RSTE
Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

ANALYSES ET MODELISATIONS A HAUTE RESOLUTION SPATIALE DES PRECIPITATIONS DANS LA BASSE VALLEE DE LA BETSIBOKA DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Auteurs : RAZAFINDRALAMBO H. T., RAZAFINDRAZAKA T., RANDRIANANTENAINA E. et RATIARISON A.

Auteur correspondant :

RAZAFINDRALAMBO Hasina Tahiananirina, Ambohitanety Lot K3 Alasora Antananarivo 103, hasinatahiananirina@gmail.com.

Résumé :

La présente étude consiste à l'analyse et à la modélisation des précipitations dans la basse vallée de la Betsiboka.
L'objectif principal est d'extraire des informations qui peuvent nous renseigner sur les manifestations du changement climatique sur la pluviométrie et d'établir des prévisions afin de fournir des informations plus précises pouvant aider les décideurs à tous les niveaux.
La basse vallée de la Betsiboka a été choisie pour mener la présente étude pour au moins deux raisons. Premièrement, elle contient la cuvette de Maevatanana, qui est l'endroit réputé le plus chaud de l'île. Dans un contexte de réchauffement climatique, il est scientifiquement intéressant de l'étudier. Deuxièmement, la basse vallée de la Betsiboka contient de vastes plaines rizicoles, entre autre, la plaine d'Ambato-Boeny et celle de Marovoay qui est le deuxième grenier à riz du pays. Pour un pays à vocation agricole comme Madagascar, ces plaines sont des atouts inestimables.
Les méthodes utilisées consistent principalement à des analyses statistiques des données de pluviométrie et de température sur une chronique de 39 ans (1979-2017). D'abord, l'étude commence par la mise en évidence du réchauffement climatique et la détermination de l'année du début du changement climatique dans la zone par le test de Pettitt. Ensuite, il convient de régionaliser la zone d'étude par l'Analyse en Composante Principal. Puis, la méthode d'Anomalous Accumulation est utilisée pour déterminer les débuts et les fins de pluies. Enfin, les modélisations sont effectuées avec les modèles ARIMA.
Cette étude a permis de démontrer scientifiquement l'ampleur du changement climatique dans cette zone :

- Augmentation de la température ;
- Augmentation des précipitations annuelles ;
- Raccourcissement des saisons de pluies.

Mots-clés: Basse Betsiboka, Changement climatique, Précipitation, Modélisation.

ABSTRACT

The present study consists of the analysis and the modeling of precipitations in the lower valley of Betsiboka.

The main objective is to extract information that can inform us about the manifestations of climate change on rainfall and to make forecasts to provide more precise information that can help decision-makers at all levels.

The lower valley of Betsiboka was chosen to conduct the present study for at least two reasons. First, it contains the Maevatanana Bowl, which is the hottest spot on the island. In a context of global warming, it is scientifically interesting to study it. Second, the lower valley of Betsiboka contains vast rice plains, among others, the plain of Ambato-Boeny and that of Marovoay which is the second largest rice granary in the country. For a country with an agricultural vocation like Madagascar, these plains are invaluable assets.

The methods used consist mainly of statistical analyzes of rainfall and temperature data on a 39-year chronicle (1979-2017). First, the study begins by highlighting global warming and determining the year of the onset of climate change in the area by the Pettitt test. Then, it is necessary to regionalize the study area by the Principal Component Analysis. Then, the Anomalous Accumulation method is used to determine the beginnings and ends of rains. Finally, the modelizations are carried out with the models ARIMA.

This study has scientifically demonstrated the extent of climate change in this area:

- Increase in temperature ;
- Increase in annual rainfall ;
- Shortening of rainy seasons.

Keywords: Basse Betsiboka, Climate change, Precipitation, Modelization.

I. Introduction :

A Madagascar, au cours des 100 dernières années, pour la partie Sud, les précipitations augmentent avec la température, tandis que dans la partie Nord, les précipitations augmentent quand la température diminue[1]. Cependant, cette échelle est trop large pour appréhender les réalités locales. En effet, les conditions climatiques dépendent des paramètres locaux tels que l'orographie, l'influence maritime, des conditions environnementales, etc. Ainsi, des études à l'échelle plus fine sont nécessaires pour fournir des informations plus précises.

