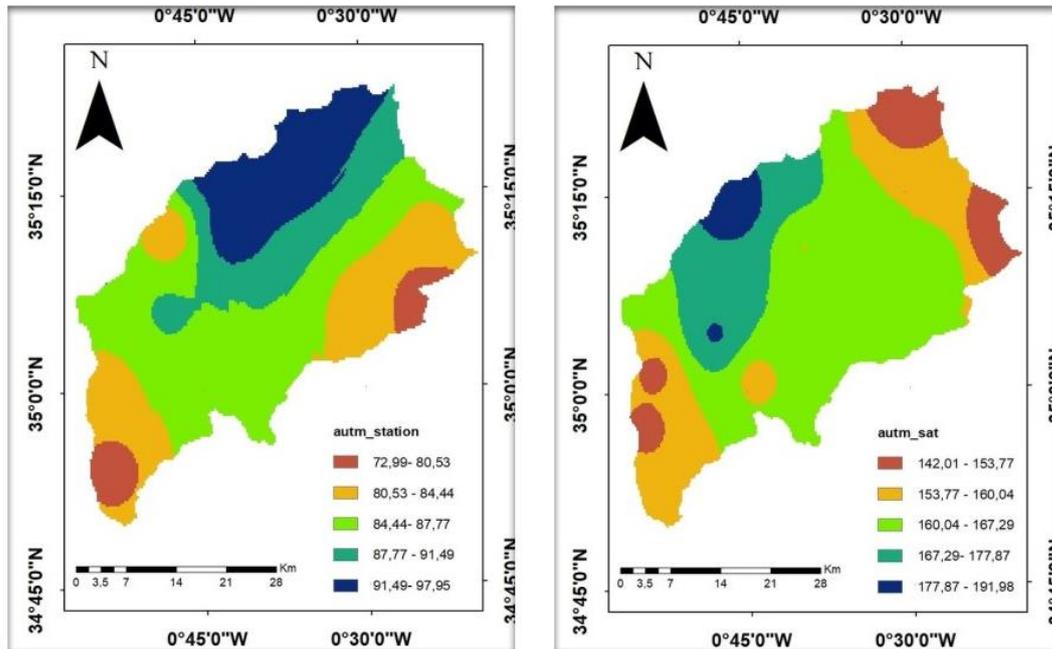


Figure 17 : Cartes de distribution des précipitations de la saison d’Automne de 1984-2011(données station et satellite).

La Figure 17 présente les cartes illustrant la répartition spatiale moyenne des précipitations durant la saison d'automne. Cette figure révèle que les précipitations moyennes pour la saison d'automne varient, selon les mesures au sol, entre 72,99 à 97,95 mm par saison. Cependant, les données satellites indiquent une variabilité plus large, allant de 142,01 à 191,98 mm.

Les zones avec les valeurs les plus élevées de précipitations pour cette saison sont détectées au nord du bassin, selon les données obtenues au sol. En contraste, d'après la distribution des données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont observés principalement dans les régions nord-ouest du bassin.

Les relevés des stations au sol que et les données satellitaires montrent un gradient négatif en se déplaçant du nord vers le sud.

Cependant, la comparaison des deux cartes suggère que les estimations obtenues par les satellites diffèrent considérablement des données au sol.

2.2 Hiver

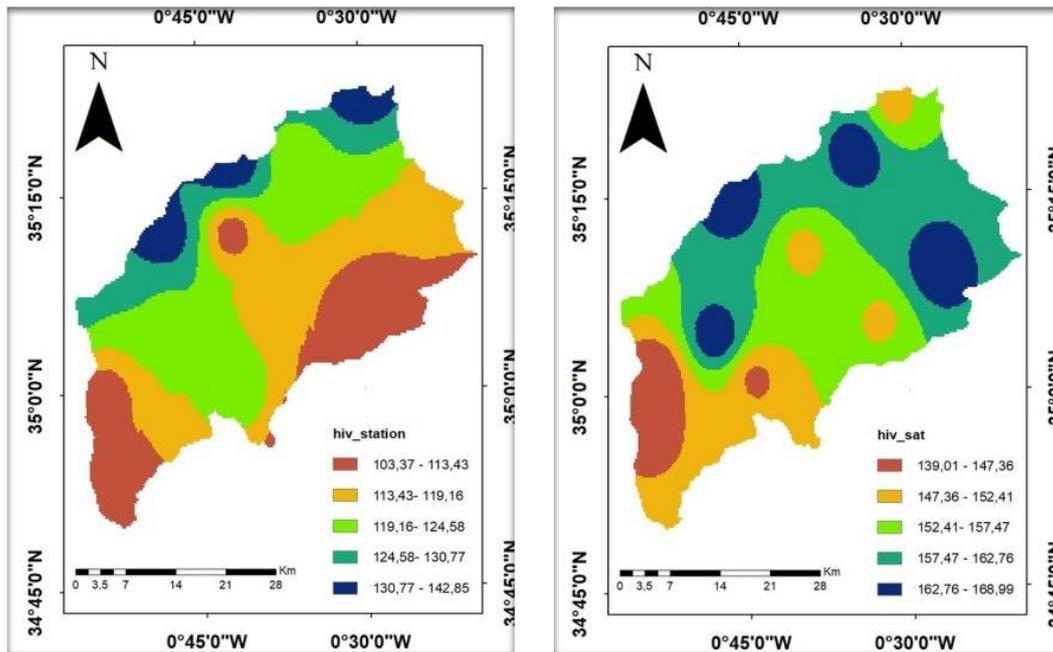


Figure 18 : Cartes de distribution de précipitation de la saison d’Hiver de 1984-2011(données station et satellite).

La figure 18 illustre la distribution spatiale des précipitations moyennes durant la saison hivernale. L'analyse révèle que la moyenne des précipitations hivernales, d'après les mesures au sol, présente une variabilité oscillante entre 103,37 et 142,85 mm. En revanche, les données satellitaires indiquent une fourchette plus étendue, allant de 139,01 à 168,99 mm par saison.

Dans le bassin de Mekker, les valeurs de précipitations les plus élevées pour cette période sont relevées dans la partie Nord du bassin ainsi que dans sa région nord-ouest, conformément aux données de sol. En contraste, l'analyse des données satellitaires révèle que les taux de précipitations les plus substantiels se situent davantage dans les régions nord-est et nord-ouest du bassin. Ces conclusions témoignent de disparités notables dans la distribution des précipitations moyennes.

Les données collectées par les stations de mesure reflètent une tendance à la décroissance des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud, une observation également vérifiable dans les données satellitaires.

La comparaison entre les deux représentations cartographiques suggère des discordances significatives entre les estimations satellites et les mesures au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les satellites excèdent celles obtenues par les relevés au sol.

2.3 Printemps

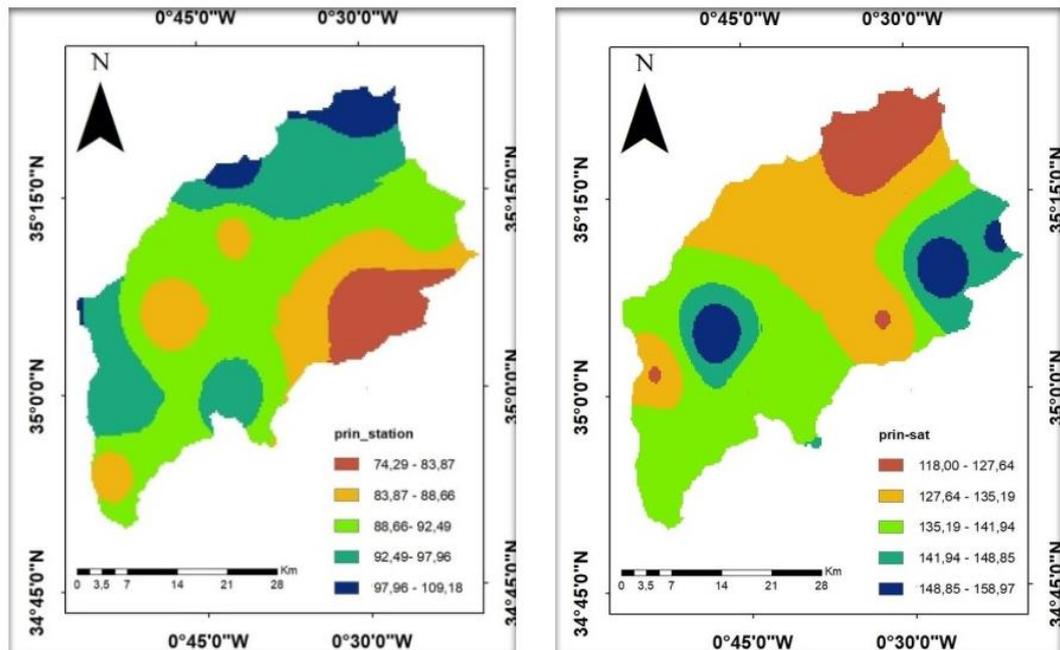


Figure 19 : Cartes de distribution de précipitation de la saison de Printemps de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma 19 présente les cartes de distribution spatiale des précipitations moyennes au cours de la saison printanière. L'analyse révèle que la moyenne saisonnière des précipitations, d'après les relevés au sol, présente une variation allant de 74,29 à 109,18 mm par saison. En revanche, selon les données satellitaires, cette variation se situe entre 118 et 158,97 mm par saison.

