

Chapitre 16 : Description de l'anomalie de précipitation de l'année 2016-2017

Dans ce Chapitre, nous allons Visualiser les caractéristiques de la série, observer la variabilité et la tendance des précipitations sur la station (durant toute la période de base, ensuite sur la période d'étude en utilisant les normales) et définir l'anomalie de la période d'étude. Notons à partir d'ici, nous utiliserons les séries ajustées pour des résultats optimaux.

Section 1 Analyse statistique des séries de précipitations

Cette section présente toutes les propriétés de statistiques descriptives des séries mensuelles. Au total, nous avons 786 mois, la présentation des valeurs mensuelles et saisonnières de la période d'étude se répertorie dans les Tableaux 18, 19, 20 (*Source* : Auteur). On comparera les propriétés communes avec celles de la période d'étude.

Tableau 18 : Cumuls mensuels de la période d'étude en mm

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2016	191.7	202.9	198.5	11.3	32.4	12.6	4.7	0.2	0.4	53.2	70.9	42.0
2017	93.8	213.3	207.6	63.7	0.0	13.5						

Tableau 19 : Cumuls saisonniers de la période d'étude en mm

Saison	Saison des pluies	Saison sèche
2015/16	1099.75	103.5
2016/17	691.25	

Tableau 20 : Cumuls sur 3 mois consécutifs de la période d'étude en mm

Saison	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF
2016/17	593	412.65	242.15	56.3	49.7	17.5	5.3	53.8	124.45	166.05	206.65	349.1
2017/18	514.7	484.6	271.3	77.2								

I. Visualisation qualitative des données pluviométriques

En vue de l'organisation des données, la première étape consiste à se forger une idée générale de l'ensemble en visualisant la distribution des fréquences. La deuxième étape consiste à grouper les données en classes ou intervalles, les quartiles.

1. La distribution des fréquences

La valeur approximative du nombre k de classes est égale à 10, en appliquant la formule de Sturges, soit des déciles. L'étendue des observations est égale à 808,7 mm qui est la valeur maximale des cumuls mensuels. L'amplitude des classes est égale à E/k , soit 80,87 mm. Le tableau 21, nous indique la distribution des fréquences de la série 1952-2017. La Figure 49 montre les histogrammes avec la courbe gaussienne en trait rouge, à première vue nous avons une distribution unimodale fortement asymétrique.

Tableau 21 : distribution des fréquences des déciles.

Source : Auteur

Déciles	N	f_i (%)	N_i	F_i (%)	Centre des déciles (mm)
1	457	58.1	457	58.1	40.4
2	110	14.0	567	72.1	121.3
3	89	11.3	656	83.5	202.2
4	63	8.0	719	91.5	283.1
5	39	5.0	758	96.4	364.0
6	15	1.9	773	98.3	444.8
7	5	0.6	778	99.0	525.7
8	5	0.6	783	99.6	606.6
9	1	0.1	784	99.7	687.5
10	2	0.3	786	100.0	768.4

A partir de la figure 46 et du tableau 21, On tire les valeurs statistiques suivantes :

- La médiane = 1^{er} Décile, cela signifie que la moitié des valeurs s’y trouve. Elle porte à elle seule 58,1 % des observations entre 0 et 80,87 mm. On l’appelle aussi la classe modale.
- Le coefficient de Skewness = 1,78, la distribution présente une forte asymétrie positive ; ce qui implique que les observations sont bornées vers les valeurs basses.

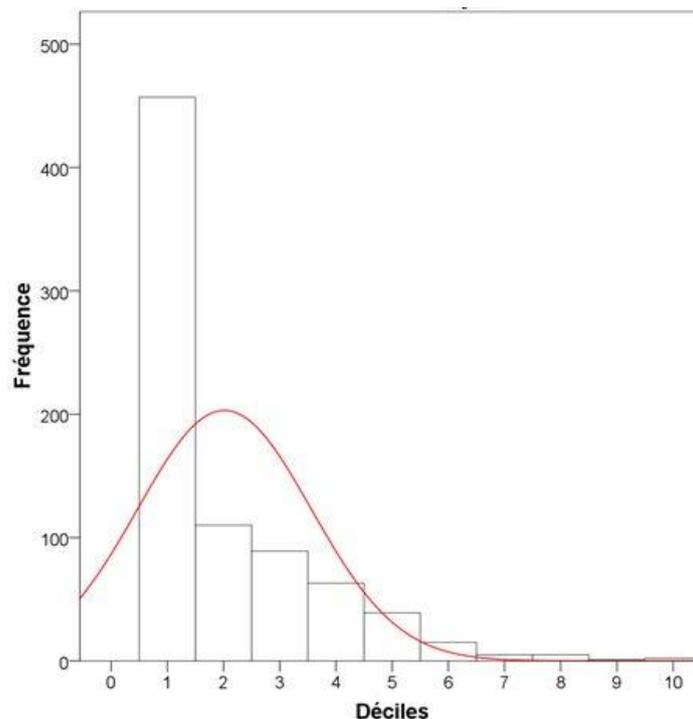


Figure 46: Histogramme de la distribution cumulée avec la courbe normale des Déciles.

Source : Auteur

- Le coefficient de Kurtosis = 3,409, la distribution est leptokurtique, plus pointue qu’une distribution gaussienne. Cette propriété insinue que la plupart des observations se concentre fortement vers une valeur particulière qui est la moyenne.
- Les valeurs extrêmes sont présentées dans le tableau 22, il contient les extrêmes inférieurs et supérieurs (à gauche ou à droite de la courbe de distribution). Ceci fait la particularité et la puissance de

SPSS, la fonction Explorer identifie les 5 plus grandes (petites) valeurs de la variable décrite en analysant la distribution empirique de toute la série. Ce sont les valeurs se situant au-delà de $\pm 2,698\sigma$ de la distribution, moins de 5% de toutes les valeurs.

