

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



Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et de la technologie
Département des Hydraulique et Génie civil
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Science et Technologie*

Filière : *Hydraulique*

Spécialité : *Hydraulique urbaine*

Par : **TALEB Nadir et GABANI Mustapha**

Thème

Evaluation et calage des produits de précipitations satellitaires Application au Nord Est Algérien

Soutenu publiquement le : .../09/2019

Devant le jury :

M. Tayeb Boulmaiz	Maitre de conférence "B"	Univ gharadaia	Encadreur
M. Bellghrass	Maitre Assistant "A"	Univ gharadaia	Président
M. Mecheri Bachir	Maitre Assistant "A"	Univ gharadaia	Examineur
M. Guermoui Mawloud	Maitre de recherche "A"	U.R.A.E.R	Examineur

Année universitaire 2018/2019

Dédicace

Je dédie notre travail à :

Mes chers parents,

Et ma petite famille ,ma femme, mes enfants en particulier

le petit ABDELDJALIL

A mes meilleurs amis et mes collègues du Master 02

Et

A tous ceux qui ont de près ou de loin participé

À la réalisation de ce travail.

MUSTAPHA....

Dédicace

*Je dédie le fruit de cet humble travail à l'esprit
de mon père et de ma mère.*

Et

Ma petite famille et ma femme

Et

A mes meilleurs amis et mes collègues du Master 02

Et

A tous ceux qui ont de près ou de loin participé

À la réalisation de ce travail.

T. NADIR

Remerciement

A l'issue de ce modeste travail, je tiens à remercier tout d'abord notre

Bon DIEU

*Miséricordieux, de m'avoir donné le courage et la santé pour achever ce
travail*

Je dois remercier particulièrement

Mr BOULMAIZ Tayeb

*pour avoir accepté de diriger cette mémoire et pour son appui, ses conseils
et ses orientations tout au long de ce travail. Je lui adresse mes vifs
remerciements et ma reconnaissance*

Je tiens à remercier également:

*Mr. BELLAGRASS. de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette
mémoire.*

*Mr. MAWLOUD GHARBOUAI et M. MECHRI BACHIR qui a
accepté de me faire partager leurs conseils et leur réflexion sur ce travail.*

*Un vif remerciement aux enseignants du département de génie civil et
hydraulique, et tous Ceux qui ont contribué dans notre formation.*

Que tous ceux qui m'ont assisté dans la réalisation de ce travail trouvent

Ici l'expression de ma gratitude.

Sommaire

Liste des abreviations.....	1
Liste des Figures.....	2
Liste des Tableaux.....	4
Introduction générale	6
1.1. Introduction	9
1.2. Les formes de l'eau	9
1.3. Différente forme de la pluie	9
1.3. Formation de la Précipitation	12
1.4. Types des précipitations.....	13
1.4.1. Les précipitations orographiques	14
1.4.2. Les précipitations frontales (type cyclonique).....	14
1.5. L'observation de la pluie	15
1.5.1. Les pluviomètres	16
1.5.2. Les mesures par radars :.....	17
1.5.2.1. Définition de la télédétection :.....	18
1.5.2.2. Processus de la télédétection :.....	18
1.5.2.3. Les satellites d'estimation des précipitations :.....	19
1.5.2.4. Objectif de la mission TRMM :.....	21
1.5.2.5. Les différents instruments de TRMM :.....	22
1.6. Etat de l'art	24
1.7. Conclusion.....	25
2.1. Introduction	27
2-2-Situation géographique.....	27
2.2. Caractéristique du zone d'étude.....	27
2.3. Base de donnée.....	30
2.3.1. Pluie.....	30

2.3.2. Produits de précipitation satellitaires	34
2.4. conclusion.....	37
3.1. Introduction	39
3.2. Méthode de travail.....	39
3.2.1. Polygone de Thiessen.....	39
3.3. Les critères d'efficacité	45
3.4. Résultats de la comparaison et discussion.....	46
3.6. Conclusion.....	55
4.1. Introduction.....	55
4.2. Les réseaux de neurones artificiels.....	55
4.2.1. Neurone biologique	55
4.2.2. Neurone formel	56
4.2.3. Fonction d'activation.....	57
4.2.3.1. Fonction binaire.....	57
4.2.3.2. Fonction linéaire par morceaux.....	57
4.2.3.3. Fonction linéaire.....	58
4.2.3.4. Fonction sigmoïde.....	58
4.2.3.5. Fonction gaussienne.....	58
4.2.4. Définition d'un réseau de neurone	59
4.2.5. Classification topologique des réseaux de neurones.....	59
4.2.5.1. Les réseaux feed-forward (Non bouclés)	59
4.2.5.2. Le perceptron monocouche.....	60
4.2.5.3. Le perceptron multicouche.....	60
4.2.6. Apprentissage des RNA	61
4.2.6.1. Apprentissage supervise.....	61
4.2.6.2. Apprentissage non Supervisé.....	62
4.2.6.3. Apprentissage par renforcement.....	62
4.2.7. L'algorithme du LEVENBERG-MARQUADT.....	62
4.2.8. Perceptron multicouche (PMC).....	62
4.2.8.1. Apprentissage.....	63

4.2.8.2. Architecture.....	63
4.3. Application du modèles PMC dans l’ajustement des mesures satellitaires.	64
4.3.1. L’apprentissage	65
4.3.2. Normalisation des données	65
4.3.3. Division des données.....	65
4.3.4. Détermination des entrées pour les PMC.....	66
4.3.5. Evaluation du modèle.....	65
4.4. Régressions.....	67
4.5. Conclusion.....	68
5.1. Introduction	70
5.2. Application de régression (linéaire et polynomiale).....	70
5.3. Application du PMC.....	71
5.3.1. TRMM 3B42V7	71
5.4. Conclusion.....	76
Conclusion générale.....	77
Références	
Résumé	

Liste des abreviations

TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission.

GPM : Global Precipitation Mission.

PR: Radar de précipitation

TMI : TRMM Microwave Imager

VIRS : Visible and Infrared Scanner, VIRS

MNT : Modèle Numérique Terrain

SIG : Système d'information géographique

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

TMPA : TRMM Multi satellite Précipitation analysais

PMC : Perceptron multicouche

R^2 : Coefficient de détermination

RMSE : Root Mean Square Error

NASA National Aeronautics and Space Administration

3B42v7 : TMPA post adjusted product version7

JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency

EUMETSAT : European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites

IR : Infra Rouge

TCI : TRMM Combined Instrument qui utilise TMI et le PR

PR : Precipitation Radar

BRAIN : Bayesian Rain Algorithm Including Neural network

CMORPH : CPC MORPHing technique

MO : Micro-Ondes

MW : Microwaves

PERSIANN : Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using

Artificial Neural Network

LISTE DES FIGURES

Figure 1.Etapes de formation des précipitations	4
Figure 2.Types de pluies	6
Figure 3.Formation des précipitations de convection	7
Figure 4.précipitations orographiques.....	8
Figure 5.type cyclonique	9
Figure 6.Pluviomètre à lecture directe.	10
Figure 7.Pluviographe enregistrant les données de précipitations d'un pluviomètre à augets basculeur.....	10
Figure 9. Fonctionnement du radar	11
Figure 8.Radar météorologique de OUPRIME de l'université d'Oklahoma	11
Figure 10.Principe de base de la télédétection	12
Figure 11.Etapes de la télédétection.....	12
Figure 12.Quelque satellites de mesure de précipitation.....	14
Figure 13.Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM.....	15
Figure 14.satellite TRMM-	15
Figure 15.. Diagramme du chemin de mesure des instruments TRMM.....	17
Figure 16.Localisation de la zone d'étude.....	21
Figure 17. Relief du zone d'étude.....	22
Figure 18..les trois région choisis.....	23
Figure 19.Localisation des stations pluviométrique dans la zone.....	25
Figure 20.les trois région choisis.....	34
Figure 21.polygones de Thiessen de la région 2	35
Figure 22.position des pixel pour la région 2.....	36
Figure 23.Polygone de Thiessen de la région1.....	36
Figure 24.. Position des pixel de la région 1	37
Figure 25. Polygone de Thiessen de la région3.....	37
Figure 26.Position des pixel de la région 3	38
Figure 27.Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 1	41
Figure 28.polygones de Thiessen de la région 2	35
Figure 29.position des pixel pour la région 2.....	36
Figure 30.Polygone de Thiessen de la région1.....	36
Figure 31. Position des pixel de la région 1	37
Figure 32. Polygone de Thiessen de la région3.....	37
Figure 33.Position des pixel de la région 3 Erreur ! Signet non défini.	
Figure 34.Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 1	41
Figure 35.Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région2	41

Figure 36. Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 3 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 37. comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 1 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 38. comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 2 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 39. comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 3 **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.40 - Schéma d'un neurone biologique (Parizeau, 2004) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.41 - Un neurone formel (Wira, 2009) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.42 - Les différents type de fonction de transfert dans les RNA **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.43 Schéma descriptif du perceptron monocouche (Boulmaiz, 2016) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 44. Schéma descriptif du perceptron multicouche (Boulmaiz, 2016) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.45 - Schéma descriptif d'un apprentissage supervisé (Boulmaiz, 2016). **Erreur ! Signet non défini.**

Figure.46- Présentation schématique d'un PMC (Fatima and Hamid, 2009) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 47. Performance des modèles de régression linéaire (a), polynomiales de deuxième (b), troisième (c) et quatrième degré (d) dans la période test **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 48. Nuage des points entre sat simulé par RNA et stat **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 49. séries chronologiques montrant la simulation avec le modèle PMC en utilisant pluie surfacique du 3B42V7, durant la période test **Erreur ! Signet non défini.**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.caractéristiques des différentes mesures des précipitations .(thèse de Claire Cassé.page 48 publié en 2015.....	8
Tableau 2.quelque type de satellites.....	13
Tableau 3.les détails des régions	23
Tableau 4 - Caractéristiques des stations pluviométrique principaux à travers la Zone d'étude, du L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)	24
Tableau 5.la somme des précipitation pour chaque station dans la période 1999-2004	25
Tableau 6.Informations sur les produits de précipitation de satellites utilisés dans cette étud	29
Tableau 7.la somme des précipitation pour chaque pixel dans la période 1999-2004.....	31
Tableau 8.les critères d'efficacité des trois régions,	42
Tableau 9.Présentation de pluie par satellite et station par jour.....	45
Tableau 10 - division de la période pour le TRMM 3B42V7.....	58
Tableau 11.Performances des modèles de régression dans la période test.....	63
Tableau 12.critères de performances de la meilleur combinaison.....	66

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La pluie est une source d'eau importante. Les précipitations sont un événement qui est attendu par tous, elle est importante pour les agriculteurs, l'arrosage, la consommation journalière des eaux potables et tous les aspects de la vie. Toutefois, elle est aussi une préoccupation majeure pour sa relation avec les catastrophes dues aux inondations. De ce fait, la mesure des quantités de précipitation est une tâche indispensable et primordiale pour toute étude hydraulique.

La mesure de la pluie se fait par différentes méthodes tels que les instruments ponctuels (pluviomètres), l'observation par radar qui estime les quantités de pluies dans les nuages mais aussi à l'aide de la télédétection, il s'agit de l'estimation des précipitations par satellite.

Plusieurs chercheurs se sont penchés sur l'évaluation de ces estimations de pluie par satellites.

Des études récentes utilisant des bases de données d'observations satellitaires ont conduit à différents éléments qui font débat. Wentz et al. (2007) a mis en évidence une augmentation des pluies moyennes sur les océans Tropicaux, à un taux proche de celui dérivé de la relation de Clausius Clapeyron.

Kenneth et al. (2010) a développé une méthodologie qui ajuste les produits TMPA existants en utilisant des données de précipitations au sol. L'approche n'est pas un simple ajustement de biais, mais un processus en trois étapes qui transforme un produit de précipitation par satellite.

Avec l'avancement de la technologie et les méthodes d'estimation des précipitations par télédétection, le décalage entre ces derniers et la mesures au sol se rapproche de plus en plus. Néanmoins, l'évaluation de ces produits de précipitation est une tâche primordiale avant toute étude (ex. hydrologique) afin de quantifier les incertitudes dues à ces décalages.

L'objectif de notre étude est d'évaluer les estimations des précipitations faites à l'aide de satellites en les comparant avec les mesures au sol. Ce travail est appliqué à une région située au Nord Est Algérien et dont le climat est de type méditerranéen.

Notre étude va prendre le chemin suivant :

Un premier chapitre résumant quelques généralités sur la précipitation, sa mesure et un état de l'art qui regroupe les travaux pertinents sur les évaluations des précipitations par satellite qui ont été effectué.

Le deuxième chapitre on va étudier la zone de notre étude. Cette zone se trouve au nord est de l'Algerie et couvre 5 Wilaya (Annaba et El-Tarf et Guelma et Skikda et Souk-ahras) . En utilisant les données de logiciel Arcgis.

Le troisième chapitre on va exécuter une évaluation des produits des pluies satellitaires et la méthodologie des calculs.

Le quatrième chapitre concerne les résultats obtenus, on va expliquer le décalage entre eux, et puis on discute la manière de correction et comment nous faisons le calage des produits de précipitations de stations avec les estimations des précipitations par satellite.

Introduction générale

Le dernier chapitre nous discuterons les résultats obtenus et on va faire une analyse et discussions et puis une conclusion de notre étude.

CHAPITRE 1

Généralités

1.1. Introduction

Ce chapitre a été organisé comme suite : une section pour définir la précipitation et les moyens de mesure dans les stations pluviométriques et une autre pour définir les satellites métrologique, les mesures de précipitations par satellite en plus d'un aperçu sur la Mission de mesure des précipitations tropicales (TRMM) et les instruments utilisés dans ce dernier.

1.2. Les formes de l'eau

L'eau est présente sur Terre sous ses trois états : liquide, solide (glace) et gazeux (vapeur d'eau). La vapeur d'eau, invisible, est un composant de l'air. Les nuages sont des accumulations de gouttelettes d'eau dans l'air.

- liquide, dans les océans, les lacs, les fleuves et les rivières. Ailleurs que dans les zones humides plus ou moins tourbeuses ou marécageuses, dans les mers et océans, l'eau est présente dans les lagunes, lacs, étangs, mares, fleuves, rivières, ruisseaux, canaux, réseaux de fossés, de watingues ou comme eau interstitielle du sol ;
- gazeuse, sous forme de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers, des plans d'eau et de l'évapotranspiration des plantes ;
- solide, sous forme de glace dans les glaciers dans la banquise, les icebergs, etc.

1.3. Différente forme de la pluie :

Tout produit de condensation de vapeur d'eau atmosphérique formé à l'air libre ou à la surface de la terre est un hydrométéore. L'hydrologue est principalement intéressé par les précipitations (Bennani, 2016).

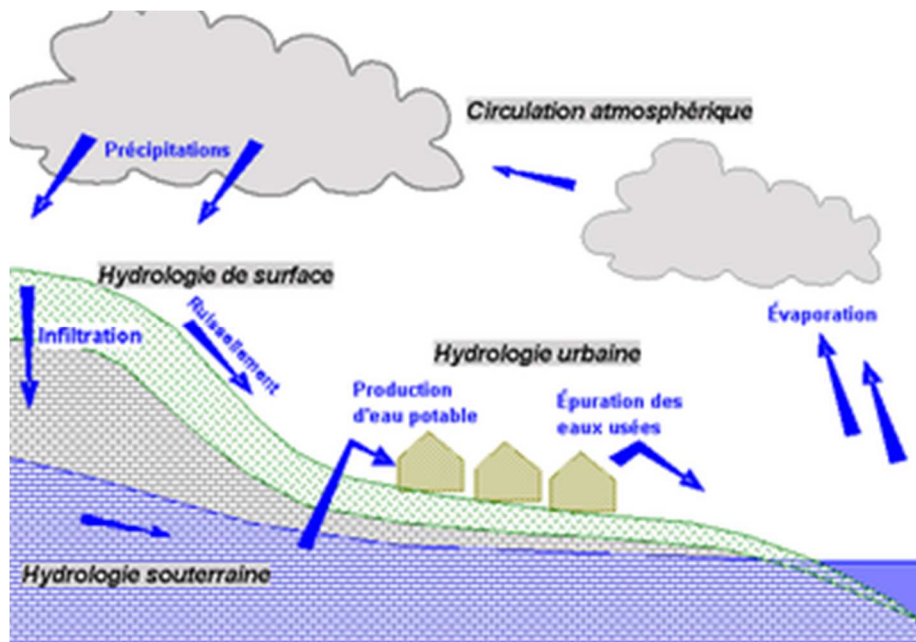


Figure 1. Etapes de formation des précipitations SOURCE
(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A9cipitations>)

D'après le schéma la pluie – précipitation -fait une partie importante du cycle d'eau dans la nature.

La pluie se trouve dans la nature sous plusieurs aspects,

- **Bruine** est constitué de minuscules gouttelettes d'eau liquide, dont le diamètre est généralement compris entre 0,1 et 0,5 mm, avec de telles vitesses de décantation lente que parfois ils semblent flotter. Elles tombent habituellement de stratus bas et dépassent rarement 1 mm / h.
- **Pluie** est constituée d'eau liquide dont le diamètre dépasse essentiellement 0,5 mm. Ces précipitations se réfèrent généralement à des quantités de précipitations liquides.
- **Vernis** est la couche de glace, généralement claire et lisse, formé sur les surfaces exposées par le gel de l'eau en surfusion déposée par la pluie ou de la bruine. Sa densité peut être aussi élevée que 0,8 à 0,9.
- **Givre** est un dépôt blanc opaque de granules de glace plus ou moins séparées par l'air emprisonné et formées par la congélation rapide de l'eau en surfusion des gouttes tombant sur les objets exposés. Sa densité peut être aussi faible que 0,2 à 0,3.
- **La neige** est composée de cristaux de glace, principalement dans le complexe, ramifié forme hexagonale, et souvent agglomérés en flocons de neige, qui peuvent atteindre plusieurs centimètres de diamètre. La hauteur de la neige fraîchement tombée est très

variable, 125 à 500 mm de neige est équivalent environ 25 mm d'eau liquide. La densité moyenne (poids spécifique) est souvent supposée être de 0,1.

- **La grêle** est une précipitation sous forme de billes de glace, produites dans les nuages convectifs, la plupart du temps cumulonimbus. Les grêlons peuvent être sphéroïdale, conique, ou de forme irrégulière, et la gamme allant d'environ 5 à plus de 125 mm de diamètre. Elles sont généralement constituées d'une alternance de couches de vernis et de Givre, et leur masse volumique est d'environ 0,8.
- **Grésil** se compose de transparents, globulaires, des grains solides de glace formée par la congélation de gouttes de pluie ou de regel de cristaux de glace presque entièrement fondus tombant à travers une couche de congélation secondaire d'air près de la surface de la terre (Bennani, 2016). Voir la fig. ci-dessous,

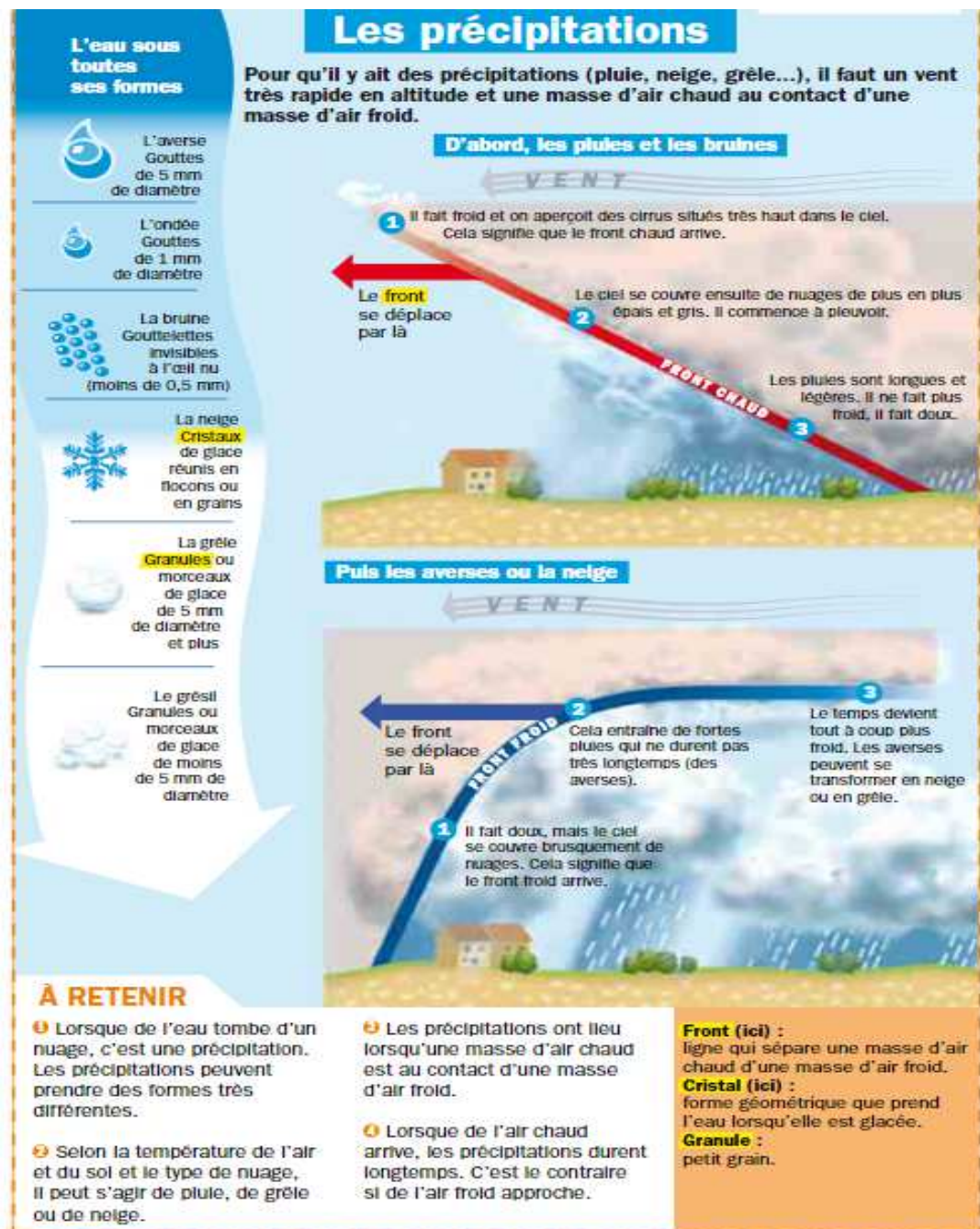


Figure 2.Types de pluies

(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A9cipitations>)

1.3. Formation de la Précipitation :

D'abord c'est quoi une précipitation. On englobe sous le terme de précipitation, toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, bruine) que solide (neige, grêle, grésil).