Dans le bassin de Mekkera, les valeurs élevées de précipitations printanières sont enregistrées au nord du bassin et dans sa partie nord-ouest, selon les données au sol. En contraste, l'analyse des données satellitaires met en évidence des taux de précipitation plus élevés dans les régions orientales du bassin. Ces résultats indiquent une hétérogénéité dans la répartition des précipitations moyennes.

Les observations des stations de mesure révèlent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellitaires suggèrent une diminution des taux de précipitation du sud vers le nord.

2.4 Eté

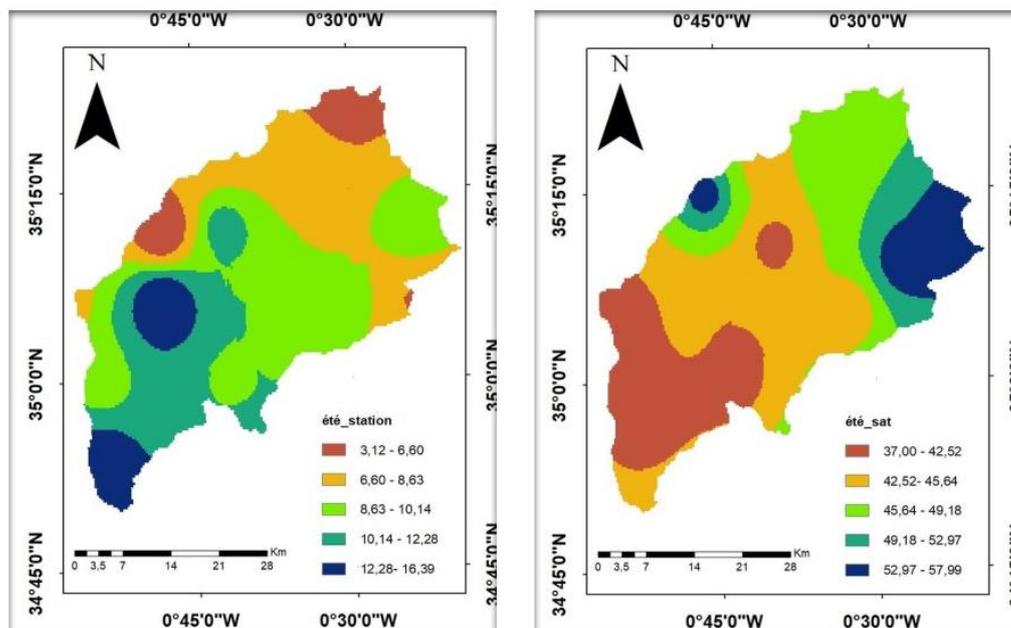


Figure 20: Cartes de distribution des précipitations de la saison d'Eté de 1984-2011(données station et satellite).

La figure 20 présente les cartographies de la distribution spatiale des précipitations moyennes durant la saison estivale. L'examen de ces cartographies met en évidence que la moyenne des précipitations de cette saison, selon les relevés au sol, présente une variabilité s'étalant entre 3,12 et 16,39 mm par saison. En contraste, les données satellitaires révèlent une amplitude de variation située entre 37 et 57,99 mm par saison.

La distribution des précipitations pour les stations de jaugeage montre que les valeurs élevées de précipitations sont au sud du bassin. En revanche, l'analyse des données satellitaires indique des taux de précipitation plus marqués sont dans les régions est et nord-ouest du bassin. Ces constatations témoignent d'une dissimilitude dans la distribution des précipitations moyennes estivales.

Les données des stations révèle un gradient positif se déplaçant du nord vers le sud. À l'inverse, les données satellitaires suggèrent une hausse des taux de précipitation du sud vers le nord.

La comparaison entre les deux cartes suggère des divergences notables entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des mesures terrestres. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites surpassent celles des données au sol. Pour

concilier ces observations, une réévaluation des méthodes de mesure effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en prenant en considération les valeurs établies au sol.

3. Echelle mensuelle

3.1 septembre

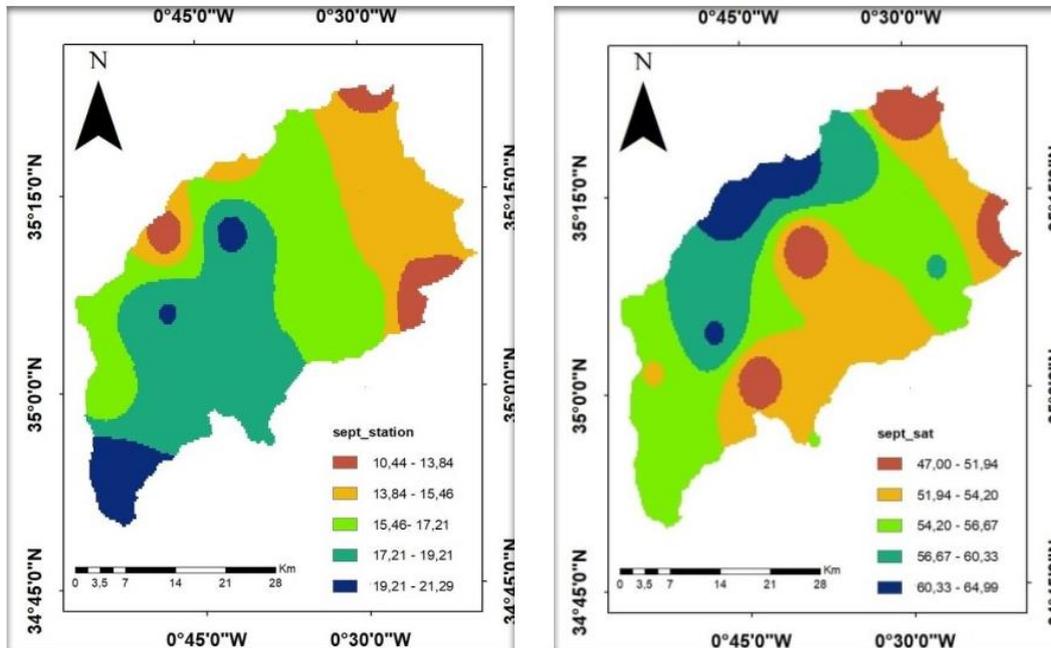


Figure 21 : Cartes de distribution des précipitations de septembre de 1984-2011(données station et satellite).

Ces cartes ont été élaborées au moyen de l'interpolation des données par la méthode de la distance inverse pondérée (IDW). L'observation révèle que la moyenne des précipitations de ce mois, d'après les relevés terrestres, exhibe une variabilité oscillant entre 10,44 et 21,29 mm par mois. En contraste, les données satellitaires indiquent une amplitude de variation se situant entre 47 et 64,99 mm par mois.

Dans le contexte du bassin de Mekkera, les niveaux élevés de précipitations sont documentés au sud du bassin ainsi qu'au centre, conformément aux mesures terrestres. En opposition, une analyse des données satellitaires met en évidence des taux de précipitation plus marqués dans les régions nord et nord-ouest du bassin. Ces constatations témoignent d'une hétérogénéité dans la distribution des précipitations moyennes.

Les observations émanant des stations de relevés signalent une tendance à l'augmentation des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellitaires suggèrent une hausse des taux de précipitation de l'est vers l'ouest.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

La comparaison entre les deux cartes suggère des divergences notables entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés terrestres. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites surpassent celles des données terrestres. Afin de réconcilier ces observations, une réévaluation des méthodes de mesure par satellite pourrait être envisagée, tout en prenant en compte les valeurs établies par les relevés terrestres.