II. Zone d'étude :

Notre zone d'étude est le secteur délimité entre 16° et 17° de latitudes Sud, et entre 46° et 47° de longitude Est. Cette zone se situe dans la partie Nord-Ouest de Madagascar et correspond à la basse vallée de la Betsiboka, qui est délimitée par la Mahavavy au sud et la Sofia au Nord. La basse vallée de la Betsiboka est située au pied des hautes terres de Madagascar. Comme son nom l'indique, cette vallée est traversée par le fleuve Betsiboka. Elle contient de vastes plaines, entre autres, la plaine d'Ambato-Boeny et la plaine de Marovoay. Ses conditions climatiques, géologiques et pédologiques ont conféré à cette zone une vocation agricole, avec une forte potentialité en culture vivrière.

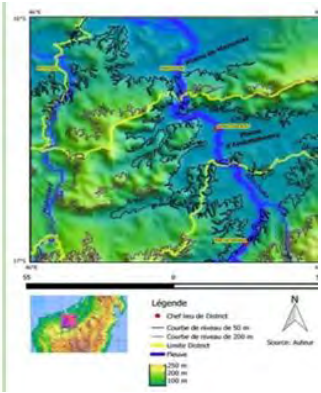


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude
Figure 2 : Carte de relief

III. Données et méthodologie :

Les données météorologiques dont nous disposons dans cette étude sont celles de la précipitation journalière et de la température journalière du 01 janvier 1979 au 31 décembre 2017, soit 14245 jours. Elles sont obtenues pour chaque point de coordonné situé entre 16° et 17° de latitudes Sud, et entre 46° et 47° de longitude Est avec une résolution de 0,125° x 0,125°. Ce sont des données réanalysées issues de l'agence européenne « European Centre for Medium range Weather Forecasts (ECMWF) ».

Voici la démarche et les différentes techniques qui seront utilisées pour l'analyse et les modélisations. D'abord, l'étude commence par la mise en évidence du réchauffement climatique et la détermination de l'année du début du changement climatique dans la zone par le test de Pettitt. Ensuite, il convient de régionaliser la zone d'étude par l'Analyse en Composante Principal (ACP). Puis, la méthode d'Anomalous Accumulation est utilisée pour déterminer les débuts et les fins des pluies. Enfin, les modélisations sont effectuées avec les modèles ARIMA.

III. Mise en évidence du changement climatique :

Le test de Pettitt indique la date de 1996 pour la date de rupture de la série de température. La valeur maximale de la courbe est atteinte en 1996. Cette valeur est significative car elle dépasse le taux de signification de 90% (Figure 1).

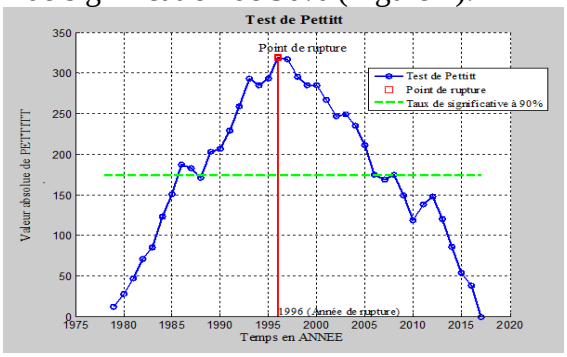


Figure 3 : Test de Pettitt pour la série des températures annuelles.

La courbe des moyennes annuelles de températures est alors scindée en deux parties : la première de 1979 à 1996 et la deuxième de 1996 à 2017. La tendance de la première période a une pente égale à 0,08 par décennie tandis que la deuxième période présente une pente de 0,19 par décennie (Figure 4). Nous pouvons alors conclure qu'en termes de température, le changement

[1] DGM (2008), *Le changement climatique à Madagascar*, Direction Générale de la Météorologie. p.19

climatique le plus récent de la basse Betsiboka commençait en 1996.