D'un point de vue physique, la pluie peut être définie comme des gouttes d'eau d'un diamètre variant entre 0,5 et 5 mm, tombant ou non sur le sol (reprise par l'évaporation ou par les mouvements de l'atmosphère)

La précipitation est caractérisée par leur quantité et leur régime pendant les temps et dans l'espace, la quantité de pluie disponible est un facteur important, il est donc nécessaire de connaître ses variations spatiotemporelles dans les stations pluviométriques (Ahmed, 2002). En météorologie, une précipitation regroupe des produits, sous une forme liquide ou solide, issus de la condensation de la vapeur d'eau. Les produits tombent des nuages et brumes, sont déposés par l'air humide sur le sol. Ces précipitations finissent par constituer un réseau hydrographique dans un bassin hydrographique.

1.4. Types des précipitations

On peut diviser les précipitations en trois types ,

- ❖ Précipitations de convection
- ❖ Précipitations orographiques
- ❖ Précipitations cycloniques ou frontales (front chauds ou froids, lignes d'occlusion etc.).

1- Précipitations de convection ,

Lorsque par temps calme, l'air saturé ou non, au voisinage du sol est chauffé par les radiations solaires (directement mais surtout indirectement par réflexion sur le sol), il se s'élève alors, car il subit des dilatations. Au cours de son ascension, il se refroidit et atteint un niveau de condensation où se forment les nuages.

Si le mouvement de convection vertical initial est intense et se poursuit suffisamment longtemps, le système nuageux ainsi formé peut atteindre une zone de température assez basse pour déclencher la pluie (Ahmed, 2002).

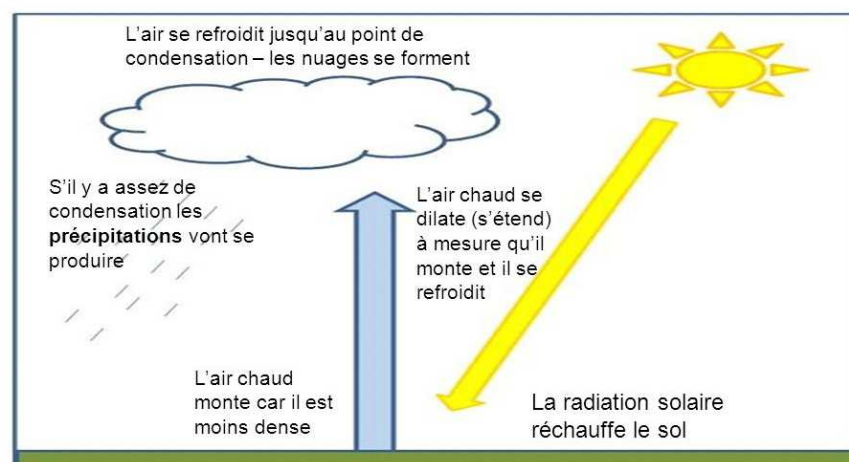


Figure 3. Formation des précipitations de convection

1.4.1. Les précipitations orographiques :

Les précipitations orographiques arrosent les flancs des montagnes par des pluies issues de nuages formé par l'évaporation d'un océan chaud. Les pluies orographiques sont accumulées dans les nuages au-dessus des grands plans d'eau (lac, mer, océan).

Le nuage orographique (vs. nuage de convection) rencontrant un obstacle à son passage, doit monter en altitude: l'air chargé d'humidité doit se soulever tout en se refroidissant. Les lois mécaniques imposent alors aux pluies de tomber. Le versant opposé à la montagne (ou colline en altitude) reste sec car le nuage n'existe plus: les différences climatiques entre les deux versants peuvent être considérables. La pluie orographique (vs. la précipitation de convection) est causée par la montée d'air humide lors de la rencontre d'un obstacle orographique, comme une montagne. à mesure qu'il monte, l'air se refroidit pour atteindre le point de saturation de la vapeur d'eau et une humidité relative de 100%, ce qui provoque la pluie.

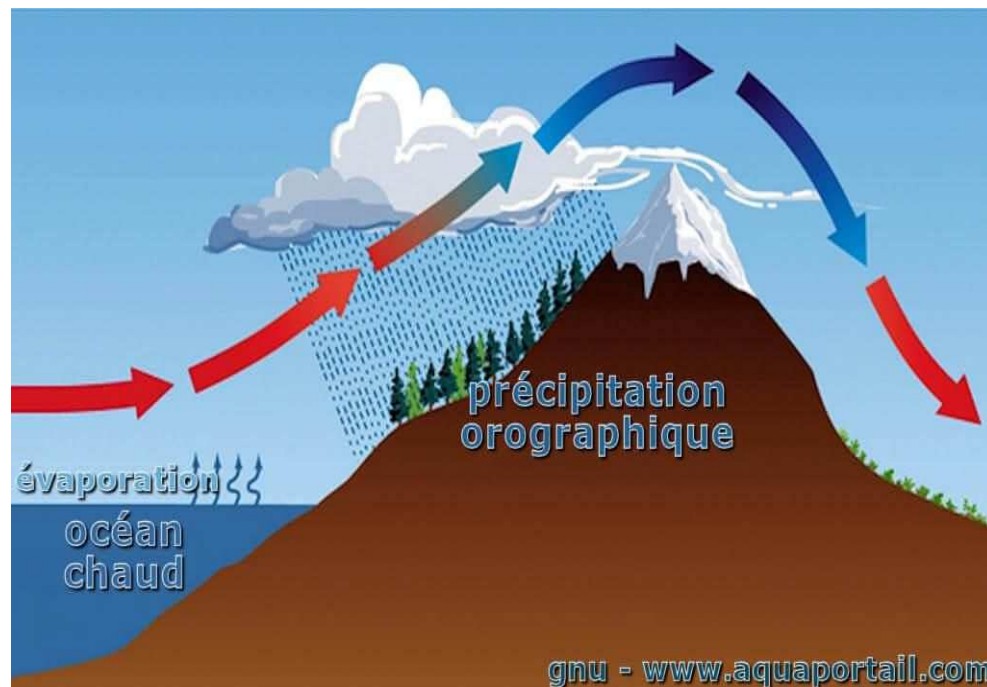


Figure 4. précipitations orographiques (<https://www.aquaportail.com/definition-12849-precipitation.html>)

1.4.2. Les précipitations frontales (type cyclonique) :

Lorsque plusieurs masses d'air de propriétés différentes (température et humidité) se rencontrent, les plus chaudes et les plus humides sont poussés vers les hautes altitudes où elles se refroidissent et se condensent. Ce sont ces précipitations qui sont les plus importantes, les plus longues, les plus étendues et les plus fréquentes dans nos climats tempérés. (Ahmed, 2002).

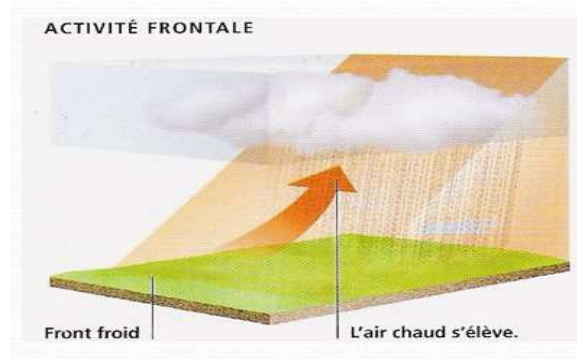


Figure 5.type cyclonique

1.5. L'observation de la pluie

Il s'agit de mesurer les précipitations soit par mm/ jour ou par mm/mois ou par mm/année.

(Et parfois on peut mesurer même mm/ heure.)

Pour mesurer ces précipitation d'une zone définie, il se trouve trois grands types de mesure comme suite ,

- pluviomètres,

- radars
- satellites.

le Tableau ci-dessous explique des caractéristiques des différentes mesures des précipitations .

Tableau 1.caractéristiques des différentes mesures des précipitations .(thèse de Claire Cassé.page 48 publié en 2015)

	<i>Résolution Spatiale</i>	<i>Résolution Temporelle</i>	<i>Couverture spatiale</i>	<i>Période de disponibilité</i>	<i>Type de mesure</i>
Pluviomètre/graphe	-	1j / ~5min	Ponctuelle	Historique	Directe
Radar météo	1km	5min	Locale (100km)	1950	Indirecte
Satellite	8 à 100km	3h à 1j	Régionale à Globale	~ 1980 (IR) ~ 2000 (MW)	Indirecte

1.5.1. Les pluviomètres

Le pluviomètre est un instrument météorologique destiné à mesurer la quantité de précipitations (surtout la pluie) tombée pendant un intervalle de temps donné en un endroit. L'un des plus communs dans les stations météorologiques, il en existe différents types, certains à mesure directe et d'autres automatiques. Ces derniers peuvent être reliés à des enregistreurs en continu de la hauteur d'eau des précipitations et sont alors appelés pluviographes.

Les données obtenues par le pluviomètre, comme toutes les mesures, sont sujettes à certaines erreurs dues aux conditions environnementales, à la conception de l'appareil et à sa position par rapport aux obstacles environnants. Cependant, l'utilisation d'un réseau de tels instruments permet de planifier les cultures, les besoins en irrigation.

Voici quelques modèle de pluviomètres,



Figure 6. Pluviomètre à lecture directe.

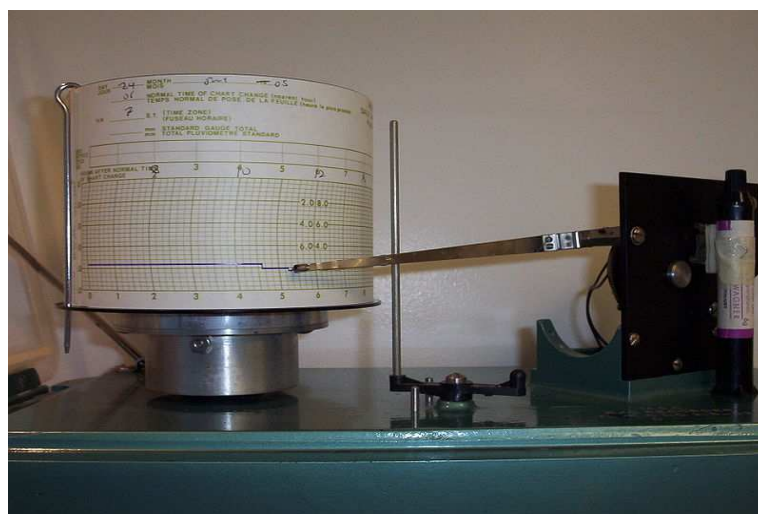


Figure 7. Pluviographe enregistrant les données de précipitations d'un pluviomètre à augets basculeur.

1.5.2. Les mesures par radars :

Un radar météorologique est un type de radar utilisé en météorologie pour repérer les précipitations, calculer leur déplacement et déterminer leur type (pluie, neige, grêle, etc.).



Figure 8. Radar météorologique de OUPRIME de l'université d'Oklahoma

Le schéma suivant explique le principe de fonctionnement du Radar météorologique,

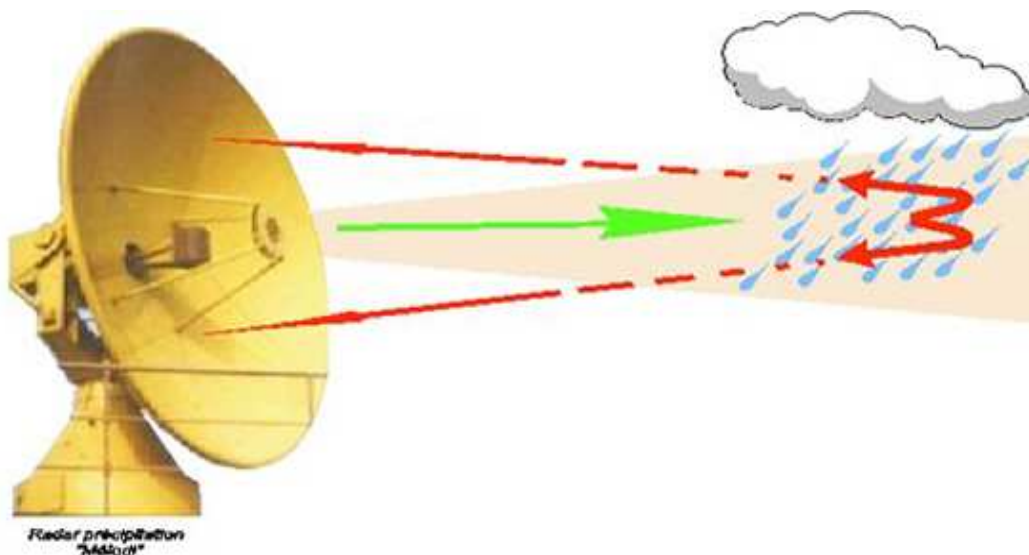


Figure 9. Fonctionnement du radar

Mesures des précipitations par satellites

Cette méthode fait parti de notre étude, le satellite fonctionne au principe de la télédétection.

1.5.2.1. Définition de la télédétection :

La télédétection (remote sensing) est la science et l'art d'obtenir des informations sur un objet. Télésignifie à distance et détection veut dire découvrir ou déceler. La télédétection se définit comme un processus d'acquisition d'information à propos d'un objet, d'une surface, d'un phénomène sans contact avec eux. Principe de base de la télédétection Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur.

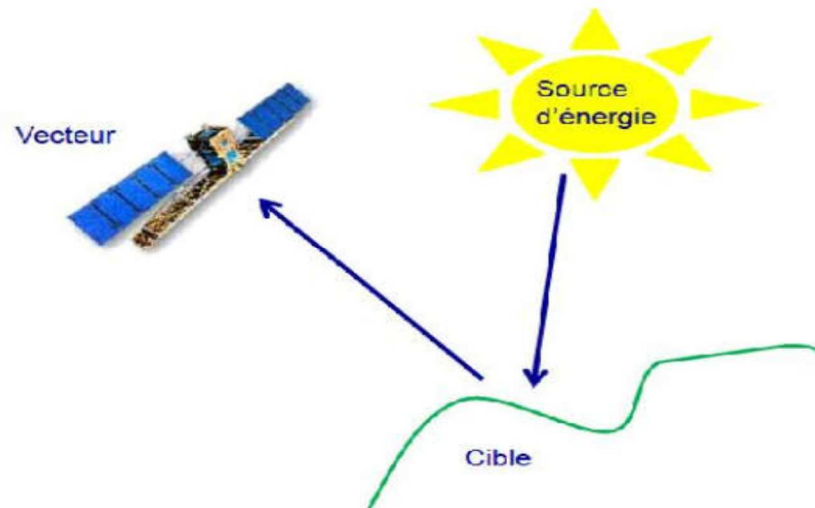
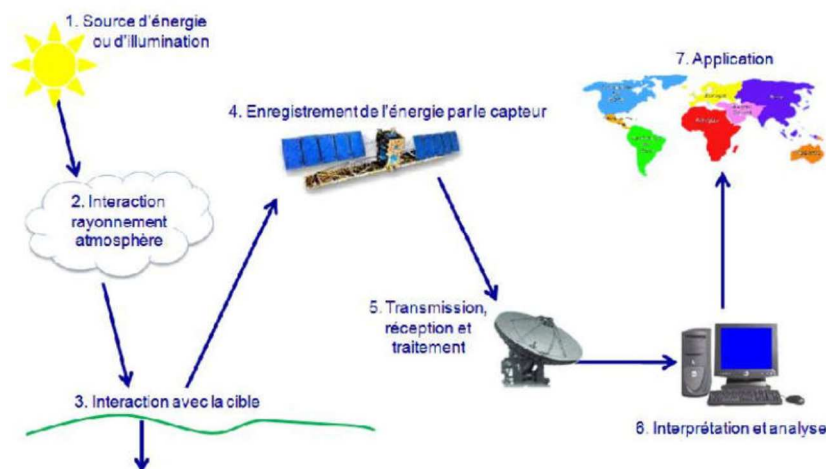


Figure 10. Principe de base de la télédétection

1.5.2.2. Processus de la télédétection :

On peut schématiser la télédétection comme un processus de sept étapes clés :

Source d'énergie ou d'illumination : À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible. Le plus souvent, voire dans la



presque totalité des cas, cette source d'énergie est le soleil. Mais le satellite lui-même peut être

Figure 11. Etapes de la télédétection

source d'énergie: c'est le cas pour le domaine de la télédétection radar. Interaction rayonnement et atmosphère: Durant son parcours «aller» entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet «retour» entre la cible et le capteur. Interaction avec la cible: Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre «empreinte digitale» dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même. Enregistrement de l'énergie par le capteur: Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion par exemple, pour être enfin enregistrée sous format numérique. Transmission, réception et traitement : Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques). Interprétation et analyse : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. Application : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée (une ville, une zone inondée, une forêt,...) pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. Ces sept étapes couvrent le processus de la télédétection, du début à la fin. [BIG03] Remarque: Le système d'observation de la terre fournit à l'utilisateur des données numériques ou d'image sur la base de caractéristiques des détails observés. Il reçoit ces caractéristiques à travers le rayonnement électromagnétique. Il est donc intéressant pour nous d'étudier de façon simple le rayonnement électromagnétique et son comportement face aux objets observés.

1.5.2.3. Les satellites d'estimation des précipitations :

Le développement récent des satellites météorologiques ouvre la voie à de nouvelles applications en pluviométrie, grâce à un suivi global des systèmes nuageux. Les satellites les mieux adaptés sont les satellites géostationnaires dont l'orbite, située à 36 000 km de la Terre, autorise une rotation synchrone avec celle-ci. Leur position relative par rapport au sol demeure constante, ce qui permet une fréquence d'acquisition d'image élevée.

Suivant la technologie des capteurs embarqués, on observera soit dans les longueurs d'onde du visible et de l'infra-rouge la couverture nuageuse, soit dans le domaine des hyperfréquences, les volumes d'eau présents dans l'atmosphère. Ces mesures étant de natures indirectes, il est nécessaire de se référer à des mesures directes effectuées au sol. (Bennani, 2016). L'image suivante montre les différents satellites qui estiment les précipitations à travers notre planète,

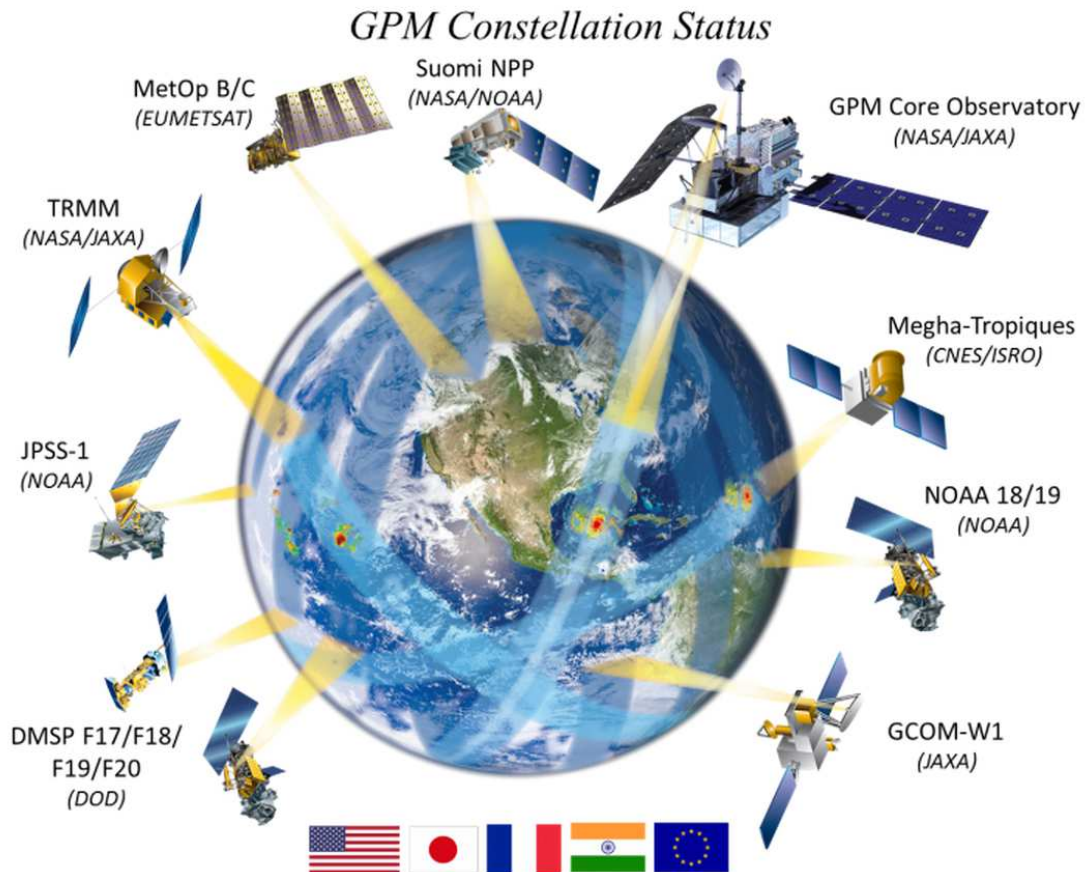


Figure 12. Quelque satellites de mesure de précipitation –source internet -

Plusieurs missions de satellites « Recherche et développement » (RetD) sont dédiés à la météorologie. Voir tableau suivant,

Tableau 2. quelque type de satellites-

Satellites	Opérateurs	Lancements	Orbites	Altitudes
TRMM	JAXA/NASA	27/11/1997	non-héliosynchrone	403 Km
AQUA	NASA	04/05/2002	héliosynchrone	705 km
CloudSAT	NASA/CSA	28/04/2006	héliosynchrone	705 km
Megha-Tropiques	CNES/ISRO	12/10/2011		865 Km

1.5.2.4. Objectif de la mission TRMM :

La mission TRMM (NASA-JAXA), lancée en 1997, est à l'origine de plusieurs produits d'estimation des précipitations : TMPA (pour TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis, Huffman et al. 2007

Pour notre étude en utilisant le satellite TRMM, voici une image ,

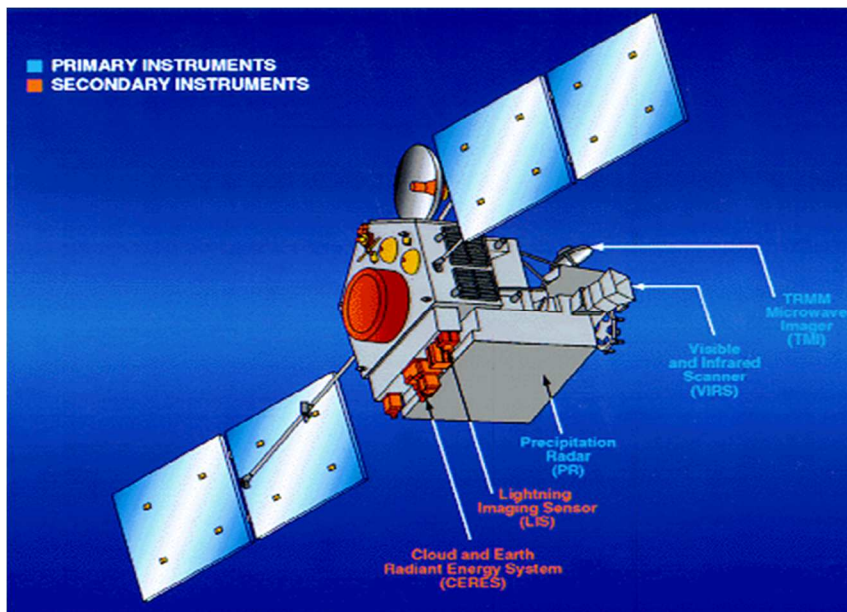


Figure 13. Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM.