3.2 Octobre

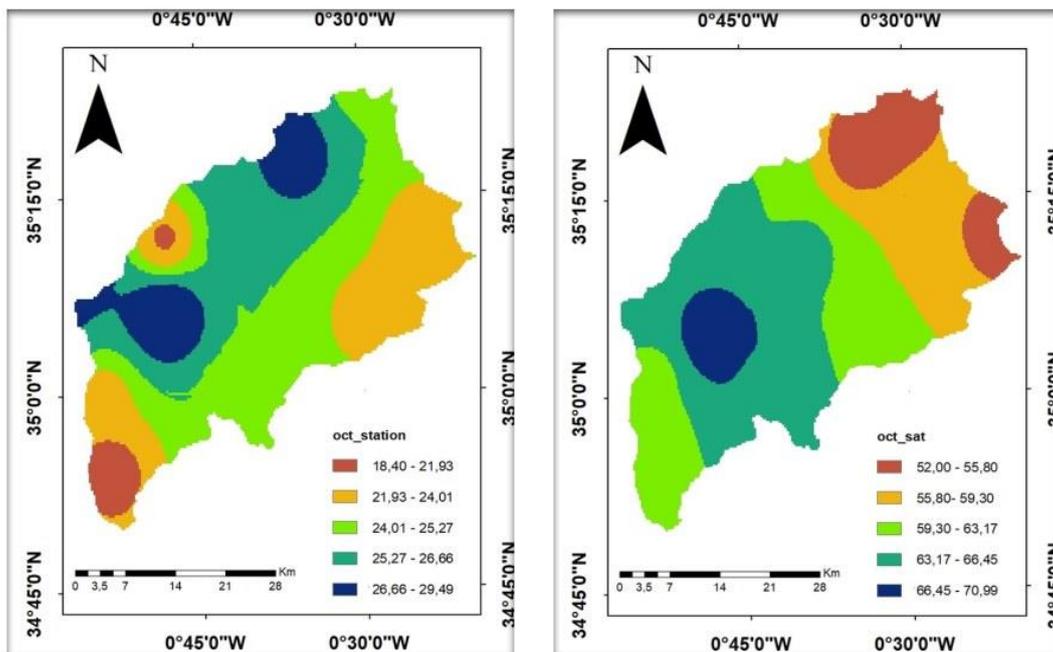


Figure 22 : Cartes de distribution des précipitations d’Octobre de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma 22 exposé ci-dessus illustre les cartographies détaillées de la répartition spatiale des précipitations moyennes pour le mois d'octobre. Ces cartes ont été élaborées en tenant compte des données provenant du terrain ainsi que des données satellitaires, au cours d'une période de 28 ans allant de 1984 à 2011. L'élaboration de ces cartes a été rendue possible par le recours à la méthode d'interpolation fondée sur la distance inverse pondérée (IDW). Une analyse approfondie révèle que la moyenne annuelle des précipitations, en se basant sur les données recueillies au sol, affiche une amplitude de variation allant de 18,40 à 29,49 mm par mois. À l'opposé, les données provenant des satellites montrent une variation plus étendue, se situant entre 52 et 70,99 mm par mois.

Dans le contexte du bassin de Mekkera, les niveaux de précipitations élevés sont enregistrés au nord du bassin ainsi qu'à l'ouest, en se fondant sur les données recueillies au sol. En

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

contraste, l'analyse des données satellites met en évidence des taux de précipitation plus remarquables dans les régions est, ouest et centrales du bassin. Ces constatations attestent d'une hétérogénéité dans la distribution des précipitations moyennes annuelles.

Les relevés effectués par les stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellitaires suggèrent une augmentation des taux de précipitation du nord vers le centre du bassin.

La comparaison entre les deux cartes met en exergue des différences notables entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés au sol.

Effectivement, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites excèdent celles des données au sol. Afin de concilier ces observations, une réévaluation des méthodes de mesure par satellite pourrait être envisagée, tout en prenant en compte les valeurs obtenues par les mesures terrestres.

3.3 Novembre

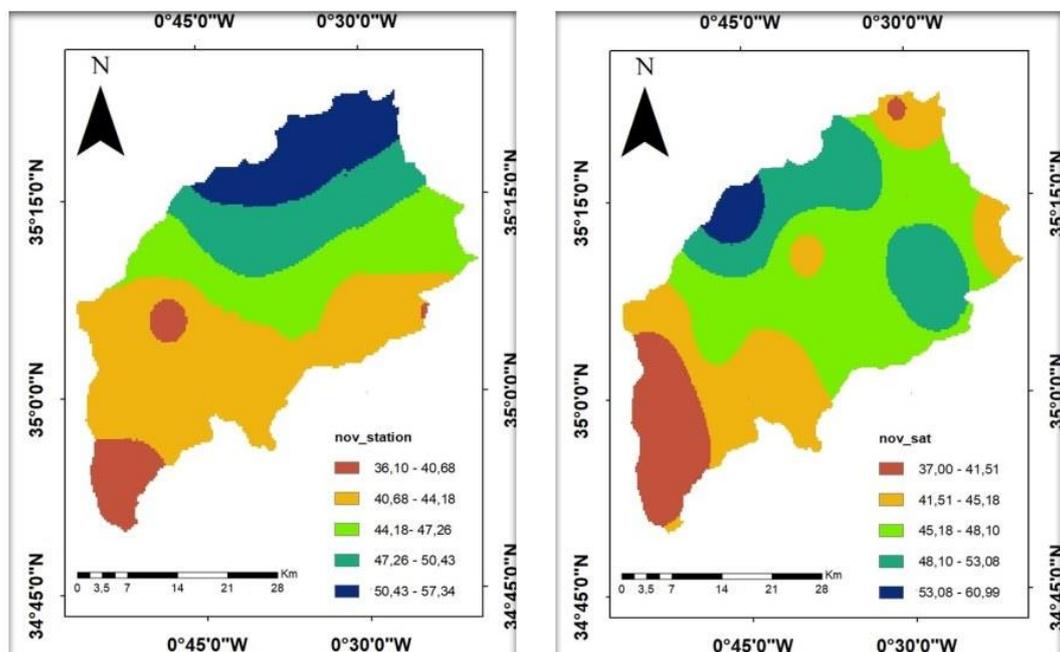


Figure 23 : Cartes de distribution des précipitations de novembre de 1984-2011 (données station et satellite).

La figure 23 présente les cartes détaillées de la distribution spatiale des précipitations moyennes du mois de novembre. Ces cartes ont été construites à partir de données terrestres et de données satellitaires, couvrant une période de 28 ans (1984 à 2011). L'élaboration de ces

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

cartes s'est faite au moyen de la méthode d'interpolation de la distance inverse pondérée (IDW). Une analyse de ces cartes révèle que la moyenne des précipitations, d'après les données terrestres, manifeste une variabilité oscillant entre 36,10 et 57,34 mm par mois. En revanche, les données satellitaires indiquent une amplitude de variation allant de 37 à 60,99 mm par mois.

Dans le contexte du bassin de Mekkerà, les niveaux élevés de précipitations sont documentés au nord du bassin, en se basant sur les données terrestres. En contraste, une analyse des données satellitaires met en évidence des taux de précipitation plus marqués dans les régions nord-ouest du bassin. Bien que les valeurs des précipitations soient proches, ces constatations révèlent des variations dans la distribution des précipitations moyennes.

Les observations provenant des stations de relevés indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellitaires suggèrent une augmentation des taux de précipitation de l'est vers le nord-ouest.

La comparaison entre les deux cartes met en évidence des divergences notables entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés terrestres. Effectivement, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites excèdent celles des données au sol. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des méthodes de mesure par satellite pourrait être envisagée, tout en prenant en compte les valeurs collectées via les stations de mesure terrestres.

3.4 Décembre

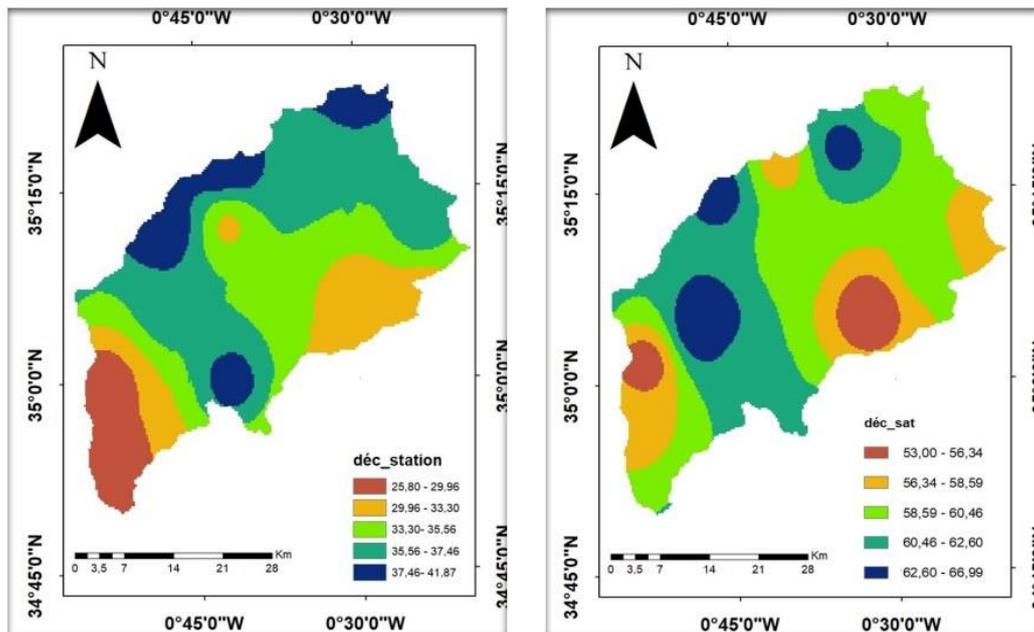


Figure 24 : Cartes de distribution des précipitations de Décembre de 1984-2011(données station et satellite).

La figure 24 ci-dessus expose de manière évidente les cartes détaillées illustrant la distribution spatiale des précipitations moyennes durant le mois de décembre. Ces représentations ont été construites en utilisant des données provenant du terrain ainsi que des données satellitaires, couvrant une période de 28 ans allant de 1984 à 2011. L'élaboration de ces cartes a été réalisée au moyen de la méthode d'interpolation de la distance inverse pondérée (IDW). Un examen minutieux des cartes révèle que la moyenne des précipitations, basée sur les données terrestres, affiche une variabilité variant entre 25,80 et 41,87 mm par mois. En contraste, les données satellitaires indiquent une plage de variation plus large, allant de 53 à 66,99 mm par mois.