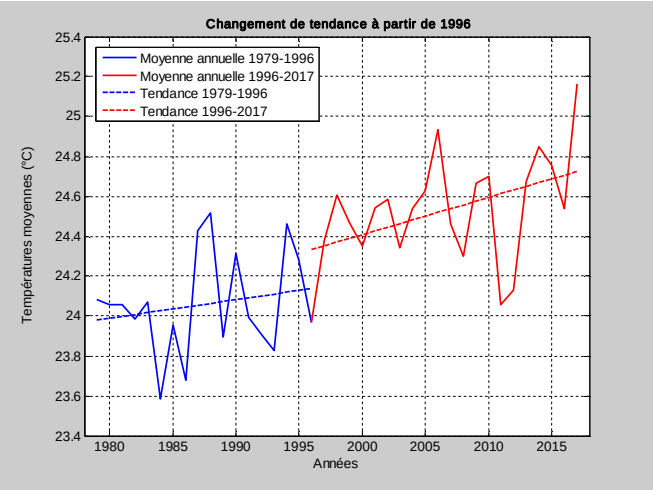


Figure 4 : Changement de tendance à partir de 1996.

IV. Zonage des précipitations :

En analyse en composante principale, la représentation des individus dans le plan factoriel ressort quatre sous-zones homogènes (Figure 5 et Figure 6):

- Sous-zone 1: A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C3, C4, C5, D2, D3, D4, E1, E2, E3, F1, F2, F1 et F2.
- Sous-zone 2 : A6, A7, A8, A9, B7, B8, B9, C8 et C9.
- Sous-zone 3: F3, F4, F5, G3, G4, G5, G6, H2, H3, H4, H5, H6, H7, I2, I3, I4, I5, I6 et I7.
- Sous-zone 4: D7, D8, D9, E6, E7, E8, E9, F6, F7, F8, F9, G7, G8, G9, H8, H9, I8 et I9.

Les individus C6, C7, D1, D5, D6, E4, E5, H1 et I1 sont mal représentés par leurs projections sur les axes factoriels. Par conséquent, ces points ne seront plus considérés dans la suite de l'analyse.

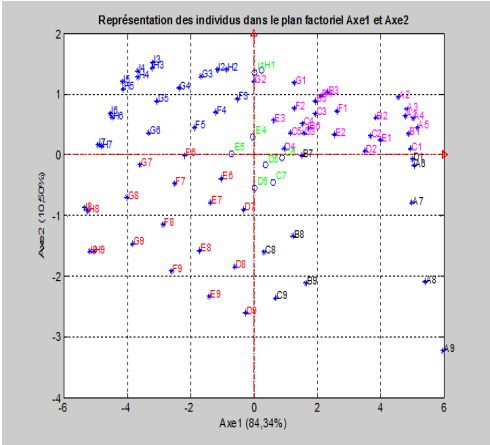


Figure 5 : Représentation des individus dans le plan factoriel.

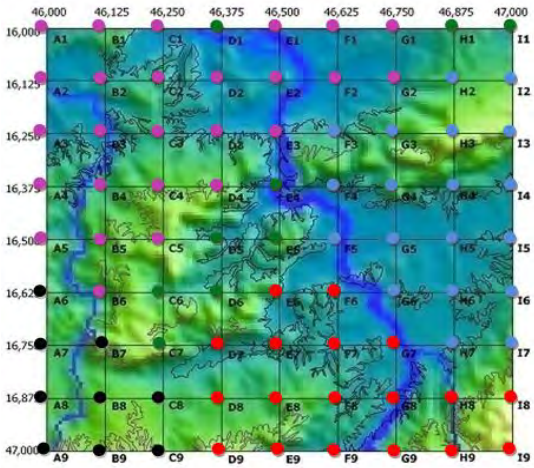


Figure 6 : Zonage des précipitations.

V. Analyse des débuts et des fins des pluies :

Une analyse par la méthode anomalous accumulation sur les données des précipitations journalières nous permet d'identifier les dates des débuts et des fins de chaque saison des pluies pour chaque sous-zone.

Par exemple, la saison pluvieuse 2016-2017 pour la sous-zone 1 commençait au 316 ème jour de l'année 2016 (Figure 7) et se termine au 91 ème jour de l'année 2017 (Figure 8) ce qui correspond à la date du 1er novembre 2016 et le 1er avril 2017.

