

**REPUBLIQUE DU BURUNDI**

**MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DU LAC TANGANYIKA**

**INSTITUT INTERFACULTAIRE DE STATISTIQUE**

**ANALYSE DES PRECIPITATIONS DE LA SAISON SOND (de septembre à  
décembre)**

**Rapport de stage effectué à l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU)**

**Du 03 Avril au 03 Mai 2023**

**Par :**

**IRANKUNDA Anny Stilla**

**et**

**NISHEMEZWE Adérophine**

**Sous l'encadrement de :**

**Dr-Ir NKEZABAHIZI Désiré**

Rapport de stage présenté et défendu en vue de  
l'obtention du diplôme de Baccalauréat en Statistique

**Bujumbura, Septembre 2023**

## **DÉDICACES**

À mes chers parents ;

À mes frères et sœurs ;

À tous ceux qui ont eu part à ma réussite.

### **IRANKUNDA Anny Stilla**

À mes parents ;

À mon frère et mes sœurs ;

À la famille NGARUKIYINKA Oswald ;

À la famille NIYONKURU Aimable ;

À tous ceux qui ont contribué à ma réussite.

### **NISHEMEZWE Adélphe**

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce rapport de stage a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toutes nos reconnaissances.

Nous tenons à remercier spécialement le grand Architecte de l'Univers pour nous avoir donné la vie, le courage, la force, la détermination et qui ne cesse de nous accompagner dans nos études.

Notre profonde gratitude va également à Mr NSABIMANA Shabani pour son support inconditionnel durant la période de stage passé à la Département d'Hydrométéorologie et d'Agrométéorologie sans oublier le directeur de cette direction Mr BABONWANAYO Déo qui nous a acceptés de nous accueillir comme stagiaire au sein de la Département d'Hydrométéorologie et d'Agrométéorologie. Nous remercions aussi tout le personnel de l'IGEBU pour leur accueil, la considération et surtout la bonne collaboration.

Notre profonde gratitude s'adresse à notre encadreur Dr-Ir NKEZABAHIZI Désiré pour avoir accepté d'encadrer scientifiquement ce travail de fin d'étude. Nous le remercions énormément pour sa patience, sa disponibilité, ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion, son temps et ainsi de nous avoir soutenus moralement lors de nos profondes inquiétudes ; que Dieu lui comble des merveilles.

Nos vifs remerciements s'adressent encore à tous les enseignants qui nous ont formés depuis l'école primaire jusqu'à l'ULT ; ce travail est pour nous l'occasion de leur témoigner notre profonde gratitude.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à tous nos collègues de la 8<sup>ème</sup> promotion pour leurs encouragements et pour leur ambiance durant les années que nous avons passées ensemble.

Nos remerciements vont enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent dans ce travail le fruit de leur patience et de leur sacrifice.

**LISTE DE SIGLES ET ABREVIATIONS**

ANOVA	: Analyse de la variance
CTI	: Centre de Traitement Informatique
DHA	: Département d'Hydrométéorologie et d'Agrométéorologie
H0	: Hypothèse nulle
H1	: Hypothèse alternative
IGEBU	: Institut Géographique du Burundi
MINEAGRIE	: Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
SAC	: Service d'Agro-Climatologie
SOND	: De Septembre à Décembre
ULT	: Université du Lac Tanganyika

## TABLE DES MATIERES

<b>DÉDICACES .....</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTE DE SIGLES ET ABREVIATIONS.....</b>	<b>iii</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTE DES GRAPHIQUES .....</b>	<b>viii</b>
<b>0. INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
0.1. Contexte du stage.....	1
0.2. Choix du sujet.....	1
0.3. Intérêt du sujet .....	2
0.4. Problématique de recherche.....	2
0.5. Hypothèse de recherche.....	2
0.6. Objectif du travail .....	3
0.7. Délimitation du travail.....	3
0.8. Méthodologie de recherche.....	3
0.9. Articulation du travail.....	4
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DU LIEU DE STAGE ET SON</b>	
<b>DEROULEMENT.....</b>	<b>5</b>
I.1. Présentation générale de l'IGEBU .....	5
I.1.0. Introduction.....	5
I.1.1. Missions générales et visions de l'IGEBU .....	5
I.1.1.1. Missions générales de l'IGEBU.....	5
I.1.1.2. Visions de l'institut .....	7
I.1.2. Situation géographique .....	7
I.1.3. Organisation de l'IGEBU .....	8
I.1.3.1. Conseil d'Administration.....	8
I.1.3.2. Conseil de la Direction.....	8
I.2. Déroulement du stage .....	9

## **CHAPITRE II : REVUE DE LA LITTERATURE ET CADRE THEORIQUE DE**

<b>L'ETUDE.....</b>	<b>10</b>
II.1. Revue de la littérature .....	10
II.1.1. Définition de quelques concepts.....	10
II.1.2. Notion sur le climat du Burundi .....	10
II.2. Modèle linéaire .....	10
II.2.1. Régression linéaire .....	11
II.2.1.1. Modèle de régression linéaire simple .....	11
II.2.1.2. Utilité de la régression linéaire.....	12
II.2.1.3. Tests de significativité et validation du modèle .....	13
II.2.1.3.1. Test de Breusch – Pagan .....	13
II.2.1.3.2. Test de Shapiro – Wilk .....	13
II.2.1.3.3. Test de Durbin Watson .....	13
II.2.1.3.4. Relation entre deux variables .....	14
II.2.1.3.5. Analyse de la variable dépendante par le modèle .....	14
II.2.1.3.6. Coefficient de détermination du modèle .....	15
II.2.1.3.7. Estimateurs des moindres carrés .....	15
<b>CHAPITRE III : ANALYSE DES DONNEES ET PRESENTATION DES RESULTATS .</b>	<b>16</b>
III.0. Source et description des données .....	16
III.1. Analyse des données.....	16
III.1.1. Analyse descriptive .....	16
III.1.2. Analyse graphique des observations .....	19
III.2. Présentation des résultats.....	20
III.2.1. Résultats de la régression linéaire du modèle .....	23
III.2.2. Ajustement du modèle .....	23
III.3. Validation du modèle.....	25
<b>CHAPITRE IV : CONCORDANCE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DES UNITES</b>	
<b>D'ENSEIGNEMENT AVEC LE STAGE .....</b>	<b>30</b>
IV.1. Initiation à la méthodologie de recherche .....	30
IV.2. Statistique descriptive .....	30
IV.3. Analyse des séries temporelles.....	30

IV.4. Méthode statistique .....	31
IV.5. Calcul sur R.....	31
IV.6. Statistiques sectorielles .....	31
IV.7. Traitement des données d'enquête .....	31
IV.8. Modèle linéaire.....	31
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>34</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Statistiques descriptives de la saison SOND .....	16
Tableau 2 : Normales saisonnières .....	17
Tableau 3 : Résultats du test de normalité.....	21
Tableau 4 : Résultats du test de l'indépendance.....	22
Tableau 5 : Tableau des résultats de la régression linéaire .....	23
Tableau 6 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de septembre .....	23
Tableau 7: Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois d'octobre.....	24
Tableau 8 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de novembre .....	24
Tableau 9 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de décembre.....	24



**LISTE DES GRAPHIQUES**

Graphique 1 : Représentation graphique des précipitations de la saison .....	19
Graphique 2 : Normalité des observations .....	20
Graphique 3 : Indépendance des observations .....	22
Graphique 4 : Validation du modèle (mois de Septembre) .....	26
Graphique 5 : Validation du modèle (mois d'Octobre).....	27
Graphique 6: Validation du modèle (mois de Novembre) .....	28
Graphique 7 : Validation du modèle (mois de Décembre).....	29

## **0. INTRODUCTION GENERALE**

### **0.1. Contexte du stage**

Dans le but de renforcer la capacité intellectuelle, des Universités du Burundi ont organisé un stage pour les étudiants finalistes du cycle de Baccalauréat tel qu'il est prévu à l'article 91 alinéa 1 de la décision n°43 du 29 Novembre 2015 portant Règlement académique du cycle de baccalauréat des Universités du Burundi et ce, dans le but de mettre en relation les connaissances acquises en classe et la pratique sur terrain. C'est ainsi que, pour bien mener ce stage, l'Institut Inter facultaire de Statistique a collaboré avec l'Institut Géographique du Burundi, IGEBU en sigle via la Département d'Hydrométéorologie et Agrométéorologie, DHA en sigle dans le service d'Agro-climatologie.

Ainsi, c'est dans ce contexte que le présent rapport a été rédigé afin de montrer ce qui a été appris lors de notre stage académique à l'Institut Géographique du Burundi. Nous nous sommes ainsi proposées de traiter le sujet intitulé « ANALYSE DES PRECIPITATIONS DE LA SAISON SONN (de septembre à décembre) ».

### **0.2. Choix du sujet**

L'IGEBU est un organe vital pour le bon maintien de l'environnement du Burundi. Son bon fonctionnement et ses bonnes performances sont essentiels pour la résolution des questions climatiques et la diffusion de l'information géographique de référence. La parfaite maîtrise des facteurs influençant les précipitations de la Station de GITEGA (région KIRIMIRO) permet d'identifier les variables indispensables à la variation des précipitations.