Dans le contexte du bassin de Mekkera, les niveaux de précipitations élevés sont relevés au nord, dans la partie nord-ouest, ainsi qu'à l'est du bassin, selon les données terrestres. Cependant, une analyse des données satellitaires met en évidence des taux de précipitation plus marqués dans les régions nord et nord-ouest du bassin. Ces résultats soulignent une disparité notable dans la distribution des précipitations moyennes.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

Les relevés effectués par les stations de mesure montrent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord-ouest vers l'est. En revanche, les données satellitaires suggèrent une augmentation des taux de précipitation de l'est vers l'ouest.

Une comparaison approfondie entre les deux cartes met en évidence des différences significatives entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés terrestres. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites surpassent celles provenant des données terrestres. Afin d'harmoniser ces observations, il serait judicieux d'envisager une réévaluation des méthodes de mesure satellitaire, tout en prenant en compte les valeurs établies par les relevés au sol.

3.5 Janvier

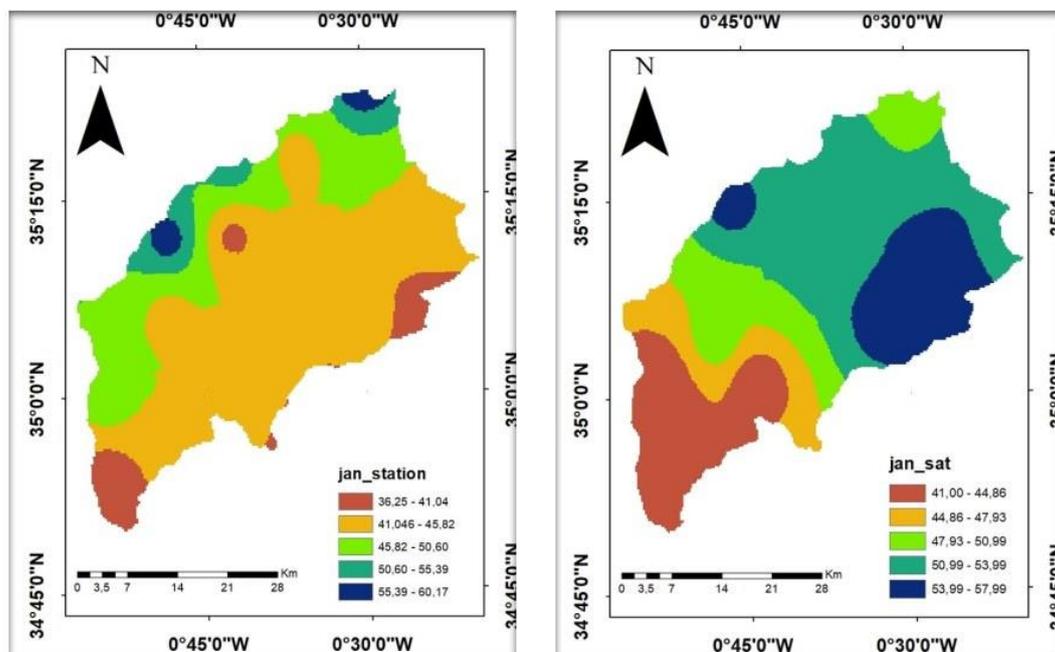


Figure 25 : Cartes de distribution des précipitations de Janvier de 1984-2011(données station et satellite).

L'illustration schématique expose les cartographies détaillées de la répartition spatiale des précipitations moyennes pour le mois de janvier. Ces cartes ont été élaborées à partir de données terrestres et de données satellitaires, englobant une période de 28 ans allant de 1984 à 2011. La création de ces cartes a été entreprise en utilisant la méthode d'interpolation de la distance inverse pondérée (IDW). Une observation attentive révèle que la moyenne des précipitations pour ce mois, d'après les données terrestres, affiche une plage de variation

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

située entre 36,25 et 60,17 mm/mois. En contraste, les données satellitaires signalent une variation comprise entre 41 et 57,99 mm/mois.

Dans le contexte du bassin de Mekker, les niveaux élevés de précipitations mensuelles sont relevés dans une petite zone au nord du bassin et dans la partie ouest, se basant sur les données terrestres. À l'inverse, une analyse des données satellitaires met en évidence des taux de précipitation plus remarquables dans les régions nord, ouest et est du bassin. Ces résultats témoignent de la non-conformité dans la distribution des précipitations moyennes.

Les relevés effectués par les stations de mesure révèlent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant de l'ouest vers l'est. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du sud vers le nord.

Une comparaison approfondie entre les deux cartes révèle des divergences significatives entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés terrestres. Effectivement, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites excèdent celles provenant des données au sol. Afin de concilier ces observations, une réévaluation des méthodes de mesure satellitaire pourrait être envisagée, tout en prenant en compte les valeurs établies par les relevés terrestres.

3.6 Février

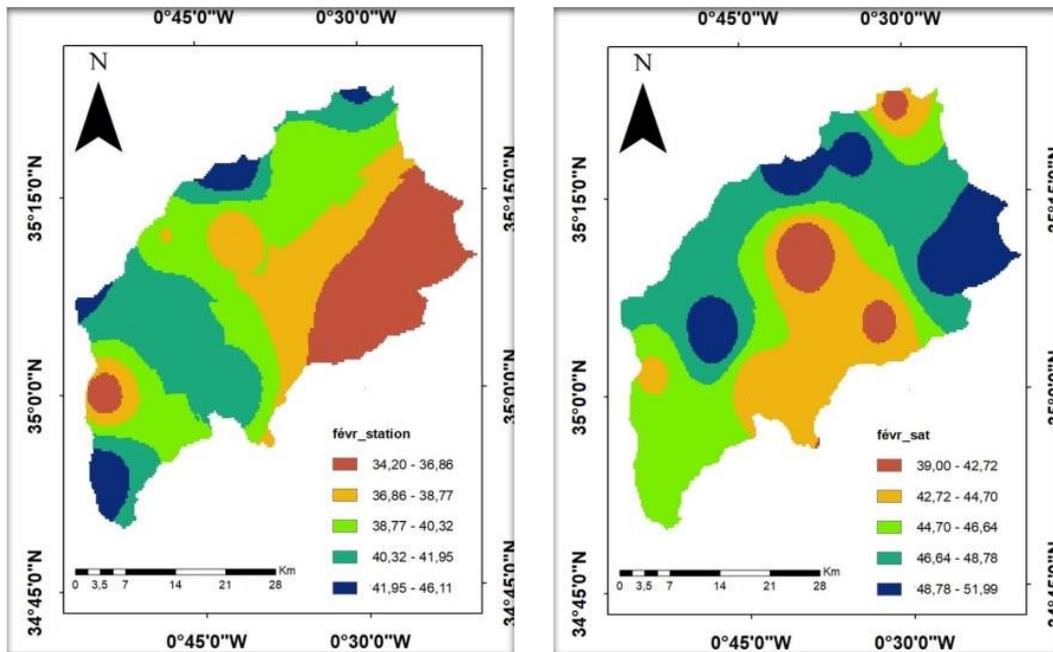


Figure 26 : Cartes de distribution des précipitations de Février de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma 26 présente les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes du mois de février, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées en utilisant l'interpolation des données grâce à la méthode de la distance inverse pondérée (IDW). L'observation révèle que la précipitation moyenne en février, selon les données terrestres, varie entre 34,20 et 46,11 mm/mois. En revanche, d'après les données satellites, cette variation se situe entre 39 et 51,99 mm/mois.

Dans le bassin de Mekker, les valeurs élevées de précipitations sont enregistrées principalement dans la région nord-ouest du bassin et dans sa partie sud, en se basant sur les données au sol. En contraste, l'analyse des données satellites met en évidence des taux de précipitation les plus élevés dans les régions nord-est et ouest du bassin. Ces résultats mettent en évidence que la distribution des précipitations moyennes est inégale.

Les relevés effectués à la fois par les stations de mesure au sol et par les satellites concordent pour indiquer une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant de l'ouest vers l'est.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

La comparaison entre les deux cartes met en évidence des écarts notables entre les estimations obtenues par les satellites et les données recueillies sur le terrain. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites sont supérieures à celles des relevés au sol. Pour résoudre ces divergences, une réévaluation des méthodes de mesure satellitaire pourrait être envisagée, tout en prenant en considération les données obtenues sur le terrain.