La TRMM a été proposée comme projet conjoint entre les États-Unis, la NASA et le Japon, l'Agence nationale de développement spatial du Japon (NASDA) et le Laboratoire de recherche sur la communication (CRL). Le Japon a mis au point le premier radeau de précipitations spatial au monde et a fourni une fusée H-deux pour lancer le satellite TRMM.



Figure 14. satellite TRMM-

Les États-Unis ont fourni l'observatoire, quatre autres capteurs et les systèmes d'exploitation des satellites. Les données d'observation TRMM sont traitées dans les deux pays et réparties entre les utilisateurs.

En Décembre 2003, six ans après le lancement du satellite, il continue d'observer d'excellente qualité, bien que la durée de vie du satellite soit de trois ans. L'altitude du satellite a été augmentée en août 2001 pour prolonger la durée de vie en réduisant la traînée atmosphérique (Jaxa, 2018).

Les précipitations jouent un rôle central et important dans le cycle hydrologique, qui est le facteur important du mécanisme de changement climatique. Les tropiques et les subtropiques contiennent 2/3 des précipitations totales sur la Terre et sont supposés conduire la dynamique de la circulation atmosphérique impliquée dans le réchauffement atmosphérique correspondant aux précipitations.

TRMM porte cinq instruments pour étudier ces mécanismes et semble conduire des observations de la pluviosité à l'échelle mondiale, y compris la région des océans tropicaux où les points d'observation sont rares. Il est prévu que des données très précieuses stockées par l'observation TRMM pour la recherche sur le changement climatique contribueront à des enquêtes sur le système climatique et les conditions météorologiques anormales impliquant El Niño, et la prévision des inondations pour prévenir les catastrophes (Jaxa, 2018).

1.5.2.5. Les différents instruments de TRMM :

L'image ci-dessous montre les instruments qui fonctionnent le TRMM.

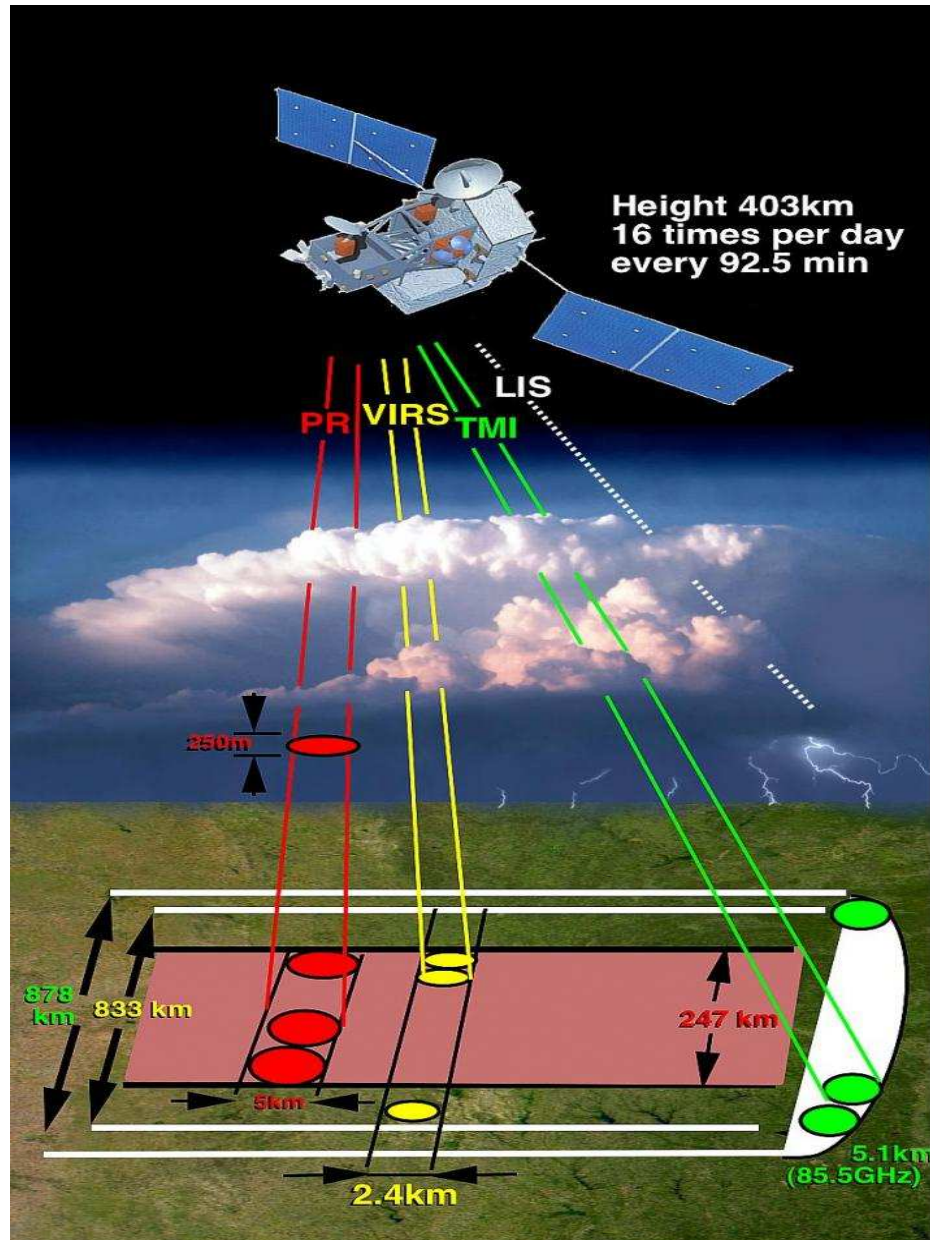


Figure 15. Diagramme du chemin de mesure des instruments TRMM.

Le satellite TRMM dispose de 5 capteurs embarqués : le radar de précipitation (PR), l'imagerie TRMM (TMI), le scanner infrarouge visible (VIRS), les nuages et le CERES (*Earth Radiant Energy System*) et le LIS (*Light Imaging Sensor*). (Jaxa2018).

❖ le radar de précipitation (PR) :

Les principaux objectifs du RP sont :

- de fournir une structure pluviométrique tridimensionnelle,
- de mesurer quantitativement les précipitations sur terre et sur océan.

- d'améliorer la précision de la mesure TRMM par micro-ondes (TMI) en fournissant l'information sur la structure de la pluie.

- ❖ l'imageur TRMM (TMI) :

Le TMI est un radiomètre hyperfréquences multi-canal / bipolarisé qui fournira des données relatives aux taux de précipitations sur les océans

- ❖ le scanner infrarouge visible (VIRS) :

Le VIRS est un radiomètre à balayage transversal passif qui mesure la radiance de la scène dans cinq bandes spectrales fonctionnant dans les régions spectrales du visible à travers l'infrarouge.

- ❖ Capteur d'imagerie de foudre (LIS) :

Le LIS est un télescope à visée optique et un système d'imagerie par filtre qui permettra d'acquérir et d'étudier la distribution et la variabilité de la foudre intra cloud et de la foudre nuage-sol au-dessus de la terre.

1.6. Etat de l'art

Ce genre d'étude est peu fréquenté dans le domaine de la recherche, mais malgré cela on a trouvé quelques études concernant notre sujet.

- Etude de Florian Delahaye sous titre de DOCTORAT, titré –Analyse comparative des différents produit satellitaires d'estimation des précipitation en Amazonie brésilienne- 15-04-2013

Cette étude a pour but de faire des estimations des précipitations des pluies dans la grande région : Amazonie brésilienne en utilisant l'outil satellitaire .

Toutefois, les estimations quantitatives des précipitations (QPE) dérivées des domaines spectraux souffrent des erreurs.

Dans cette thèse l'évaluation des algorithmes des TRMM , CMORPH et PERSIANN s'appuie sur une base de données pluviométriques dont la fiabilité est assurée par un contrôle de qualité rigoureux.

- Etude de Isabelle Jobard-L'Estimation des pluies par satellite- Université de paris.11

Cette étude a pour but d'avoir des estimations des pluies à l'aide des différentes méthodes, tels que :

- Les méthodes Infra rouge (satellites géostationnaires)
- Les méthodes micro ondes (satellites défilants).
- Les méthodes radar(TRMM)
- Les méthodes combinées.

Ils ont trouvé que la corrélation assez forte entre la pluie cumulée sur une longue période et la durée de température de brillance inférieure à un seuil.

1.7. Conclusion

On a vu une présentation concernant les mots clés de notre étude, on a discuté les types de précipitations, et les méthodes de mesures de quantités de pluies.

Nous avons vu également l'outil de la technologie spatiale et les types de satellites utilisés dans ce domaine. Nous avons aussi donné un aperçu sur la Mission de mesure des précipitations tropicales (TRMM) qui a été utilisée dans cette étude .

Dans le chapitre suivant, on donne une présentation sur la zone d'étude, les différentes stations pluviométriques dont les données ont été recueillies à partir de l'organisme ANRH, mais aussi les données de précipitation satellitaires.

CHAPITRE 2

La zone d'étude

2.1. Introduction

Ce chapitre a pour but de caractériser la zone d'étude, on y décrit son contexte géographique, morphométrique et hydrologique. Les différentes stations pluviométriques dont les données ont été recueillies à partir de l'organisme ANRH ainsi que les données de précipitation satellitaire sont aussi décrites.

2-2-Situation géographique

La zone d'étude est située au Nord Est Algérien (entre les Latitude 36.25, 37 et Longitude 6.50, 8.50). Cette zone fait partie des surfaces de cinq Wilaya (Annaba et El-Tarf et Guelma et Skikda et Souk-ahras).

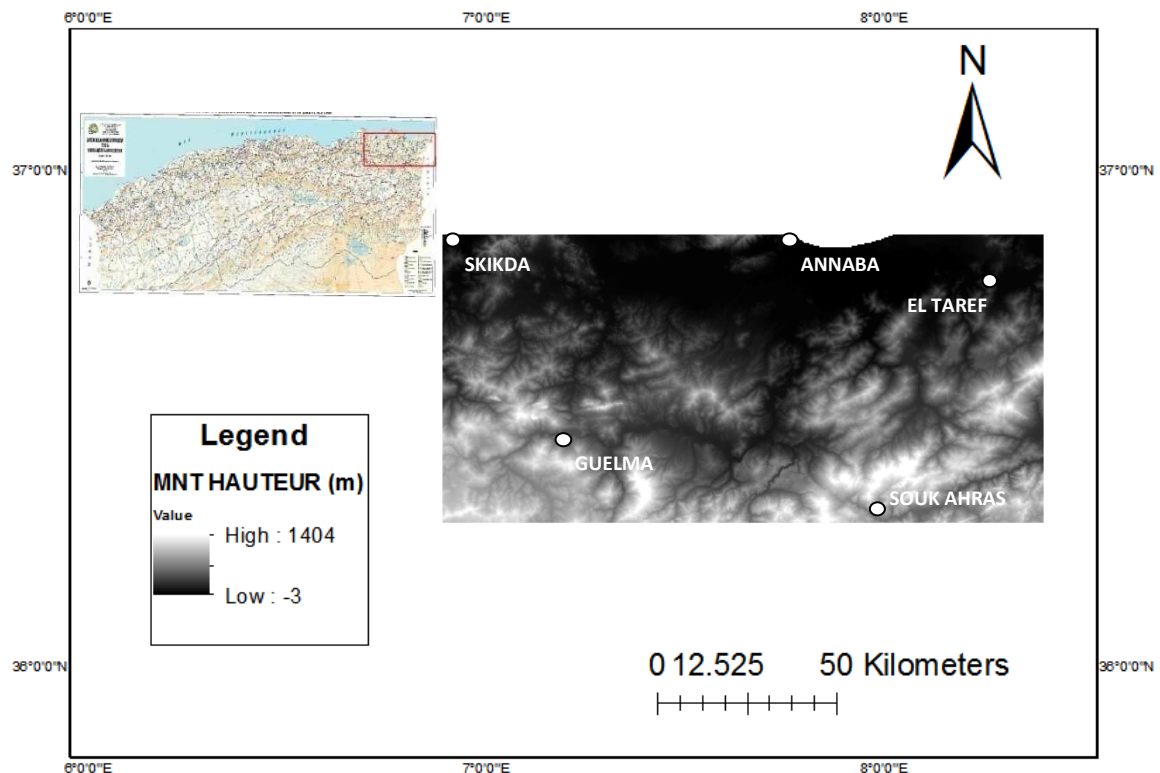


Figure 16. Localisation de la zone d'étude

2.2. Caractéristique du zone d'étude

Dans le but d'extraire les caractéristiques morphométrique de la zone d'étude, un Modèle Numérique Terrain (MNT) (en Anglais Digital Elevation Model ou DEM) a été utilisé dans un logiciel de SIG (Système d'information géographique). Extrait d'une image satellitaire couvrant l'ensemble du continent africain (diffusion sur Internet par EROS Datat Center de l'U.S Geological Survey).

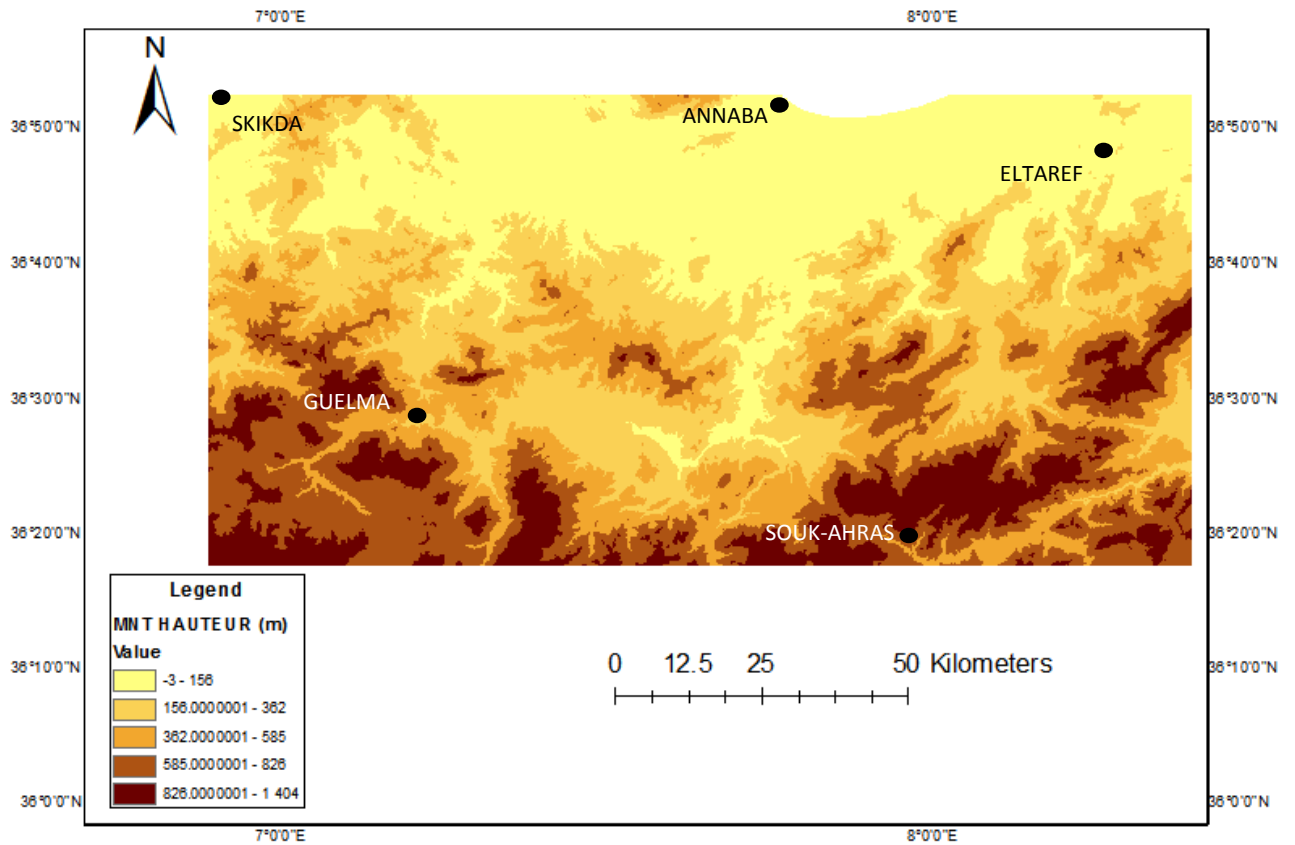


Figure 17. Relief du zone d'étude

La zone d'étude a une superficie de 13 447.90km² (Figure 2) dont l'élévation varie entre -3 m et 1404 m,

A partir d'un Modèle Numérique Terrain (MNT), une carte des reliefs zone d'étude a pu être extraite et est montrée dans la (Figure 2).

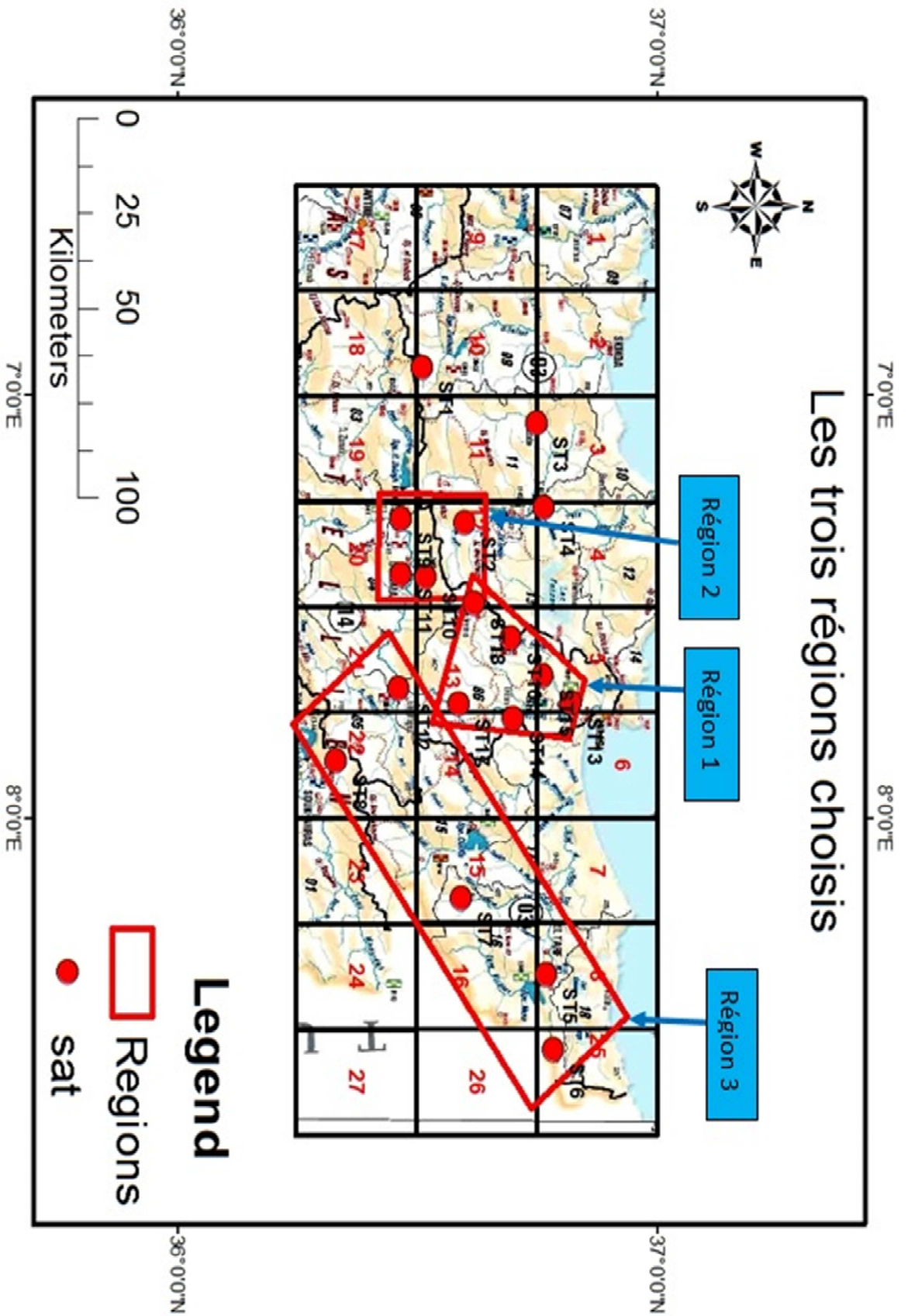


Figure 18. les trois région choisies

Tableau 3.les détails des régions

Région	Surface (km ²)	Nombre de station
1	1099.798	6
2	806.75	4
3	4026.83	5

2.3. Base de donnée

2.3.1. Pluie

Les données de mesure des précipitations journalières, enregistrées par 18 stations pluviométriques (Tableau 1), ont été fournies par L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les critères de choix des données se basent essentiellement sur la disponibilité des séries concomitantes et la situation géographique de leurs stations de mesures (densité du réseau pluviométrique). La période sélectionnée commence à partir de 1999 jusqu'à 2004. Ce choix est imposé non seulement de la disponibilité des données mais

Figure 18.les trois région choisis

aussi du fait que la mission du satellite TRMM (utilisé dans cette étude) ne commence qu'à partir de 1998.

Le (Tableau 4) indique la situation géographique des stations (longitude, latitude)

Tableau 4 - Caractéristiques des stations pluviométrique principaux à travers la Zone d'étude, du L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)

<i>N</i>	<i>Code</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
ST 1	03_09_05	36,51	6,93
ST 2	03_11_05	36,60	7,30
ST 3	11_08	36,75	7,06
ST 4	12_01	36,76	7,26
ST 5	03_16_01	36,77	8,37
ST 6	03_16_02	36,78	8,54
ST 7	03_16_04	36,59	8,19
ST 8	12_01_03	36,33	7,86
ST 9	14_03_13	36,46	7,29
ST 10	14_04_03	36,51	7,43
ST 11	14_04_12	36,46	7,42

ST 12	14_05_05	36,46	7,69
ST 13	14_06_31	36,82	7,72
ST 14	14_06_11	36,70	7,76
ST 15	14_06_09	36,76	7,66
ST 16	14_06_05	36,69	7,57
ST 17	14_06_07	36,58	7,73
ST 18	14_06_06	36,61	7,49

L'emplacement des stations de l'ANRH qui est distribué dans zone d'étude est représenté dans la (Figure 3). Ces stations couvrent pratiquement la majeure partiede la zone d'étude.