Durant le stage, le constat a été fait que les précipitations sont très influentes parmi les variables climatiques. Par exemple, pour les plans d'observation de sécheresse et de prévisions météorologiques on utilise les précipitations, et la planification des activités quotidiennes des agriculteurs est à base de l'information reçue sur les précipitations. D'où est né le vif désir d'analyser les caractéristiques statistiques des précipitations et leurs propriétés en utilisant les différents tests et modèles.

### 0.3. Intérêt du sujet

Plusieurs facteurs participent dans la variation des précipitations. C'est dans cette logique que nous avons voulu mener une analyse de la saison de pluie afin de permettre une amélioration des performances dans l'adoption de résolutions sur les questions climatiques.

Tant personnel, cette étude nous a permis de mettre en relation les théories apprises en classe et la pratique sur terrain.

Au niveau académique, elle servira aux sources documentaires pour les lecteurs et les chercheurs qui pourront approfondir l'étude sur le présent travail.

Pour l'IGEBU, l'étude permettra à améliorer les performances dans l'assistance des usagers.

### 0.4. Problématique de recherche

Au Burundi, comme partout dans le monde, la climatologie représente un des piliers fondamentaux de l'environnement. Des séries de précipitations sont très importantes pour différentes applications en agriculture, en hydrologie, en urbanisme et en climatologie et servent à des projections futures du climat.

La maîtrise des facteurs influençant les précipitations constitue une étape utilitaire et décisive dans l'amélioration des performances dans la résolution des questions climatologiques. Le bon fonctionnement de l'IGEBU et ses bonnes performances sont essentiels pour la résolution pour les questions de changement climatique et de ce fait l'évolution et l'indépendance du climat du Burundi. Notre question de recherche est alors « **Est-ce que les précipitations se comportent différemment selon les années** ».

C'est sur base de cette problématique que nous allons essayer d'élargir notre réflexion, pour vérifier concrètement les réponses.

### 0.5. Hypothèse de recherche

A titre de rappel, une hypothèse est une réponse provisoire. Par rapport à notre problématique, nous avons proposé l'hypothèse suivante :

- $H_1$  : Les précipitations de la saison SOND varient en fonction des précipitations de chacun de ses mois ;

- H<sub>2</sub>: il y a une corrélation entre les précipitations de 2022 et celles observées au paravent (trente années observations).

C'est sur base de cette réponse que nous allons consacrer notre recherche pour vérifier leur véracité, afin de parvenir à le confirmer ou à l'infirmier.

## **0.6. Objectif du travail**

L'objectif général de ce travail est d'analyser la saison des pluies SOND. Cela permettra d'orienter, non seulement, les décideurs sur les actions à mener, mais aussi les producteurs agricoles et les intervenants dans les questions climatiques.

Spécifiquement, il s'agit de comparer les moyennes des précipitations en saison SOND selon les années.

## **0.7. Délimitation du travail**

Ce travail est délimité dans le temps sur le plan spécial, la présente étude se propose comme champs d'investigation, le Burundi. Quant à l'horizon temporel, l'étude s'étend sur une période de 59 ans allant de 1964 à 2022 selon la saison climatologique SOND.

Méthodologiquement, nous avons utilisé le logiciel Excel 2016 pour la saisie des données, et le logiciel R version 4.1.3 pour la réalisation du traitement statistique.

## **0.8. Méthodologie de recherche**

Ce travail a été fait sous une approche méthodologique à trois catégories :

- ✓ La documentation pour une revue de la littérature sur l'IGEBU et l'OMM, et sur le thème de ce rapport ;
- ✓ L'analyse descriptive pour décrire et illustrer avec tableau les variables utilisées ;
- ✓ L'analyse statistique avec le modèle linéaire

## **0.9. Articulation du travail**

Notre travail est articulé principalement sur quatres chapitres :

- Chapitre 1 : Présentation générale du lieu de stage et son déroulement
- Chapitre 2 : Revue de la littérature et cadre théorique de l'étude
- Chapitre 3 : Analyse des données et Présentation des résultats
- Chapitre 4 : Concordance des éléments constitutifs des unités d'enseignement avec le stage

## **CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE DU LIEU DE STAGE ET SON DEROULEMENT**

### **I.1. Présentation générale de l'IGEBU**

#### **I.1.0. Introduction**

L'Institut Géographique du Burundi (IGEBU) est une institution créée par le gouvernement burundais en vue de combattre les effets des changements climatiques et d'assurer la diffusion de l'information géographique de référence au Burundi. L'IGEBU a été mis en place par le décret N°100/186 du 5 octobre 1989 portant sa création, son organisation et son fonctionnement.

#### **I.1.1. Missions générales et visions de l'IGEBU**

##### **I.1.1.1. Missions générales de l'IGEBU**

L'Institut a pour mission de promouvoir les activités géographiques au Burundi notamment en assurant la couverture cartographique du pays, la topographie, la météorologie, l'hydrométéorologie et l'hydrogéologie ainsi que les travaux connexes nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

A ce titre, l'institut est notamment chargé de :

- Elaborer et mettre en œuvre la politique nationale en matière d'activité géographique ;
- Implanter et entretenir les réseaux géodésiques et de nivellement relatifs au système national de référence de coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques ;
- Produire et diffuser l'information géographique de référence : géodésie et cartographie, topométrie et cartographie numérique ;
- Assurer la couverture cartographique du Burundi, la production et la diffusion des cartes topographiques, des cartes de base et des cartes dérivées ;
- Constituer et mettre sur l'ensemble du territoire national les bases de données géographiques et les fonds cartographiques dont la liste est fixée par ordonnance du ministre chargé de l'aménagement et en assurer la diffusion ;
- Développer en collaboration avec les services concernés les techniques numériques dans les processus de la création d'une base de données topo foncière ;

- Développer un partenariat pour la réalisation et le renouvellement périodique de la couverture photographique aérienne et de l'imagerie satellitaire de l'ensemble du Burundi ;
- Développer une coopération et des échanges avec d'autres instituts géographiques étrangers pour le renforcement des capacités, l'appui institutionnel et la constitution progressive d'un fonds cartographique concernant l'étranger ;
- Mettre à la disposition des administrations publiques, des communes, d'organisme d'intérêt public et du secteur privé des produits cartographiques facilitant la planification des schémas de développement selon les modalités qui seront définies par une ordonnance du ministère de tutelle ;
- Alimenter les bases de données géographiques de la documentation nationale susceptibles de service d'informations de base aux activités de topographie, de cartographie du sol et du sous-sol et de photothèque requise par les services publics et/ou les particuliers ;
- Organiser l'actualisation régulière de base de données des différentes communes et développer à cet effet, un partenariat avec les organismes utilisant les données de l'institut ;
- Proposer au gouvernement les profits professionnels de formation en science géographique à initier pour couvrir les besoins de l'institut et de l'enseignement de la géographie dans le cursus de formation de l'école secondaire ;
- Veiller au bon fonctionnement du laboratoire cartographique et d'une imprimerie pour carte générale et thématique et à l'acquisition d'un matériel technique moderne pour les prévisions météorologiques ;
- Planifier, développer et gérer les réseaux et les stations météorologiques et hydrologiques ;
- Rassembler, contrôler, analyser, conserver et diffuser les données hydrométéorologiques ;
- Améliorer les prévisions climatiques saisonnières pour l'alerte rapide ;
- Établir des prévisions générales et celles visant l'assistance météorologique à la navigation aérienne ;

- Assurer le suivi et l'observation systématique et en temps réel des variabilités et changements climatiques ;
- Participer aux travaux sur les paramètres statistiques du changement climatiques ;
- Réaliser des études visant la localisation, l'évaluation des nappes aquifères en tenant compte de la configuration géologique ;
- Développer des échanges avec des institutions spécialisées pour promouvoir la coopération au niveau de l'information et de la formation en matière de météorologie et d'hydrologie ;
- Promouvoir les études théoriques et/ou pratiques contribuant à une meilleure connaissance de la météorologie et de l'hydrologie au Burundi
- Apporter son appui technique au gouvernement en matière de négociation des accords multilatéraux environnementaux et en matière de politique de stratégie et de législation relative à la mise en application des conventions internationales relatives au climat et à la ressource eau.

#### **I.1.1.2. Visions de l'institut**

En mettant en place l'IGEBU, le Burundi a agi en conformité avec les normes de l'OMM pour l'amélioration du système de surveillance climatique et d'alerte précoce pour les questions de changement climatique. La vision principale de l'institut est de promouvoir les activités météorologiques nationales pour le bien-être de la population.

#### **I.1.2. Situation géographique**

Le siège de l'IGEBU est situé dans la ville de GITEGA précisément au Quartier Shatanya dans les buildings sociaux, Avenue du centenaire. Des stations d'observation géographique sont établies sur tout le territoire du Burundi.

L'IGEBU a 30 stations d'observation implantées sur le territoire burundais ; 10 stations agro-météorologiques, 10 stations hydrologiques et 10 stations pluviométriques.



### **I.1.3. Organisation de l'IGEBU**

Les organes de l'institut sont le conseil de l'administration et de direction.