3.7 Mars

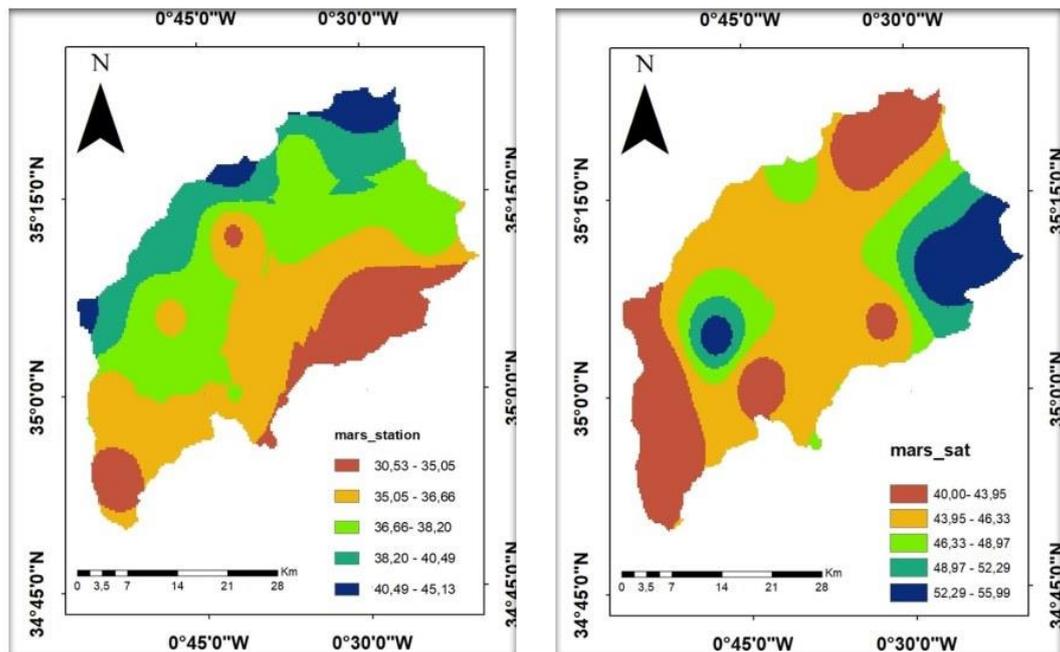


Figure 27 : Cartes de distribution des précipitations de Mars de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma présenté illustre les cartes détaillées de la répartition spatiale des précipitations moyennes pour le mois de mars. Ces cartes ont été élaborées en utilisant des données à la fois terrestres et satellitaires, couvrant une période de 28 ans allant de 1984 à 2011. La création de ces cartes a été réalisée au moyen de l'interpolation des données en utilisant la méthode de la distance inverse pondérée (IDW). Une observation attentive permet de constater que la moyenne des précipitations, d'après les données terrestres, présente une plage de variation allant de 30,53 à 45,13 mm/mois. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 40 et 55,99 mm/mois.

Dans le bassin de Mekker, les niveaux élevés de précipitations annuelles sont enregistrés principalement à l'ouest du bassin et dans sa partie nord-ouest, en se basant sur les données terrestres. En revanche, une analyse des données satellitaires révèle des taux de précipitation

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

plus prononcés dans les régions nord-est et au milieu du bassin. Ces résultats soulignent la disparité dans la distribution des précipitations moyennes.

Les relevés effectués par les stations de mesure indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant de l'ouest vers l'est. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation en se déplaçant de l'ouest vers le nord-est.

La comparaison entre les deux cartes met en évidence des écarts notables entre les estimations obtenues par les satellites et les données terrestres. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites sont supérieures à celles des données terrestres. Pour résoudre ces divergences, une réévaluation des méthodes de mesure satellitaire pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs établies sur le terrain.

3.8 Avril

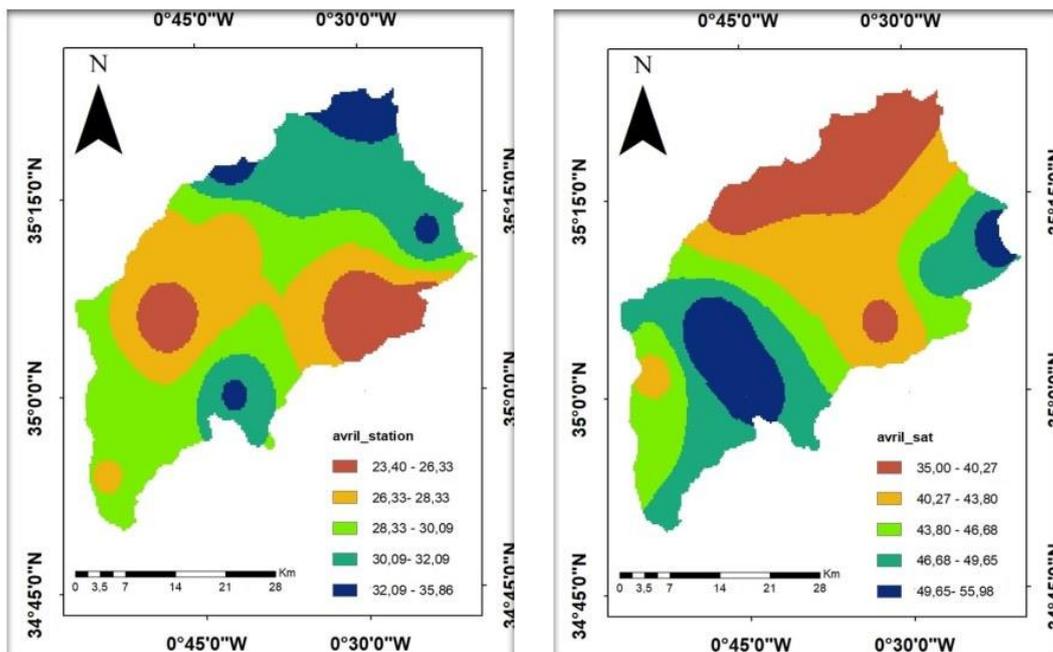


Figure 28: Cartes de distribution des précipitations d’Avril de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma ci-dessus présente les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes de mois d’avril, établies en utilisant des données au sol ainsi que des données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été élaborées en employant la méthode d’interpolation des données basée sur la distance inverse (IDW). L’observation met en

évidence que la moyenne annuelle des précipitations, d'après les données au sol, présente une plage de variation allant de 257,01 à 353,27 mm/an. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 455,06 et 564,62 mm/an.

Dans le bassin de Mekker, les valeurs élevées de précipitations annuelles sont enregistrées principalement au nord du bassin ainsi que dans sa partie nord-ouest, en se basant sur les données au sol. En contraste, une analyse des données satellites met en évidence des taux de précipitation plus élevés dans les régions nord-est, nord-ouest et sud du bassin. Ces résultats soulignent la disparité dans la distribution des précipitations moyennes annuelles.

Les relevés des stations mettent en lumière une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation en se déplaçant du nord vers le sud.

La comparaison entre les deux cartes met en relief des écarts significatifs entre les estimations obtenues par les satellites et les données au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites dépassent celles des relevés terrestres. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des mesures effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs établies au sol.

3.9 Mai

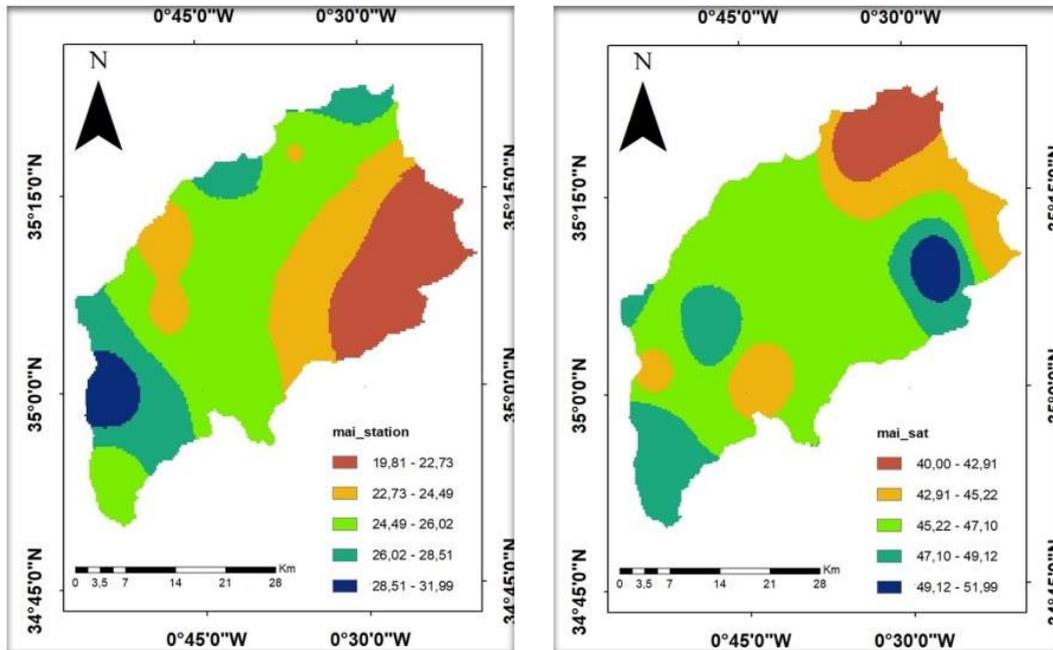


Figure 29 : Cartes de distribution des précipitations de Mai de 1984-2011(données station et satellite).

La figure 29 illustre les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes de mai, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées par le biais de l'interpolation des données au moyen de la méthode de la distance inverse (IDW). L'observation révèle que la précipitation moyenne annuelle, d'après les données au sol, varie entre 19,81 et 31,99 mm/mois. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 40 et 51,99 mm/mois.

Dans le bassin de Mekker, les valeurs élevées de précipitations sont enregistrées dans la partie ouest du bassin, en se basant sur les données au sol. En contraste, en analysant les données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont plus remarquables dans les régions du l'est et du sud du bassin. Ces résultats montrent que la distribution des précipitations moyennes n'est pas la même.

