

Tendance Et Significativité Des Indicateurs D'extrêmes Pluviométriques Et Pertes En Vie Humaine Liées Aux Inondations Dans Le District D'Abidjan (Sud De La Cote D'Ivoire).

(Trend And Significance In Extreme Rainfall Indicators And Flooding Involving Human Life
Losses In Abidjan District (Southern Ivory Coast))

Lassina KONATE⁽¹⁾, Hélène Boyossoro KOUADIO⁽²⁾⁽³⁾, Gabriel Etienne
AKE⁽¹⁾, Vami Herman N'Guessan Bi⁽²⁾, René BALLIET⁽²⁾, Bernard Kouakou
DJÈ⁽³⁾, Amani Michel KOUASSI⁽⁴⁾ and Jean BIEMI⁽¹⁾.

⁽¹⁾: Département des Sciences Géologiques (GEOSCIENCES), UFR des Sciences Biologiques, Université
Péléforo Gon Coulibaly (UPGC) de Korhogo. BP 1328 Korhogo.

⁽²⁾: UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan; 22
BP 582 ABIDJAN 22, Côte d'Ivoire. Tel : (+225) 22 48 38 03, Côte d'Ivoire.

⁽³⁾: Centre Universitaire de Recherche et d'applications en Télédétection (CURAT) de l'UFR STRM, Université
Félix Houphouët (Côte d'Ivoire) 22 B.P.801, Abidjan 22.

⁽⁴⁾: Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre
et des Ressources Minières (STeRMi), Yamoussoukro ; Côte d'Ivoire. BP 1093 Yamoussoukro
Courriels :

ABSTRACT :

Rainfall flooding and tragic human life losses are of concern in Abidjan District. This study focuses on using adapted extreme rainfall indicators to understand flooding involving deaths.

Eight indicators recommended by ETCCDMI have been computed in order to characterize extreme rainfall events with daily rainfall data from 1985 to 2014. Calculated by RCLIMDEX model, trend in extreme rainfall indicators is linked to loss of life caused by flooding for ten years (2005-2014).

Results show that almost all rainfall extremes indicators computed, PTOT, JP, SDII, Px1J, Px5J, P95p and P99p are increasing, except for JS which is decreasing. Most significant trends (p-value < 0.05) can be observed in PTOT, SDII and P95p indicators. Human life losses average analysis show an increase from 8.2 deaths/year (2005 to 2009) to 10.8 deaths/year (2005 and 2014) about 1.32 per cent (3 deaths) increase. Both death rising and extreme rainfall indicators follow the same trend. Significant changes in the PTOT, SDIIs, and P95p could explain the increase of flooding and deaths recorded from 2005 to 2014.

This study highlights a rise in rainfall and relevance of extreme weather indicators in understanding flooding increase involving in deaths.

KEYWORD:, Extreme Rainfall Indicator ; Flooding ; Human Life Losses, Monitoring ; District d'Abidjan

Date of Submission: 19-09-2022

Date of Acceptance: 03-10-2022

I. INTRODUCTION

Les phénomènes climatiques extrêmes sont responsables de la plupart des catastrophes naturelles [1]. Parmi les catastrophes dues aux conditions météorologiques, les inondations sont les plus importantes ([2] ; [3]) et affectent des millions de personnes à travers le monde.

Contrairement aux études basées sur l'analyse multifactorielle pour mettre en évidence les zones inondables, les recherches actuelles tendent ainsi à établir une relation directe entre la pluviométrie et les inondations. Ces recherches tendent à améliorer la gestion du risque hydrométéorologique par la mise en place d'indices ou d'indicateurs climatiques pour mieux apprécier les différents épisodes de sec ou humide, en relation parfois avec certaines catastrophes ([4] ; [5]; [6] ; [7]). Les indices sont calculés à partir des variables climatiques (pluies ; températures etc.) et donnent en général des valeurs représentant la magnitude des périodes humides ou sèches par rapport à la normale ([7]). Quant aux indicateurs, ce sont des variables climatiques, qui permettent la caractérisation et la compréhension de certains processus climatiques liés au temps. Ils peuvent

alors être mis en relation avec les catastrophes telles que les sécheresses, la famine, et les inondations pour la surveillance de ces dernières ([8]).

Le District d'Abidjan à l'instar des grandes villes ouest-africaines, connaît une urbanisation rapide, et très souvent incontrôlée des zones à risque liée à la croissance démographique. Cette situation associée à une pluviométrie intense sont autant de facteurs qui augmentent la vulnérabilité des zones urbaines face aux catastrophes d'inondations ([1]).

Plusieurs travaux ont tenté de comprendre les occurrences de ce problème environnemental. Et, les pertes humaines dues aux événements pluviométriques intenses à la base des inondations se sont accrues ces dernières années, atteignant le chiffre record de 24 morts, pour le District d'Abidjan, et 39 morts au niveau national en 2014 ([9]).

La présente étude prend en compte le risque d'inondations, dû aux conditions actuelles d'urbanisation galopante, de pluviométrie influencée par le changement climatique dans le District d'Abidjan, afin d'assurer une surveillance des inondations pluviales qui affectent les populations et les infrastructures socio-économiques. Elle se base sur l'utilisation des indices climatiques pour étudier d'une part les tendances et significativité de ces indicateurs d'extrêmes climatiques et d'autre part leur implication dans les pertes en vie humaines liées aux inondations.

II. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est le District d'Abidjan. Elle est située au Sud de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 5°10 et 5°30 Nord et les longitudes 3°45 et 4°21 Ouest. Elle est composée de dix (10) communes auxquelles s'ajoutent trois (3) sous-préfectures que sont ; Bingerville, Songon et Anyama (fig.1). Le District s'étend sur une superficie totale de 2119 km² dont 566 km² de lagune [10]. Il regroupe une population estimée à environ 4 707 404 habitants en 2014 [11]. Le District d'Abidjan est limité par la ligne de contact du socle-bassin sédimentaire au Nord, la lagune Ebrié au Sud, les cours d'eau Agnéby et le Niéké à l'Ouest et enfin par la rivière la Mé et les lagunes Aghien et Potou à l'Est.

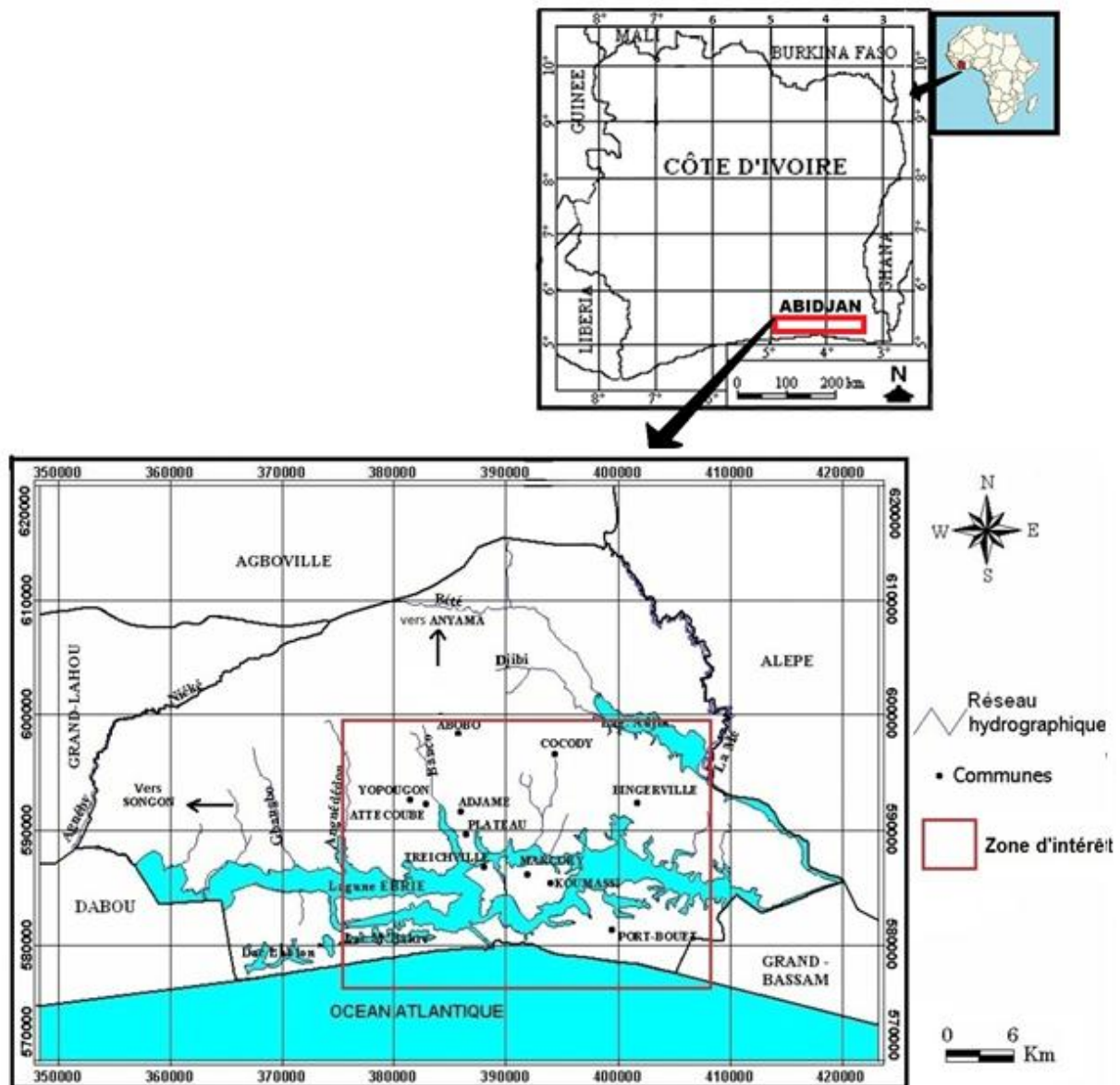


Fig.1. Localisation géographique du District d'Abidjan

Au niveau climatique, le District d'Abidjan est soumis à un climat équatorial de transition qui se divise en quatre (4) saisons dans le cycle annuel [12], la grande saison sèche (décembre à avril), la grande saison de pluies (mai à juillet), la petite saison sèche (juillet à septembre) et la petite saison des pluies (octobre à novembre).