#### **I.1.3.1. Conseil d'Administration**

L'institut est administré par un Conseil d'Administration composée de sept membres :

- un représentant du Ministère ayant l'environnement et l'aménagement du territoire dans ses attributions ;
- un représentant du Ministère ayant la sécurité publique dans ses attributions ;
- un représentant du ministère ayant la défense nationale dans ses attributions ;
- un représentant du ministère ayant l'aéronautique dans ses attributions ;
- un représentant du ministère ayant l'agriculture et l'élevage dans ses attributions ;
- le Directeur Général de l'IGEBU.

Le président, le vice-président et les membres du conseil d'administration sont nommés par Décret pris sur position du Ministère de tutelle. Leur mandat est de quatre ans renouvelable une fois.

#### **I.1.3.2. Conseil de la Direction**

L'exécution des décisions du Conseil d'Administration et de la gestion quotidienne de l'institut sont confiées à un Directeur General assisté d'autant de Directeurs que de besoin.

Ils sont nommés par Décret du président de la république sur proposition du Ministère de tutelle. La durée de leur mandat est de quatre ans renouvelable une fois.

Le Directeur General est responsable de la gestion quotidienne de l'institut et exerce notamment les attributions suivantes :

- L'exécution des décisions du conseil d'Administration ;
- L'engagement et l'exécution des dépenses de l'institut dans les limites autorisées par le Conseil d'Administration et suivant les dispositions du règlement comptable ;
- L'organisation du travail et de la discipline au sein de l'institut ;
- Le contrôle de l'encaisse et des écritures comptables ;
- La tenue correcte des dossiers ;
- L'établissement du budget prévisionnel.

Il représente l'institut auprès de l'Administration, de la justice et des tiers.

## **I.2. Déroulement du stage**

Notre stage a été effectué à l'IGEBU, pendant une période du 03Avril 2022 au 03Mai 2022 dans la Direction d'Hydrométéorologie et Agrométéorologie qui s'occupe principalement de la collecte des données climatiques. Tous les jours ouvrables durant ce mois étaient très enrichissants, et ont permis de savoir l'importance de la Statistique dans le domaine du secteur géographique et climatique en général. Au cours de ce stage au sein de l'IGEBU, nous avons visité 2 services à savoir :

- ✓ Service de l'Agro-Climatologie(SAC) qui s'intéresse principalement à centraliser, contrôler, traiter et publier les données issues des différents réseaux d'observations ; à élaborer des études climatiques, hydrologiques et agro météorologiques relatives au développement du pays et à la mise en valeur de ses ressources naturelles ; établir un calendrier agro climatique et développer un modèle agro météorologique des prévisions.
- ✓ Service du centre de traitement informatique(CTI) qui est chargé d'archivage électronique, d'assistance des usagers, de saisie, analyse et traitement des données avant de les transmettre dans le serveur.

## **CHAPITRE II : REVUE DE LA LITTERATURE ET CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE**

### **II.1. Revue de la littérature**

Ce point est constitué de considération d'ordres théoriques et comprend les points ci-après :

- Définition de quelques concepts ;
- Notion sur le climat du Burundi.

#### **II.1.1. Définition de quelques concepts**

- Les précipitations : toutes les eaux qui tombent sur la surface de la terre sous forme liquide ;
- La station : ensemble de capteurs qui enregistrent et fournissent les données des paramètres du climat (la pluviométrie, la température, la pression,) ;
- Le climat : synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère ;
- La saison : période d'une année qui observe une relative constance du climat.

#### **II.1.2. Notion sur le climat du Burundi**

- Le Burundi est un pays au climat tropical chaud et humide. Les périodes de pluies sont situées généralement de septembre à décembre et de mars à mai. Les précipitations annuelles du Burundi varient de 800mm dans la plaine à 1500mm dans les montagnes. la température varie de 20°C à 30°C.

### **II.2. Modèle linéaire**

On appelle modèle linéaire un modèle statistique qui peut s'écrire sous la forme :

$$Y = \sum_{j=1}^k \theta_j X_j + E$$

On définit les quantités qui interviennent dans ce modèle :

- Y est une v.a.r. que l'on observe et que l'on souhaite expliquer et/ou prédire ; on l'appelle variable à expliquer ou variable réponse ; on suppose que la variance de Y est constante : c'est ce qu'on appelle l'hypothèse d'homoscédasticité.
- Les k variables  $X_1, \dots, X_k$  sont des variables réelles ou dichotomiques, non aléatoires et également observées ; l'écriture de ce modèle suppose que l'ensemble des  $X_j$  est censé expliquer

Y par une relation de cause à effet ; les variables  $X_j$  sont appelées variables explicatives ou prédicteurs.

– Les  $\theta_j$  ( $j = 1, \dots, k$ ) sont les paramètres du modèle, non observés et donc à estimer par des techniques statistiques appropriées.

– E est le terme d'erreur dans le modèle ; c'est une v.a.r. non observée pour laquelle on pose les hypothèses suivantes :  $E(E) = 0$  ;  $\text{Var}(E) = \delta^2 > 0$

– Les hypothèses posées sur E impliquent les caractéristiques suivantes sur Y :

$$E(Y) = \sum_{j=1}^k \theta_j X_j + \mathcal{E}; \text{var}(Y) = \delta^2$$

En moyenne, Y s'écrit donc comme une combinaison linéaire des  $X_j$  : la liaison entre les  $X_j$  et Y est de nature linéaire. C'est la raison pour laquelle ce modèle est appelé modèle linéaire.

L'estimation des paramètres de ce modèle est basée sur n observations simultanées des variables  $X_j$  et Y réalisées sur n individus supposés indépendants. Pour la i-ème observation, les valeurs observées des variables sont notées  $y_i, x_i^1, \dots, x_i^k$ , de sorte que le modèle s'écrit :

$$y_i = \sum_{j=1}^k \theta_j X_j + \mathcal{E}_i$$

## II.2.1. Régression linéaire

### II.2.1.1. Modèle de régression linéaire simple

Soit un échantillon de n individus. Pour un individu i ( $i = 1, \dots, n$ ), on a observé

- $y_i$  la valeur de la variable quantitative y ;
- $x_i$  la valeur de la variable quantitative x.

On veut étudier la relation entre ces deux variables, et en particulier, l'effet de x (variable explicative) sur y (variable réponse). Dans un premier temps, on peut représenter graphiquement cette relation en traçant le nuage des n points de coordonnées  $(x_i, y_i)$ . Dans le cas où le nuage de points est de forme "linéaire", on cherchera à ajuster ce nuage de points par une droite.

La relation entre  $y_i$  et  $x_i$  s'écrit alors sous la forme d'un modèle de régression linéaire simple :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad \forall i = \{1, \dots, n\}$$

où  $e_i$  est une réalisation de  $E_i \sim N(0, \delta^2)$ , et les n v.a.  $E_i$  sont indépendantes.

La première partie du modèle  $\mu_0 + \mu_1 x_i$  représente la moyenne de  $y_i$  sachant  $x_i$ , et la seconde partie  $\varepsilon_i$ , la différence entre cette moyenne et la valeur observée  $y_i$ .

### **II.2.1.2. Utilité de la régression linéaire**

Il existe des conditions d'utilisation du modèle linéaire. Ces dernières doivent être vérifiées et validées pour que le modèle soit optimal. Elles sont des hypothèses de deux catégories : les hypothèses structurelles et les hypothèses stochastiques.

#### **Les hypothèses structurelles sont :**

- La variable dépendante doit être normalement distribuée ;
- Les variables dépendantes doivent être mesurées sans erreurs ;
- La relation entre la variable dépendante et les variables indépendantes doit être linéaire ;
- La matrice  $X$  doit être de rang complet :  $\text{rang de } (X) = p$ , nombre de paramètres ;
- Les observations de  $Y$  doivent être indépendantes et identiquement distribuées.

#### **Les hypothèses stochastiques sont :**

- Les erreurs doivent être de moyenne nulle:  $E(\varepsilon) = 0$  ;
- Les erreurs doivent être de variance constante. C'est l'homoscédasticité ;
- Les erreurs doivent être normalement distribués ;
- Les erreurs doivent être non auto-corrélées ;
- Les erreurs doivent être indépendantes.

#### **La problématique reste la même pour la régression linéaire :**

- estimer les paramètres en exploitant les observations ;
- évaluer la précision de ces estimateurs ;
- mesurer le pouvoir explicatif du modèle ;
- évaluer l'influence des variables dans le modèle : globalement (les  $q$  variables en bloc) et individuellement (chaque variable) ;
- évaluer la qualité du modèle lors de la prédiction ;
- détecter les observations qui peuvent influencer exagérément les résultats.

### II.2.1.3. Tests de significativité et validation du modèle

#### II.2.1.3.1. Test de Breusch – Pagan

Le test de Breusch-Pagan permet de tester l'hypothèse d'homoscédasticité du terme d'erreur d'un modèle de régression linéaire.

$H_0$  : la variance des résidus est constante

$H_1$  : la variance des résidus n'est pas constante

**Règles de décision** : Si la p-value est inférieure ou égale au seuil de 5% : l'hypothèse nulle est rejetée et l'hétéroscédasticité est présentée dans le modèle de régression, c'est à dire que la variance des résidus n'est pas constante.