Les relevés des stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du l'ouest vers l'est. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du nord vers le sud.

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

La comparaison entre les deux cartes suggère que les estimations obtenues par satellite diffèrent sensiblement des données au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites dépassent celles des données au sol. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des mesures effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs établies au sol.

3.10 Juin

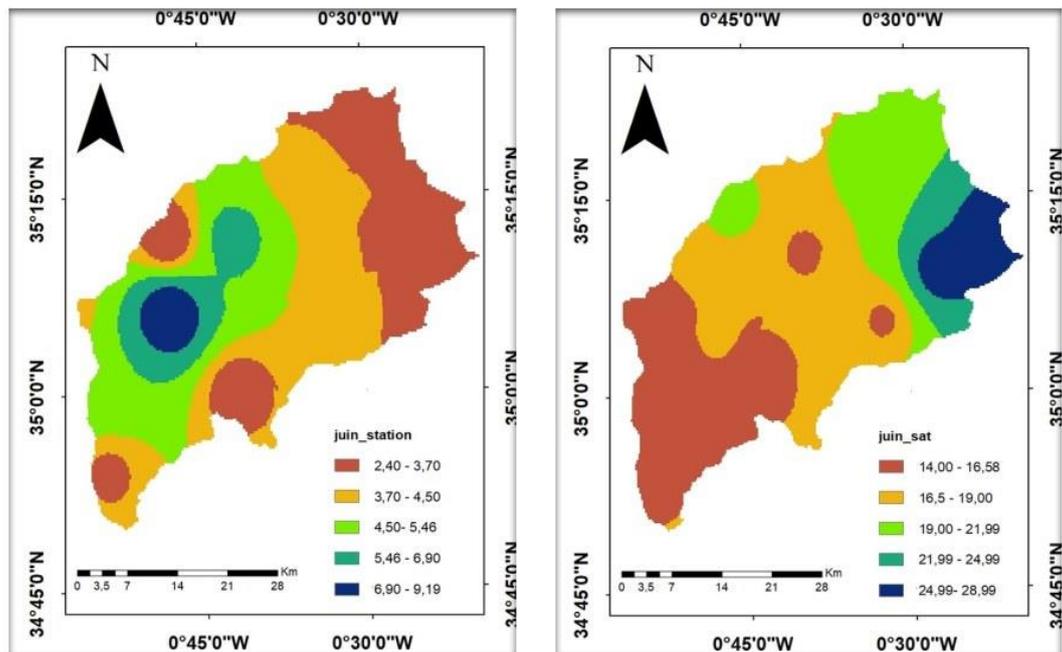


Figure 30 : Cartes de distribution des précipitations de juin de 1984-2011(données station et satellite).

Le schéma ci-dessus illustre les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes mensuelle du mois de juin, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées par le biais de l'interpolation des données au moyen de la méthode de la distance inverse (IDW). L'observation révèle que la précipitation moyenne mensuelle, d'après les données au sol, varie entre 2,40 et 9,19 mm/mois. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 14 et 28,99 mm/moi.

Dans le bassin de Mekkera, les valeurs élevées de précipitations sont enregistrées d'une partie du cœur bassin, en se basant sur les données au sol. En contraste, en analysant les données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont plus remarquables dans les régions

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

nord-est du bassin. Ces résultats montrent que la distribution des précipitations moyennes n'est pas la même.

Les relevés des stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du sud vers le nord. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du sud vers le nord.

La comparaison entre les deux cartes suggère que les estimations obtenues par satellite diffèrent sensiblement des données au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites dépassent celles des données au sol. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des mesures effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs issues des relevés effectués sur le terrain.

3.11 Juillet

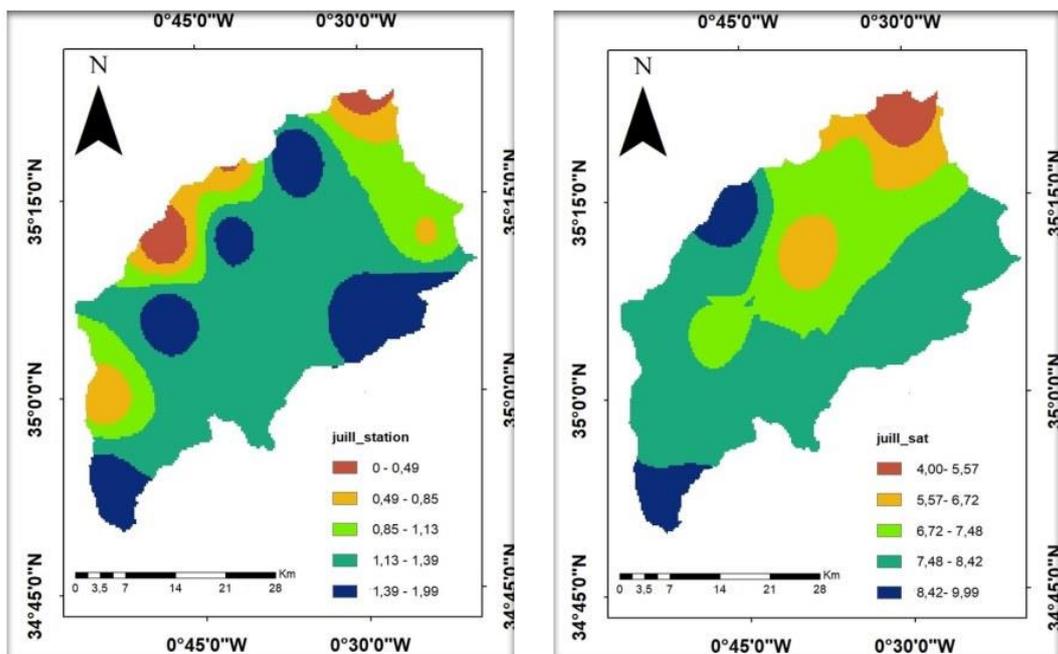


Figure 31 : Cartes de distribution des précipitations de juillet de 1984-2011(données station et satellite).

La figure 31 représente les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes en juillet, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées par le biais de l'interpolation des données au moyen de la méthode de la distance inverse (IDW). L'observation révèle que la précipitation

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

moyenne annuelle, d'après les données au sol, varie entre 0 et 0,49 mm/mois. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 4 et 9,99 mm/mois.

Dans le bassin de Mekkera, les valeurs élevées de précipitations sont enregistrées au milieu du bassin, dans sa partie sud et l'est, en se basant sur les données au sol. En contraste, en analysant les données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont plus remarquables dans les régions du l'est, l'ouest et sud du bassin. Ces résultats montrent que la distribution des précipitations moyennes annuelles n'est pas la même.

Les relevés des stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du l'est vers l'ouest. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du nord vers le sud.

La comparaison entre les deux cartes suggère que les estimations obtenues par satellite diffèrent sensiblement des données au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites dépassent celles des données au sol. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des mesures effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs données par le sol.

3.12 Aout

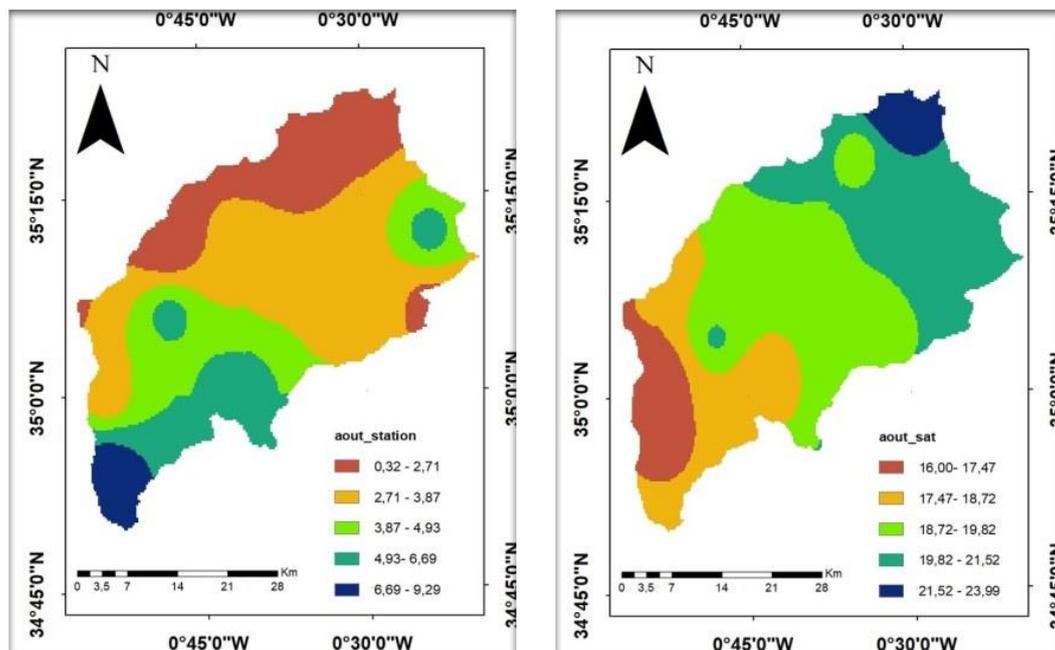


Figure 32 : Cartes de distribution des précipitations d'Aout de 1984-2011(données station et satellite).