Sur le plan géomorphologique, il existe trois grands ensembles géomorphologiques [13]. Il y a les hauts plateaux à deux niveaux (40 à 50 m et 100 à 120 m) représentés par les buttes du Continental Terminal au Nord de la lagune Ebrié. Il se compose de moyens plateaux d'altitude allant de 8 à 12 m constitués d'affleurements du cordon littoral du Quaternaire, les plaines et lagunes au Sud constituent l'ensemble le plus affaissé. Il faut signaler les vallées profondes allant de 12 à 40 m, issues du Centre Nord de la zone qui entaillent les hauts Plateaux du Tertiaire. Ces vallées jouent le rôle de drains de la partie nord de la ville à l'instar des différents talwegs. De ce fait, tout écoulement se dirige vers l'ensemble le plus affaissé, c'est-à-dire vers la lagune.

III. MATERIEL ET METHODE

3.1. Matériel et données

3.1.1. Données utilisées

Les données utilisées sont de deux (2) types à savoir les données climatiques et les données socioéconomiques de pertes en vie humaine liées aux inondations.

3.1.1.1. Données climatiques

Les données journalières de pluies et de températures proviennent de la Société d'exploitation et de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Il s'agit des données d'Abidjan Aéroport. Ces chroniques sont constituées de 30 années d'observations (1985-2014) ce qui satisfait la condition de taille d'échantillon hydroclimatique statistiquement admise d'au moins 30 années de données préconisées par [7].

3.1.1.2. Les données de perte en vie humaines

Les données socio-économiques d'inondations et pertes en vie humaine annuelles recensées entre 2005 et 2014 dans les communes du District émanent, principalement, de l'Office National de la Protection Civil (ONPC). Ces données ont été corrélées à l'évolution des indicateurs d'extrêmes climatiques.

3.1.2. Matériel utilisé

Le matériel se compose du programme *ClimDex 1.0*. Le programme est un algorithme climatique qui est utilisé avec l'environnement *R*. Il permet le calcul des indices d'extrêmes climatiques. Il est utilisé pour sa capacité à détecter des indicateurs de changements climatiques [14] et permettre la surveillance de ces événements extrêmes. Cet outil est recommandé par *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)*.

IV. METHODOLOGIE

4.1. Estimation des indices d'extrêmes climatiques

Huit (8) indices sur un ensemble de 27 indices (proposés par *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)*) sont pris en compte. Le calcul de ces indices s'est déroulé à partir du modèle *RClimDex*. Les données journalières de pluies et de températures utilisées pour calculer les indices d'extrêmes pluviométriques du District d'Abidjan..

Les étapes nécessaires au calcul des indices climatiques sont [15] :

- contrôle de la qualité ;
- homogénéisation des données ;
- calcul des indices pluviométriques.

4.1.1. Contrôle de la qualité des données climatiques

Le procédé de contrôle de la qualité des données aide l'utilisateur à identifier les erreurs qui peuvent exister sur des données quotidiennes lors de leur collecte ([16] ; [17]). Les principes sont les suivants :

- remplacement de toutes les valeurs manquantes ou non raisonnables (les précipitations quotidiennes inférieures à 0 et les températures maximales quotidiennes inférieures à la température minimale quotidienne) par -99.9 avant le contrôle de qualité par le logiciel ;
- impossibilité d'avoir plus de 365 à 366 observations journalières par année ;
- impossibilité pour le mois de février d'avoir plus de 28 observations quelle que soit l'année considérée ;
- identification des valeurs aberrantes de températures journalières maximale et minimale (valeurs quotidiennes au-delà des valeurs seuil maximale et minimale définies par l'utilisateur en fonction des données disponibles).

4.1.2. Homogénéisation

Après le contrôle de qualité, le test d'homogénéité a été mis en œuvre en utilisant l'algorithme *RHtestV3* incorporé au logiciel *RClimDex* dans l'environnement *R* [18]. La fonction *RHtestsV3* traite les séries annuelles, mensuelles ou quotidiennes d'erreurs gaussiennes. Cependant, la procédure *RHtests-dlyPrpc* doit être utilisée dans le cas de l'homogénéisation des séries de précipitations quotidiennes qui sont typiquement non-gaussiennes [18]. Il est basé sur le test *t* maxima avec pénalité et le test *F* maxima avec pénalité, imbriqués dans un algorithme de test récursif [19] appliqué à la série temporelle.

Le test d'homogénéité a donc l'avantage de corriger les séries de données afin qu'elles soient des séries de données climatiques homogènes et implique systématiquement un diagnostic de l'analyse moyenne des extrêmes acceptables.

4.1.3. Indicateurs de précipitations extrêmes

Ces indices donnent une évaluation précise de l'évolution globale des variations moyennes des valeurs extrêmes pluviométriques qui ont affectées le District d'Abidjan de 1985 à 2014. Ces indices ont été traduits en français

pour une meilleure interprétation. Table 1 présente les 8 indices pluviométriques calculés pour la caractérisation des événements pluvieux extrêmes sur la période 1985 à 2014.