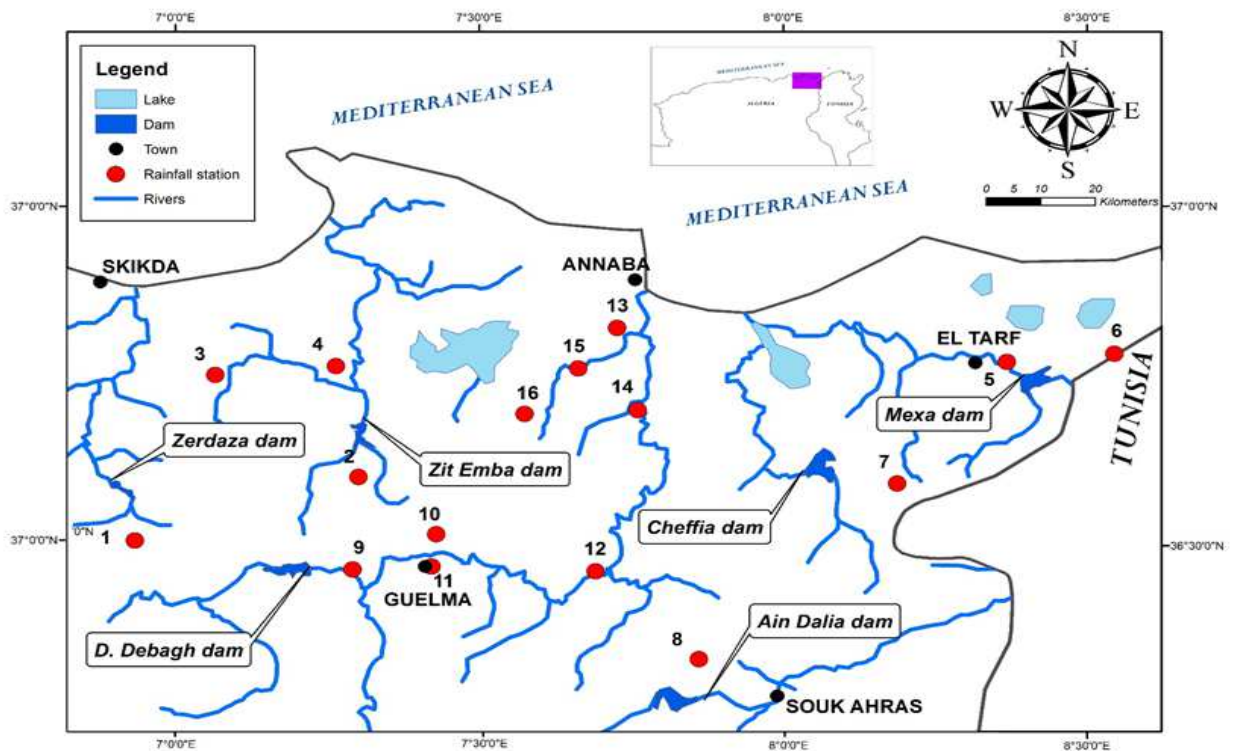
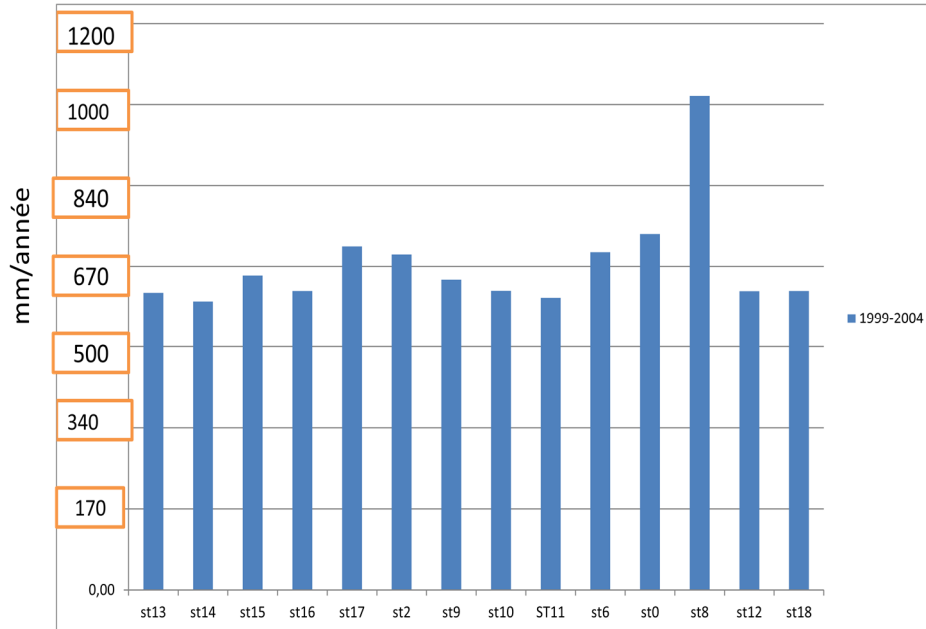


Figure 19. Localisation des stations pluviométrique dans la zone

Le tableau 5 représente la somme des précipitation pour chaque station dans la période 1999-2004 ou on observe que la station 08 a mesurée une maximum valeur de pluie de (6107.04mm), et une valeur minimum dans la station 14 de (3566.15mm).

Tableau 5. La moyenne annuelle des précipitation pour chaque station



Les figures suivantes montres les polygone de Thiessen pour chaque régions :

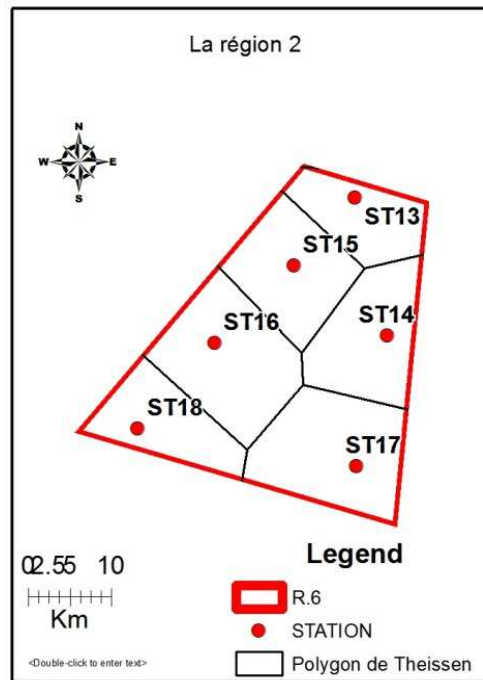


Figure 20. Polygone de Thiessen de la région 1.

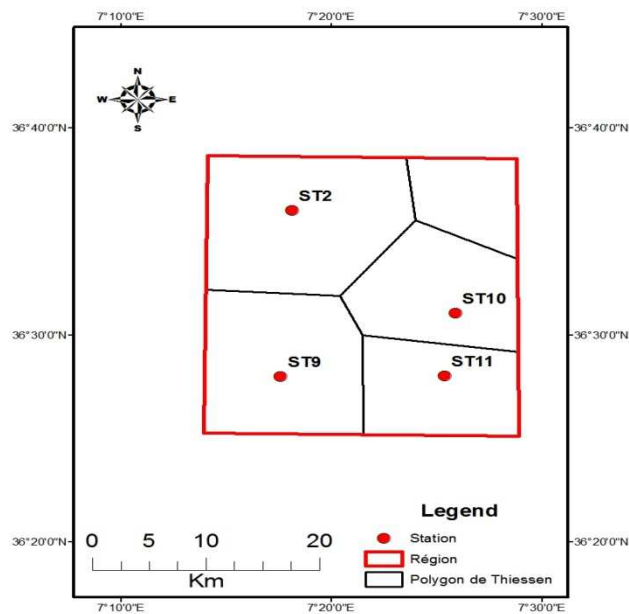


Figure 21. polygones de Thiessen de la région 2

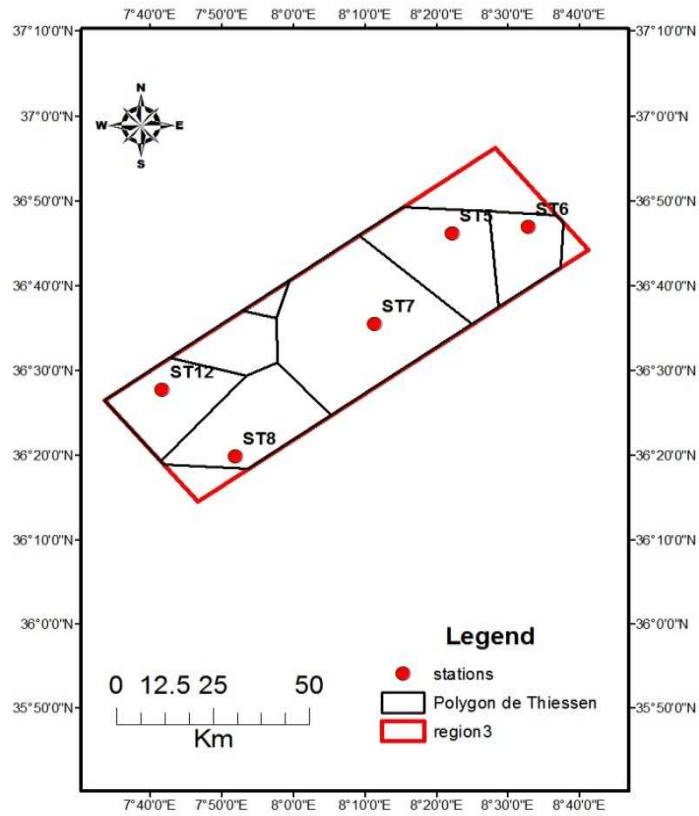


Figure 22.polygones de Thiessen de la région 3

Les précipitations annuelles des stations pluviométrique du l'ANRH sont présentées dans la (Figure 23). Ci-dessous :

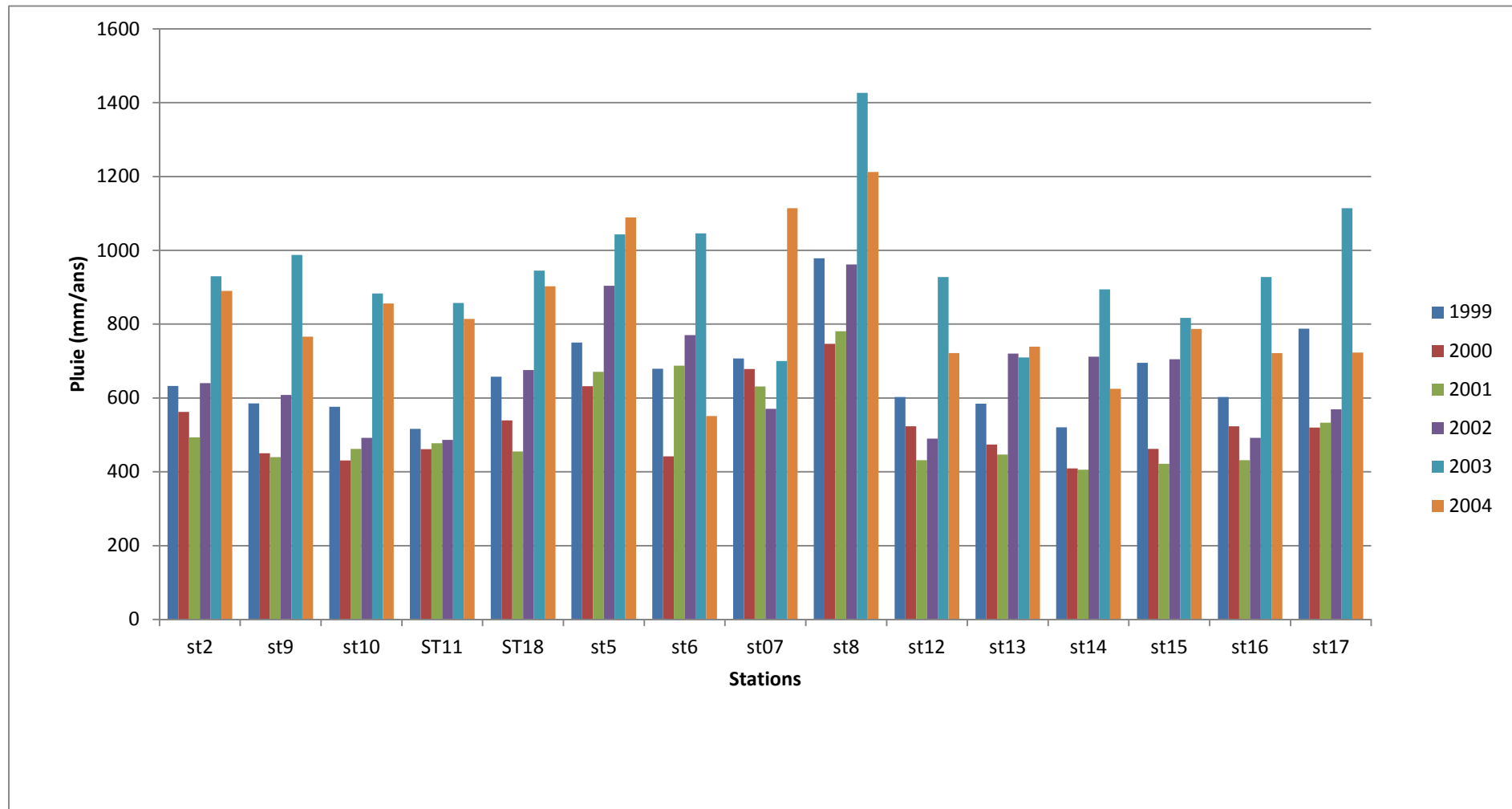


Figure 23. Distribution des séries pluviométriques dans les différentes stations (1999-2004)

2.3.2. Produits de précipitation satellitaires

Les produits TMPA (*The TRMM multi satellite precipitation analysis*) sont utilisés dans cette étude, le TRMM 3B42V7. Le (Tableau 4) présente des informations de base sur la résolution spatiale, la couverture et les périodes disponibles. Le produit 3B42V7 incorpore les précipitations mensuelles du centre de climat de précipitation global (GPCC) pour la correction de biais, mais les données ne sont disponibles que 10-15 jours après la fin de chaque mois. Le produit 3B42V7 utilise les produits de précipitation TRMM Combine Instrument (TCI) Les précipitations journalières du TRMM 3B42V7 ont été estimées en additionnant 8 séries de précipitations sur 3 heures pour un jour donné à 00:00 UTC (Tan et al., 2015).

Les données utilisées ont été acquises à l'aide de la GES-DISC Visualisation en ligne interactif et l'analyse des infrastructures (Giovanni) dans le cadre des sciences de la Terre Goddard de la NASA (GES) Centre de données et des services d'information (DISC).

Tableau 6. Informations sur les produits de précipitation de satellites utilisés dans cette étude

No	Nom	Spatiale/Temporelle	Couverture	Période
1	3B42V7	0,25°/ journalières	globale (50°N–S)	1998–présent

Les séries de la précipitation pour le produit utilisé sont obtenues dans un fichier Excel, à partir au site de Giovanni.

Les figures suivantes montres la position des pixels pour chaque régions :

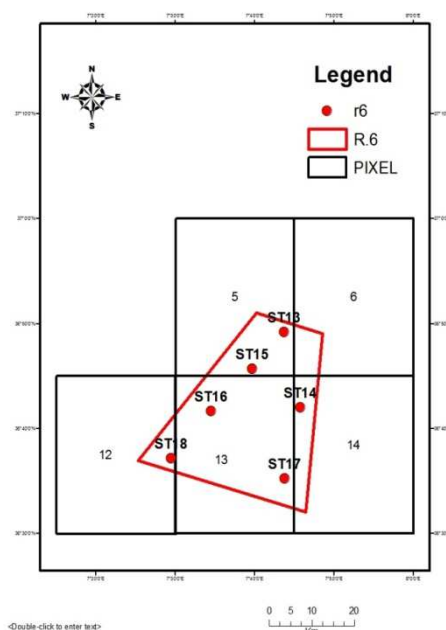


Figure 24. Position des pixel de la région 1

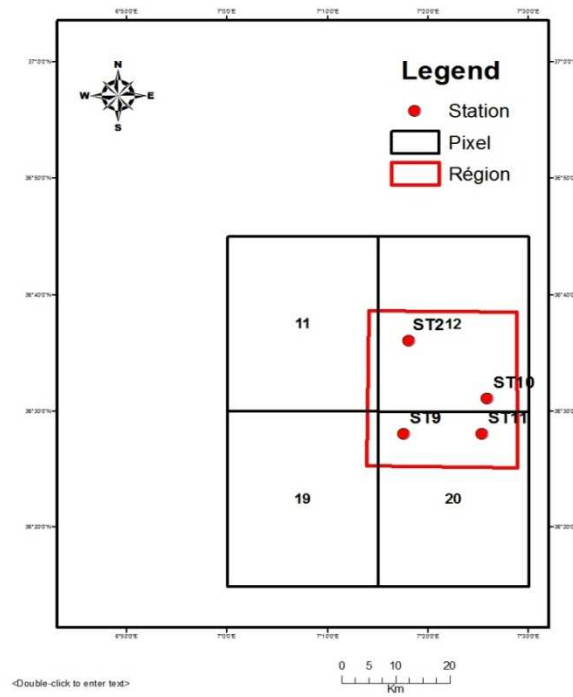


Figure 25. position des pixel pour la région 2

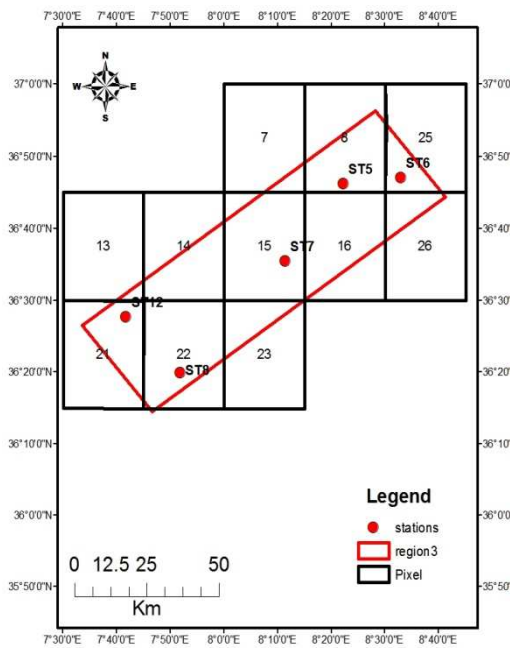
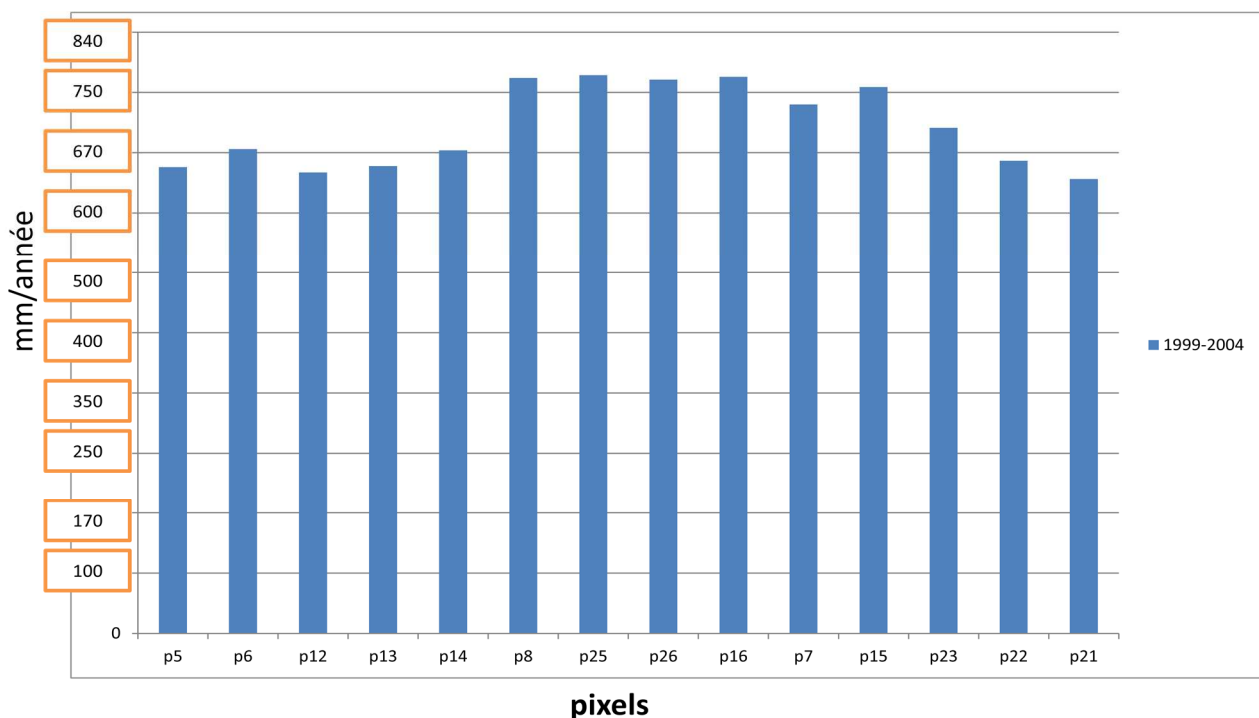


Figure 26. Position des pixel de la région 3

Le tableau 7 représente la somme des précipitation pour chaque pixel dans la période 1999-2004 ou on observe que le pixel numéro 25 a mesurée une maximum valeur de pluie de (4643 mm), et une valeur minimum dans le pixel 21 de (3782.15 mm).

Tableau 7. La moyenne annuelle des précipitation pour chaque pixel



2.4. Conclusion

Une description de la zones d'étude ainsi que les données (au sol et satellitaires) ont été présenté dans ce chapitre.

Dans le chapitre suivant on va comparer la performance des produits de précipitations satellitaires, TRMM 3B42V7 présenté dans ce chapitre avec les mesures des stations au sol. Différents critères statistiques ont été utilisés pour la comparaison. Enfin, les résultats de cette dernière ont été discutés.

CHAPITRE 3

**Evaluation des produits de
précipitations satellitaires**

3.1. Introduction

Dans ce chapitre on va comparer la performance du produit de précipitation satellitaire, TRMM_3B42_Daily_7, avec les mesures des stations au sol de la zone d'étude.

La précision de chaque produit de précipitation a été évaluée à l'échelle de temps journalière en comparant les estimations des précipitations avec les observations de 18 pluviomètres répartie dans notre zone d'étude . La comparaison a été effectuée de 01-01-1999 à 31-12-2004.

3.2. Méthode de travail

Les données du pluviomètre et les données des produits de précipitation par satellite ont été transformées en précipitations surfacique (zone d'étude). Pour réaliser une telle transformation, de nombreuses méthodes d'interpolation peuvent être utilisées, telles que la méthode dite « polygone de Thiessen.»