#### II.2.1.3.2. Test de Shapiro – Wilk

Le test de Shapiro – wilk teste l'hypothèse nulle qui dit que la population est normalement distribuée.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Où

- $x_i$  désigne la  $i$ ème statistique d'ordre, i.e. le  $i$ ème plus petit nombre dans l'échantillon ;
- $\bar{x}$  est la moyenne de l'échantillon ;
- $a_i$  est la constante

$H_0 : \mu = 0$

$H_1 : \mu \neq 0$

**Règles de décision** : Sachant que l'hypothèse nulle dit que la population est normalement distribuée.

- Si la p-value est inférieure au seuil de 5%, alors l'hypothèse nulle est rejetée ;
- Si la p-value est supérieure au seuil de 5%, alors l'hypothèse nulle n'est pas rejetée.

#### III.2.1.3.3. Test de Durbin Watson

Le test de Durbin-Watson est un test statistique destiné à tester l'autocorrélation des résidus dans un modèle de régression linéaire.

$H_0 : \rho = 0$

$H_1 : |\rho| < 1$

**Règle de décision :**

- Si  $\rho=0$ : Il y a non autocorrélation ;
- Si  $|\rho| < 1$  : Il y a autocorrélation.

**II.2.1.3.4. Relation entre deux variables**

Pour mesurer la relation existant entre deux variables X et Y sur un échantillon de n individus, nous obtenons des observations paires  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ , où  $X_i$  et

$Y_i$  sont respectivement les valeurs de la variable X et de la variable Y pour l'individu i ( $i=1, 2, \dots, n$ ). La méthode la plus simple pour observer la relation entre X et Y est de représenter ces points de coordonnées  $(x_i, y_i)$  dans un graphe à deux dimensions, où l'axe horizontal représente la variable X et l'axe vertical, la variable Y. A partir de là, il est possible d'observer quel genre de relation entre X et Y. Une relation est linéaire si la relation entre deux variables (X et Y) est de la forme  $Y = aX + b$ , c'est-à-dire si le nuage de points ajuste correctement là une droite de régression peut passer. Donc, une relation linéaire est mesurée dans le but de vérifier si l'analyse en régression est applicable pour expliquer cette relation linéaire existant entre ces deux variables.

**II.2.1.3.5. Analyse de la variable dépendante par le modèle**

Toute variable admet une certaine variation, généralement mesurée en termes de variance, c'est-à-dire qu'elle varie d'un individu à l'autre. Le but d'un modèle de régression linéaire est d'expliquer une partie de la variation de la variable expliquée Y du fait de sa dépendance à la variable X. En effet, si la variable Y dépend de X, et la mesure sur des individus avec différentes valeurs de X, il y aura une variation en conséquence (si X varie, Y varie en conséquence). Il s'agit de la *variation expliquée*.

$$\left( \begin{matrix} \text{variation totale} \\ \text{de } y \end{matrix} \right) = \left( \begin{matrix} \text{variation expliquée} \\ \text{par le modèle} \end{matrix} \right) + \left( \begin{matrix} \text{variation inexpliquée} \\ \text{par le modèle} \end{matrix} \right)$$

Afin de mesurer la variation de la variable Y, il est d'usage de considérer les différences entre les observations  $y_i$  et la moyenne.

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

La méthode des moindres carrés, qui consiste à minimiser la somme des carrés des écarts, a permis également d'avoir une telle décomposition en considérant la somme des carrés de ces différences.

$$\left( \begin{array}{c} \text{somme des carrés} \\ \text{totale} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{somme des carrés} \\ \text{due à la} \\ \text{régression} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{somme des carrés} \\ \text{des résidus} \end{array} \right)$$

#### II.2.1.3.6. Coefficient de détermination du modèle

Pour mesurer le pourcentage de la variation totale qui est expliquée par le modèle, nous allons définir le *coefficient de détermination*. C'est une valeur qui permet d'évaluer le degré d'adéquation du modèle, noté  $R^2$  :

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$$

$$\text{Autrement dit, } R^2 = \frac{\text{variation expliquée}}{\text{variation totale}}$$

Ce coefficient prend donc ses valeurs entre 0 et 1. Plus  $R^2$  est proche de 1, plus les données sont alignées sur la droite de régression, plus aussi le modèle est optimal.

#### II.2.1.3.7. Estimateurs des moindres carrés

Les estimateurs obtenus par la méthode des moindres carrés ordinaires sont les coefficients du modèle, qui sont notamment :

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\text{cov}(x_i, y_i)}{\text{var}(x_i)}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Ces estimateurs sont des variables aléatoires, car ils dépendent des  $y_i$  qui sont des variables aléatoires aussi sont des fonctions linéaires des  $y_i$ .



### CHAPITRE III : ANALYSE DES DONNEES ET PRESENTATION DES RESULTATS

L'analyse proprement dit commence en premier lieu par la description des données pour avoir un aperçu global de leurs différentes caractéristiques statistiques. Il s'en suivra les résultats issus des différents méthodes statistiques et tests.

#### III.0. Source et description des données

Cette étude a été menée sur une base de données provenant de l'Institut Géographique du Burundi. C'est une base de données qui est composée par une variable dépendante (précipitations de la saison) et la variable indépendante (les mois).

#### III.1. Analyse des données

##### III.1.1. Analyse descriptive

**Tableau 1 : Statistiques descriptives de la saison SOND**

Mois	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
<b>Septembre</b>	0 ,0	51,39	35,58	47,60	143,9
<b>Octobre</b>	15,50	98,72	40,25	92,50	194,90
<b>Novembre</b>	26,2	157,4	62 ,92	146,1	368, 9
<b>Décembre</b>	35,8	51,0	44,29	148,9	248,0
<b>La normale</b> de la saison SOND de la station Gitega est de 442,03  L'écart-type de la saison SOND est de 108,96					

**Une normale** est une moyenne arithmétique calculée pour chaque mois de l'année à partir des données climatologiques enregistrées quotidiennement sur une période de 30 ans. C'est une balise indiquant le climat moyen attendu dans une région donnée.

- Le mois de septembre est le mois de la saison SOND à faibles précipitations (min=0.0) tandis que celui de novembre est le mois à abondantes précipitations (max=368,9).
- Les observations de la saison sont dispersées (écart-type petit).

**Tableau 2 : Normales saisonnières**

<b>Années</b>	<b>Précipitations</b>	<b>Ecart en mm</b>	<b>Ecart en %</b>	<b>Conclusion</b>
1964	418.8	-23.23	-5.26%	Normale
1965	456.6	14.57	3.30%	Normale
1966	401	-41.03	-9.28%	Normale
1967	515.2	73.17	16.55%	Normale
1968	608.7	166.67	37.71%	Excédentaire
1969	333	-109.03	-24.67%	Normale
1970	421.2	-20.83	-4.71%	Normale
1971	369.7	-72.33	-16.36%	Normale
1972	524	81.97	18.54%	Normale
1973	428.1	-13.93	-3.15%	Normale
1974	407.3	-34.73	-7.86%	Normale
1975	495.4	53.37	12.07%	Normale
1976	570.7	128.67	29.11%	Excédentaire
1977	455	12.97	2.93%	Normale
1978	525.7	83.67	18.93%	Normale
1979	431.3	-10.73	-2.43%	Normale
1980	511.7	69.67	15.76%	Normale
1981	478.9	36.87	8.34%	Normale
1982	620.3	178.27	40.33%	Excédentaire
1983	418	-24.03	-5.44%	Normale
1984	587.8	145.77	32.98%	Excédentaire
1985	491.4	49.37	11.17%	Normale
1986	470.5	28.47	6.44%	Normale
1987	468.6	26.57	6.01%	Normale
1988	479.6	37.57	8.50%	Normale
1989	399.1	-42.93	-9.71%	Normale
1990	435.1	-6.93	-1.57%	Normale
1991	448.4	6.37	1.44%	Normale
1992	412.6	-29.43	-6.66%	Normale
1993	172.5	-269.53	-60.98%	Déficitaire
1994	403.8	-38.23	-8.65%	Normale
1995	361.2	-80.83	-18.29%	Normale
1996	370.7	-71.33	-16.14%	Normale
1997	643.7	201.67	45.62%	Excédentaire
1998	152.1	-289.93	-65.59%	Déficitaire
1999	529.8	87.77	19.86%	Normale
2000	509.2	67.17	15.20%	Normale