Table 1: Liste des huit indices calculés pour l'analyse des événements pluviométriques extrêmes

ACRONYME	NOM DE L'INDICE	DEFINITION	UNITE
PTOT	Précipitations annuelles	Précipitations totales annuelles (jours $P \geq 1,0$ mm)	[mm]
JP	Jours de pluie (jour consécutif humide)	Nombre total de jours consécutifs humides ($P \geq 1,0$ mm)	[jours]
JS	Jours consécutifs secs	Nombre maximal des jours consécutifs avec précipitations journalières < 1 mm	[jours]
SDII	Simple Day Intensity Index	Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie	[mm/jour]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne (données retenues annuellement)	[mm]
Px5J	Quantité max de pluie en 5 jours	Précipitation maximale en 5 jours consécutifs (données retenues annuellement)	[mm]
P95p	Jours de pluie intense	Total annuel des pluies journalières supérieures au 95 ^{ème} Percentile	[mm]
P99p	Jours de pluie extrême	Total annuel des pluies journalières supérieures au 99 ^{ème} Percentile	[mm]

Selon [20], l'utilisation des indices permet une meilleure connaissance de l'évolution pluviométrique dans une région sur une période de référence.

4.2. Analyse des tendances et significativité des indices d'extrêmes pluviométriques et des décès

4.2.1. Analyse des tendances et significativités des indices d'extrêmes pluviométriques

L'analyse des tendances linéaires s'est réalisée à partir de l'utilisation de la méthode de régression linéaire [21] entre chaque indice calculé et le temps (années). Les pentes ainsi estimées et réunies en deux classes indiquent les tendances significatives et non significatives à la hausse ou à la baisse. La limite considérée entre les deux classes est définie à partir de la statistique t de Student utilisée pour tester hypothèse d'une pente égale à 0. La tendance est ainsi qualifiée comme étant significative si la probabilité p du test t appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05 et dans le cas contraire ($p > 0,05$), elle est jugée non significative.

4.2.2. Analyse temporelle de l'évolution globale des indicateurs et les décès enregistrés de 2004 à 2014

L'évolution des pertes en vie humaine est analysée sur 2 périodes (de 5 ans chacune) à savoir de 2005 à 2009 et de 2010 à 2014. L'analyse de la moyenne des pertes en vie humaine sur les deux périodes permettra d'indiquer la proportion à la hausse ou à la baisse de cette évolution. Aussi, une comparaison de l'évolution des tendances des indicateurs d'extrêmes pluviométriques et les pertes en vie humaine (2005 à 2014) est entreprise dans cette étude en vue de percevoir s'il existe une tendance (à la hausse ou à la baisse) identique de ces deux facteurs.

V. RESULTATS

5.1. Tendance et significativité des indicateurs d'extrêmes pluviométriques

5.1.1. Indices d'extrêmes pluviométriques

5.1.1.1. Indice des précipitations totales annuelles (PTOT)

Les variations de cumuls de précipitations annuelles mettent en exergue une croissance des hauteurs annuelles de pluie dans le District d'Abidjan (Fig.2).

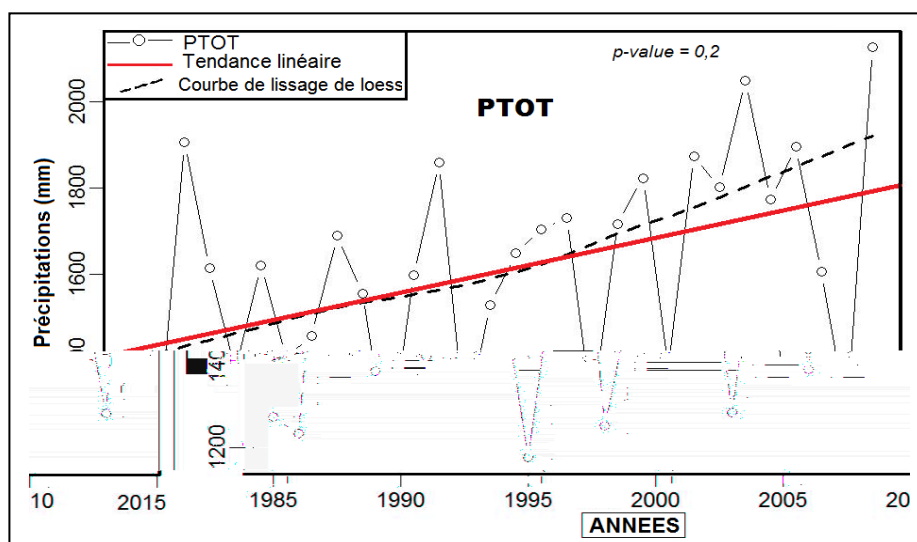


Fig. 2 : Tendance des précipitations totales annuelles (PTOT) de 1985 à 2014

Les pluies totales annuelles (PTOT) augmentent de 12,66 mm/an soit 126,6 mm chaque décennie. Cette observation signifie qu'en 30 ans, elles ont augmenté de 379,8 mm. Les cumuls les plus forts ayant été enregistrés durant la seconde moitié des années d'étude. La tendance de l'indice est en évolution ascendante de façon monotone sur toute la période d'étude. Par ailleurs, la courbe de lissage de cet indice indique une seule phase d'évolution mais la période 2003 à 2014 est marquée par une forte augmentation des cumuls annuels. Les cumuls les plus forts au-delà de 2000 mm ont été rencontrés en 2009 et 2014. L'importance de ces quantités annuelles de pluies pourrait expliquer les inondations durant la grande saison des pluies de cette période d'étude.