CHAPITRE 04 : ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE PRECIPITATION

La figure 32 nous montre les cartes de répartition spatiale des précipitations moyennes d'aout, établies à partir de données au sol et de données satellitaires, sur une période de 28 ans (1984 à 2011). Ces cartes ont été générées par le biais de l'interpolation des données au moyen de la méthode de la distance inverse (IDW). L'observation révèle que la précipitation moyenne annuelle, d'après les données au sol, varie entre 0,32 et 9,29 mm/mois. En revanche, selon les données satellites, cette variation se situe entre 16 et 23,99 mm/mois.

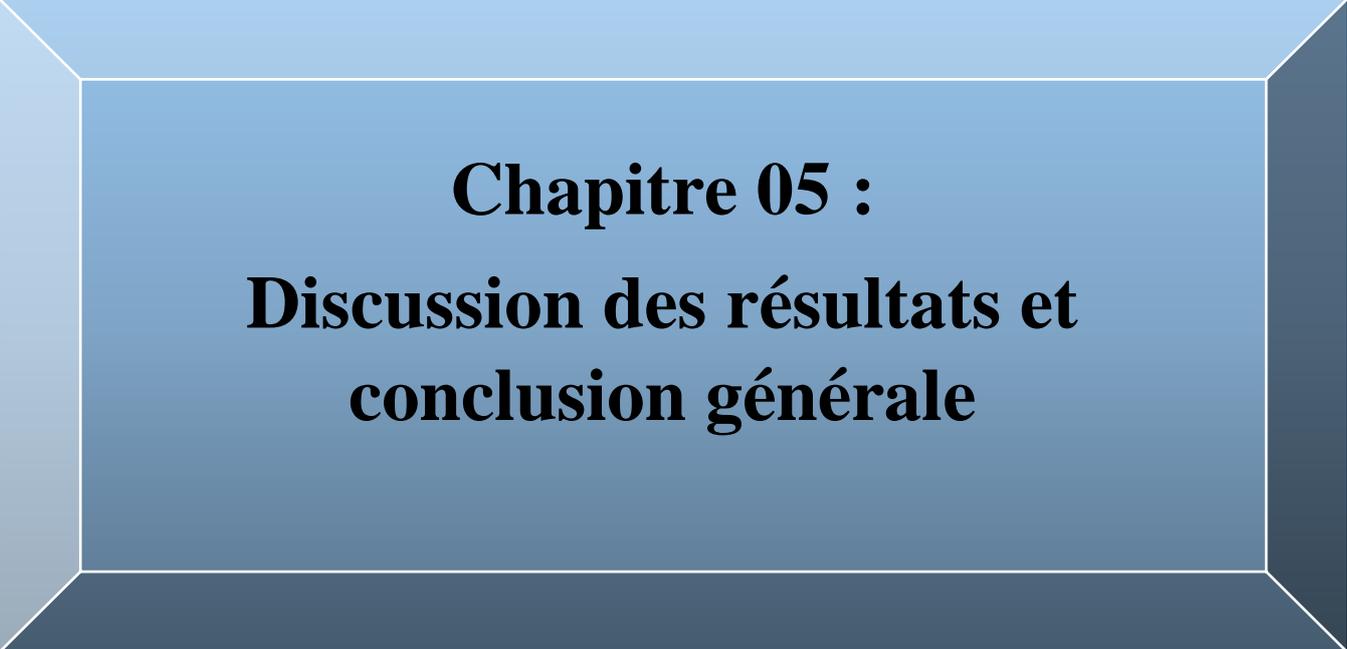
Dans le bassin de Mekkera, les valeurs élevées de précipitations annuelles sont enregistrées au sud du bassin, en se basant sur les données au sol. En contraste, en analysant les données satellites, les taux de précipitation les plus élevés sont plus remarquables dans les régions nord du bassin. Ces résultats montrent que la distribution des précipitations moyennes n'est pas la même.

Les relevés des stations indiquent une tendance à la diminution des précipitations en se déplaçant du sud vers le nord. En revanche, les données satellites suggèrent une augmentation des taux de précipitation du sud vers le nord.

La comparaison entre les deux cartes suggère que les estimations obtenues par satellite diffèrent sensiblement des données au sol. En effet, les valeurs de précipitations fournies par les données satellites dépassent celles des données au sol. Afin d'harmoniser ces observations, une réévaluation des mesures effectuées par les satellites pourrait être envisagée, tout en tenant compte des valeurs au sol.

VI. Conclusion

L'analyse temporelle et spatiale pour la comparaison des données stationnaires et satellitaires de précipitation permet d'évaluer la fiabilité des données satellitaires, d'identifier les tendances et les variations spatio-temporelles des précipitations, et d'améliorer notre compréhension des régimes de précipitation. Cela contribue à une meilleure utilisation des données pour des études hydrologiques, la gestion des ressources en eau et la prise de décision dans le domaine de l'environnement.



Chapitre 05 :
Discussion des résultats et
conclusion générale

Discussion des résultats et conclusion générale

Dans le cadre de l'étude portant sur "L'ANALYSE DES MODIFICATIONS TEMPORELLES DES PRÉCIPITATIONS ET LEURS TENDANCES À L'AIDE DES PLUVIOMÈTRES ET DE DONNÉES SATELLITAIRES", nous avons réalisé une comparaison approfondie entre les données satellitaires et les mesures de jaugeage afin d'évaluer la fiabilité et la cohérence des deux sources de données en ce qui concerne les précipitations. Notre objectif principal était de déterminer la performance des données satellitaires dans l'analyse des variations temporelles des précipitations.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons examiné les procédures les plus couramment citées dans la littérature, ainsi que celles qui se sont avérées particulièrement pertinentes par rapport à l'objectif de notre étude.

Les résultats de notre étude, présentés dans les figures 9, 10 et 11, ainsi que dans les tableaux associés, mettent en évidence la performance des données satellitaires par rapport aux données des stations de jaugeage pour la mesure des précipitations dans le bassin de la Mekerra sur la période de 1984 à 2011. Ces résultats indiquent que la performance des données satellitaires dans la mesure des précipitations varie en fonction de la période de l'année. Les mois de printemps semblent montrer la meilleure concordance, tandis que les mois d'été présentent des surestimations importantes. Les données annuelles montrent une tendance à la surestimation globale, mais avec une sous-estimation pour les événements de précipitations intenses. Ces résultats soulignent l'importance de comprendre les limites et les variations saisonnières des données satellitaires dans l'évaluation des précipitations, en particulier dans des régions où des données précises sont essentielles pour la gestion des ressources en eau et la préparation aux catastrophes liées aux précipitations.

La comparaison des résultats des tendances des précipitations à différentes échelles, notamment annuelle, saisonnière et mensuelle, entre les données des stations de jaugeage et les données satellitaires dans le bassin versant de l'Oued Mekerra révèle une variabilité significative et des schémas intéressants.

Au niveau annuel, les résultats indiquent une divergence significative entre les données des stations et les données satellitaires. Seules deux stations sur douze présentent des tendances similaires, tandis que les autres affichent des résultats contradictoires. Cette divergence suggère que l'évaluation des tendances annuelles des précipitations est complexe et que les

deux sources de données ne donnent pas nécessairement une image cohérente de l'évolution des précipitations sur l'ensemble du bassin.

L'analyse saisonnière révèle des tendances plus cohérentes pour certaines saisons que pour d'autres. Par exemple, en automne, six stations sur douze affichent des tendances similaires entre les données des stations et les données satellitaires, tandis que les autres saisons présentent des divergences plus marquées. Cela suggère que la saisonnalité peut jouer un rôle important dans la concordance des tendances des précipitations entre les deux sources de données.

À l'échelle mensuelle, les résultats montrent une prévalence des tendances positives par rapport aux tendances négatives, à la fois pour les données des stations et les données satellitaires. Cependant, il existe des divergences significatives pour certains mois, en particulier en mars, juillet et janvier, où des tendances négatives dans les données des stations sont identifiées comme positives dans les données satellitaires. Cela souligne l'importance de prendre en compte les variations saisonnières et mensuelles pour une évaluation précise des tendances des précipitations.

Les résultats de l'analyse des tendances des précipitations à différentes échelles indiquent une complexité significative dans l'évaluation des tendances pluviométriques dans le bassin de l'Oued Mekerra. Les divergences entre les données des stations et les données satellitaires peuvent être attribuées à divers facteurs, tels que les différences dans les méthodes de mesure, les erreurs de calibration des satellites, les variations régionales et saisonnières, ainsi que d'autres facteurs climatiques complexes.

Il est essentiel de comprendre ces variations pour une gestion appropriée des ressources en eau et des mesures d'adaptation aux changements climatiques dans la région. Une combinaison d'observations locales, de données satellitaires et de modèles climatiques peut être nécessaire pour obtenir une image plus complète des tendances des précipitations et de leur évolution temporelle.