3.2.1. Polygone de Thiessen

C'est une méthode simplifiée, car les valeurs de pluie observées sur un point sont affectées aux zones qui ne sont pas couvert par des stations de mesure (Thiessen 1911).

La méthode consiste à découper la zone d'étude en polygones, ce dernier a une seule mesure observée qui représente la totalité de l'air (Ai) qui la couvre.

La précipitation moyenne pondérée **Pmoy** pour la zone, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations **Pi** de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire **Ai**), le tout divisé par la surface totale **A** de la zone.

La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit comme ci-dessous:

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=0}^n A_i \cdot P_i}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Avec : Pmoy : précipitation moyenne sur la zone.

A : aire totale de la zone.

Pi : précipitation enregistrée à la station i .

Ai : superficie du polygone associée à la station i

Notre zone d'étude se compose de trois régions, voir l'image suivante :

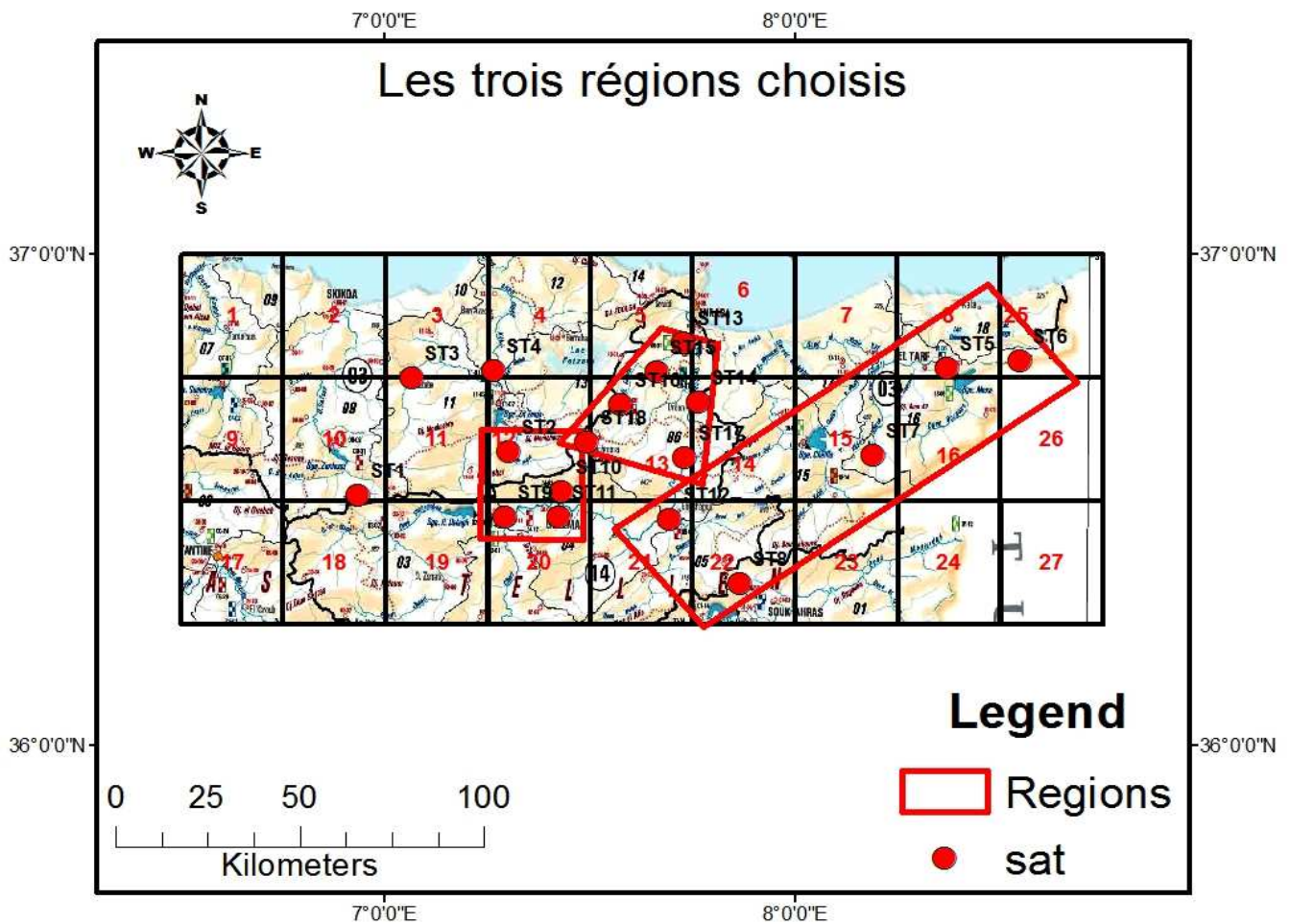


Figure 27es trois région choisies

Nous avons calculé la surface des polygones par rapport à notre zone d'étude pour chaque région.

Chaque mesure d'une station a été attribuée à l'intersection de la surface du polygone et le zone couvrant son emplacement. Le ratio de cette surface par rapport à la surface totale de la zone d'étude est multiplié par la mesure de la station et enfin une somme de tous les résultats trouvés est effectuée pour obtenir une pluie surfacique de toute la zone étudiée.

Pour effectuer cette approche, on donne comme exemple la station numéro 15 de référence « 14_06_09 », la surface de son polygone est de 176.87km² c-à-dire 16.08% de la surface totale de la zone. L'étape suivante est calculer la pluie tombée dans le polygone.

Par exemple dans le jour 14/03/2000, on observe dans cette station une pluie de 9.8 mm et on multiplie cette valeur par le ratio de surface trouvé (16.08%) pour trouver la pluie tombée sur cette surface et pour ce jour.

Cette opération est répétée pour chaque station et les résultats trouvés sont additionnés.

Les figures suivantes représentent le polygone de Thiessen et la positions des pixels sur la surface de chaque région :

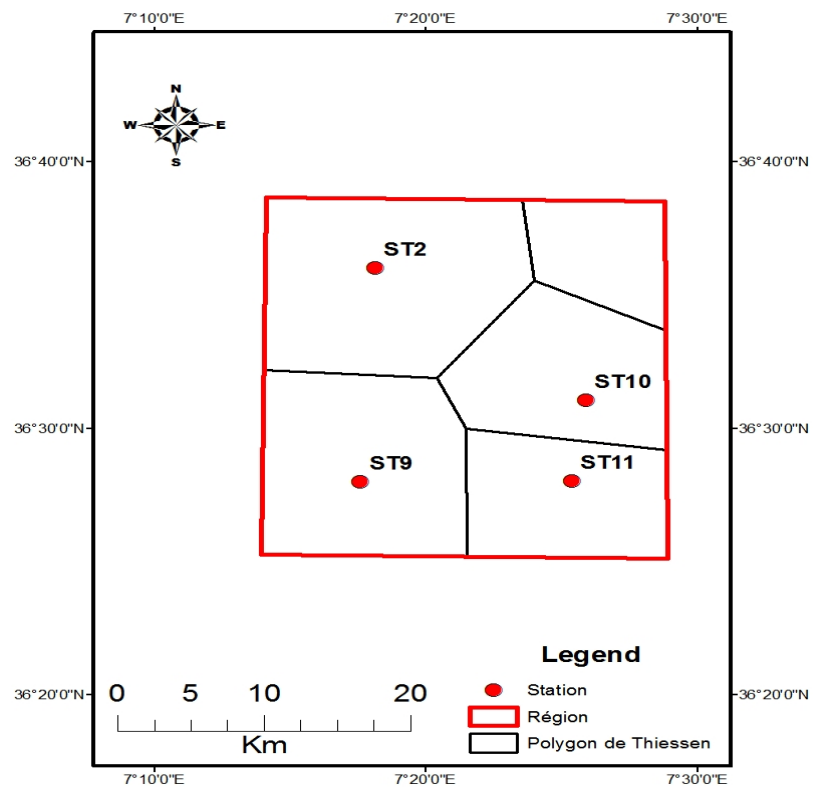


Figure 18. polygones de Thiessen de la région 2

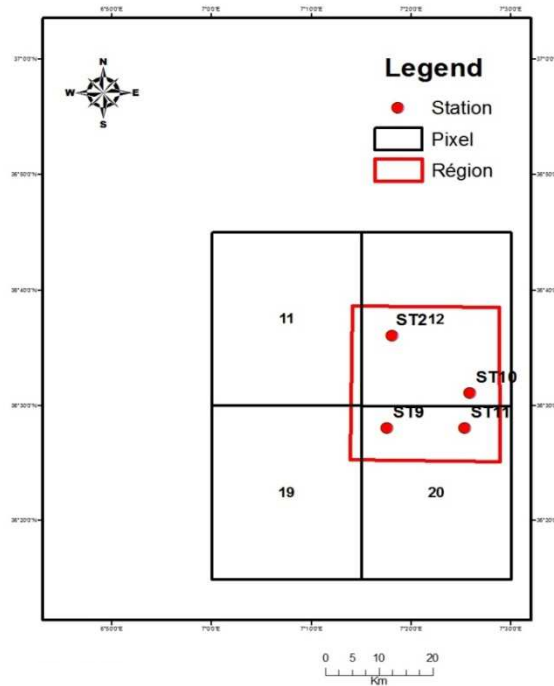


Figure 29. position des pixel pour la région 2

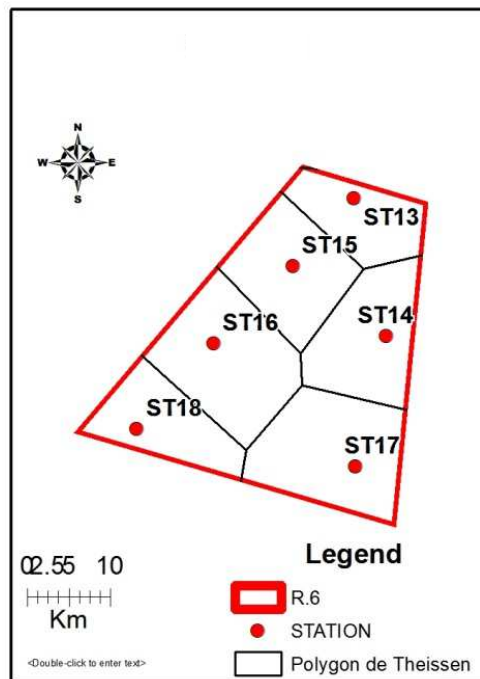


Figure 30. Polygone de Thiessen de la région 1.

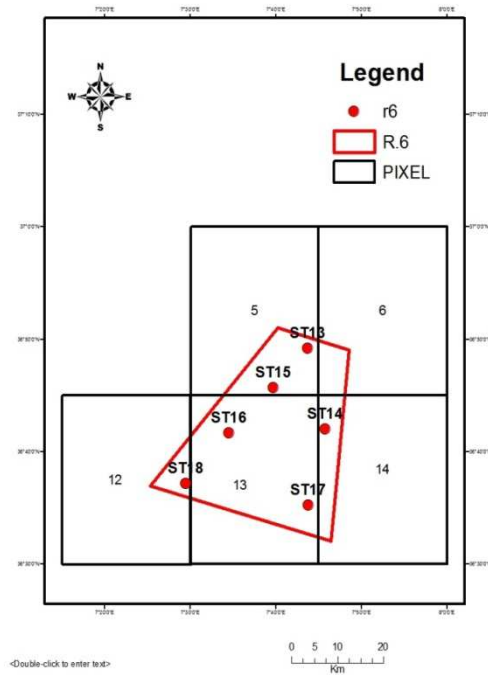


Figure 31.. Position des pixel de la région 1

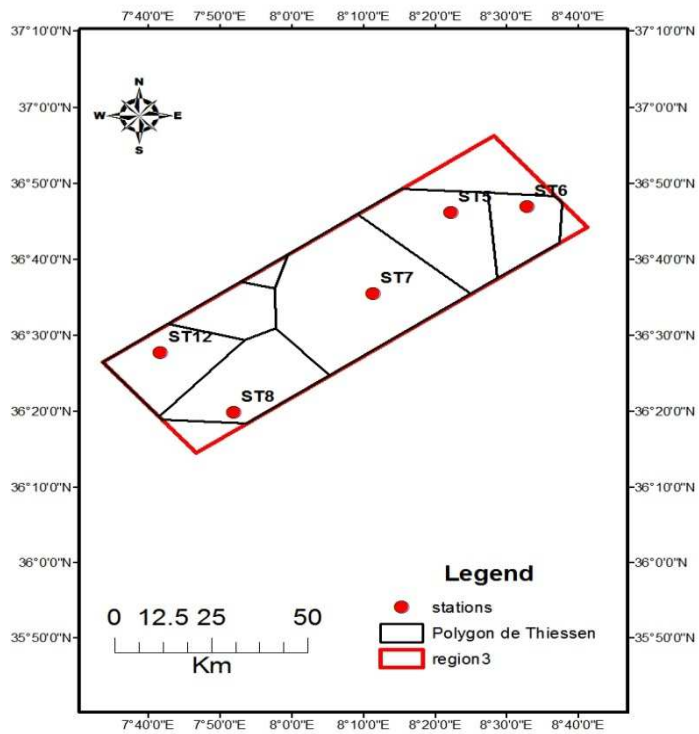


Figure 32. Polygone de Thiessen de la région3

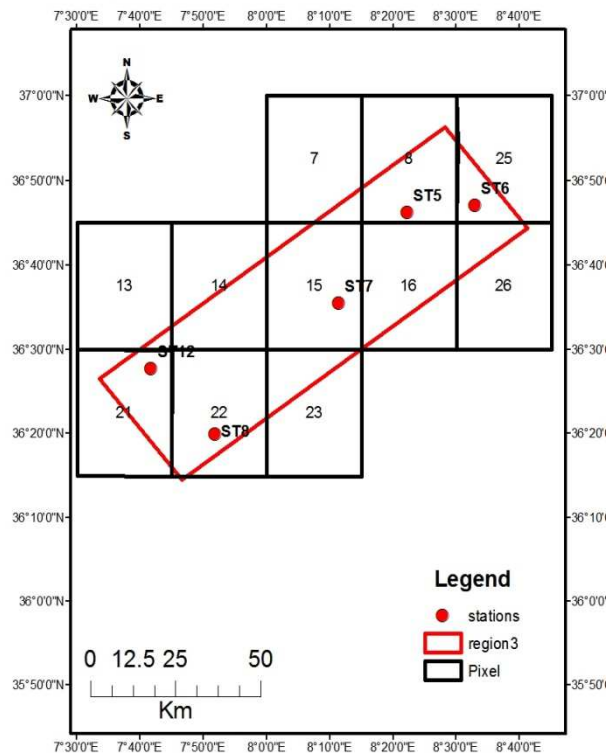


Figure 33. Position des pixel de la région 3

Pour la transformation des données des produits satellitaires, le même processus a été appliqué sur les grilles des satellites. Ce dernier estime la précipitation qui tombe par grille ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Pour rappel, les données sont disponibles pour le produit du TRMM- 3B42V7.

La méthodologie de travail consiste à déterminer la surface de chaque grille par rapport aux régions définies.

Le ratio de chaque surface des grilles par rapport à la région a été multiplié par les précipitations de produit (TRMM 3B42V7).

Nous avons appliqué le même processus effectué dans la méthode du polygone de Thiessen, pour la période 1999-2004 du produit 3B42V7.

La comparaison a été effectuée du premier janvier 1999 jusqu' à 31 décembre 2004. Afin de déterminer la performance globale des produits de précipitation. Les comparaisons

entre les données pluviométriques et les données TRMM 3B42 , ont également été effectuées spécifiquement pour chaque jour au cours de la période sélectionnée.

3.3. Les critères d’efficacité

Nous avons utilisé diverses mesures statistiques pour évaluer la performance du produit de précipitations satellitaires TRMM 3B42 par rapport aux données des pluviomètres.

On a utilisé le coefficient de détermination (R^2), le BIAIS, La racine de l’erreur quadratique moyenne (RMSE) ainsi que le RMSE%.

Le coefficient de détermination (R^2) est largement utilisé comme moyen de quantifier la corrélation entre deux ensembles de données (dans ce cas, le produit de précipitation satellitaire et les données pluviométriques).

La valeur de R^2 varie entre 0 (aucune corrélation) et 1 (corrélation parfaite) .

Le BIAIS reflète le degré auquel la valeur mesurée est surestimée ou sous-estimée (Duan, Bastiaanssen, and Liu, 2012). La racine de l’erreur quadratique moyenne (RMSE) a été utilisée comme mesure statistique standard pour mesurer la performance. Le RMSE est fréquemment utilisé, mesure des différences entre deux variables. Le %RMSE est calculé en tant que RMSE divisé par la moyenne de précipitation des données pluviométrique, et il peut être utilisé pour évaluer la fiabilité du produit de précipitation par satellite.

Lorsque %RMSE est inférieur à 50%, les données de précipitation par satellite sont considérées comme fiables, alors qu’elles ne sont pas fiables lorsque %RMSE est égal ou supérieur à 50% (Liu et al., 2015).

Les équations permettant d’évaluer tous ces indicateurs statistiques sont décrites comme suit :

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n M_i} - 1 \dots\dots\dots (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - M_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{\bar{M}} \dots\dots\dots (5)$$

Où P_i est la précipitation cumulative de la zone d'étude à partir des données de précipitations par satellite, M_i est la précipitation à l'échelle de la zone d'étude à partir de pluviomètres. n le nombre total des données, \bar{P} la moyenne de P_i , et \bar{M} la moyenne de M_i .

3.4. Résultats de la comparaison et discussion :

Nous avons comparés la performance de produit de précipitations satellitaire, TRMM 3B42V7, avec les mesures des stations au sol. Les données utilisées pour la comparaison sont les précipitations surfaciques des données de stations et les données du produit satellitaires à l'échelle des régions choisies dans la zone d'étude.

On va présenter les résultats obtenus pour les trois régions choisies ci-dessous,

La région 1

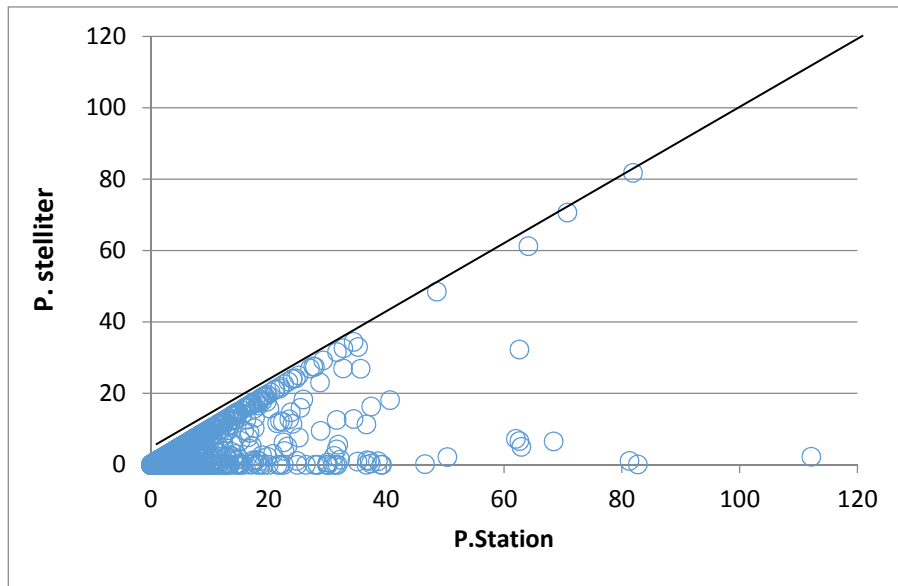


Figure 34. Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 1

La région2

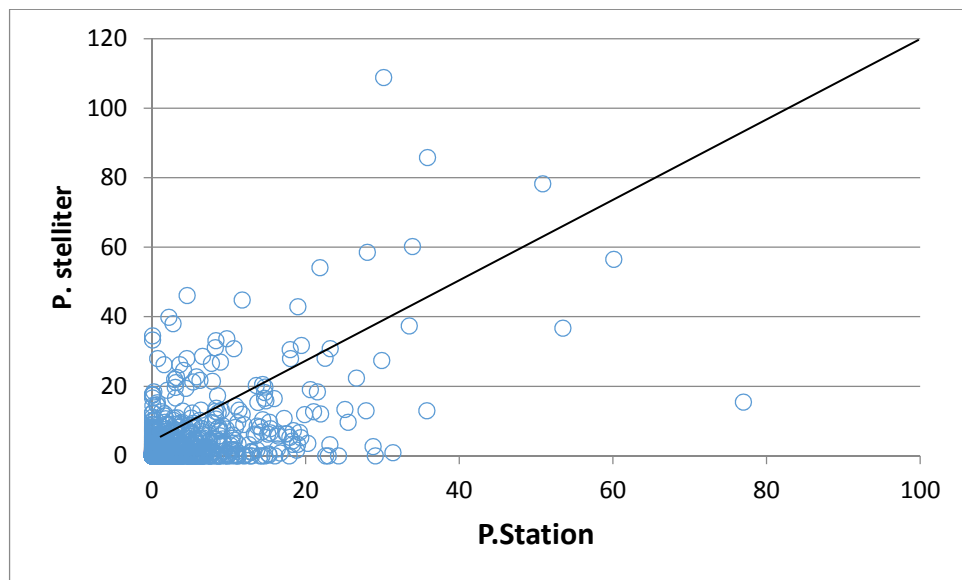


Figure 35. Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 2

La région 3

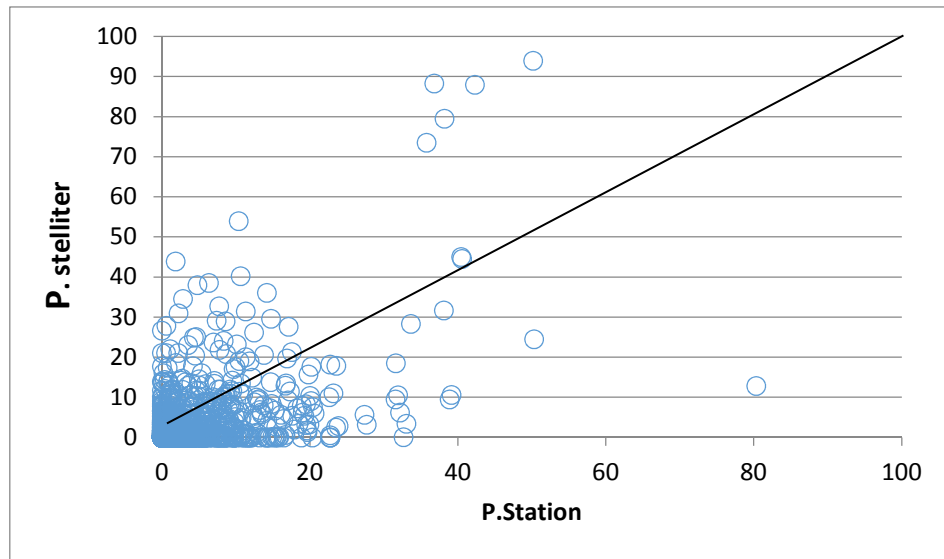


Figure 36. Nuages de points des précipitations journalières des stations par rapport au TRMM 3B42 (pendant la période 1999-2004) pour la région 3

La comparaison entre les trois graphes montre que nous avons trois valeurs différentes pour R^2 .