5.1.1.2. Indices des jours consécutifs humides (JP) et jours consécutifs secs (JS)

L'évolution des jours consécutifs pluvieux (JP) est représentée à la Fig.3.a. Les valeurs de JP fluctuent entre 4 et 14 avec un plus grand nombre de jours de pluie observé en 1992 (14 jours consécutifs de pluvieux).

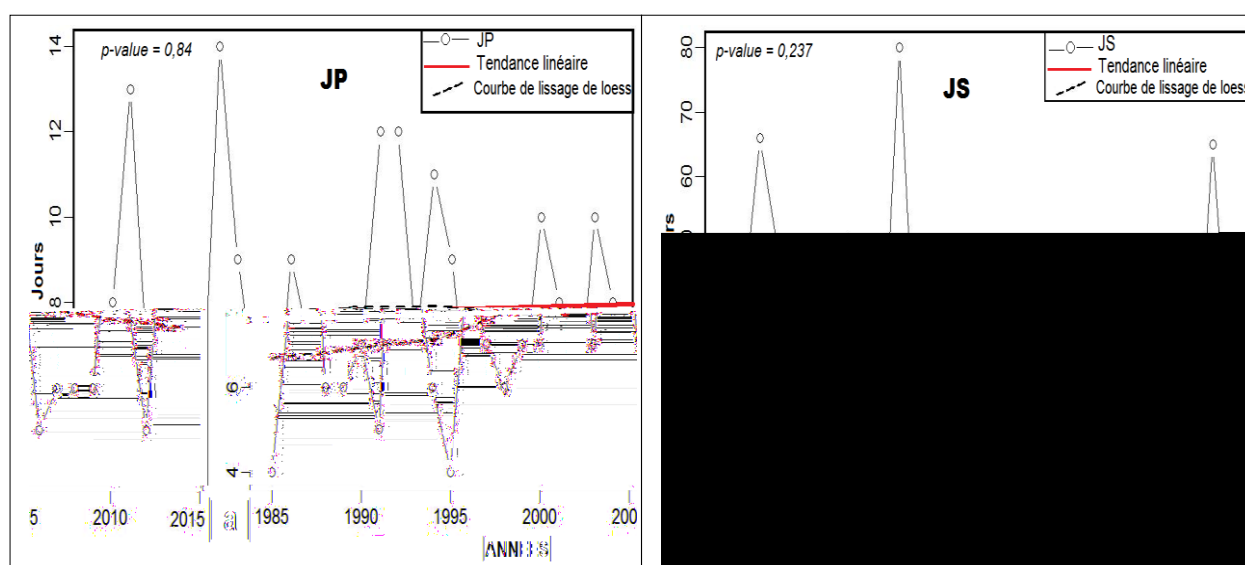


Fig.3 : Tendance du nombre maximal de jours consécutifs humides JP (a) et de jours consécutifs secs JS (b) de 1985 à 2014

L'analyse de la tendance indique une légère hausse du nombre de jours pluvieux consécutifs tout au long de la période d'étude (pente de la droite de tendance est positive). Cette évolution est de 0,011 jours/an soit

0,11 jours par décennies soit 0,33 jours sur 30 ans. La courbe de lissage de celui-ci montre deux (2) phases d'évolution. La période 1985-2005 (une évolution croissante) et de 2005 à 2014 (légère baisse).

La fig.3b montre la variation annuelle du nombre maximal de jours consécutifs secs (JS). La droite de tendance révèle une baisse (pente négative) des jours consécutifs secs de -0,402 jours par an, soit -4,02 jours par décennie et donc de -12,06 jours entre 1985 et 2015. Durant toute la période d'étude, les séquences sèches ont varié entre 14 (2004) et 80 jours (1995). Et la courbe de lissage à l'instar de la tendance décrit une baisse progressive des jours successifs secs.

Une croissance des jours de pluies et une baisse des jours secs sont les conditions favorables aux événements pluvieux intenses sources d'inondations et donc de pertes en vie humaine.

5.1.1.3. Indice de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (SDII)

Les variations de la quantité d'eau moyenne précipitée par jours de pluie sont présentées à la Fig.4 La tendance générale montre une hausse de la quantité moyenne des jours humides. Elle augmente chaque année de 0,094 mm/jour, et de pluie 0,94 mm/jour en dix ans soit 2,82 mm/j entre 1985 et 2014.