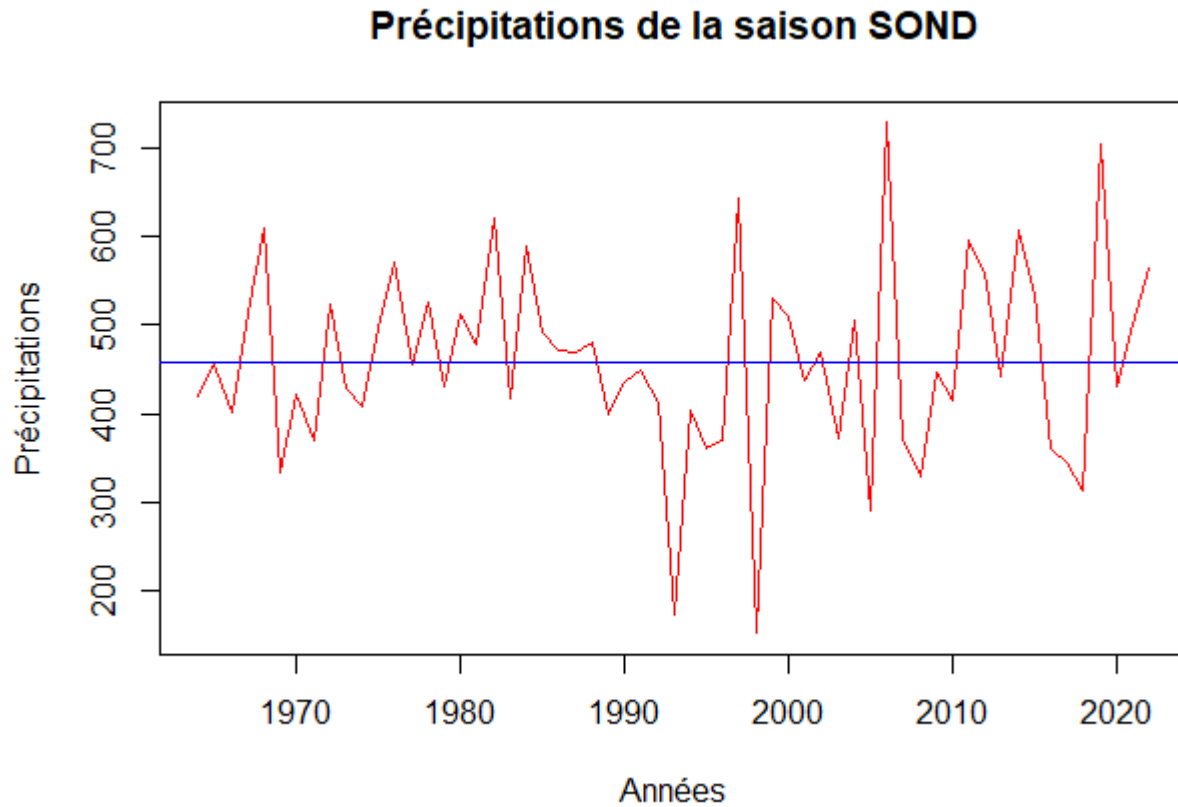
2001	437.5	-4.53	-1.02%	Normale
2002	469	26.97	6.10%	Normale
2003	371.4	-70.63	-15.98%	Normale
2004	505.5	63.47	14.36%	Normale
2005	290.5	-151.53	-34.28%	Déficitaire
2006	727.9	285.87	64.67%	Excédentaire
2007	372.1	-69.93	-15.82%	Normale
2008	328.5	-113.53	-25.68%	Déficitaire
2009	446.1	4.07	0.92%	Normale
2010	415.2	-26.83	-6.07%	Normale
2011	595.3	153.27	34.67%	Excédentaire
2012	559.3	117.27	26.53%	Excédentaire
2013	442.2	0.17	0.04%	Normale
2014	606.8	164.77	37.28%	Excédentaire
2015	534.6	92.57	20.94%	Normale
2016	361.4	-80.63	-18.24%	Normale
2017	345.6	-96.43	-21.82%	Normale
2018	313.1	-128.93	-29.17%	Déficitaire
2019	704.6	262.57	59.40%	Excédentaire
2020	430.3	-11.73	-2.65%	Normale
2021	501.6	59.57	13.48%	Normale
2022	564.9	122.87	27.80%	Excédentaire

**Interprétation :**

- Si l'écart en pourcentage est inférieure à -25% ,les précipitations sont déficitaires
- Si l'écart en pourcentage est entre -25% et 25% ,les précipitations sont normales
- Si l'écart en pourcentage est supérieure à 25% ,les précipitations sont excédentaires

### III.1.2. Analyse graphique des observations

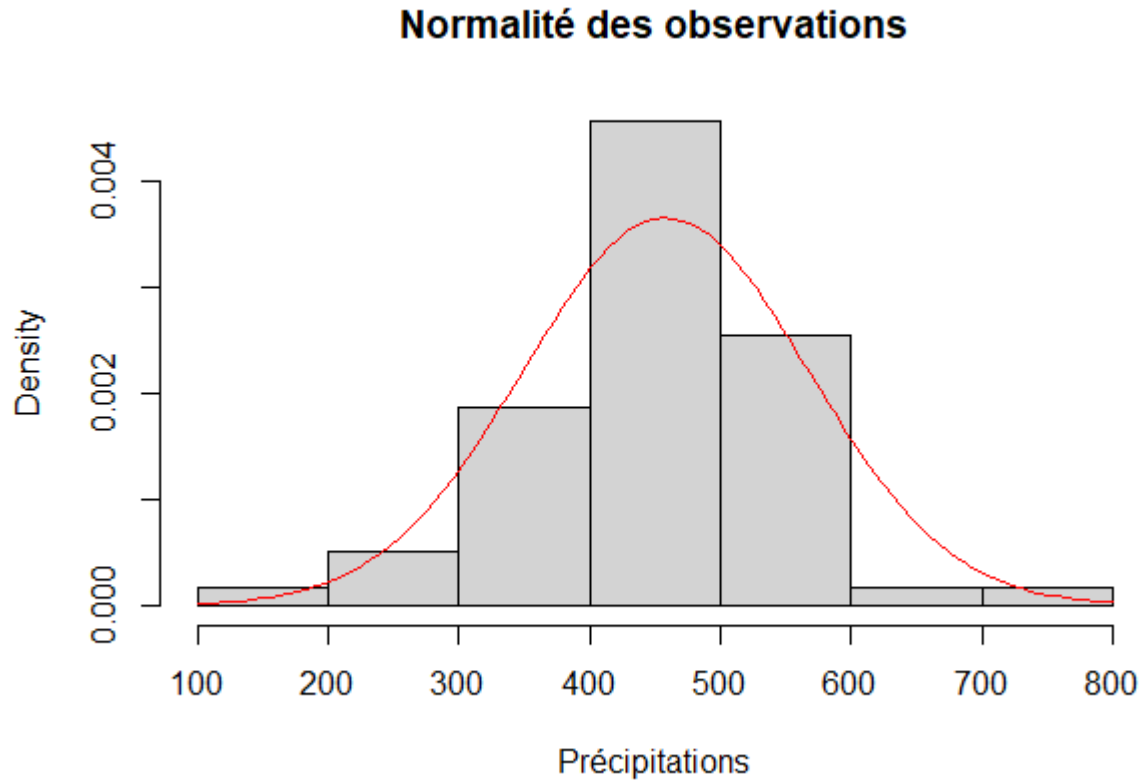
Graphique 1 : Représentation graphique des précipitations de la saison



Les précipitations sont en moyennes de 458,48 mm dans la région de Kirimiro (la barre bleue représente la moyenne). Graphiquement elles suivent une loi normale, on va le vérifier par le test de shapiro-wilk.

### III.2. Présentation des résultats

Graphique 2 : Normalité des observations



Cette figure montre que les observations semblent suivre une loi normale. Nous allons le vérifier par le test de shapiro-wilk.

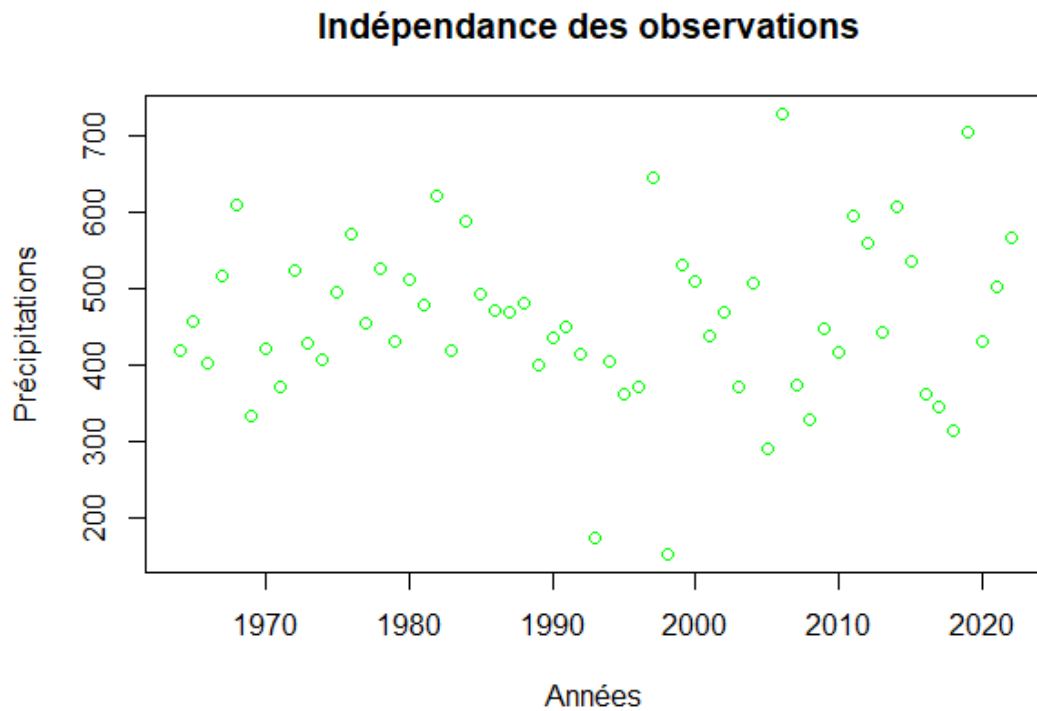
**Test de normalité**

Soient  $H_0$  et  $H_1$  les hypothèses de shapiro-wilk :

- $H_0$  : les observations suivent une loi normale
- $H_1$  : les observations ne suivent pas une loi normale

**Résultats du test de normalité**

Au seuil de 5%, le test de Shapiro-Wilk ne rejette pas l'hypothèse nulle qui stipule que les observations sont normales ( $W = 0.97861$ ,  $p\text{-value} = 0.3839 > 5\%$ ). Les observations sont normales.