Tableau 22 : Valeurs extrêmes définies sur l'ensemble de la série de base (valeur en mm).

Source : Auteur

Numéro de l'observation	Date par mois	Valeur	Rang	
361	Janvier 1982	808.2	10 ^{ème} Décile	<i>Supérieures</i>
505	Janvier 1994	739.9	10 ^{ème} Décile	
421	Janvier 1987	650.0	9 ^{ème} Décile	
613	Janvier 2003	617.2	8 ^{ème} Décile	
87	Mars 1959	603.5	8 ^{ème} Décile	
785	Mai 2017	0.0	1 ^{er} Décile	<i>Inférieures</i>
739	Juillet 2013	0.0	1 ^{er} Décile	
715	Juillet 2011	0.0	1 ^{er} Décile	
714	Juin 2011	0.0	1 ^{er} Décile	
597	Septembre 2001	0.0	1 ^{er} Décile	

La distribution des fréquences nous donne une idée de la répartition des observations dans toute la série qui est à la fois très éparse et convergente vers les valeurs basses. Les valeurs mensuelles de notre période d'étude se situe dans les 3 premiers déciles. Et apparemment, les valeurs extrêmes se situe en moyenne au 1^{er} Décile (inférieure), et aux 3 dernier Déciles (supérieure). Les valeurs extrêmes inférieures s'accumulent durant la dernière décennie, ceci explique les valeurs des tendances linaires calculées dans le test d'homogénéisation qui implique les précipitations de la station d'Antananarivo DMH ont une tendance à la baisse.

2. Les quartiles de précipitations

Ici, on assimilera les quartiles au box-plot de toute la série à la figure 47. Les niveaux caractéristiques des centiles au tableau 24 nous permettent d'interpréter le Box-plot.

Tableau 23 : Niveaux caractéristiques des centiles de précipitations sur les Déciles.

Source : Auteur

Centiles					
Rang	5 ^{ème}	25 ^{ème}	50 ^{ème}	75 ^{ème}	95 ^{ème}
Décile	1 ^{er}	1 ^{er}	1 ^{er}	3 ^{ème}	5 ^{ème}

Sur la figure 47, on peut tirer les informations suivantes. Ici, la médiane qui divise la série en deux partie égale est confondue avec l'extrémité inférieure de la Box-plot, ce qui suppose une distribution asymétrique vers les valeurs basses (semblable à l'histogramme), elle correspond au 50^{ème} centile qui est égal à 46,837 mm et au 1^{er} Décile.

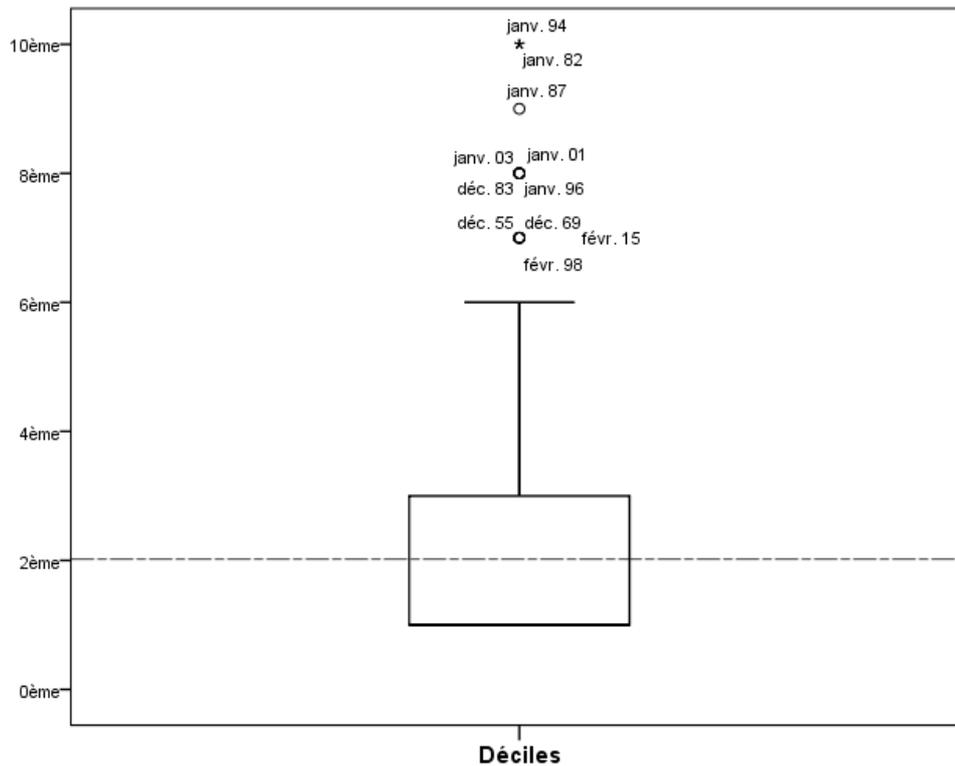


Figure 47 : Représentation Boîte à moustache des Déciles.