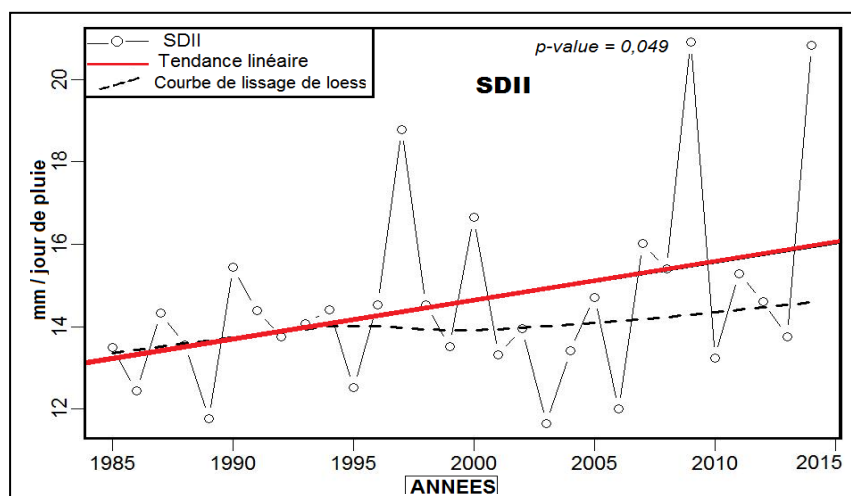


Fig.4 : Tendance de la pluviométrie moyenne par jour humide (SDII) entre 1985 et 2014

Les valeurs de l'indice SDII sont comprises entre 11,6 mm/j et 29,9 mm/j. Et la courbe de lissage met en évidence deux phases d'évolution de cet indice. Une phase d'augmentation rapide entre 1985 et 1995 et une phase d'évolution légère à la hausse durant la dernière décennie.

Le District d'Abidjan est caractérisé par une croissance de la quantité moyenne de pluie tombée par jour humide (Pluie ≥ 1 mm). Cette élévation de la quantité de pluies des jours humides pourrait justifier les effets négatifs des eaux de ruissellements dans la zone urbaine d'Abidjan.

5.1.1.4. Indices de Maximum de pluies quotidiennes (Px1J) et cumul maximal des pluies de 5 jours (Px5J)

La Fig.5a indique, à travers la tendance de la droite de régression, que l'indice Px1J est en hausse de 1985 à 2014. Cette tendance est de 0,83 mm/an, ce qui représente 8,3 mm/décennie. La courbe de lissage permet de distinguer deux phases d'évolution, la première est caractérisée par une augmentation de l'indice de 1985 à 2003 suivit d'une seconde phase présentant une baisse observée de 2004 à 2014.

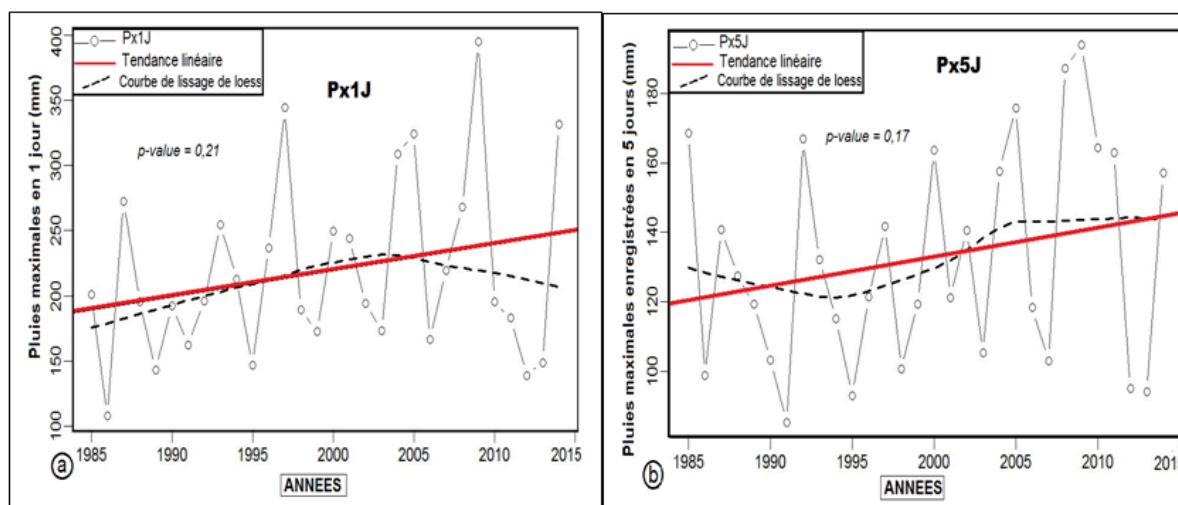


Fig.5 : Tendence des pluies max quotidienne Px1j (a) et pluies 5 jours consécutifs Px5j (b) de 1985 à 2014

La Fig.5b montre également une croissance (courbe de tendance positive) de l'indice Px5J de 1985 à 2014. En effet, cet indice augmente de 1,99 mm/an soit 19,9 mm/décennie et présente deux phases d'évolution en considérant la courbe de lissage. La première phase indique une baisse 1985 à 1994, puis la deuxième phase caractérisée par une élévation de 1995 à 2014.