Tableau 8. les critères d'efficacité des trois régions,

Critères d'efficacité	Région 1	Région 2	Région 3
R^2	0.320	0.281	0.305
BIAIS	72.36	0.014	-0.09
RMSE	5.54	5.60mm	5.419mm

- $R^2 = 0.320$ pour la région 1, donc les données TRMM-3B42V7 montrent le meilleur accord avec les données des stations dans la période 1999-2004.
Le produit 3B42V7 nous a donné un RMSE bas égale à 5.54mm.
- $R^2 = 0.281$ pour la région 2, c'est-à-dire les données TRMM-3B42V7 montrent un peu accord avec les données des stations pour la même période.
Le produit 3B42V7 nous a donné un RMSE élevé égale à 5.60 mm.
- $R^2 = 0.30$ pour la région 3, c'est-à-dire les données TRMM-3B42V7 montrent également un peu accord avec les données des stations pour la même période.

Le produit 3B42V7 nous a donné un RMSE égale à 5.41mm.

Le tableau ci-dessous nous donne les critères d'efficacité des trois régions,

D'après les résultats obtenus dans le tableau précédent, et le nombre des stations dans chaque régions, on observe que la meilleur valeur de $R^2 = 0.320$, est dans la région 1, car il contient le plus grand nombre des stations (Région= R_i)

($R_1 \rightarrow 6$ stations ; $R_2 \rightarrow 4$ stations ; $R_3 \rightarrow 5$ stations).

D'après le tableau on observe que le critère BIAIS est positif dans la région 1 et 2

Donc les mesures du produit 3B42V7 sont surestimées.

Concernant la région 3 le critère BIAIS est négative (-0.09) donc les mesures du produit 3B42V7 sont sous-estimée.

En analysant les mesures du produit 3B42V7 avec les données des stations au sol, en utilisant le logiciel Excel, qui nous a donné les graphes des estimations satellitaires de la pluie et les précipitations dans les stations pour les régions indiquées suivant la période 1999-2004.

Voir ci-dessous :

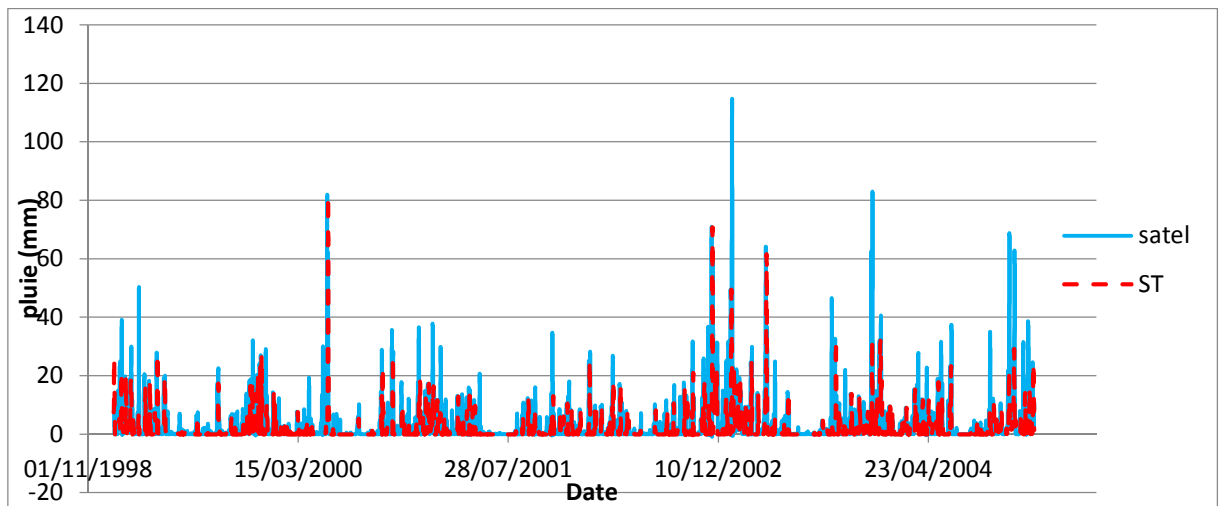


Figure 37. comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 1

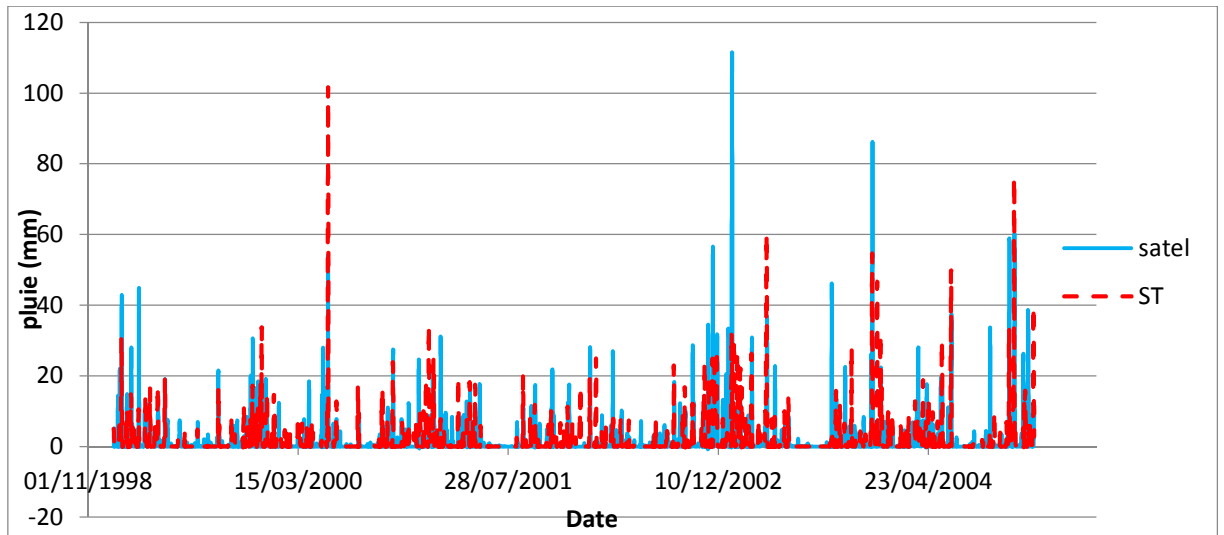


Figure 38.comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 2

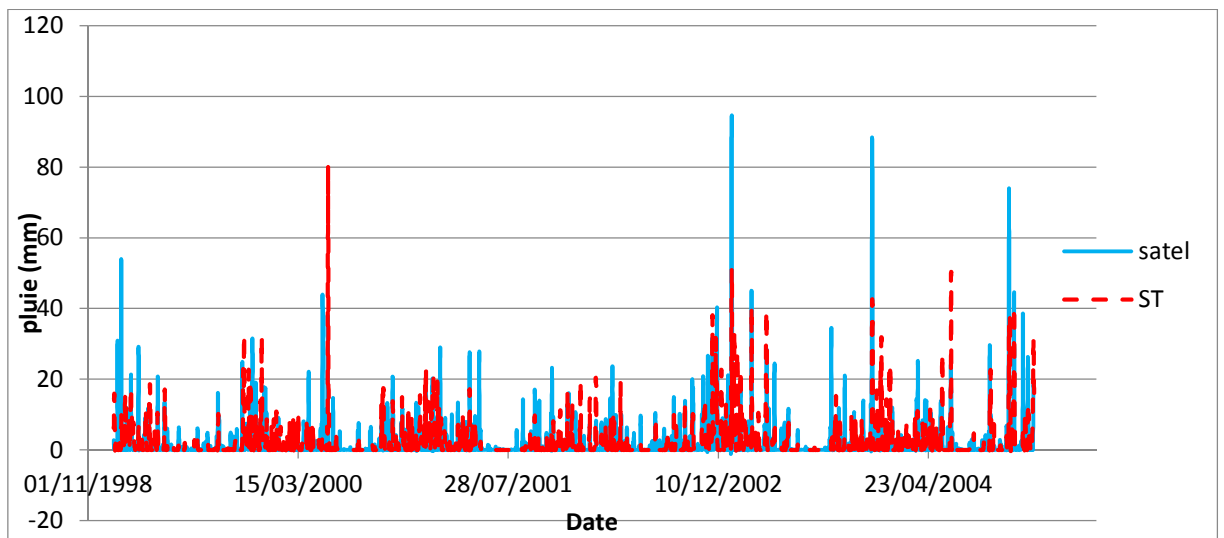


Figure 39.comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire dans le temps d'étude pour la région 3

D'après les trois figures précédentes de comparaison entre la pluie station et pluie satellitaire, nous remarquons que la performance d'estimation satellitaire prend différents cas, on trouve quelque jours l'estimation satellitaire est très proche à l'estimation de la station, comme exemple on le jour (25-05-2000) c'est le cas de la région 01.

On a également le cas où l'estimation satellitaire est peu proche à l'estimation de la station, par exemple le jour (08-02-2002) dans la région 02.

Et on des cas où l'estimation satellitaire et l'estimation de la station sont éloignés, c'est le cas du jour (16-06-2004).

3.5. Autre méthode d'évaluation

Dans le but d'évaluer les estimations du satellite TRMM par rapport aux fausses alarmes et la non détection des pluies qui ont été mesurées dans les stations au sol, on à procéder comme suite :

- Mettre le chiffre « 1 » pour une fausse alarme (précipitation détectée par le satellite et non mesurée dans les stations au sol)
- Mettre le chiffre « -1 » pour une pluie non détectée (précipitation mesurée par les stations au sol et non estimée par le satellite)
- Mettre le chiffre « 0 » pour une détection simultanée (précipitation détectée par le satellite et mesurée dans les stations au sol)

La (Figure 40) montre les résultats obtenus après dénombrement de ces évaluations (citées au-dessus) qui ont été traduit en pourcentages.

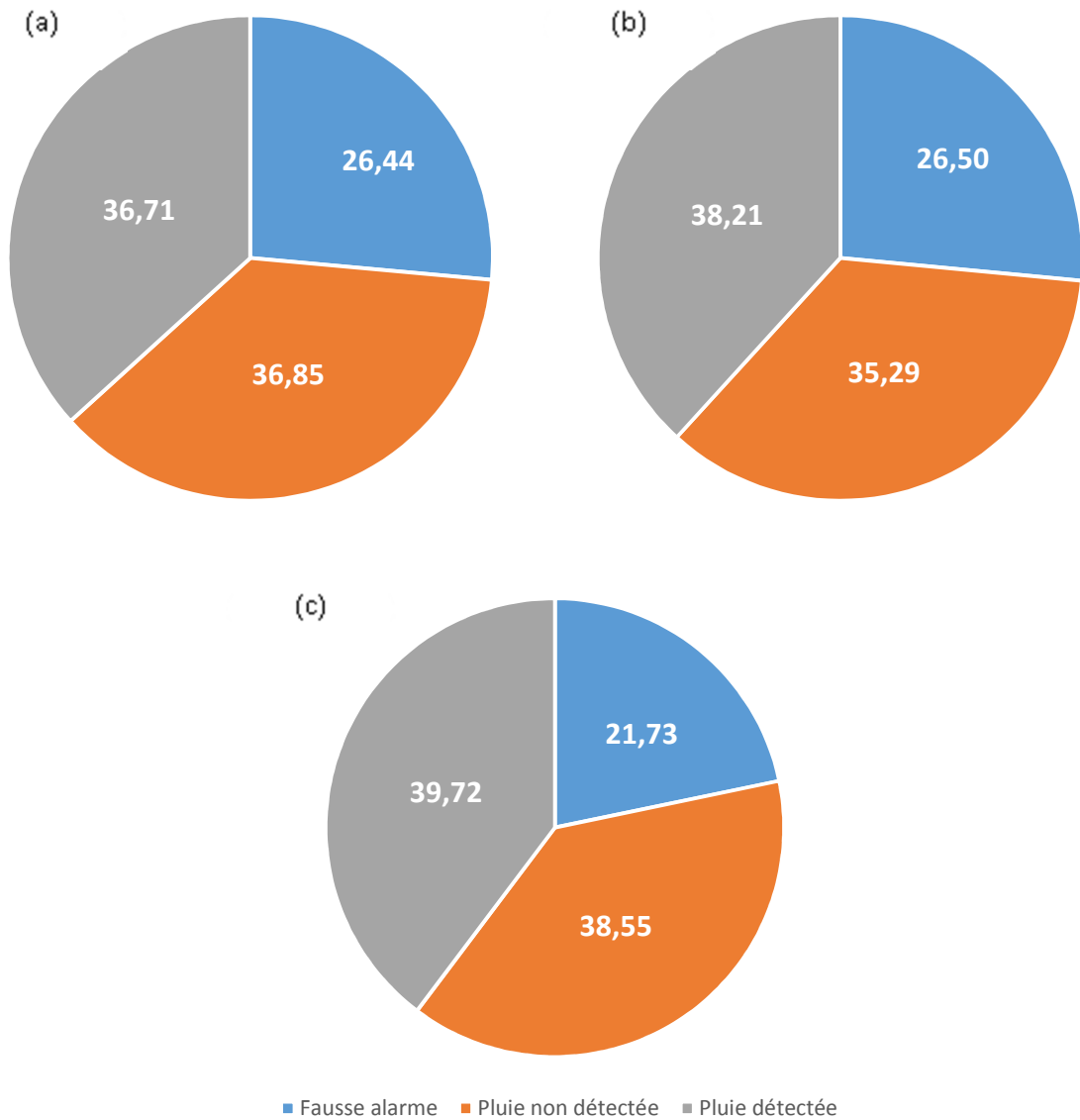


Figure 40. Performance du satellite TRMM dans la détection des pluies dans la région 1 (a), région 2 (b) et la région 3 (c)

D’après la (Figure 40), on remarque que le satellite TRMM à des ratios d’une bonne détection au-dessous de la moitié des évènements enregistrés dans les stations au sol, variant de 36.71 (région 1) à 39.75 % (région 3). La majorité des erreurs de détection sont de type « pluie non détectée » par le satellite qui ont des pourcentages similaires aux premiers (35.29 jusqu’à 38.55). Les fausses alarmes qui consistent en des estimations de pluies dont les stations au sol n’ont pas été détectés sont entre 21.73 à 26.50 % dans les trois régions.

3.6.Conclusion

Notre évaluation a montré que les estimations satellitaires et les mesures des pluies au sol ne sont pas fiables car souvent ces deux types de mesure ne sont pas identiques.

Devant cette réalité nous sommes obligés de faire une correction , c'est-à-dire un calage pour ces deux types de mesure, et ça sera notre objectif dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 4

Les méthodes de calage.

4.1. Introduction

Dans ce chapitre on parle de méthodes de calage utilisés pour améliorer les résultats obtenus d'estimation de produit satellitaire.

Nous commençons ce chapitre, on va donner sur une définition des réseaux de neurones artificiels (RNA) présentée.

Les principes de fonctionnement de RNA du type PMC (les Perceptrons multicouches) sont exposés.

Puis on donne aussi une définition de régressions et types de celle -ci , linéaire et polynomiale.

4.2. Les réseaux de neurones artificiels

Il est important de connaître comment fonctionne les réseaux de neurones et connaître les notions de base de cette technique, et puis on va entamer l'état de l'art des réseaux de neurone.

4.2.1. Neurone biologique

Le neurone est composé de trois principales parties : les dendrites, le corps cellulaire et l'axone ,voir (Figure 1).

Les dendrites forment un maillage de récepteurs nerveux qui permettent d'acheminer vers le corps du neurone des signaux électriques en provenance d'autres neurones.

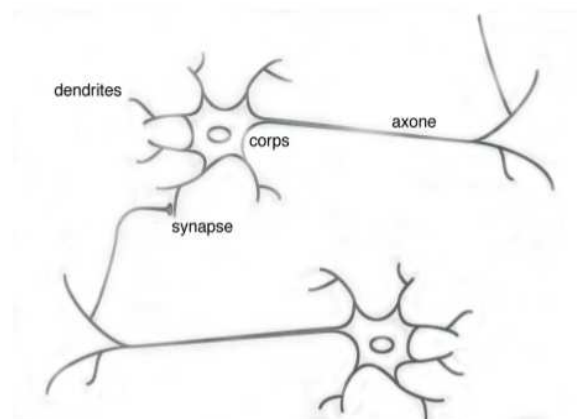


Figure.40 - Schéma d'un neurone biologique(Parizeau, 2004).

Celui-ci agit comme une espèce d'intégrateur en accumulant des charges électriques. Lorsque le neurone devient suffisamment excité (lorsque la charge accumulée dépasse un certain seuil), par un processus électrochimique,

4.2.2. Neurone formel

Le neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les principes de fonctionnement du neurone biologique. Un neurone formel est constitué d'un noyau, d'une liaison synaptique de sortie et des liaisons synaptiques d'entrée. A chaque liaison d'entrées est attachée un poids appelé « poids synaptique ».

Les poids synaptiques : ce sont des coefficients numériques indiquant l'importance de la connexion.

La Figure.2 montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amont. A chacune de ces entrées est associé un poids w abréviation de weight (poids en anglais). Chaque processeur élémentaire est doté d'une

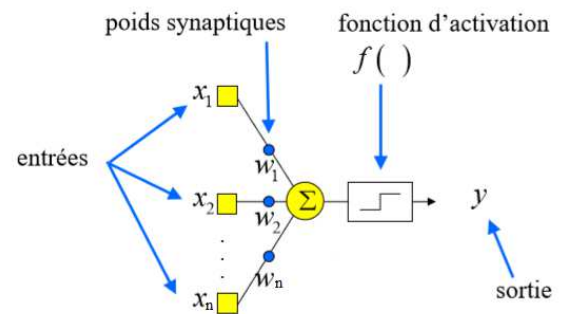


Figure.41 - Un neurone formel (Wira, 2009)

sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones aval. A chaque connexion est associé un poids synaptiques (Touzet, 1992). En effet, tout se passe comme si le neurone ne reçoit qu'une entrée E et que celle-ci prend la valeur une fois l'entrée connue. Le neurone effectue une opération qui dépend de E , cela revient à dire qu'il applique une fonction f à la valeur E , cette fonction f est appelée fonction d'activation (fonction de traitement des entrées fournissant la sortie du neurone) (Parizeau, 2004). Les variables de cette fonction sont habituellement appelées "entrées" du neurone, et la valeur de la fonction est appelée sa "sortie" (Boulmaiz, 2016).

$$y = f(P) \dots\dots\dots (6)$$

où :

- y : Sortie du modèle
- f : Fonction de transfert
- P : somme pondérée

$$P = \sum_{i=0}^n x_i w_i \dots \dots \dots (7)$$

- x : Entrées du modèle

De façon générale, on définit un neurone formel par les cinq paramètres suivants :

- 1- La nature des entrées (booléenne ou réelle)
- 2- La fonction d'entrée totale, définissant le prétraitement effectué sur les entrées
- 3- La fonction d'activation du neurone définissant son état interne en fonction de la somme pondérée de ses entrées.
- 4- La fonction de sortie calculant la sortie du neurone en fonction de son état d'activation
- 5- La nature des sorties du neurone.

4.2.3. Fonction d'activation

4.2.3.1. Fonction binaire

Les premiers modèles de neurones étaient caractérisés par une fonction d'activation à seuil simple (binaire: 0=inactif, 1=actif). Le déclenchement de l'activité intervient si la somme des excitations dépasse un certain seuil propre au neurone (Boulmaiz, 2016).

Si $P > 0 \implies$ Excitatrice

$y = 1$ Si $P < 0 \implies$ Inhibitrice

$y = -1$ Si $P = 0 \implies$ Non Connectée

La fonction binaire confère une certaine efficacité aux réseaux et correspond à un modèle proche de la réalité (Boulmaiz, 2016).

4.2.3.2. Fonction linéaire par morceaux

Dans l'intervalle $[-1, 1]$:

$$f(x) = A \cdot x \dots \dots \dots (8)$$

Alors qu'en dehors de l'intervalle :

$$f(x) = -1 \text{ ou } + 1 \dots\dots\dots (9)$$

Ce modèle est plus réaliste en faisant apparaître des phénomènes de saturation (Boulmaiz, 2016).

4.2.3.3. Fonction linéaire

$$f(x) = A \cdot x \dots\dots\dots (10)$$

Lorsque la fonction d'activation est dérivable, il est possible d'utiliser des algorithmes d'apprentissage performants (Boulmaiz, 2016).

4.2.3.4. Fonction sigmoïde

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \dots\dots\dots (11)$$

Ce type de fonction (Equation) combine l'avantage de l'effet de seuil et de la dérivabilité. Les fonctions sigmoïdes sont donc très utilisées (Boulmaiz, 2016).

4.2.3.5. Fonction gaussienne

$$f(x) = \exp \frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2} \dots\dots\dots (12)$$

Fonction non monotone : effet inhibiteur d'une trop grande sollicitation. Utilisée dans les réseaux de type «RBF» (*Radial Basis Functions*) (Boulmaiz, 2016).

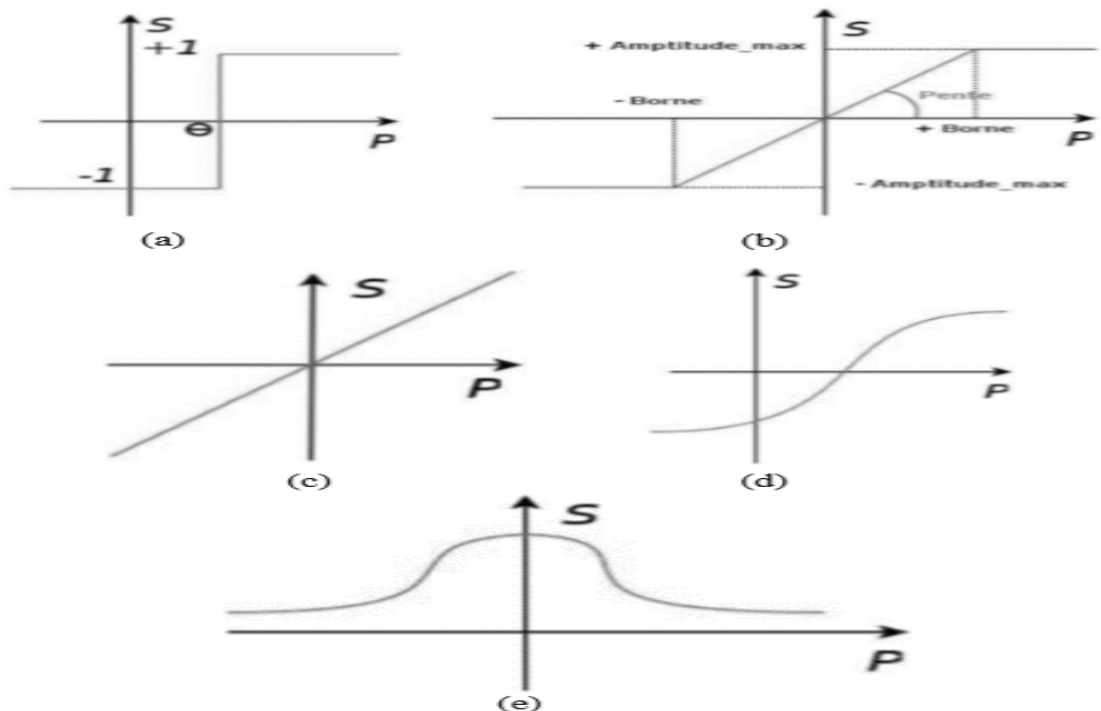


Figure.42 - Les différents type de fonction de transfert dans les RNA
(Boulmaiz, 2016).