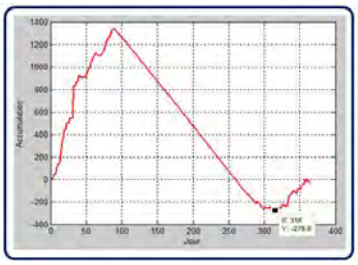


Figure 7 : Début de la saison pluvieuse 2016-2017

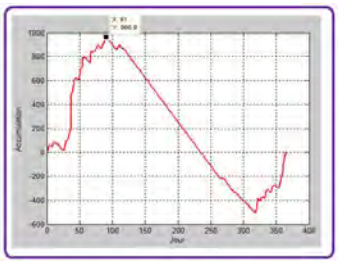


Figure 8 : Début de la saison pluvieuse 2016-2017

Les dates des débuts et des fins des saisons des pluies entre 1979 à 2017 sont récapitulées pour les quatre sous-zones dans le tableau 1, le tableau 2, le tableau 3 et le tableau 4.

Tableau 1 : Début et fin des saisons des pluies sous-zone 1

Année	Début	Fin	Année	Début	Fin	Année	Début	Fin
79- 80	23 oct.	20 avr.	**92-93**	4 nov.	13 mar.	**05-06**	22 nov.	13 mar.
80-81	28 nov.	10 avr.	**93-94**	21 dec.	5 avr.	**06-07**	7 nov.	24 mar.
81-82	24 nov.	26 mar.	**94-95**	29 dec.	14 avr.	**07-08**	7 oct.	3 avr.
82-83	24 nov.	10 avr.	**95-96**	10 nov.	27 mar.	**08-09**	22 nov.	15 avr.
83-84	15 nov.	14 avr.	**96-97**	23 nov.	19 mar.	**09-10**	25 nov.	18 mar.
84-85	1 dec.	15 mar.	**97-98**	13 nov.	13 mar.	**10-11**	19 nov.	13 mar.
85-86	24 nov.	29 fev.	**98-99**	29 nov.	23 mar.	**11-12**	14 nov.	14 avr.
86-87	30 nov.	5 avr.	**99-00**	30 nov.	8 mar.	**12-13**	17 nov.	25 mar.
87-88	2 dec.	13 mar.	**00-01**	16 nov.	26 mar.	**13-14**	2 nov.	2 avr.
88-89	26 nov.	2 avr.	**01-02**	20 nov.	22 mar.	**14-15**	12 dec.	11 mar.
89-90	20 nov.	13 mar.	**02-03**	5 dec.	20 mar.	**15-16**	22 nov.	30 mar.
90-91	28 nov.	8 avr.	**03-04**	24 nov.	12 mar.	**16-17**	10 nov.	2 avr.
91-92	28 oct.	29 mar.	**04-05**	13 dec.	18 mar.			

Tableau 2 : Début et fin des saisons des pluies sous-zone 2

Année	Début	Fin	Année	Début	Fin	Année	Début	Fin
79-80	23 oct.	20 avr.	**92-93**	4 nov.	14 mar.	**05-06**	22 nov.	12 mar.
80-81	28 nov.	10 avr.	**93-94**	21 dec.	5 avr.	**06-07**	7 nov.	1 mar.
81-82	25 nov.	26 mar.	**94-95**	29 dec.	6 avr.	**07-08**	7 oct.	3 avr.
82-83	24 nov.	10 avr.	**95-96**	10 nov.	27 mar.	**08-09**	22 nov.	15 avr.
83-84	14 nov.	14 avr.	**96-97**	13 nov.	20 mar.	**09-10**	25 nov.	18 mar.
84-85	3 dec.	13 mar.	**97-98**	12 nov.	13 mar.	**10-11**	17 nov.	13 mar.
85-86	24 nov.	15 mar.	**98-99**	29 nov.	20 mar.	**11-12**	1 nov.	14 avr.
86-87	9 oct.	7 avr.	**99-00**	21 oct.	8 mar.	**12-13**	23 oct.	27 mar.
87-88	2 dec.	13 mar.	**00-01**	16 nov.	26 mar.	**13-14**	5 nov.	2 avr.
88-89	26 nov.	2 avr.	**01-02**	15 nov.	12 mar.	**14-15**	12 dec.	11 mar.
89-90	20 nov.	13 mar.	**02-03**	5 dec.	20 mar.	**15-16**	20 nov.	30 mar.
90-91	19 nov.	8 avr.	**03-04**	23 nov.	12 mar.	**16-17**	10 nov.	2 avr.
91-92	27 oct.	14 avr.	**04-05**	13 dec.	18 mar.			