Source : Auteur

La longueur verticale de la boîte correspond à l'intervalle interquartile qui se situe entre le 25^{ème} et 75^{ème} centile, [6,682mm – 185,212mm] ; cet intervalle nous donne l'idée de la variabilité des précipitations, ici, on observe une diversité moyenne sur toute la série. Les valeurs aux extrémités des moustaches sont voisines du 5^{ème} et 95^{ème} centile, respectivement 0 et 575,891 mm. Le trait en pointillé indique la position de la moyenne sur toute la série, elle tend à se positionner vers le 3^{ème} quartile, ceci implique qu'elle est influencée par la présence de valeurs extrêmes supérieures dans la série. Elle sépare aussi les périodes humides des périodes sèches, c'est le « Module », sa valeur est 109.128 mm, cela veut dire que les valeurs inférieures (supérieures) à elle sont les périodes sèches (humides). Remarquons aussi que la moyenne tend à se positionner vers les valeurs supérieures, or plus de la moitié des valeurs sont inférieure à 80,87 mm, cela signifie la présence de plusieurs valeurs extrêmes supérieures au 3^{ème} quartile qui influent sur elle.

Un des particularités des Box-plot est la détection des valeurs extrêmes, sur la Figure 50, on observe deux types de valeurs extrêmes à partir de la bordure supérieure :

– Les valeurs éloignées qui se situent entre 1,5 et 3 longueurs de boîte par ordre croissant, codés (O) : Février 1998, Décembre 1969, décembre 1955, Février 2015, Décembre 1983, Janvier 1996, Janvier 2001 et Janvier 2003.

– Les valeurs extrêmes qui se situent à plus de 3 longueurs de boîte par ordre croissant, codés (*) : Janvier 1994 et Janvier 1982.

II. Les caractéristiques des précipitations mensuelles

Dans ce paragraphe, on va étudier les caractéristiques statistiques descriptive des valeurs mensuelles en caractérisant la période d'étude.

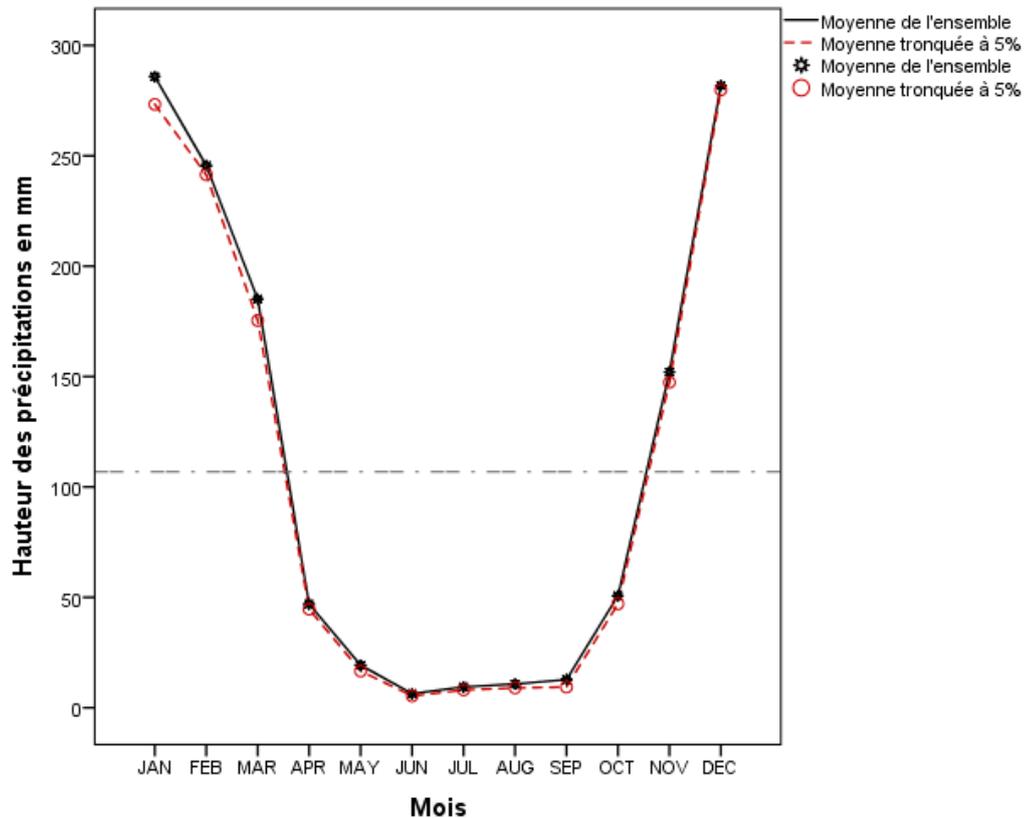


Figure 48 : Courbes des moyennes mensuelles de l'ensemble et tronquée à 5% de la série de base.

Source : Auteur

Les statistiques descriptives des valeurs mensuelles sont répertoriées dans le tableau 26, qui contribue à l'interprétation des figure 48, 49 et 50. Tout d'abord, les caractéristiques à tendance centrale. Ici, on a calculé deux moyennes différentes : la moyenne de l'ensemble en trait noire avec les astérisques qui indiquent la position de la valeur chaque mois et la moyenne tronquée à 5 % (Moyenne calculée en enlevant 5 % de chaque côté de la distribution) en trait pointillé rouge avec les points ronds qui indiquent la position de la valeur chaque mois sur la Figure 48. Cette dernière est plus précise puisqu'elle est moins exposée aux valeurs extrêmes. La médiane divise la série en deux partie égale en effectif.