**Graphique 3 : Indépendance des observations**

Cette figure montre que les observations semblent être indépendantes.

### **Test d'indépendance**

Soient  $H_0$  et  $H_1$  les hypothèses du test de chi-deux :

- $H_0$  : les observations sont indépendantes
- $H_1$  : les observations sont dépendantes

### **Résultats du test de l'indépendance**

Au seuil de 5%, le test d'indépendance de khi-deux ne rejette pas l'hypothèse nulle qui stipule que les observations sont indépendantes ( $\chi^2 = 1502.2$  ;  $df=58$  ;  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ). Les observations sont indépendantes.

### III.2.1. Résultats de la régression linéaire du modèle

**Tableau 3 : Tableau des résultats de la régression linéaire**

Source de variation	Coefficients estimés	Erreur de variation standard	Statistique de test calculée	P-value
Intercepte du mois de SEPTEMBRE	406.4922	23.8645	17.033	<2e-16
Précipitations de SEPTEMBRE	1.0116	0.3828	2.642	0.0106
Intercepte du mois d'OCTOBRE	315.7190	32.2713	9.783	8.34e-14
Précipitations d'OCTOBRE	1.4461	0.3031	4.772	1.31e-05
Intercepte du mois de NOVEMBRE	249.5134	24.9397	10.005	3.70e-14
Précipitations de NOVEMBRE	1.3275	0.1473	9.013	1.47e-12
Intercepte du mois de DECEMBRE	228.1666	40.1887	5.677	4.83e-07
Précipitations de DECEMBRE	1.5257	0.2556	5.968	1.62e-07

### III.2.2. Ajustement du modèle

**Tableau 4 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de septembre**

Residual standard error: 103.8 on 57 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1091, Adjusted R-squared: 0.09349
F-statistic: 6.982 on 1 and 57 DF, p-value: 0.01061

- La corrélation entre les précipitations du mois de septembre et celles de la saison SOND est faible ( $R^2$  est proche de 0). Le modèle n'est pas performant.



- Le modèle n'a pas de valeur prédictive, il convient de ne pas établir l'intervalle de prédiction.

**Tableau 5 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois d'octobre**

Residual standard error: 92.92 on 57 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.2854,                      Adjusted R-squared: 0.2729 F-statistic: 22.77 on 1 and 57 DF, p-value: 1.312e-05
---

- La corrélation entre les précipitations du mois d'Octobre et celles de la saison SOND est faible ( $R^2$  est proche de 0). Le modèle n'est pas performant.
- Le modèle n'a pas de valeur prédictive, il convient de ne pas établir l'intervalle de prédiction.

**Tableau 6 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de novembre**

Residual standard error: 70.59 on 57 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5876,                      Adjusted R-squared: 0.5804 F-statistic: 81.23 on 1 and 57 DF, p-value: 1.471e-12
---

- La corrélation entre les précipitations du mois de Novembre et celles de la saison SOND ( $R^2=0.5$ ) est bonne. Le modèle est bon.

**Tableau 7 : Résultats de l'ajustement du modèle pour le mois de décembre**

Residual standard error: 86.23 on 57 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.3846,                      Adjusted R-squared: 0.3738 F-statistic: 35.62 on 1 and 57 DF, p-value: 1.621e-07
---

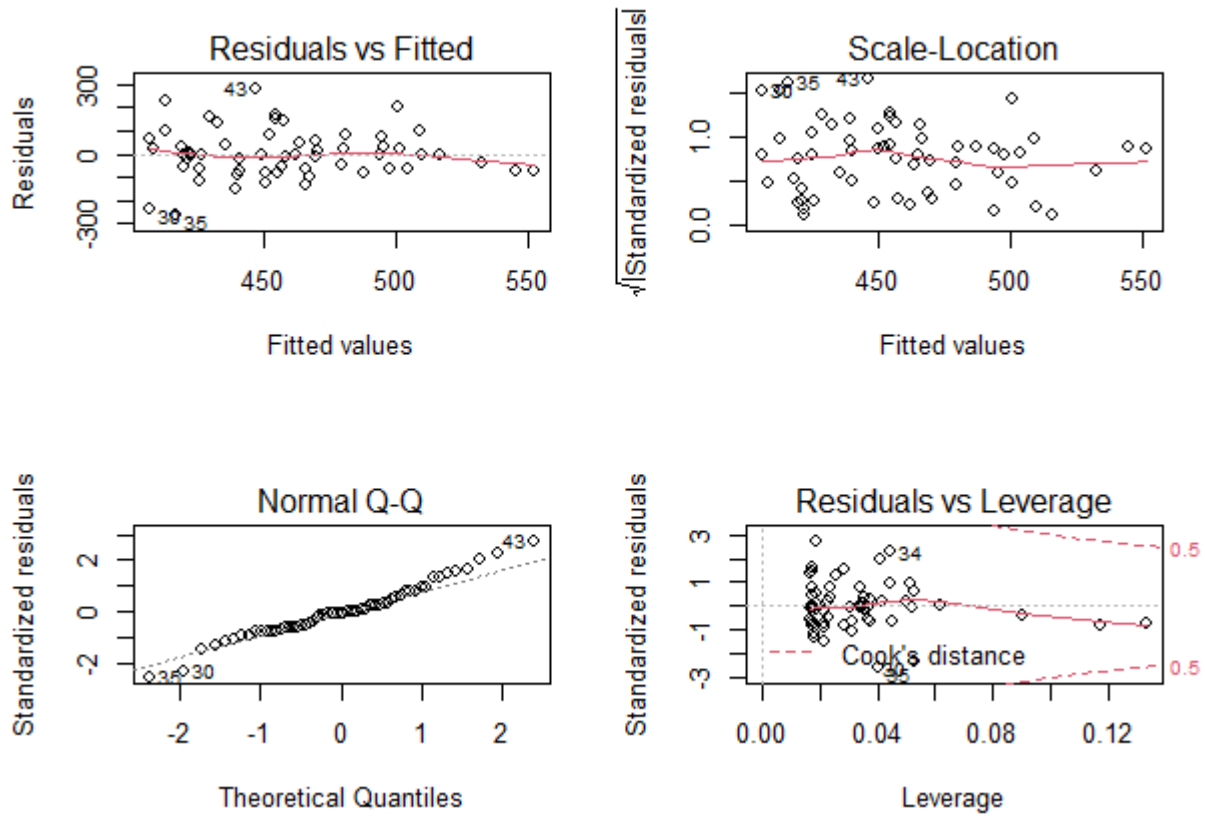
- La corrélation entre les précipitations du mois de Décembre et celles de la saison SOND est faible ( $R^2$  est proche de 0). Le modèle n'est pas performant.
- Le modèle n'a pas de valeur prédictive, il convient de ne pas établir l'intervalle de prédiction.

### **III.3. Validation du modèle**

Les termes d'erreur ont même variance, ils sont indépendants et issus d'une loi normale. Il convient à vérifier graphiquement les conditions suivantes pour interpréter les résultats :