Tableau 3 : Début et fin des saisons des pluies sous-zone 3

Année	Début	Fin	Année	Début	Fin	Année	Début	Fin
79-80	23 oct.	20 avr.	**92-93**	4 nov.	13 mar.	**05-06**	22 nov.	12 mar.
80-81	28 nov.	10 avr.	**93-94**	21 dec.	5 avr.	**06-07**	7 nov.	23 mar.
81-82	25 nov.	27 mar.	**94-95**	29 dec.	24 mar.	**07-08**	17 nov.	4 avr.
82-83	24 nov.	28 mar.	**95-96**	23 nov.	27 mar.	**08-09**	22 oct.	15 avr.
83-84	21 nov.	11 mar.	**96-97**	23 nov.	19 mar.	**09-10**	25 nov.	20 mar.
84-85	22 nov.	5 mar.	**97-98**	14 nov.	11 mar.	**10-11**	24 nov.	12 mar.
85-86	23 nov.	5 mar.	**98-99**	30 nov.	21 mar.	**11-12**	14 nov.	14 avr.
86-87	22 nov.	6 avr.	**99-00**	7 dec.	8 mar.	**12-13**	19 oct.	28 fev.
87-88	1 dec.	13 mar.	**00-01**	16 nov.	10 fev.	**13-14**	2 nov.	25 fev.
88-89	26 nov.	1 avr.	**01-02**	26 nov.	12 mar.	**14-15**	12 dec.	11 mar.
89-90	20 nov.	12 mar.	**02-03**	6 dec.	20 mar.	**15-16**	22 nov.	30 mar.
90-91	17 nov.	8 avr.	**03-04**	24 nov.	13 mar.	**16-17**	10 nov.	2 avr.
91-92	29 oct.	14 avr.	**04-05**	13 dec.	31 mar.			

Tableau 4 : Début et fin des saisons des pluies sous-zone 4

Année	Début	Fin	Année	Début	Fin	Année	Début	Fin
79-80	23 oct.	20 avr.	**92-93**	4 nov.	13 mar.	**05-06**	22 nov.	12 mar.
80-81	28 nov.	10 avr.	**93-94**	21 dec.	5 avr.	**06-07**	7 nov.	23 mar.
81-82	25 oct.	27 mar.	**94-95**	29 dec.	24 mar.	**07-08**	17 nov.	4 avr.
82-83	24 nov.	10 mar.	**95-96**	23 nov.	27 mar.	**08-09**	22 oct.	15 avr.
83-84	13 nov.	11 mar.	**96-97**	23 nov.	19 mar.	**09-10**	25 nov.	20 mar.
84-85	22 nov.	5 mar.	**97-98**	16 nov.	11 mar.	**10-11**	24 nov.	12 mar.
85-86	23 nov.	5 mar.	**98-99**	30 nov.	21 mar.	**11-12**	14 nov.	14 avr.
86-87	22 nov.	6 avr.	**99-00**	7 dec.	8 mar.	**12-13**	19 oct.	28 fev.
87-88	1 dec.	13 mar.	**00-01**	16 nov.	10 fev.	**13-14**	2 nov.	25 avr.
88-89	26 nov.	1 avr.	**01-02**	26 nov.	12 mar.	**14-15**	12 dec.	11 mar.
89-90	20 nov.	12 mar.	**02-03**	6 dec.	20 mar.	**15-16**	22 nov.	30 mar.
90-91	17 nov.	8 avr.	**03-04**	24 nov.	13 mar.	**16-17**	10 nov.	1 avr.
91-92	29 oct.	14 avr.	**04-05**	13 dec.	31 mar.			

A partir de ces tableaux, nous obtenons les courbes des débuts des pluies, des fins des pluies et les durées des saisons pluvieuses pour chaque sous-zone.