Les résultats de notre analyse de l'Indice de Saisonnalité (SI) révèlent une forte saisonnalité des précipitations dans la région de l'Oued Mekerra pour les deux sources de données, à savoir les données de jaugeage et les données satellitaires. Les valeurs de SI pour les données de jaugeage varient de 0,83 à 0,98, indiquant une nette concentration des précipitations pendant certaines périodes de l'année. De manière similaire, les données satellitaires montrent également une saisonnalité marquée, bien que légèrement moins prononcée, avec des valeurs de SI allant de 0,8 à 0,85. Cette convergence dans les résultats suggère que, quelle que soit la

source de données, la région connaît des variations saisonnières significatives des précipitations.

En ce qui concerne l'Indice de Concentration des Précipitations (PCI), les données des stations de jaugeage présentent une plus grande variabilité, avec la plupart des stations montrant une concentration moyenne des précipitations, sauf pour la station 110317, qui affiche un régime particulièrement irrégulier avec un PCI élevé de 16,41. En revanche, les données satellitaires révèlent une concentration plus uniforme des précipitations, avec des valeurs de PCI situées entre 11,6 et 12,85. Cette différence peut être attribuée aux caractéristiques spécifiques de la collecte des données et souligne l'importance de prendre en compte ces variations lors de la gestion des ressources en eau.

Enfin, en examinant le degré et la période de concentration des précipitations (PCD/PCP), nos résultats indiquent que, tant pour les données de jaugeage que pour les données satellitaires, les précipitations sont principalement concentrées entre les mois de novembre et février, avec une concentration plus marquée entre décembre et janvier. Cela signifie que la période de pluies dans la région est généralement de courte durée, couvrant à peine un quart de l'année en moyenne. Ces résultats mettent en évidence la nécessité de prendre des mesures de gestion de l'eau adaptées pour faire face à cette concentration des précipitations pendant une période limitée.

Bien que les données de jaugeage et les données satellitaires présentent des nuances dans leurs valeurs de SI, de PCI et de PCD/PCP, elles convergent dans l'indication d'une forte saisonnalité des précipitations dans le bassin de l'Oued Mekerra. Cette saisonnalité, associée à des variations de concentration, doit être prise en compte dans la gestion des ressources en eau, la planification agricole et la prise de décision liée aux précipitations dans la région.

L'analyse comparative de la répartition spatiale des précipitations à différentes échelles temporelles, notamment annuelle, saisonnière et mensuelle, entre les données de jaugeage et les données satellitaires dans le bassin de l'Oued Mekerra révèle des différences significatives.

À l'échelle annuelle, les cartes de répartition spatiale montrent des divergences marquées. Les données de jaugeage indiquent des précipitations annuelles plus faibles dans la moitié sud du bassin, tandis que les données satellitaires suggèrent des taux de précipitation plus élevés dans les régions orientales et sud-ouest. Cette variation dans la distribution spatiale des précipitations annuelles souligne l'importance de considérer les données satellitaires avec prudence pour la gestion des ressources en eau dans la région.

Au niveau saisonnier, des discordances similaires apparaissent. Pour les saisons d'automne, d'hiver et de printemps, les données de jaugeage indiquent une diminution des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud, tandis que les données satellitaires montrent une diminution du sud vers le nord. Ces différences de distribution spatiale saisonnière des précipitations ont des implications majeures pour la planification de la gestion de l'eau dans le bassin, car elles influencent la disponibilité des ressources en eau à différentes périodes de l'année.

Enfin, pour la saison estivale, la comparaison des données révèle des divergences particulièrement prononcées. Les données de jaugeage montrent des précipitations estivales principalement au sud du bassin, tandis que les données satellitaires indiquent des taux de précipitation plus élevés dans les régions est et nord-ouest. Cette variation a un impact significatif sur la compréhension des régimes de précipitations estivales dans la région.

À l'échelle mensuelle, l'analyse des données de précipitations moyennes sur une période de 28 ans (1984 à 2011) dans le bassin de Mekkerà révèle des variations significatives entre les estimations obtenues à partir des données satellitaires et celles des relevés terrestres. Globalement, les données satellitaires indiquent des niveaux de précipitations plus élevés par rapport aux mesures au sol. Cette divergence soulève des questions quant à la fiabilité des données satellitaires et suggère la nécessité d'une réévaluation des méthodes de mesure par satellite.

En ce qui concerne la répartition spatiale, les données terrestres montrent une tendance générale à l'augmentation des précipitations en se déplaçant du nord vers le sud, tandis que les données satellitaires suggèrent une hausse des taux de précipitation de l'est vers l'ouest. Cette hétérogénéité dans la distribution des précipitations témoigne des défis liés à la caractérisation précise du climat dans cette région. Pour une meilleure compréhension des écarts entre les données satellitaires et terrestres, il est impératif de mener des études complémentaires visant à ajuster les méthodes de mesure par satellite tout en prenant en compte les valeurs établies par les relevés au sol.

Ces résultats revêtent une importance cruciale pour la gestion des ressources en eau et la planification agricole dans le bassin de Mekkerà, où la précipitation est un facteur clé de la variabilité climatique.

En résumé, nos résultats mettent en évidence des divergences notables dans la répartition spatiale des précipitations entre les données de jaugeage et les données satellitaires dans le bassin de l'Oued Mekerra. Ces différences doivent être soigneusement prises en compte dans

la gestion des ressources en eau, la planification agricole et la prise de décision liée aux précipitations dans la région. Des études plus approfondies sur les sources potentielles de ces discordances, ainsi que des améliorations dans la collecte et la validation des données satellitaires, pourraient être nécessaires pour une meilleure compréhension des régimes de précipitations dans cette zone critique.

En conclusion, les données satellitaires de précipitations ont l'avantage d'être plus globales et de couvrir des zones où il y a peu de stations de mesure des précipitations. Cependant, leur précision varie en fonction des conditions environnementales et de la méthode utilisée pour calculer les précipitations. Les données de précipitations stationnaires sont plus précises dans les régions où il y a des stations de mesure, mais elles ne couvrent pas toute la surface terrestre. Ainsi, pour obtenir des estimations de précipitations précises et pour une meilleure compréhension des phénomènes hydrologiques dans un bassin versant, il est recommandé d'utiliser une combinaison de données satellitaires et stationnaires.

Références bibliographiques

- Adedeji, O., Olusola, A., Babamaaji, R. et al. An assessment of flood event along Lower Niger using Sentinel-1 imagery. *Environ Monit Assess* 193, 858 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09647-1>
- Boukabara, A., Benabdelouahab, T., & Bettahar, M. (2020). Assessment of GPM and TRMM Satellite Precipitation Products for the Maghreb Region. *Remote Sensing*, 12(5), 841.
- Civate, M., & Mandel, F. (2008). La mesure de la hauteur des précipitations. *Comprendre la météo*.
- Giandotti, M., 1934. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua (Forecast of floods and lean streams), Ministry LL.PP, Memories hydrographic studies. Italian Hydrographic Service. Italy, 8(2), 107.
- Eini, M. R., Rahmati, A., & Piniewski, M. (2022). Hydrological application and accuracy evaluation of PERSIANN satellite-based precipitation estimates over a humid continental climate catchment. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101109.
- Habib, E., Krajewski, W., F., & Kruger, A. (2001). Sampling errors of tipping-bucket rain gauge measurements. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6, 159–166.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water resources research*, 18(1), 107-121.
- Hirsch, R. M., & Slack, J. R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water resources research*, 20(6), 727-732.
- Kendall MG., 1975 Rank correlation methods. Griffin, Oxford
- La Barbera, P., Lanza, L. G., & Stagi, L. (2002). Tipping bucket mechanical errors and their influence on rainfall statistics and extremes. *Water Science and Technology*, 45, 1–10.
- Mann–Kendall and Şen's Innovative Trend Method. *River Res Appl* 33:597–610.
- Molini, A., Lanza, L. G., & LA Barbera, P. (2005). The impact of tipping-bucket raingauge measurement errors on design rainfall for urbanscale applications. *Hydrological Processes*, 19, 1073–1088.
- Otmane, A., Baba Hamed, K., Bouanani, A., 2019. Apport de la variabilité spatiale

des caractéristiques physiques du bassin versant dans la modélisation hydrologique et les sous-produits du bilan hydrologique : cas du bassin versant de l'aval Mekerra, Algérie. *Hydrologie et Atmosphères* 32, 117–144. <https://doi.org/10.7202/1065203ar>

Pollock. M. D. , G. O'Donnell, P. Quinn, M. Dutton, A. Black , M. E. Wilkinson , M. Colli, M. Stagnaro, L. G. Lanza, E. Lewis , C. G. Kilsby , et P. E. O'Connell ,2018. Quantifying and Mitigating Wind-Induced Undercatch in Rainfall Measurements.

Roche, M.,1963. Hydrologie de surface, Gauthier-Villars éditeur. Paris, 431p.

Tesfay G. Gebremicael, Matthew J. Deitch, Haley N. Gancel, Amanda C. Croteau, Gebremedhin G. Haile,2022. Awetahegne N. Beyene, Love Kumar, Satellite-based rainfall estimates evaluation using a parsimonious hydrological model in the complex climate and topography of the Nile River Catchments, *Atmospheric Research*, Volume 266,105939, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.-2021.105939>

von Storch H.,1999Misuses of statistical analysis in climate research. In: von Storch H, Navarra A (eds) *Analysis of climate variability*. Springer, Berlin, pp 11–26. https://doi.org/10.1007/978-3662-03744-7_2