En observant les courbes des moyennes mensuelles superposées sur la figure 48, on remarque des écarts significatifs sur les mois de Janvier (12,6 mm) et Mars (9mm), les autres décalent peu entre 1 à 4 mm. Ceci implique l'intensité ou la fréquence des valeurs extrêmes positives élevées sur ces périodes (causes des précipitations abondantes qui entraînent des risques de crues et d'inondations). En effet, la valeur de la variance et de l'écart-type élevée, ainsi que les maximums, les minimum et l'étendue dans le Tableau 24 justifie ce propos. Le trait en pointillé gris sur la Figure 48 est le module, elle met en évidence la répartition de la saison humide avec le début de la saison des pluies (sur l'intersection de la droite et de la courbe à gauche de la figure), de mi-octobre à mi-Avril et de la saison sèche, fin de la saison des pluies (à l'intersection droite), de mi-Avril à mi-October de l'année suivante.

L'étendue moyenne entre les 2 saisons est très élevée, entre 267,96 à 279,5 mm, supérieur à la moyenne tronquée. Par conséquent, les ressources en eau annuelles dépendent de l'abondance ou du déficit des précipitations durant la saison humide.

Tableau 24 : Statistique descriptives des valeurs mensuelles de la série de base.

Source : Auteur

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Moyenne	285.9	245.6	185.1	47.0	19.3	6.4	9.4	10.7	12.7	50.7	151.9	281.8
Moyenne tronquée à 5%	273.3	241.391	175.377	44.621	16.586	5.34	8.032	8.956	9.351	47.058	147.351	279.89
Médiane	260.1	220.4	163.7	42.3	11.8	4.6	5.7	7.0	5.0	47.0	149.5	281.8
Variance	25225.2	9730.3	11954.0	1362.2	483.4	53.1	123.0	166.8	427.3	1859.3	6895.3	12887.2
Ecart type	158.8	98.6	109.3	36.9	22.0	7.3	11.1	12.9	20.7	43.1	83.0	113.5
Minimum	72.7	60.0	32.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	9.7	42.0
Maximum	808.7	509.2	603.5	145.7	109.7	38.6	52.3	64.0	112.8	197.3	407.2	576.5
Plage	736.0	449.2	571.0	145.6	109.7	38.6	52.3	63.9	112.8	197.3	397.5	534.5
Plage interquartile	183.6	154.9	114.7	57.2	21.7	6.6	8.7	9.4	11.5	48.2	115.5	157.3
Asymétrie	1.2	0.7	1.5	0.8	2.0	2.6	2.1	2.4	3.1	1.3	0.8	0.2
Kurtosis	1.7	-0.1	3.4	0.0	4.5	8.5	4.3	6.8	10.8	1.7	0.9	-0.2

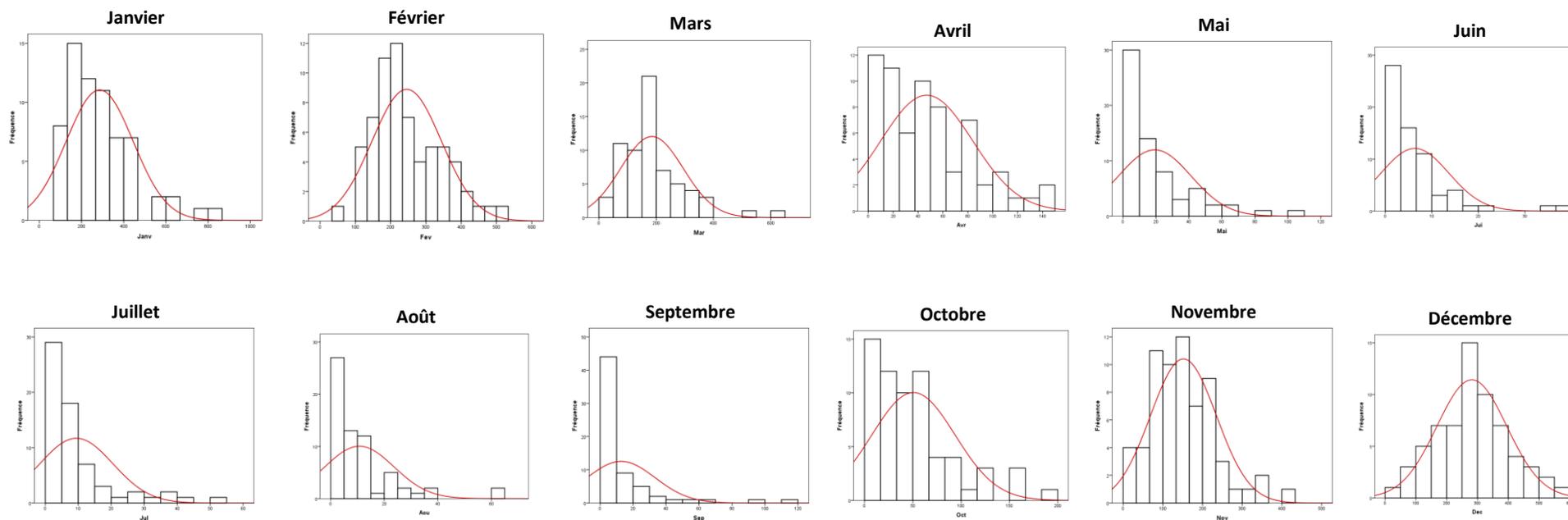


Figure 49 : Histogramme de la distribution cumulée avec la courbe normale des hauteurs mensuelles de précipitations.