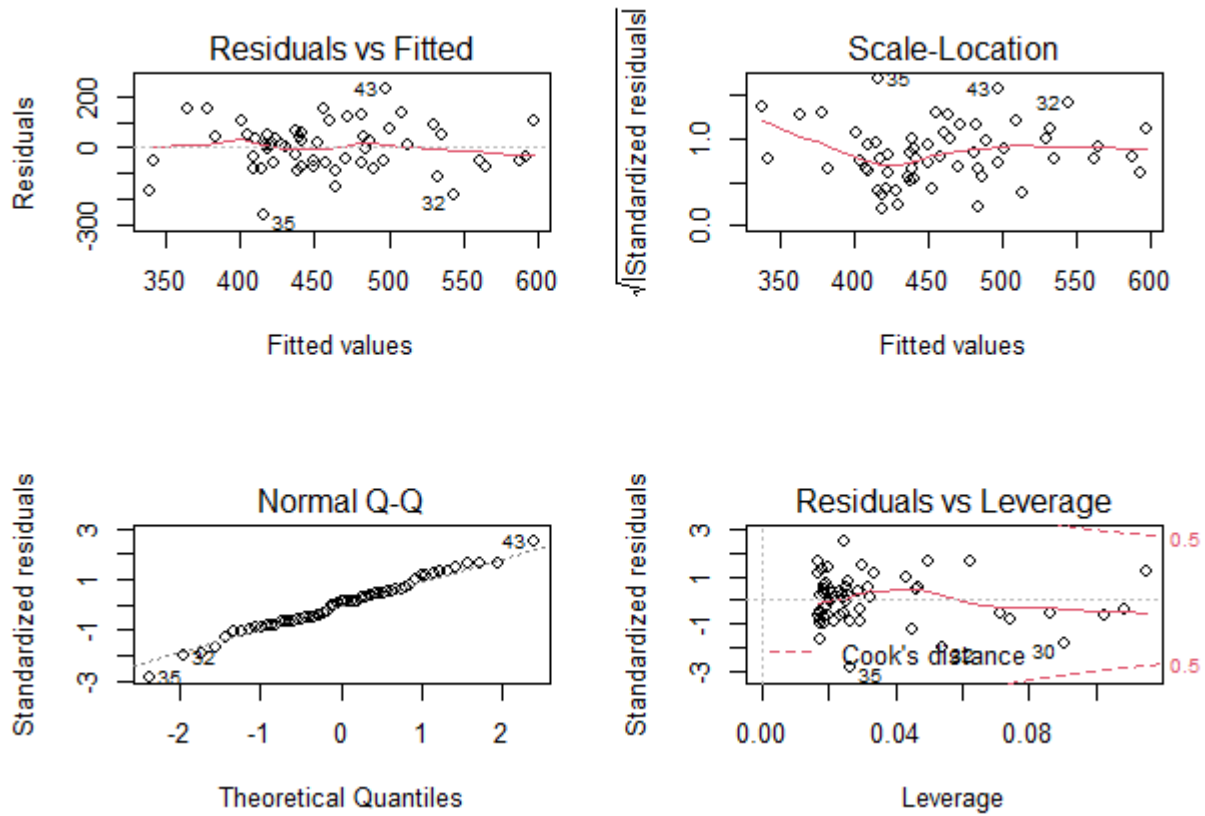
- Indépendance des résidus (Residuals vs Fitted)
- Linéarité de la relation (Scale-Location)
- Normalité des résidus, hypothèse la moins importante car le modèle linéaire est robuste à la normalité et les résidus suivent asymptotiquement une loi normale (Normal Q-Q)
- Homoscédasticité/hétéroscédasticité (Residuals vs Leverage)

Graphique 4 : Validation du modèle (mois de Septembre)



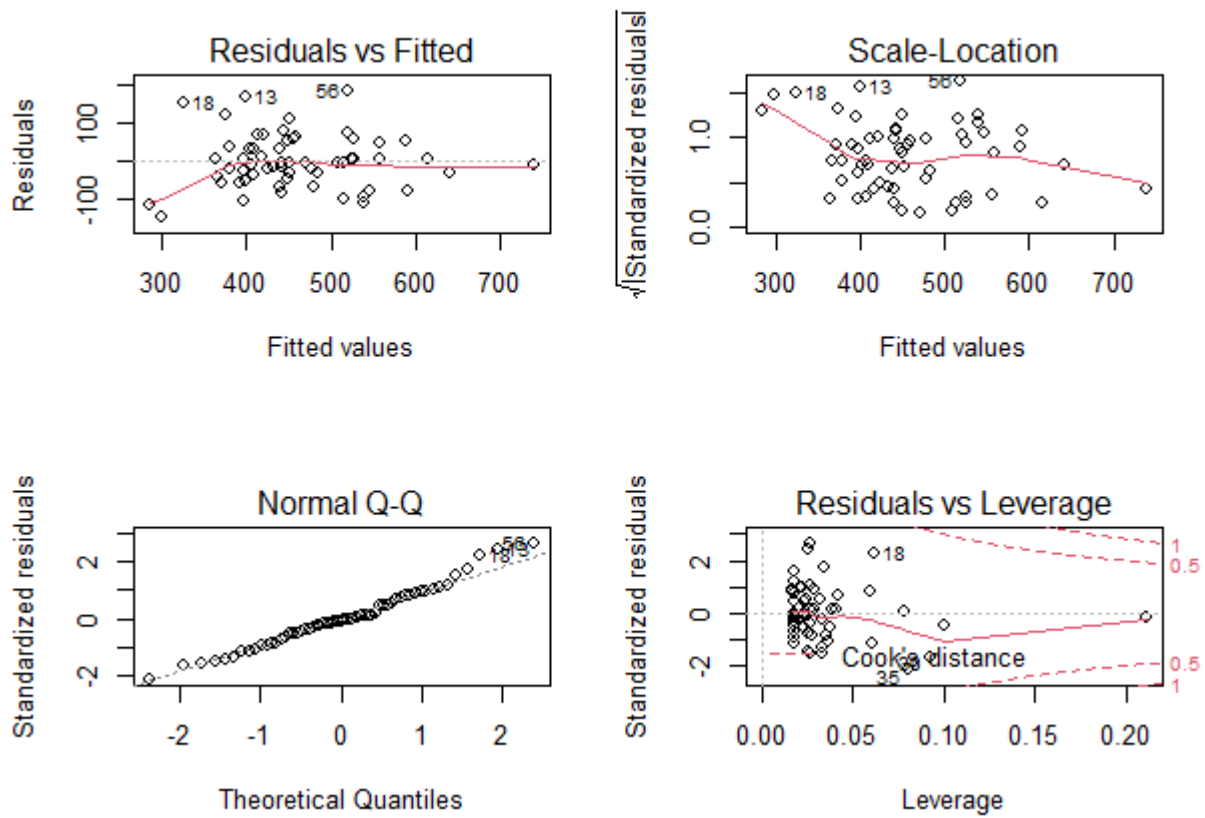
En regardant le graphique 4, les résidus sont linéaires, indépendants, hétéroscédastiques et suivent une loi normale, ce qui sont les propriétés du modèle linéaire.

Graphique 5 : Validation du modèle (mois d'Octobre)



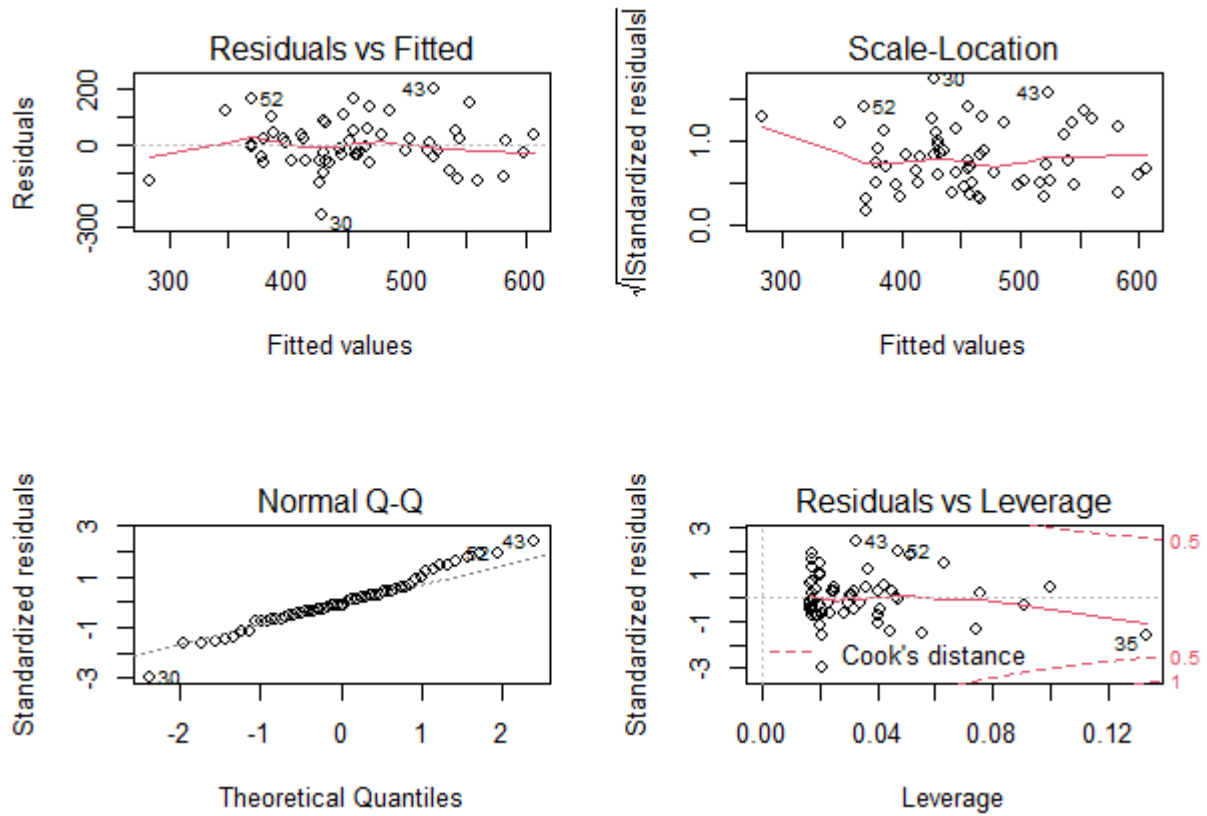
En regardant le graphique 5, les résidus sont linéaires, indépendants, hétéroscédastiques et suivent une loi normale, ce qui sont les propriétés du modèle linéaire.