Pour la zone d'étude globale, nous observons une tendance à la baisse de la durée des saisons pluvieuses. Ces raccourcissements sont très faibles pour la sous-zone 1 et la sous-zone 3 avec des réductions respectives de 2 et 4,5 jours en 39 ans (Figure 11 et Figure 17). Par contre, ils sont nets pour les sous-zones 2 et 4 avec des raccourcissements respectifs de 10 jours et de 15,5 jours en 39 ans (Figure 14 et Figure 20). En effet, pour les sous-zones 1 et 3, les débuts des pluies ont

tendance à s'avancer légèrement (Figure 9 et Figure15) et pour les sous zones 2 et 4, la tendance est presque constante (Figure 12 et Figure 18). En outre, concernant les dates des fins des pluies, les quatre sous-zones présentent toutes une tendance de fin des pluies anticipée et encore plus précoce pour les sous-zones 2 et 4 (Figure 10, Figure 13, Figure 16 et Figure 19).
Nous remarquons que plus on s'éloigne du littoral, plus le changement est accentué.

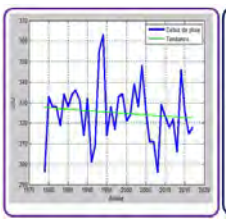
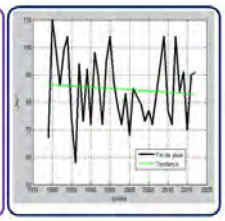


Fig.9 : Courbe des débuts des pluies pour la zone 1.



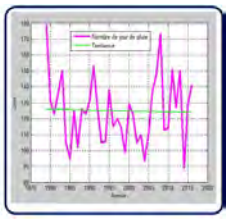


Fig.10 : Courbe des f pluies pour la zone 1.

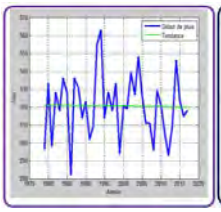
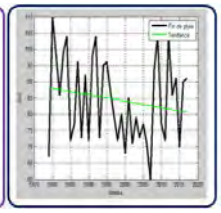


Fig.12 : Courbe des débuts des pluies pour la zone 2.



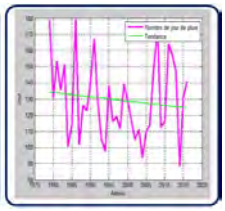
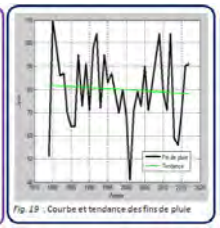


Fig.13 : Courbe des f pluies pour la zone 2.

Fig.15 : Courbe des débuts des pluies pour la zone 3.



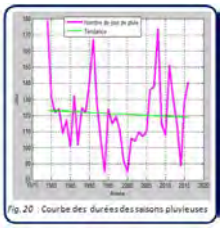


Fig.16 : Courbe des fins des pluies pour la zone 3.

Fig.17 : Courbe des durées des saisons pluvieuses.

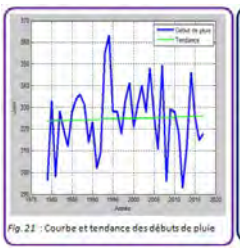


Fig.18 : Courbe des débuts des pluies pour la zone 4.

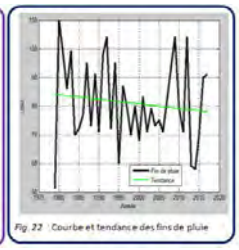


Fig.19 : Courbe des fins des pluies pour la zone 4.

Fig.20 : Courbe des durées des saisons pluvieuses.

VI. Modélisations des précipitations annuelles :

Nous présentons dans cette section les résultats sur les modélisations des précipitations annuelles.

VI.1. Modélisations des précipitations annuelles pour la zone 1 :

Pour la sous-zone 1, le modèle retenu est ARIMA (13, 1, 1). L'expression du modèle est :

$$(1 + 0{,}85L + 0{,}98L^2 + 0{,}7L^3 + 0{,}59L^4 + 0{,}66L^5 + 0{,}71L^6 + 0{,}73L^7 + L^8 + 0{,}69L^9 + 0{,}63L^{10} + 0{,}17L^{11} + 0{,}15L^{12} + 0{,}41L^{13})(1 - \mathrm{L})\sqrt{X_t} = (1 - 0{,}77L)\varepsilon_t.$$

La courbe de la précipitation annuelle montre une tendance à la hausse. La hauteur des pluies attendue en 2020 est de 2159 mm (Figure 21).