Source : Auteur

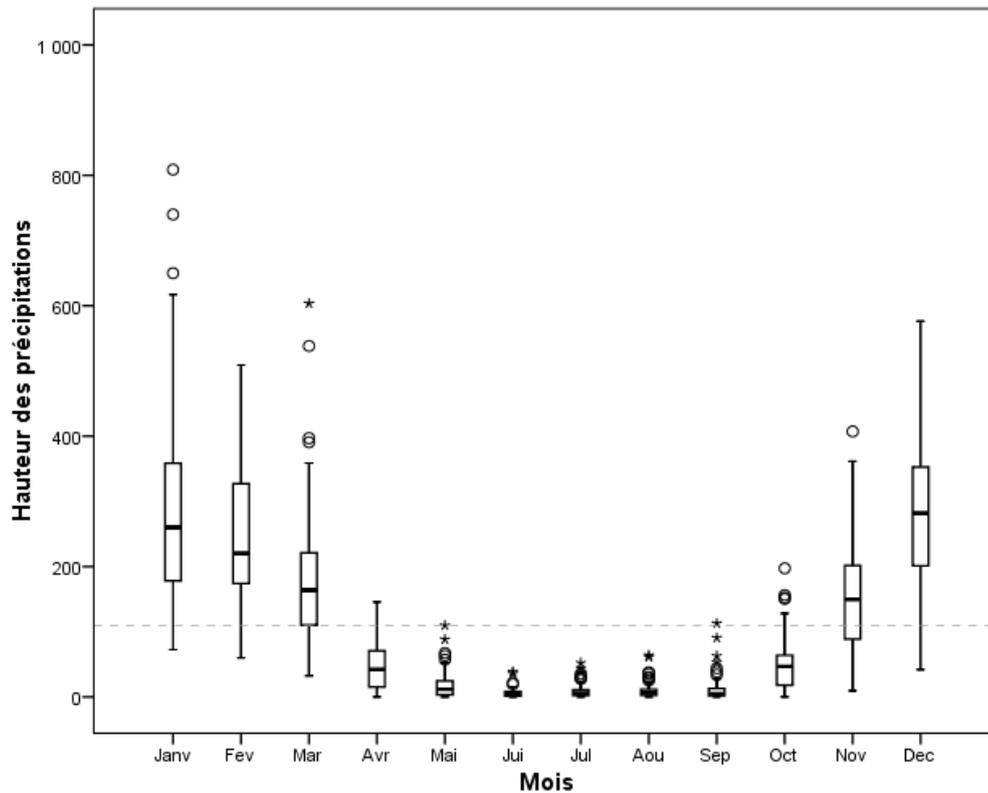


Figure 50 : Représentation Boîte à moustache de chaque mois sur toute la série.

Source : Auteur

Les caractéristiques de dispersion, telles que la variance et l'écart-type dans le tableau 24 sont mises en évidence sur la figure 50 qui représente les Box-plot de chaque mois en moyenne avec les valeurs de toute la série (le trait en pointillé gris a la même signification que dans la figure 48, le module, ceci est valable pour tous les graphiques présentant les mêmes fonctions sur toute l'étude). Les valeurs élevées de celles-ci pendant la saison humide indiquent que la plupart des valeurs s'écartent de part et d'autre de la moyenne (hétérogénéité), tandis que durant la saison sèche les valeurs sont homogènes (tous proche de la moyenne) et se concentrent vers les valeurs basses ; la longueur des boîtes à moustaches sur la Figure 50, nous indique cette différence de variabilité, très étendue durant la saison humide et très monotone pendant la saison sèche.

La figure 49, nous montre les hauteurs moyenne mensuelles de précipitations en fonction de la distribution des fréquences cumulées et de la courbe de Gauss. En analysant les valeurs des coefficients d'asymétrie et de Kurtosis dans le tableau 24, on peut estimer le degré de normalité de chaque mois. Globalement, les mois de la saison humide présentent une grande affinité à un distribution normale, par contre les mois de la saison sèche se caractérisent par une asymétrie fortement positive ainsi qu'un leptokurtisme extrême, c'est-à-dire qu'ils sont très différents de la distribution normale. Cependant puisque toute les formes de distribution sont voisines de cette loi normale et que la taille de notre échantillon est suffisamment grande, nous pouvons caractériser la position des hauteurs de précipitations dans toute la distribution par rapport à l'écart-type en fonction de la densité de probabilité. Remarquons qu'en fonction des coefficients dans le tableau 24 cette normalité est presque parfait au mois Novembre,

Décembre, Janvier, Février et Avril. A partir de cette loi, nous allons détecter les valeurs extrêmes au paragraphe suivant.

Tableau 25 : Niveaux caractéristiques des centiles de précipitations par mois (valeurs en mm).

Source : Auteur

Centiles mensuelles					
Rang	5^{ème}	25^{ème}	50^{ème}	75^{ème}	95^{ème}
Janvier	79.620	175.50	260.05	359.10	638.520
Février	109.830	172.98	220.35	327.85	428.005
Mars	51.490	108.18	163.70	222.85	394.730
Avril	0.460	15.35	42.30	72.58	124.435
Mai	1.100	3.28	11.75	24.93	66.035
Juin	0.330	1.75	4.63	8.33	21.030
Juillet	0.300	2.40	5.70	11.11	36.580
Août	0.200	2.65	7.00	12.00	37.270
Septembre	0.030	1.90	5.00	13.35	59.860
Octobre	0.130	17.64	47.00	65.85	151.730
Novembre	24.647	88.60	149.50	204.10	342.530
Décembre	96.178	198.05	281.80	355.35	494.290

L'intervalle interquartile la distance entre le bord supérieur et le bord inférieure de chaque boîte représente respectivement le 25^{ème} et le 75^{ème} centiles au Tableau 25, elle varie en fonction des saisons. 50 % des valeurs s'y trouve et diviser en deux, 25 % au-dessus de la médiane et 25 % sous la médiane. Les extrémités inférieures (supérieures) de la boîte, les moustaches contiennent respectivement le 5^{ème} (95^{ème}) centiles et la médiane le 50^{ème} centiles dans le tableau 25 (valable pour toutes les représentations en Box-Plot).