5.1.1.5. Indices de jours très humides (P95p) et de jours extrêmement humides (P99p)

Il faut noter une croissance (tendance positive) de l'indice P95p d'environ 9,27 mm/an et de 92,7 mm/décennie (Fig6.a). En 30 ans l'indice a augmenté de 278,1 mm, les années enregistrant les pics les plus importants ont été 2009 avec 1174,9 mm et 2014 avec 901 mm. La courbe de lissage montre trois étapes d'évolution. De 1985 à 1995 le constat est une hausse qui est suivie par une stabilité de l'indice de 1996 à 2005. Il s'ensuit enfin une reprise à la hausse entre 2006 et 2014.

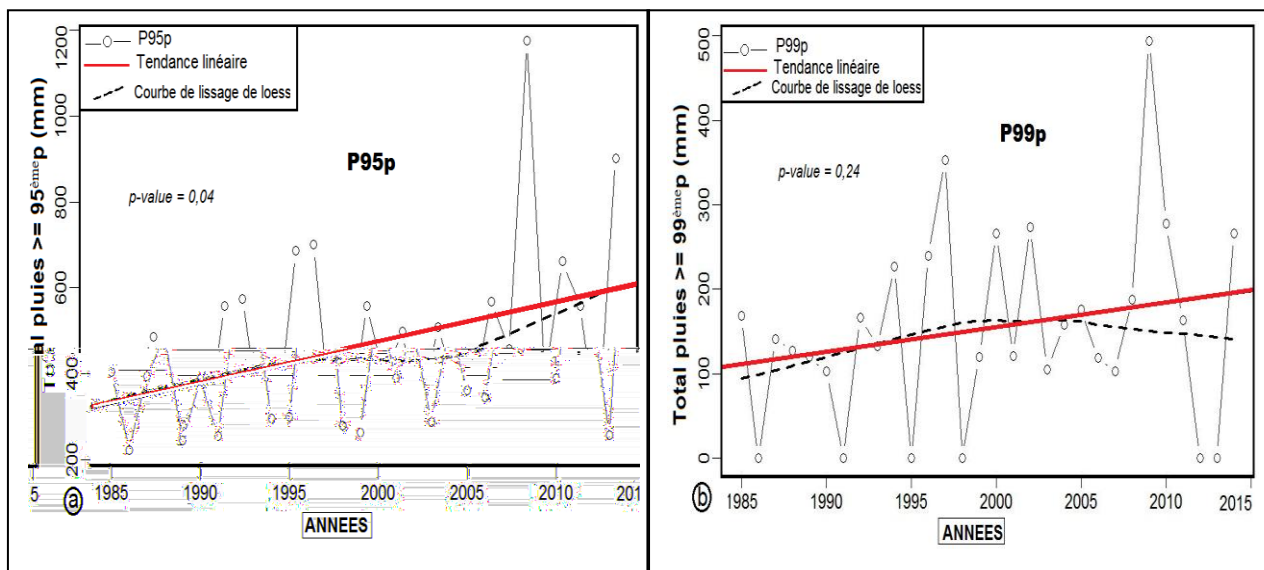


Fig6. : Tendence du nombre de jours de pluies intenses (a) et pluies extrêmes (b)

En ce qui concerne l'indice P99p (Fig.6b), il présente aussi une tendance à la hausse de 2,88 mm/an et 28,8 mm/décennie ce qui signifie qu'en 30 années, l'indice a augmenté de 86,4 mm. Il ressort de l'analyse de la courbe de lissage deux phases distinctes durant son évolution. La première est marquée par une augmentation de 1985 à 1999 et la deuxième phase montre une diminution de 2000 à 2014.

5.1.2. Significativité des tendances des indicateurs d'extrêmes pluviométriques et évolution des décès

5.1.2.1. Significativité des indices d'extrêmes pluviométriques

La significativité à la baisse ou la hausse des indicateurs d'extrêmes pluviométriques a été évaluée à partir de la statistique *t* de Student effectuée sur la pente des tendances des indices calculés. Le niveau de significativité des tendances des différents indicateurs de pluviométrie extrêmes calculés (Table 2).

Table 2: Pente et niveau de significativité des tendances des huit (8) indices utilisés

Indices	Pente	Erreur pente	p-value	Tendance	Significativité ($p < 0,05$)
PTOT	12,66	4,923	0,02	+	*
JP	0,01	0,057	0,84	+	
JS	-0,402	0,332	0,237	-	
SDII	0,09	0,045	0,049	+	*
Px1J	0,83	0,648	0,21	+	
Px5J	1,99	1,427	0,17	+	
P95p	9,27	4,189	0,04	+	*
P99p	2,88	2,399	0,24	+	

Il faut noter une tendance significative de certains indices d'extrêmes pluviométriques sur la période 1985 à 2014. Les indices concernés sont les pluies totales annuelles (PTOT), la moyenne des pluies journalières (SDII), les pluies intenses (P95p). Les autres indices JP, JS, Px1J, Px5J et P99p présentent une certaine stabilité sur la période d'étude.

L'augmentation significative des pluies annuelles pourrait s'expliquer par l'accroissement de la moyenne des pluies journalières dont la proportion en événements pluviométriques intenses (P95p) semble évoluée significativement en hausse.

5.1.2.2. Evolution pluviométrique et incidence sur les pertes en vie humaine dues aux inondations

Les données des décès dus aux inondations (Fig.7) indiquent également une croissance à l'instar de la majorité des indices calculés.