On a : (a) fonction binaire, (b) fonction linéaire par morceaux (c), fonction linéaire (d) fonction sigmoïde, (e) fonction gaussienne

4.2.4. Définition d'un réseau de neurone

Un réseau de neurone est un assemblage de neurone formel associé en couches fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

4.2.5. Classification topologique des réseaux de neurones

4.2.5.1. Les réseaux feed-forward (Non bouclés)

Appelés aussi «réseaux de type Perceptron», l'information dans ce réseaux se propage dans un sens unique, des entrées vers les sorties sans aucune rétroaction (Parizeau, 2004).

4.2.5.2. Le perceptron monocouche

Dans un réseau de neurone constitué de couches, les neurones sont organisés en fonction de ces derniers. Dans la forme la plus simple du réseau, on a une couche d'entrées des neurones sources qui projette directement sur une couche de sortie (neurones calculateurs), mais pas au sens inverse. En d'autres mots, ce réseau est strictement un type feedforward. Comme illustré dans la (Figure 4.4) pour le cas de quatre neurones dans les deux couches (entrée et sortie). Un tel réseau est appelé.

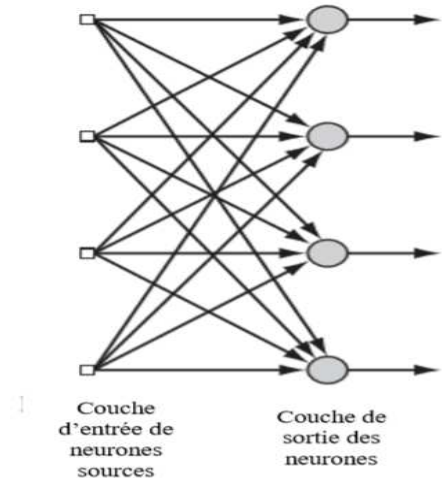


Figure.13 - Schéma descriptif du perceptron monocouche (Boulmaiz, 2016).

réseau monocouche désignant la seule couche de sortie qui comporte les neurones de calcul. On ne prend pas en considération la couche d'entrée vu qu'il n'y a pas de calcul dans cette couche (Boulmaiz, 2016). Le perceptron multicouches (PMC)

4.2.5.3. Le perceptron multicouche

est un des réseaux de neurones les plus utilisés pour des problèmes d'approximation, on et de prédiction. Il est habituellement constitué de deux ou trois couches de neurones totalement connectés (Parizeau, 2004). Dont ses neurones de calcul sont appelés des neurones cachés ou unité cachée. Ce terme « caché » se réfère dans le fait que cette partie du réseau de neurone n'est pas directement visible ni par les entrées ni par les sorties du réseau. La fonction des neurones de la couche cachée est d'intervenir entre les entrées extérieures et les sorties du réseau d'une certaine manière utile. En ajoutant une ou plusieurs couches cachées, le réseau est capable d'extraire des statistiques d'ordre élevé à partir des

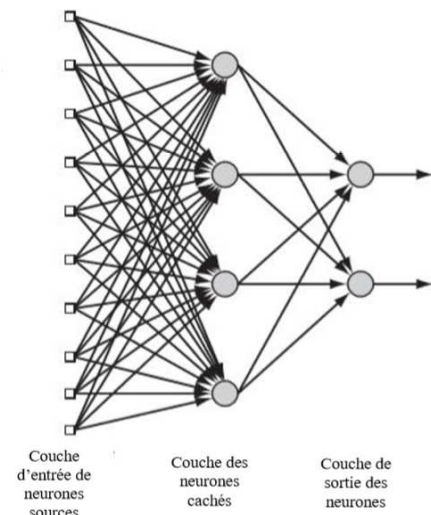


Figure 44. Schéma descriptif du perceptron multicouche (Boulmaiz, 2016).

entrées. Les neurones sources dans la couche d'entrée du réseau constituent les signaux d'entrée appliqués sur les neurones de la seconde couche (ex : première couche cachée). Les signaux de sortie de la deuxième couche sont utilisés comme entrée pour la troisième couche, et ça continue jusqu'à la fin du réseau. Typiquement, les neurones dans chaque couche du réseau ont comme entrée que les signaux de sortie de la couche précédente. L'ensemble des signaux de sorties des neurones dans la couche de final du réseau constitue la réponse globale de ce dernier par rapport aux neurones sources de la couche d'entrée. Un schéma de la structure d'un PMC est montré dans la (Figure 5) (Boulmaiz, 2016).

4.2.6. Apprentissage des RNA

C'est le processus (de calculs) qui permet de mettre à jour les poids des neurones à partir d'une ou plusieurs mesures (Wira, 2009). On peut classer les processus d'apprentissage qu'ont les réseaux de neurone pour fonctionner en : apprentissage supervisé, un apprentissage non supervisé et un apprentissage par renforcement.

4.2.6.1. Apprentissage supervise

En anglais « Supervised learning », doit disposer d'un comportement de référence précis pour pouvoir l'inculquer au réseau neuronal (Wira, 2009). L'apprentissage supervisé est caractérisé par la présence d'un Enseignant qui possède une connaissance approfondie de l'environnement dans lequel évolue le réseau de neurones (Parizeau, 2004).

La forme d'apprentissage supervisé décrite juste au-dessus est basée sur l'apprentissage de correction d'erreur. Cette erreur peut être de type MSE appliqué à l'échantillon de donnée d'apprentissage, définie comme fonction de paramètres libres (poids) du système. Cette fonction peut être visualisée comme étant une surface d'erreur. Chaque opération faite sur le réseau (changement des poids) représente un point sur la surface d'erreur, pour que le système améliore ses performances, ce point doit descendre vers le minimum de cette surface. Faut savoir aussi que ce minimum peut être local ou global (Boulmaiz, 2016).

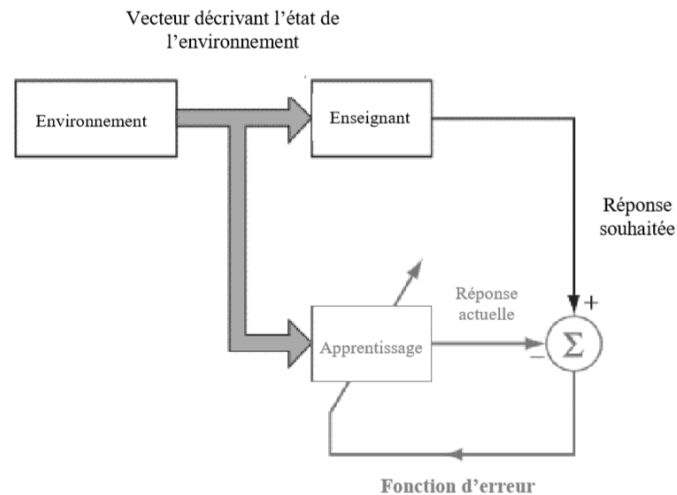


Figure.45 - Schéma descriptif d'un apprentissage supervisé (Boulmaiz, 2016).

4.2.6.2. Apprentissage non Supervisé

S'effectue sous le contrôle d'un expert, alors que l'apprentissage non supervisé est autodidacte. (Appelé en anglais « unsupervised learning »)

4.2.6.3. Apprentissage par renforcement

Dans l'apprentissage par renforcement, le réseau de neurone reçoit un feedback de son environnement, il n'y a pas de présence d'enseignant. Le système étant capable ici, de savoir si la réponse qu'il fournit est correcte ou non, mais il ne connaît pas la bonne réponse (Boulmaiz, 2016).

4.2.7. L'algorithme du LEVENBERG-MARQUADT

Cette méthode est utilisée pour modifier le paramètre d'apprentissage résultant en une interaction réduite avec l'oscillation. Qui est rapide et qui a une bonne stabilité de convergence.

Est une méthode d'ajustement a été faite en changeant le paramètre d'apprentissage pour accélérer l'algorithme LM. De plus, la fluctuation d'erreur a été réduite.

4.2.8. Perceptron multicouche (PMC)

En anglais (Multi Layer Perceptron « PMC»), Ce type de réseau est dans la famille générale des réseaux a «propagation vers l'avant», c'est-à-dire qu'en mode normal d'utilisation, l'information se propage dans un sens unique, des entrées vers les sorties sans

aucune rétroaction. Son apprentissage est de type supervisé, par correction des erreurs. Dans ce cas uniquement, le signal d'erreur est «rétropropagé» vers les entrées pour mettre à jour les poids des neurones.

Ce réseau est composé d'une couche d'entrée, une couche de sortie et une ou plusieurs couches cachées. Les éléments de deux couches adjacentes sont interconnectés par des poids assurant la liaison des différentes couches (Fatima and Hamid, 2009). Chaque couche (i) est composée de N_i neurones, prenant leurs entrées sur les N_{i-1} neurones de la couche précédente. A chaque synapse est associé un poids synaptique, de sorte que les N_i sont multipliés par ce poids, puis additionnés par les neurones de niveau i , ce qui est équivalent à multiplier le vecteur d'entrée par une matrice de transformation.

Mettre différentes couches l'une derrière l'autre reviendrait à mettre en cascade plusieurs matrices de transformation et équivaldrait à une seule matrice, produit des autres, s'il n'y avait à chaque couche, la fonction d'activation qui introduit une non linéarité à chaque étape (Wira, 2009).

Le PMC est le type des réseaux les plus utilisés pour des problèmes d'approximation, de classification et de prédiction. Il est habituellement constitué de deux ou trois couches de neurones totalement connectés (Parizeau, 2004).

4.2.8.1. Apprentissage

L'apprentissage est supervisé, consiste à adapter les valeurs des poids afin d'obtenir le comportement désiré du PMC, Pour ce réseau, l'algorithme de Levenberg-Marquard a été utilisé pour son apprentissage.

4.2.8.2. Architecture

PMC est composé d'une couche d'entrée, une couche de sortie et une ou plusieurs couches cachées. Les éléments de deux couches adjacentes sont interconnectés par des poids assurant la liaison des différentes couches comme indiqué sur la (Figure 2) (Fatima and Hamid, 2009).

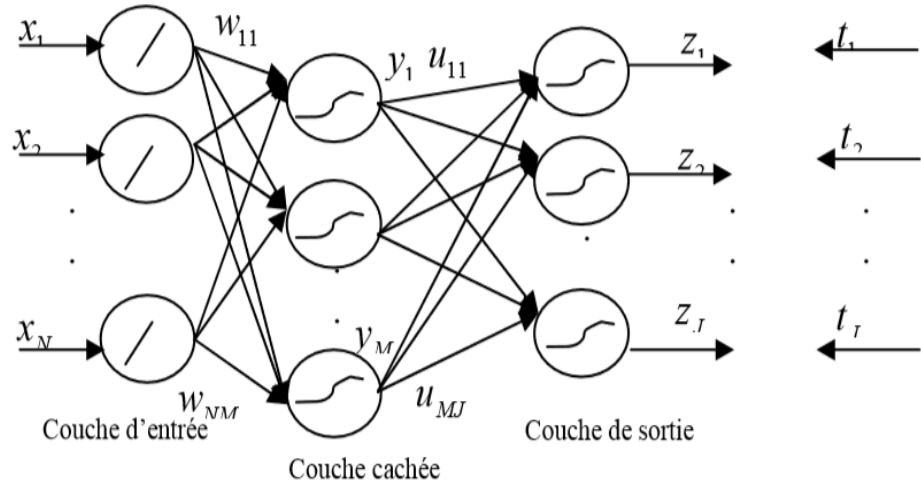


Figure.46 - Présentation schématique d'un PMC (Fatima and Hamid, 2009).

Où :

w_{nm} représente les poids reliant la couche d'entrée avec la couche cachée

u_{mj} représente les poids reliant la couche cachée avec celle de la sortie

Les composants du vecteur d'entrée X du PMC seront pondérés par les poids w_{nm} et ensuite transmis à la couche cachée selon les équations suivantes :

$$C_m = \sum_{i=0}^n x_n \cdot w_{nm} \dots \dots \dots (13)$$

$$y_m = f(c_m)$$

Les sorties de la couche cachée seront aussi pondérés par les poids u_{mj} et transmis ensuite à la couche de sortie selon les équations suivantes :

$$O_j = \sum_{i=0}^n y_m \cdot u_{mj} \dots \dots \dots (14)$$

$$t_j = g(O_j) \dots \dots \dots (15)$$

f et g représentent respectivement les fonctions d'activations des neurones de la couche cachée et celle de la de sortie. Elles sont des sigmoïdes (Fatima and Hamid, 2009).

4.3. Application du modèles PMC dans l'ajustement des mesures satellitaires

Nous avons testé la méthode d'intelligences artificielles, PMC dans l'objectif d'ajuster les produits satellitaires et améliorer leurs précisions.

L'amélioration peut s'agir de connecter deux ou plus de modèle existant, comme un simple filtre qui corrige les données d'entrée ou de sortie, ou pour combiner la simulation de multiple modèle(Boulmaiz, 2016).

4.3.1. L'apprentissage

Pour calculer les poids de la couche de sortie, on utilise un apprentissage supervisé pour les deux types de réseaux.

4.3.2. Normalisation des données

La normalisation des données est importante pour deux raisons : la première, c'est que les données d'entrées doivent avoir le même poids.

Les séries de données du réseau (PMC) ont été normalisé suivant le type «normalisation min-max». Dans cette étude, les séries de données du réseau ont été normalisé suivant le type « normalisation min-max ». Cette dernière effectue une transformation linéaire des valeurs de données originaux (Boulmaiz, 2016).

$$y' = \frac{y - \min_x}{\max_x - \min_x} \cdot (\text{new_max}_x - \text{new_min}_x) + \text{new_min}_x \dots \dots \dots (16)$$

Où y est l'ancienne données et y' la donnée normalisée.

4.3.3. Division des données

Donc ce cas, on s'est orienté vers l'utilisation de l'une des techniques qui évite le sur-apprentissage et celle qui est très utilisé vu sa simplicité. On a utilisé l'arrêt anticipé « earlystopping ». Cette technique consiste à diviser la période en trois parties au lieu de deux. La première est utilisée pour l'apprentissage du réseau dans le but d'ajuster les poids et biais (pour le RNA), selon une fonction objective (l'erreur « MSE » est utilisée dans cette étude).La deuxième (validation) est celle qui concerne le sur-apprentissage, elle est utilisée pour mesurer l'erreur de la généralisation du réseau et arrêter le processus d'apprentissage quand cette dernière ne s'améliore plus. La troisième (test) est une partie des données et qui

n'ont aucun effet sur le processus d'apprentissage est utilisée pour voir les performances de notre réseau (PMC).

La période totale utilisée pour le modèle PMC a été énumérées au (Tableau 1).

Tableau 10 - division de la période pour le TRMM 3B42V7

Etapes	%	TRMM 3B42V7
Apprentissage	33.33%	01/01/1999
		31/12/2000
Validation	33.33%	01/01/2001
		31/12/2002
Test	33.33%	01/01/2003
		31/12/2004

4.3.4. Détermination des entrées pour les PMC

On a choisi la région 1, car elle représente le meilleur résultat dans le chapitre d'évaluation ($R^2=0.413$).

La sélection des entrées consiste à commencer par utiliser un seul pas de temps et en rajouter un autre jusqu'à atteindre un délai spécifique mis par le modélisateur. Dans cette étude, un maximum de deux jours de délais a été adopté. Cette procédure est répétée pour chaque variable seule ou combinée avec d'autres variables.

La précipitation satellitaire de produit de précipitation (3B42V7) est introduite séparément comme entrée du réseau de neurones, la précipitation surfacique des stations est utilisée pour la calibration des modèles.

Les variables et combinaisons de variables utilisées dans le PMC sont :

- C1 : Sat(t)
- C2 : Sat + température (min+max)
- C3 : Sat + température (min+max) + humidité relative
- C4 : Sat (t) + température (min+max) + humidité relative + rayonnement solaire.

Où :

Sat : précipitation surfacique des produits de précipitation

Chaque combinaison est utilisée seule comme entrée. Nous avons développé un script de Matlab pour sélectionner les données d'entrées automatiquement selon les combinaisons cités au-dessus.

4.3.5. Evaluation du modèle

Trois critères d'efficacité ont été utilisés dans les deux modèles pour l'ajustement des mesures satellitaires. Ces critères sont les mêmes utilisés dans la comparaison de la performance du produit de précipitation satellitaires, TRMM 3B42V7, avec les mesures des stations au sol, à savoir le RMSE, BIAIS et R^2 (montrés dans le chapitre 3)

4.4. Régressions

La régression est un ensemble de méthodes statistiques très utilisées pour analyser la relation d'une variable par rapport à une ou plusieurs autres.

Pour notre travail nous utilisons 2 types de régressions qui sont :

4.4.1 Régression linéaire

un modèle de régression linéaire est un modèle de régression qui cherche à établir une relation linéaire entre une variable, dite expliquée, et une ou plusieurs variables, dites explicatives.

Le modèle linéaire est utilisé dans un grand nombre de champs disciplinaires. Il en résulte une grande variété dans la terminologie. Soit le modèle suivant :

$$Y = Ax + b \dots \dots \dots (17)$$

4.4.2 Régression polynomiale

La régression polynomiale est une analyse statistique qui décrit la variation d'une variable aléatoire expliquée à partir d'une fonction polynomiale d'une variable aléatoire explicative. C'est un cas particulier de régression linéaire multiple, où les observations sont construites à partir des puissances d'une seule variable.

Si l'on appelle (X_i, Y_i) la i -ème réalisation du couple de variables aléatoires, on recherche le polynôme

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0, \dots \dots \dots (18)$$

permettant d'écrire : $Y_i = P_n(X_i) + \varepsilon_i \dots \dots \dots (19)$

le résidu ε_i , ou perturbation, étant « le plus petit » dans le sens des moindres carrés.

La régression polynomiale est une régression linéaire multiple : on peut écrire la relation, pour $X_{i,p} = X^p_i$

$$Y_i = a_n \cdot X_{i,n} + a_{n-1} \cdot X_{i,n-1} + \dots + a_1 \cdot X_{i,1} + a_0 + \varepsilon_i. \dots\dots\dots (20)$$

4.5. Conclusion

Nous avons vu deux modèles utilisées dans l'ajustement des produits satellitaires.

C'est le réseau de neurone de type perceptron multicouches avec une seule couche cachée. Pour ce réseau, l'algorithme de Levenberg-Marquard a été utilisé pour son apprentissage. Nous avons développé un script de Matlab pour sélectionner les données d'entrées automatiquement selon les combinaisons cités dans ce chapitre, les précipitations surfaciques (l'une des produits) issues la méthode de polygone de Thiessen, a été utilisés dans ce modèle comme entrée .

Nous avons varié les entrées (différentes combinaisons), pour obtenir les meilleures performances pour le modèle (PMC) .

Pour la régression

Les résultats obtenus après l'ajustement des mesures satellitaires, seront présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre 5 : Résultats et discussion

5.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus après l'ajustement des mesures satellitaires et une discussion à propos de cette amélioration.

Nous avons ajusté les mesures satellitaires en testant des méthodes de régressions linéaire et polynomiale et une méthode d'intelligences artificielles à savoir le Perceptron multicouches (PMC).

Nous avons appliqué les mêmes critères de performances (R^2 , BIAIS, RMSE) utilisés dans le chapitre 3 sur les valeurs observées et les valeurs simulées.

5.2. Application de régression (linéaire et polynomiale)

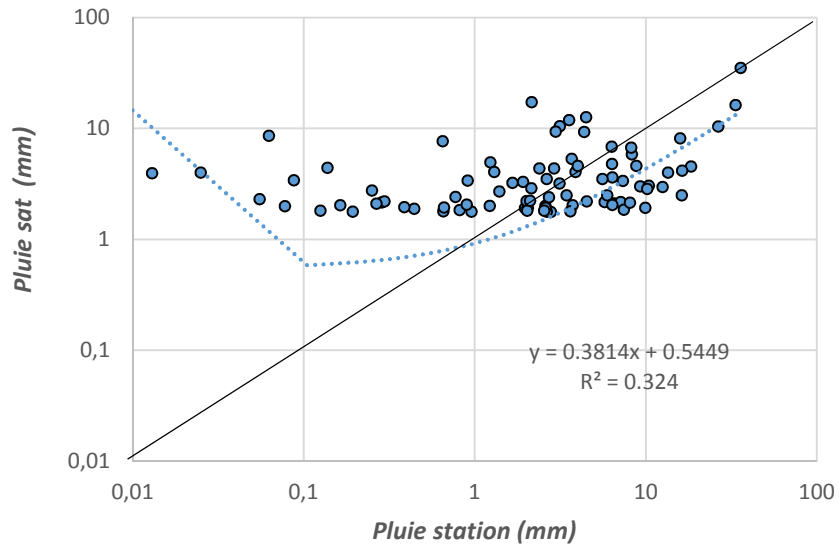
Après avoir appliqué la formule de régression linéaire on a obtenu les résultats montrés dans le (Tableau 1). La période de 1999 jusqu'en 2003 à servie au calage du modèle alors que la dernière année (2003-2004) a été utilisé pour tester le modèle.