1. Comparaison avec les moyennes mensuelles

En comparant les valeurs mensuelles de la période d'étude à la moyenne de toute la série, on constate qu'elles sont tous inférieurs à la moyenne sauf les mois de Mars et Juin 2016-2017, Avril 2017, Mai 2016 et Octobre 2016. De ce fait, on peut dire que notre période présente un déficit pluviométrique. Cette anomalie est très marquée surtout le mois de Décembre 2016 et Janvier 2017 avec un écart plus de $\frac{3}{4}$ de la moyenne.

Ces faits sont observés sur les figure 51 et 52, la première montre la tendance des changements par rapport à la moyenne par l'intermédiaire de la courbe. La deuxième met en évidence les écarts par rapport à la moyenne par l'intermédiaire des lignes de chute, remarquez la chute violente des valeurs mensuelles sur les extrémités du graphique, le mois de Novembre-Décembre 2016 et Janvier 2017. Ici, on constate aussi que la tendance de chute a déjà commencé en début de période le mois de Janvier 2016, Elle s'accrue l'année suivante.

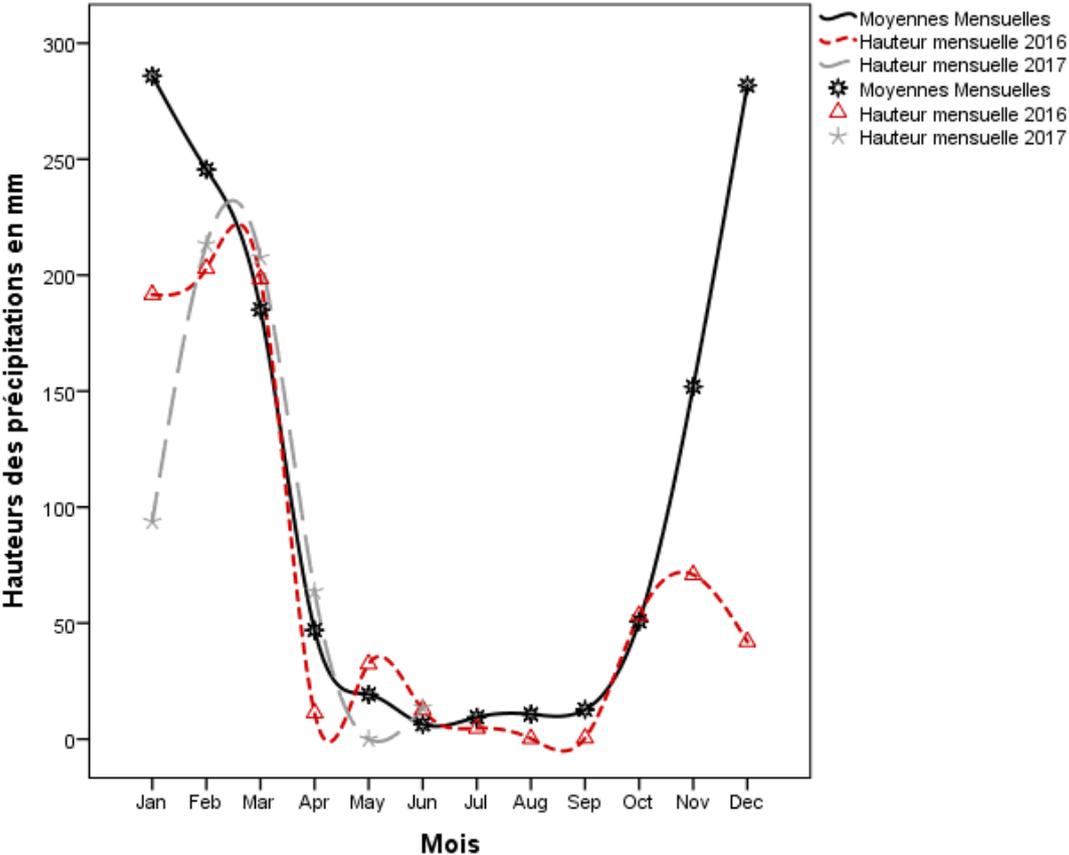


Figure 51 : Courbe en splines des précipitations mensuelles de la période d'étude par rapport à la moyenne mensuelle de la série 1952-Juin2017.