Graphique 6: Validation du modèle (mois de Novembre)



En regardant le graphique 6, les résidus sont linéaires, indépendants, hétéroscédastiques et suivent une loi normale, ce qui sont les propriétés du modèle linéaire.

Graphique 7 : Validation du modèle (mois de Décembre)



En regardant le graphique 7, les résidus sont linéaires, indépendants, hétéroscédastiques et suivent une loi normale, ce qui sont les propriétés du modèle linéaire.

## **CHAPITRE IV : CONCORDANCE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DES UNITES D'ENSEIGNEMENT AVEC LE STAGE**

Cette partie est consacrée à la présentation des cours qui ont permis la bonne réalisation de ce travail. Elle met en évidence un apport important des connaissances apprises en cours au profit de notre recherche et analyse. Il s'agit entre autre des cours de l'initiation à la méthodologie de recherche, Statistique descriptive, analyse des séries temporelles, méthode statistique, calcul sur R, statistique sectorielle, traitement des données d'enquête et modèle linéaire.

### **IV.1. Initiation à la méthodologie de recherche**

La méthodologie est l'ensemble des règles et des démarches adoptées par un chercheur pendant son travail de recherche pour parvenir à une ou plusieurs conclusions. La méthodologie nous a permis d'avancer dans la réalisation de notre étude, grâce à des méthodes d'enquête et des outils analytiques.

La méthodologie de travail mise en place nous a guidé depuis nos premières recherches jusqu'à la conclusion finale.

### **IV.2. Statistique descriptive**

L'objectif de ce cours est de décrire, c'est-à-dire de résumer ou de représenter les données observées pour mieux les analyser.

La statistique descriptive nous a beaucoup aidé à étudier comment le rendement varie selon les provinces mais en fonction de la culture et c'est grâce aux graphiques et les calculs des résumés numériques donnés par cette analyse qui nous aidée à interpréter les résultats, grâce à ce cours nous avons bien analysé nos données.

### **IV.3. Analyse des séries temporelles**

Le cours de l'analyse des séries temporelles nous a permis d'avoir des connaissances et outils adéquats pour modéliser l'évolution dans le temps des recettes internes ; ainsi qu'identifier les corrélations entre plusieurs variables évoluant dans le temps nous permettant ainsi de prédire les recettes futures.

#### **IV.4. Méthode statistique**

C'est un cours qui nous a fortement été très utile dans la compréhension du fonctionnement des différents tests statistiques que nous avons eu à utiliser, ainsi la compréhension des notions de généralisation des estimations faites sur base d'un échantillon sur sa population d'origine.

#### **IV.5. Calcul sur R**

L'objectif de ce cours est de manipuler les données, de calculer et de préparation des graphiques. R est un environnement intégré de manipulation de données, de calcul et de préparations de graphiques. R nous a fortement aidés de traiter et d'analyser les données que nous avons eu à propos de notre sujet.

#### **IV.6. Statistiques sectorielles**

Le cours de statistique Sectorielle nous a bien épaulés dans nos premiers pas dans le domaine climatologique. Il a été vital compte tenu du milieu de travail et aussi de son contenu surtout dans son Module de la Statistique climatique.

#### **IV.7. Traitement des données d'enquête**

L'objectif de ce cours est d'interpréter les données afin de pouvoir répondre aux questions spécifiques liées aux problématiques.

#### **IV.8. Modèle linéaire**

Modèle linéaire nous a beaucoup aidée lors des analyses pratiques surtout à l'utilisation des tests statistiques en vue de valider les hypothèses de recherche et de dégager les relations qui peuvent exister entre la variable endogène et les variables exogènes.



## **CONCLUSION GENERALE**

Au terme de ce travail, les résultats sont obtenus à partir des données provenant de l'IGEBU dont vous pouvez consulter en annexe du livre de notre rapport, les objectifs fixés qui étaient d'analyser les précipitations de la saison SOND afin de dégager le modèle adéquat sur lequel on pourrait faire des estimations ont été atteints.

Nos hypothèses de recherche ont été affirmées, les précipitations de la saison SOND sont stationnaires c'est-à-dire qu'elles n'évoluent pas dans le temps, elles diffèrent plutôt selon le mois et l'année et il y a corrélation entre les précipitations de l'année 2022 et celles observées au paravent.

## **RECOMMANDATIONS**

Les données de pluie collectées par l'IGEBU sont des informations de base très importante pour les branches de l'agriculture et d'assainissement urbain, et surtout pour la gestion des risques de catastrophes et les interventions d'urgence. Elles servent à la planification de grands systèmes d'évacuation des eaux. À l'instant des résultats obtenus et les observations recueillies auprès de l'IGEBU, ce travail ne peut pas prendre fin sans faire une certaine recommandation :

- ✓ A partir des résultats obtenus, les précipitations sont stationnaires à causes des erreurs dues à l'appareil, de mesure ou d'enregistrement. Il sera bénéfique pour l'IGEBU d'éviter ces erreurs en appliquant complètement la méthodologie automatisée ;
- ✓ Collaborer étroitement avec l'administration pour favoriser un bon climat des affaires ainsi que le ministère de l'environnement pour étudier les stratégies en vue de lutter contre le changement climatique ;
- ✓ Renouveler les appareils de collecte de données climatologiques des stations de l'IGEBU sur tout le territoire burundais. Ce serait un bon départ pour maîtriser les erreurs et assurer la transparence de la collecte, et ainsi pouvoir refaire la collecte qui ne faisait plus à cause des appareils usés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### I. OUVRAGES GENERAUX

1. Bourbonnais R, *Econométrie : Manuel et Exercices corrigés*, DUNOD, 9<sup>ème</sup> édition, Paris, 2015.
2. Sébastien Ballestors, *Modèle linéaire avec R : fonction lm ()*, 2019.

### II. RAPPORTS, REVUES ET AUTRES PUBLICATIONS

1. Organisation Météorologique mondiale, Guide des pratiques climatologiques, Edition 2018.
2. Organisation Météorologique mondiale, Quelques méthodes de l'analyse climatologique climatologiques, Note technique N°81, 1972.
3. Décret de l'IGEBU, Octobre 2014.

### III. THESES ET MEMOIRES

Strengnart, F., Analyse climatique et amélioration des prévisions du brouillard à l'aéroport de Charleroi-Bruxelles sud, *Master en climatologie*, Université de Liège ,2010.

# **ANNEXES**

### Données des précipitations de la saison SOND de 1964-2022

Années	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
1964	15.5	114.8	137.8	150.7
1965	55.2	74.4	171.5	155.5
1966	58.6	92.5	150.7	99.2
1967	108.7	118.3	155.7	132.5
1968	47.6	96.8	295.2	169.1
1969	58.9	68.6	107.1	98.4
1970	15.8	46.3	152.4	206.7
1971	33.7	86.5	119.2	130.3
1972	93.8	116.2	157.7	156.3
1973	72.3	106.9	144.3	104.6
1974	80.3	83.6	132	111.4
1975	124.9	86.9	94	189.6
1976	86.9	127.9	113	242.9
1977	62.4	61.5	176.1	155
1978	62.6	136.7	146.1	180.3
1979	2.1	69.7	218.4	141.1
1980	56.7	33.4	257.7	163.9
1981	143.9	85.8	56.6	192.6
1982	47.5	148.4	275.5	148.9
1983	19.7	150.1	98.3	149.9
1984	22.6	151.9	208.7	204.6
1985	86.5	172.2	129.1	103.6
1986	29	70.7	223.7	147.1
1987	137.1	86.8	166.3	78.4
1988	63.4	116.5	122.6	177.1
1989	50	98.2	118.5	132.4
1990	90.5	79.2	144	121.4
1991	51	125.1	151.6	120.7
1992	13.1	84.1	173	142.4
1993	0	15.5	26.2	130.8
1994	14.6	120.2	111	158
1995	13.1	157.9	97.6	92.6
1996	59.9	64.3	110.8	135.7
1997	6.5	133.5	255.7	248
1998	9.9	69.2	37.2	35.8
1999	87.9	43.2	207.5	191.2
2000	6.4	170.1	199.7	133
2001	96.6	73.2	115.9	151.8
2002	0	94.7	142.5	231.8

## II

2003	48.1	103.1	86.3	133.9
2004	102.3	59.1	194.7	149.4
2005	32.7	17.9	110.3	129.6
2006	39.8	125.7	368.9	193.5
2007	43.4	92.7	143.1	92.9
2008	43.6	64.6	88.3	132
2009	12.3	65.3	218	150.5
2010	33.8	71	200.4	110
2011	50.3	108.1	204.2	232.7
2012	73.4	191.4	151.2	143.3
2013	42	77.9	120.2	202.1
2014	101.6	115	232.6	157.6
2015	45.4	188.4	208.5	92.3
2016	19	74.1	145.4	122.9
2017	33.1	85.3	112.3	114.9
2018	19	102.5	91.9	99.7
2019	93.2	194.9	203.1	213.4
2020	15.3	71.5	126.1	217.4
2021	72.7	84.1	149.8	195
2022	25.8	100.2	231.1	207.8