Tableau 11. Performances des modèles de régression dans la période test

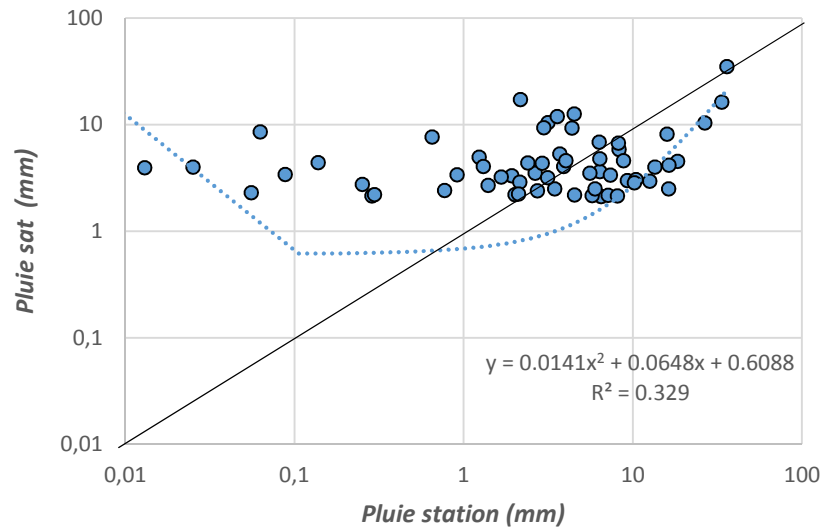
<i>Méthodes</i>	<i>R²</i>	<i>RMSE</i>	<i>Biais</i>
Sans calage	0,320	5.54	72,36
Régression linéaire	0.324	3.84	-149,12
Régression polynomiale (2)	0.329	3.87	-221,38
Régression polynomiale (3)	0.316	3.91	-209,74
Régression polynomiale (4)	0.322	3.88	-295,35

Le tableau indiqué présente les résultats obtenus par les graphes de régression dans la période de test (2003 – 2004).

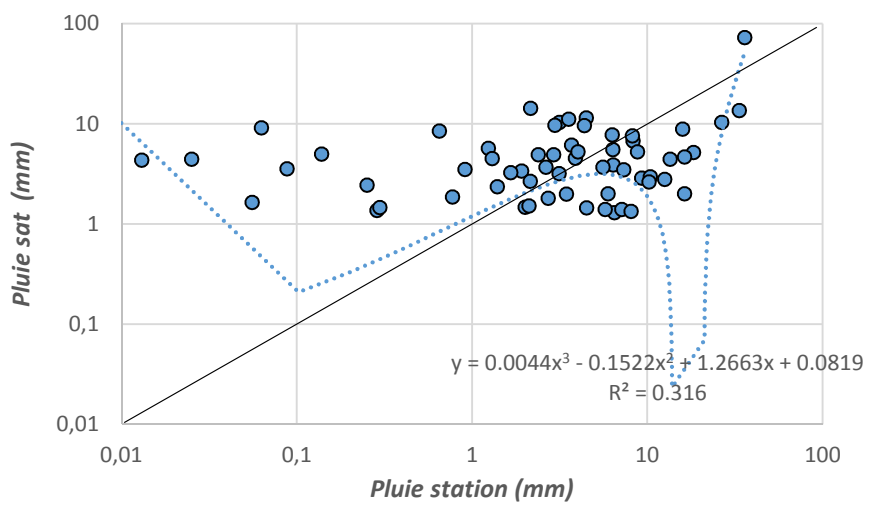
Voir les schéma ci-dessous :



(a)



(b)



(c)

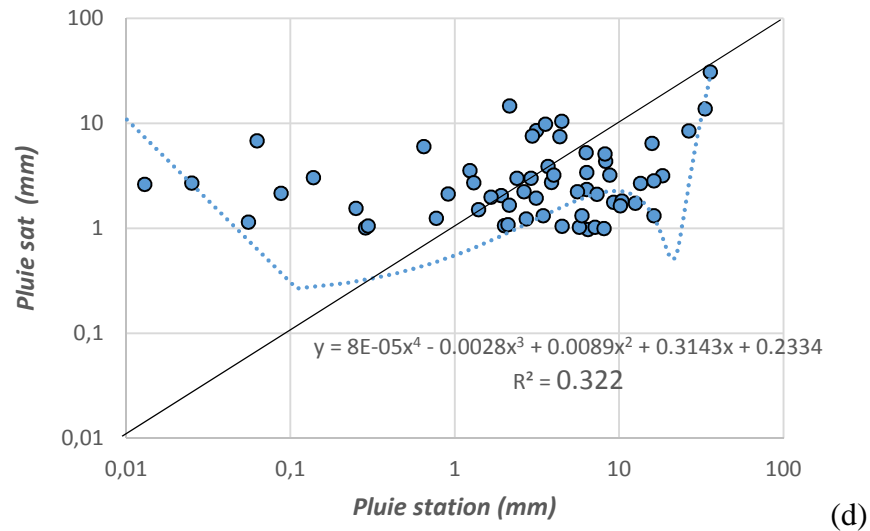


Figure 47. Performance des modèles de régression linéaire (a), polynomiales de deuxième (b), troisième (c) et quatrième degré (d) dans la période test

Les valeurs observés dans les régressions linéaire et polynomiale montrent que le coefficient de détermination R^2 est presque constant dans les regressions et sa valeur est entre (0.316 et 0.329) , sachant que ces valeurs ne sont pas des bons résultat.

5.3. Application du PMC

Le réseau PMC a été appliqué pour l'ajustement de produit de précipitation satellitaires (3B42V7). L'architecture à trois couche avec la fonction sigmoïde pour les neurones de la couche cachée et une fonction linéaire pour le neurone de sortie sont choisis pour cette simulation. L'apprentissage du réseau s'est fait en utilisant l'algorithme de Levenberg-Marquardt sur les combinaisons d'entrées dans le but de définir le vecteur le plus approprié pour une meilleure performance.

Afin d'obtenir la configuration optimale de la couche cachée, on a varié à chaque fois le nombre de neurone (de 2 jusqu'à 10) et mesurer la performance du modèle. Le meilleur résultat (précipitation satellitaire + Température (min+max)) des combinaisons optimales ont été sauvegardés et montré dans les tableaux et figures au-dessous.

5.3.1. TRMM 3B42V7

Le (Tableau 1) résume les résultats obtenus des modèles PMC appliqué sur les données du produit de précipitation 3B42V7, en fonction des critères de performances (R^2 %, BIAIS et RMSE),

Tableau 12.critères de performances de la meilleur combinaison

Critères de performances	Apprentissage	Validation	Test
R^2	0.70	0.72	0.67
BIAIS	24.31	27.90	32.94
RMSE	3.29	5.19	5.97

A première vue sur le (Tableau .2), les résultats obtenus par la meilleure combinaison sont comme suite :

On a trouvé une nette amélioration pour la valeur du coefficient de détermination R^2 dans la période de test ($R^2 = 0.67$) et le biais est positive, donc il y a une surestimation (biais = 32.94).

En comparant ces résultats avec ceux de régression on observe que ($R^2 = 0.329$) et le biais est négatif donc il y a une sous-estimation (biais = -221,38).

Ces résultats montrent que le calage par l'application du PMC est les meilleurs par rapport à ceux obtenus par la méthode de régression.

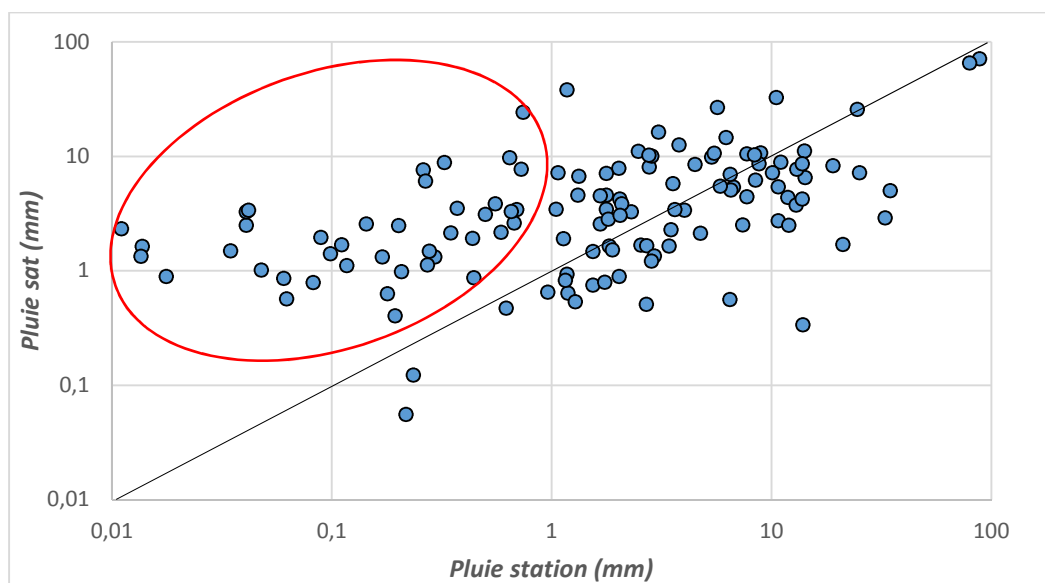


Figure 48.Nuage des points entre sat simulé par RNA et stat

A partir de la figure 2 on observe que le nuage des points divisé en deux groupes.

Premier groupe est loin de la ligne de régression (entre 0 mm et 1 mm). Voir le cercle tracé dans le schéma, et un deuxième groupe est à proximité à la ligne de régression.(entre 1mm et 100 mm).

Une nette amélioration de la précision du modèle RNA est observée par rapport aux autres méthodes (régression simple et polynomiale). On remarque dans le cercle rouge qu'il y a une grande surestimation des estimations satellitaires pour les pluies inférieures de 1 mm (observées dans la station). Ceci est peut-être causé essentiellement par les fausses alarmes du satellite TRMM dont on a parlé dans le chapitre précédent.

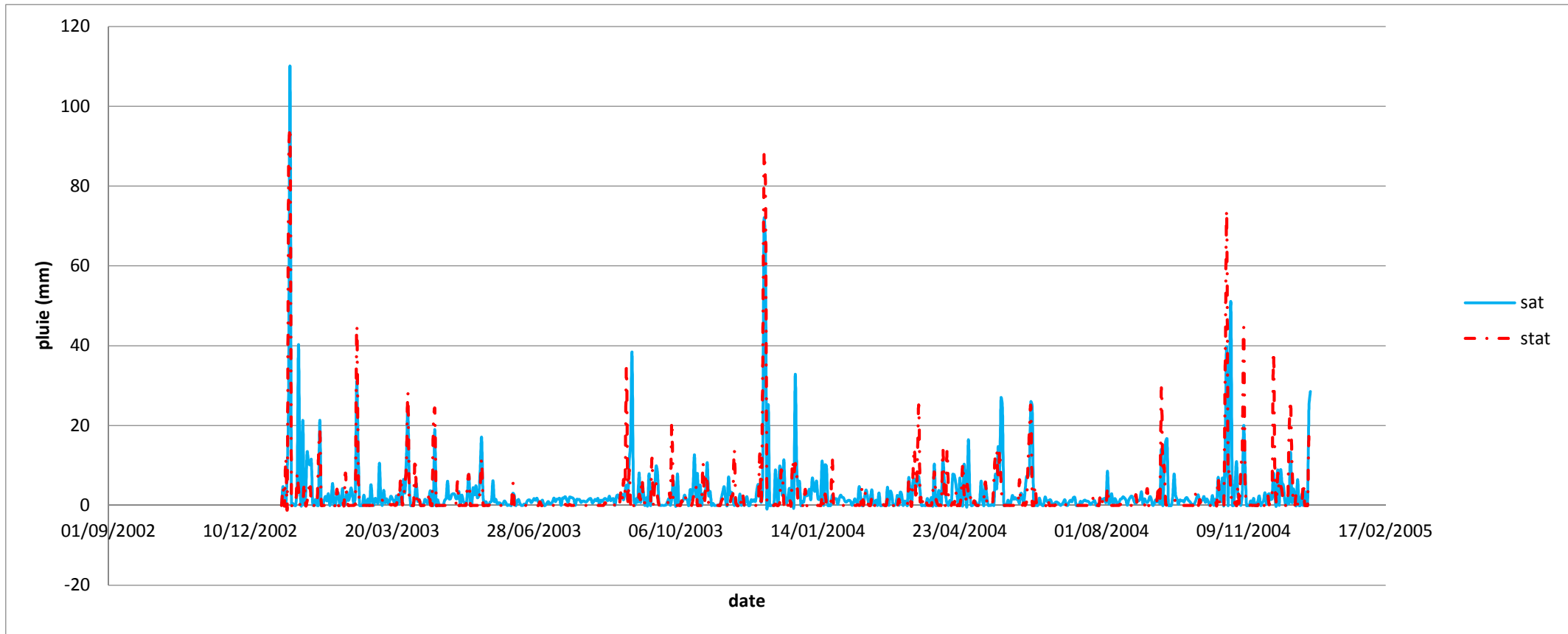


Figure.49.séries chronologiques montrant la simulation avec le modèle PMC en utilisant pluie surfacique du 3B42V7, durant la période test

5.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus, on conclut que les calculs effectués avec l'application du PMC sont les meilleures avec un coefficient de détermination atteignant $R^2 = 0.67$.

Ces meilleurs résultats sont obtenus grâce à l'aide des données météorologiques qu'on a rajouter tels que (température min et max, ensoleillement, et humidité).

D'après les combinaisons utilisées comme entée pour l'application de PMC on a trouvé que la combinaison qui contient les températures min et max ont permis une augmentation des performances du modèle PMC.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le besoin de mesure pluviométrique est d'une importance capitale pour divers applications hydrologiques. Etant donnée la non disponibilité mais aussi la qualité médiocre des mesures dans les stations au sol en Algérie, il est plus qu'évident de trouver une alternative pour remplacer ou compléter le rôle de ces stations. On se tourne dans cette études aux mesures par satellite, qui non seulement sont disponibles mais couvrent la quasi-totalité du globe terrestre.

On a étudié le taux de précipitation fourni par un satellite de type TRMM, et nous avons comparés celui-ci avec des mesures au sol (stations de mesure de précipitations) .

Nous essayons de faire un ajustement , en utilisant deux méthodes de calages , application de PMC et méthode de régression par rapport aux stations du sol.

Notre étude a été réalisée sur la zone (nord-est de l'Algérie) qui couvre les wilaya de Annaba, El teref, Skikda, Guelma, et Soukahras. L'étude a été effectuée à l'échelle de temps journalière entre 1999 et 2004.

Pour cette étude on a utilisé le produits 3B42v7 pour estimer les précipitations dans la période indiqué (1999 et 2004.), dans trois régions choisis pour notre étude.

Nous avons calculé les précipitations surfacique obtenus par données des stations de mesure des pluies, et en mémé temps on a estimé à l'aide du produits satellitaire les précipitations par pixel pour notre régions choisis.

Nous avons observé une différence claire entre les mesures des stations au sol et les mesures par satellite, le produit 3B42V7 dans l'estimation de la précipitation.

On a obtenus des meilleurs résultats pour la première région (sans calage) :

$$R^2 = 0.32 \text{ et Biais} = 72.36 \text{ et RMSE} = 5.54$$

Ces résultat sont avant le calage, et on doit passer à la correction en utilisant deux méthodes par l' application de PMC et par la méthode des régressions linéaire et polynomiale.

Après le calage nous avons trouvé les résultats suivant pour la méthode de régression :

$$R^2 = 0.329 \text{ et Biais} = 3.87 \text{ et RMSE} = -221.38$$

Et les résultats suivant par l' application de PMC pour la période de teste :

Conclusion générale

$R^2 = 0.67$ et Biais = 32.94 et RMSE = 5.97

Donc on peut conclure que la méthode PMC nous a donné un meilleur résultat de calage entre les estimations satellitaire et les mesures de pluie par stations.

Référence

- Ahmed, Sari. 2002. *L'hydrologie de surface* (Universié de Bab Ezzouar, Alger).
- Bennani, Mohammed. 2016. 'Etude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans le Nord-Est d'Algérie', M Achite.
- Boulmaiz, Tayeb. 2016. 'Contribution dans la modélisation de la relation pluie-débits'.
- Claire casse.2015 impact de forçage pluviométrique sur l'inondations des fleuve Niger à Niamey
- Duan, Zheng, WGM Bastiaanssen, and Junzhi Liu. 2012. "Monthly and annual validation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products in the Caspian Sea Region for the period 1999–2003." In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International*, 3696-99. : IEEE.
- Liu, Junzhi, Zheng Duan, Jingchao Jiang, and A Zhu. 2015. 'Evaluation of three satellite precipitation products TRMM 3B42, CMORPH, and PERSIANN over a subtropical watershed in China', *Advances in Meteorology*, 2015.
- Elbasit, Mohamed A. M. Abd, Eltayeb O. Adam, Khaled Abu-Taleb, Fethi Ahmed, Hiroshi Yasuda, and Chandra S. P. Ojha. 2017. 'Space-Borne Rainfall Measurement over Arid Regions', *Sustainable Water Resources Management*.
- Jaxa, Eorc. 2018.
- Fatima, Mrabti, and Seridi Hamid. 2009. 'Comparaison de méthodes de classification réseau RBF, MLP et RVFLNN1', *Damascus University Journal Vol,(25)-No.(2)*.
- https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2000-02-29T00:00:00Z&endtime=2004-12-30T23:59:59Z&bbox=7.25,36.5,7.5,36.75&data=TRMM_3B42RT_Daily_7_precipitation&dataKeyword=precipitation
- http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/about/history/history_e.htm.
- Kummerow, Christian, J Simpson, O Thiele, W Barnes, ATC Chang, E Stocker, RF Adler, A Hou, R Kakar, and F Wentz. 2000. 'The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit', *Journal of Applied meteorology*, 39: 1965-82.
- Parizeau, Marc. 2004. réseaux de neurones (université laval).
- meteofrance. 2018. <Http://www.meteofrance.fr>.
- Mebarki, Azzedine. 2005. 'Hydrologie des bassins de l'Est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement', *Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri de Constantine*.

- Tan, Mou Leong, Ab Latif Ibrahim, Zheng Duan, Arthur P Cracknell, and Vincent Chaplot. 2015. 'Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia', *Remote Sensing*, 7: 1504-28.
- Touzet, Claude. 1992. Les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme (EC2).
- Wira, Patrice. 2009. 'Réseau de neurones artificiels : architectures et applications', *Université de Haute Alsace, Laboratoire MIPS (Modélisation, Intelligence, Processus, Systèmes)*.

Abstract

The availability of precipitation data at high spatial resolution is of fundamental importance in many hydrological applications.

There are two main sources of rainfall estimation: precipitation stations and hydrologic satellite estimation (remote sensing) especially in unmeasured basins. In this study we compared the satellite product performance, TRMM 3B42V7, with measurements of ground stations. We have tried to improve the estimation of remote sensing technology to a large extent to adjust the quality of precipitation observations.

Daily precipitation (1999-2004) measured at ground and satellite stations was used in a study area in north-eastern Algeria (Annaba and El-Tarf and Guelma and Skikda and Souk-Ahras). The evaluation of the satellite product (3B42V7) gave an insufficient result with the station data in the three regions with the performance criteria of ($R^2 = 0.32$ and $BIAS = 72.36$ and $RMSE = 5.54$)

Using an artificial intelligence model that is the Perceptron Multi Layer (PMC) and the regression method for the adjustment of satellite products, it was found that the PMC had given a better result ($R^2 = 0.67$) thanks to the input combination (P. satellite max and min temperature), and for the regression method we found the value ($R^2 = 0.329$).

This presented approach can be used to adjust estimates of satellite measurement systems in any region. Having obtained the model, these adjusted data can be exploited effectively in the event of ground station failures. Also, these data can be object of regionalization by proximity.

Keywords: Satellite product, precipitation, PMC, regression, northeastern Algeria, TRMM, 3B42V7

ملخص

هناك مصدران رئيسيان لتقدير هطول الأمطار: محطات هطول الأمطار وتقدير الأقمار الصناعية الهيدرولوجية (الاستشعار عن بعد) و خاصة الأحواض غير المقاسة. في هذه الدراسة قارنا أداء المنتج الساتلي ، TRMM 3B42V7 ، مع قياسات المحطات الأرضية. لقد حاولنا تحسين تقدير تقنية الاستشعار عن بُعد إلى حد كبير لضبط جودة ملاحظات هطول الأمطار.

تم استخدام الأمطار اليومية (1999-2004) المقاسة على الأرض ومحطات الأقمار الصناعية في منطقة الدراسة في شمال شرق الجزائر (عنابة والطارف وقالمة وسكيكدة وسوق أهراس). أعطى تقييم المنتج الساتلي 3B42V7 نتيجة غير كافية مع بيانات المحطة في المناطق الثلاثة مع معايير الأداء $R^2 = 0.32$ و $BIAS = 72.36$ و $RMSE = 5.54$

باستخدام نموذج الذكاء الاصطناعي وهو (PMC) وطريقة الانحدار لتعديل منتجات الأقمار الصناعية ، فقد وجد أن PMC قد أعطى نتيجة أفضل ($R^2 = 0.67$) بفضل تركيبة المدخلات (امطار. الأقمار الصناعية ودرجة الحرارة الصغرى و العليا) ، وبالنسبة لطريقة الانحدار وجدنا القيمة ($R^2 = 0.329$)

يمكن استخدام هذا النهج المقدم لضبط تقديرات أنظمة القياس الساتلية في أي منطقة ، وبعد الحصول على النموذج ، يمكن استغلال هذه البيانات المعدلة بفعالية في حالة تعطل المحطة الأرضية. أيضا ، يمكن أن تكون هذه البيانات وجوه الإقليمية من القرب.

كلمات مفتاحية : منتج الأقمار الصناعية ، هطول الأمطار ، PMC ، الانحدار ، شمال شرق الجزائر ، TRMM ، 3B42V7

Résumé

La disponibilité des données de précipitation à haute résolution spatiale est d'une importance fondamentale dans de nombreuses applications hydrologique.

Il existe deux sources principales d'estimation des précipitations : les stations de précipitations et l'estimation satellitaire hydrologique (télédétection) en particulier dans les bassins non mesurés. Dans cette étude nous avons comparé la performance de produit satellitaire, TRMM 3B42V7, avec les mesures des stations au sol. Nous avons essayé d'améliorer l'estimation de la technologie de télédétection dans une large mesure pour ajuster la qualité des observations de précipitations.

On a utilisé les précipitations journalières (1999-2004) mesurées dans les stations au sol et par satellites dans une zone étudiée situé au nord-est de l'Algérie (Annaba et El-Tarf et Guelma et Skikda et Souk-Ahras). L'évaluation du produit satellitaire (3B42V7) a donné un résultat insuffisant avec les données de stations dans les trois régions avec les critères de performance de ($R^2 = 0.32$ et $BIAS = 72.36$ et $RMSE = 5.54$)

En utilisant un modèle d'intelligence artificiel qui sont le Perceptron Multi Couche (PMC) et la méthode de régression pour l'ajustement des produits satellitaires, on s'est aperçu que le PMC avait donné un meilleur résultat ($R^2 = 0.67$) grâce à la combinaison d'entrée (P. satellite + température max et min), et pour la méthode de régression on trouvé la valeur ($R^2 = 0.329$).

Cette approche présentée peut être utilisée pour ajuster les estimations des systèmes de mesure satellitaire dans n'importe quelle région. Ayant obtenu le modèle, on peut exploiter ces données ajustées efficacement dans le cas de défaillances des stations au sol. Aussi, ces données peuvent faire objet d'une régionalisation par proximité.

Mots clés: Produit satellitaire, précipitation, PMC, régression, nord-est de l'Algérie, TRMM, 3B42V7.