Source : Auteur

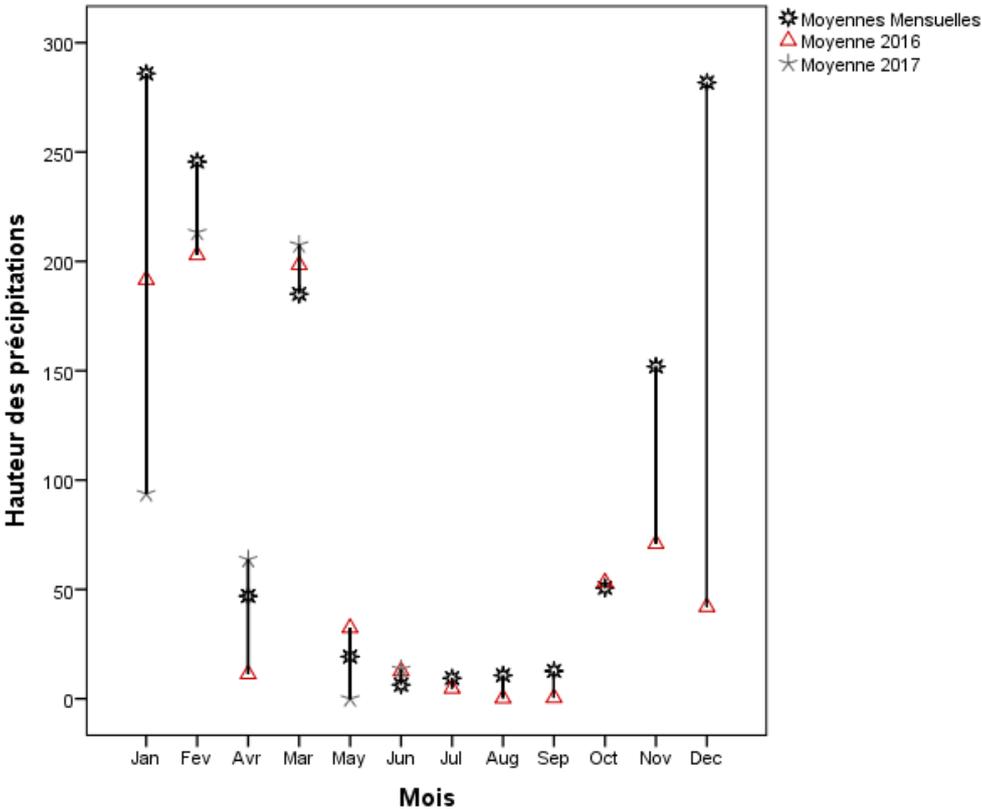


Figure 52 : Graphique en ligne de chute montrant les écarts par rapport aux moyennes mensuelles de la période d'étude.

Source : Auteur

2. Les valeurs extrêmes mensuelles

Dans ce paragraphe, nous allons présenter les valeurs extrêmes identifiées à partir de la distribution normale. Ce sont les 5 plus petites (grandes) valeurs situées aux extrémités de la distribution à peu près au-delà de $\pm 2.698\sigma$, soient 1,3% des valeurs.

Le tableau 26, présente la répartition des valeurs extrêmes suivant les mois avec les valeurs en mm sur chaque année du mois concerné, ainsi que les valeurs codée (O) et (*) sur le Box-plot par rang. Comme nous l'avons dit en début de chapitre, on se focalisera sur la période d'étude. Les cases en gris claires sur le tableau indiquent les valeurs extrêmes respectives de la période étudiée :

- Le mois de Janvier 2017 avec une hauteur de 93,8 mm
- Mai 2017 avec 0,0 mm
- Août 2016 avec 0,2 mm
- Septembre 2016 avec 0,4 mm
- Décembre 2016 avec 42,0 mm

Tableau 26 : Valeurs extrêmes de la distribution normale des précipitations mensuelles (valeurs en mm).

Source : Auteur

		Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
		Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur
Rang Supérieure	1	1982	808.7	2015	509.2	1959	603.5	2011	145.7	2002	109.7	1963	38.6
	2	1994	739.9	1998	490.5	1953	538.3	2012	138.6	1966	88.4	1974	35.6
	3	1987	650.0	1984	441.2	1957	396.9	1974	130.7	1981	67.4	1994	21.8
	4	2003	617.2	1977	403.5	1961	390.7	1978	112.8	1978	63.5	1958	19.6
	5	1996	599.8	1975	402.9	1980	358.6	1961	109.6	1974	57.2	1964	15.7
Rang Inférieure	1	1957	72.7	1961	60.0	1989	32.5	2014	0.1	2017	0.0	2011	0.0
	2	1976	76.1	1999	104.1	2001	45.5	1973	0.2	1987	0.4	1961	0.1
	3	1962	77.1	1953	108.9	1976	49.6	2015	0.4	1973	0.6	1989	0.3
	4	1986	85.5	1978	112.0	2008	55.9	1996	0.6	1984	1.1	1996	0.4
	5	2017	93.8	2003	122.7	1969	62.5	2000	4.0	1964	1,1	1965	0.5

		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
		Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur	Année	Valeur
Rang Supérieure	1	1956	52.3	1965	64.0	1958	112.8	1986	197.3	1979	407.2	1983	576.5
	2	1978	44.2	1966	61.4	1978	90.6	1980	156.3	1962	361.5	1955	503.9
	3	1964	37.0	1976	37.9	1982	62.8	1963	152.3	1975	358.7	1969	501.4
	4	1958	35.6	2001	35.8	2008	53.0	1976	150.4	1984	304.8	1976	477.7
	5	1965	31.7	1981	30.8	1952	44.0	1981	128.2	1967	272.7	1963	467.5
Rang Inférieure	1	2013	0.0	2013	0.1	2001	0.0	1995	0.0	1996	9.7	2016	42.0
	2	2011	0.0	2016	0.2	1998	0.0	1952	0.0	1994	12.8	1992	81.9
	3	1991	0.3	2008	0.2	1955	0.0	1968	0.1	1998	21.8	1999	95.7
	4	1962	0.3	2007	0.2	2013	0.1	1954	0.2	2001	31.4	2008	97.4
	5	1952	0.7	1968	0.3	2016	0.4	2005	0.6	1995	42.9	1982	118.8

En premier lieu, ces valeurs appartiennent toutes au rang inférieur de la distribution de chaque mois, on a en tout 5 sur 12 mois de déficit extrême de précipitations, la plus marquée est le mois de Décembre 2016 classé en 1^{er} rang. Ceux-ci engendreront évidemment des sécheresses extrêmes qu'on démontrera et caractérisera dans les prochains chapitres. On calculera aussi les probabilités d'apparition ainsi que la période de retour au dans les prochains paragraphes en les calculant ensemble avec les extrêmes sur 3-mois consécutifs et saisonnières.