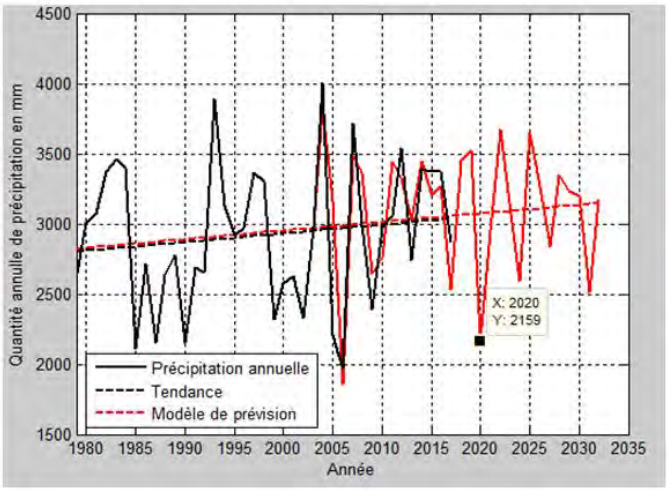


Figure 21 : Modélisation des précipitations annuelle pou la sous-zone 1.

VI.2. Modélisations des précipitations annuelles pour la zone 2 :

Pour la sous-zone 2, le modèle retenu est ARIMA (13, 1, 1). L'expression du modèle est :

$$(1 + 0{,}69L + L^2 + 0{,}64L^3 + 0{,}75L^4 + 0{,}52L^5 + 0{,}71L^6 + 0{,}56L^7 + 0{,}99L^8 + 0{,}67L^9 + 0{,}88L^{10} + 0{,}23L^{11} + 0{,}4L^{12} + 0{,}27L^{13})(1 - \mathrm{L})\sqrt{X_t} = (1 - L)\varepsilon_t.$$

La courbe de la précipitation annuelle montre une tendance à la hausse. La hauteur des pluies attendue en 2020 dans la sous-zone 2 est de 2074 mm (Figure 22).

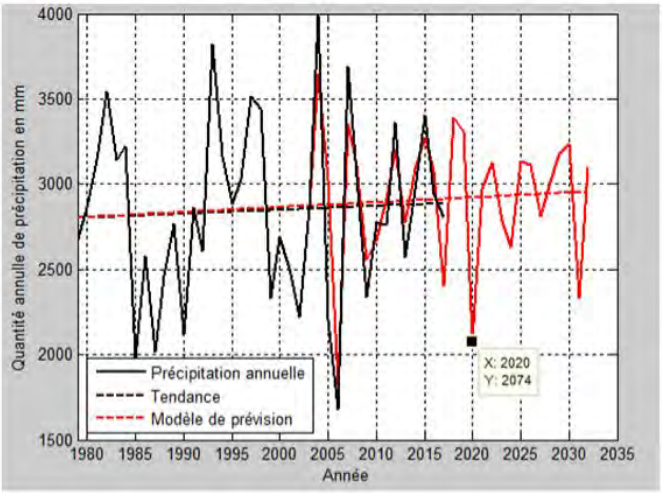


Figure 22 : Modélisation des précipitations annuelle pou la sous-zone 2.

VI.3. Modélisations des précipitations annuelles pour la zone 3 :

Pour la sous-zone 3, le modèle retenu est ARIMA (13, 1, 1). L'expression du modèle est :

$$1 + 0{,}76L + 0{,}92L^2 + 0{,}79L^3 + 0{,}81L^4 + L^5 + 0{,}95L^6 + 0{,}94L^7 + L^8$$

$$+0{,}77L^9 + 0{,}7L^{10} + 0{,}53L^{11} + 0{,}35L^{12} + 0{,}71L^{13})(1 - \mathrm{L})\sqrt{X_t}$$

$$= (1 - 76L)\varepsilon_t.$$

La courbe de la précipitation annuelle montre une tendance à la hausse. La hauteur des pluies attendue en 2020 est de 1698 mm (Figure 23).