III. Les caractéristiques des cumuls de précipitations sur 3 mois consécutifs

Dans ce paragraphe, on va étudier les caractéristiques statistiques descriptive des cumuls de précipitations sur 3-mois consécutif en moyenne sur toute la série en caractérisant la période d'étude. Les interprétations sont semblables aux précipitations mensuelles, donc, nous soulignerons juste certaines particularités qu'on discutera évidemment. Nous utiliserons surtout cette approche comme méthode de lissage pour éliminer les fluctuations irrégulières.

Les statistiques descriptives des valeurs mensuelles sont répertoriées dans le tableau 27-page 123, qui contribue à l'interprétation des figure 53, 54 et 55 comme les précipitations mensuelles. On peut assimiler cette procédure comme un lissage par moyenne mobile d'ordre 3 des précipitations mensuelles, c'est-à-dire on a remplacé les valeurs mensuelles par la moyenne pondérée des 3 mois sur le voisinage du mois considéré. Notons que les valeurs étudiées sont des hauteurs de précipitations, par conséquent, la moyenne pondérée est égale à la somme pondérée des hauteurs des 3 mois consécutifs.

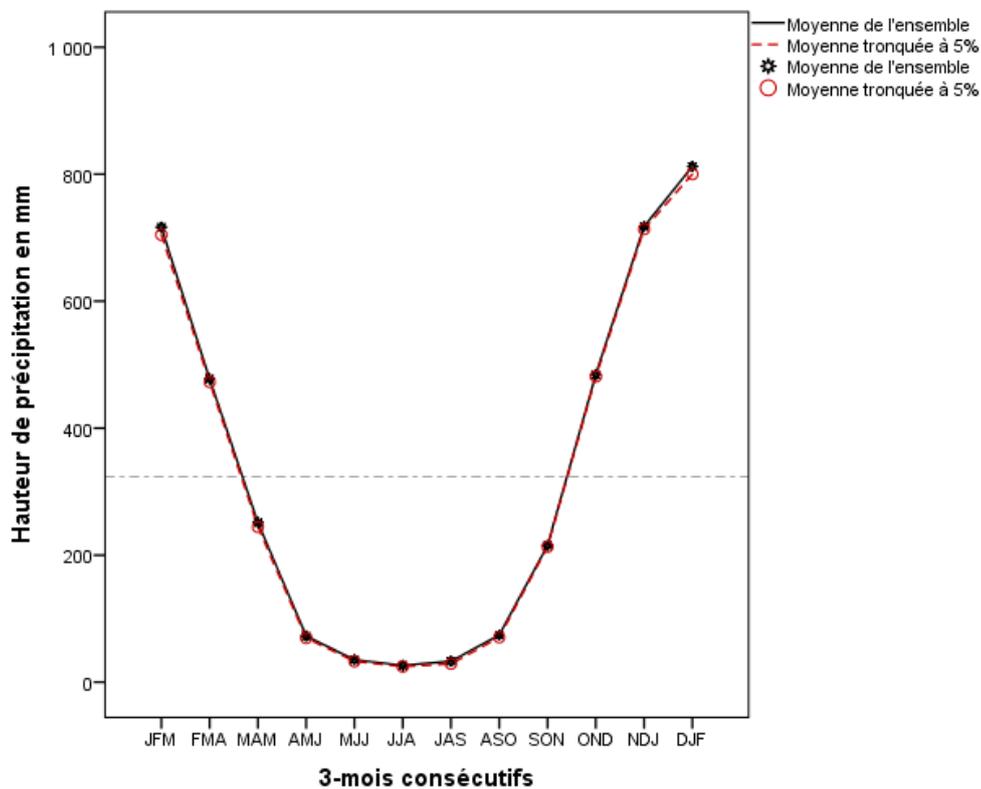


Figure 53 : Courbes des moyennes de l'ensemble et tronquée à 5% sur 3-mois consécutifs de la série de base.

Source : Auteur

Sur la figure 53, on a un graphique semblable à celle de la courbe des moyennes mensuelles, mais ici, sur 3-mois consécutifs. A première vue, on observe une colinéarité parfaite entre les valeurs sauf aux deux extrémités de la courbe. Cela se traduit par la persistance des valeurs extrêmes durant ces périodes. On peut conclure donc que le maximum annuel appartient à ces périodes, plus précisément en Eté australe (Décembre-Janvier-Février) associé aux périodes de crues. Quant au minimum annuel, il appartient à l'hiver austral (Juin-Juillet-Août) associé aux périodes d'étiage. Le cas contraire se produit en présence de phénomènes extrêmes engendrés par les variabilités du climat causant des anomalies négatives ou positives. La colinéarité parfaite des valeurs est causée par le lissage du fait qu'on ait éliminé certaines fluctuations irrégulières principalement causées par les valeurs extrêmes.

On constate aussi bien la division saisonnière délimité par le module en trait pointillé. Remarquons aussi que les valeurs des caractéristiques à tendances centrales dans le tableau 27 sont à peu près égale contrairement aux précipitations mensuelles, ça signifie que la distribution de chaque 3-mois consécutifs (Figure 54) tend vers la normalité, par suite on augmente la précision sur les estimations des valeurs extrêmes.