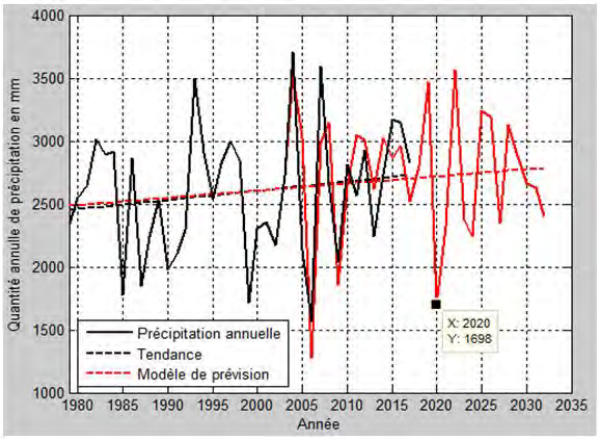


Figure 23 : Modélisation des précipitations annuelle pou la sous-zone 3.

VI.4. Modélisations des précipitations annuelles pour la zone 4 :

Pour la sous-zone 4, le modèle retenu est ARIMA (13, 1, 1). L'expression du modèle est :

$$(1 + 0{,}69L + 0{,}94L^2 + 0{,}72L^3 + 0{,}91L^4 + 0{,}91L^5 + L^6 + 0{,}83L^7 + L^8$$

$$+0{,}70L^9 + 0{,}83L^{10} + 0{,}41L^{11} + 0{,}51L^{12} + 0{,}57L^{13})(1 - \mathrm{L})\sqrt{X_t}$$

$$= (1 - L)\varepsilon_t.$$

La courbe de la précipitation annuelle montre une tendance à la hausse. La hauteur des pluies prévue en 2020 est de 1305 mm (Figure 24).

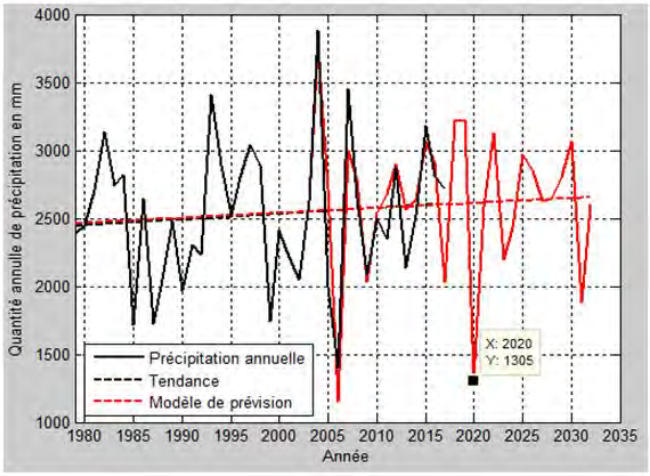


Figure 24 : Modélisation des précipitations annuelle pou la sous-zone 4.

VII. Conclusion :

La basse vallée de la Betsiboka est une zone qui nous a permis de démontrer scientifiquement l'ampleur du changement climatique.

Avec le test statistique de Pettitt, nous avons montré qu'en termes de température, le changement climatique dans notre zone d'étude a commencé en 1996 et que la tendance actuelle est un réchauffement de 0,19°C par décennie.

Ensuite, avec l'Analyse en Composante Principale sur les précipitations, nous avons identifié quatre sous-zones homogènes. Par la méthode d'anomalous accumulation (AA), la durée des périodes des pluies a tendance à se raccourcir.

Enfin, les modèles montrent une tendance à la baisse des précipitations.

Référence

[1] - Li, X. and Gao, S. (2011), *Precipitation Modeling and Quantitative Analysis,* Springer Atmospheric Sciences, Hardcover.

[2] - Michaelides, S. (2008), *Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction*, Springer, Hardcover.

[3] - **Straka, J.** (2009), ***Cloud and Precipitation Microphysics:*** *Principles and parameterizations*, Cambridge University Press, USA.
[4] - **Strangexays, I. (2003),** *Precipitation theory, measurement and distribution*, Cambridge University Press, USA.
[5] - Peguy, C.P. (1970), *Précis de Climatologie*, 2eme Edition, Masson & Cie.
[6] - Sciama,Y.(2005), *Le changement climatique : Une nouvelle ère sur la terre*, Petite Encyclopédie Larousse.
[7] - Beniston, M. (2004), *Climatic change and its impacts*, Kluwer Academic Publishers, USA.
[8] - DGM (2008), *Le changement climatique à Madagascar*, Direction Générale de la Météorologie.
[9] - GIEC. (2013), *Bilan 2013 des changements climatiques : Rapport de synthèse.*