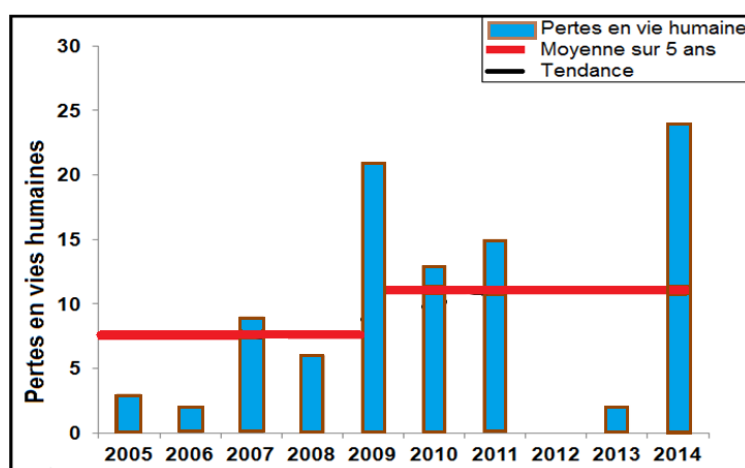


Fig.7 : Evolution des pertes en vie humaine dues aux inondations de 2005-2014

Le regain des pertes en vie humaine peut être perceptible par comparaison de la moyenne annuelle des décès dus aux événements pluviométriques de 2005 à 2009 et de 2010 à 2014. Durant les cinq premières années, la moyenne était de 8,2 décès/an, puis elle est passée à 10,8 décès/an lors des cinq dernières années ce qui correspond à une hausse de 1,32%. Cette augmentation représente environs 2,6 pertes en vie humaine en plus malgré l'absence de décès au cours de l'année 2012.

La tendance à la hausse des pertes en vie humaine concorde avec l'évolution de l'ensemble des indicateurs d'extrêmes pluviométriques calculés dans cette étude de 1985 à 2014. L'évolution significative en particulier de

trois indices extrêmes pluviométriques que sont PTOT, SDII, et P95p (et surtout la réduction de l'indice JS) pourrait expliquer la recrudescence des inondations et l'augmentation des pertes en vie humaine enregistrées ces dernières années.

VI. DISCUSSION

L'étude des indices d'extrêmes pluviométriques, à partir des données de pluies et températures (couvrant la période 1985-2014), a mis en relief une tendance à la hausse de la quasi-totalité des indicateurs calculés (PTOT, JP, SDII, Px1J, Px5J, P95p et P99p) excepté celui des séquences sèches (JS) qui est en diminution. Les tendances les plus significatives ($p\text{-value} < 0,05$) concernent les indices PTOT, SDII, P95p. Ces observations sont en accord ou en désaccord avec certaines études antérieures. Ainsi, les résultats de cette étude sont contraires à ceux obtenus par [22] au niveau du District d'Abidjan. En effet, les résultats issus des travaux de cet auteur, sur la période de référence 1960 à 2010 et à partir du même modèle, ont mis en évidence une diminution de tous les indices d'extrêmes pluviométriques calculés (PTOT, JP, SDII, Px1J, Px5J, P95p et P99p) dans cette étude. La tendance significative à la baisse ne concernant que les jours consécutifs secs (JS).

Le District d'Abidjan n'est pas la seule zone affectée par la croissance de certains indices. Car dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire, les travaux menés par [23] à partir des données pluviométriques de 1961-2010 ont mis en exergue une évolution similaire de ces indices d'extrêmes pluviométriques (Px1J, Px5J, P95p et P99p) au niveau de la région du Gôh. Mais, ces études ont montré une diminution des indices PTOT, JP et une augmentation de l'indice JS contrairement à la région d'Abidjan.

L'augmentation importante de la pluviosité de la zone d'étude avait déjà été notée par [24]. Cette élévation de la pluviométrie, facteur principal dans les occurrences des inondations, semble suivre le retour aux conditions humides que rencontre l'Afrique de l'Ouest en général depuis la décennie 1990 à 2000, comme signifié par un grand nombre d'auteurs [25] ; [26]; [27]; [28] ; [29]. Aussi, les résultats obtenus dans la présente étude au niveau de l'indice SDII rejoignent les travaux menés par [30]. Ces auteurs notent également une évolution analogue du SDII pour l'Afrique de l'Ouest mais ils enregistrent une diminution de l'indice JP ce qui n'est pas le cas du District d'Abidjan. De plus, [31] sont arrivés également à des résultats contraires dans leurs travaux sur l'évolution des conditions climatiques extrêmes quotidiennes couvrant le Sud et l'Ouest de l'Afrique. Ils ont noté une baisse du nombre de jours humides, mais, à l'instar du District d'Abidjan, ils ont remarqué un regain de la pluviométrie générale de cette zone de l'Afrique. Cette croissance de la pluviométrie est, par ailleurs, confirmée par [32]. [33] et [34], notent une significativité plus importante dans la bande soudano-sahélienne par rapport aux stations proches du Golfe de Guinée.

Cette situation ne concerne pas que l'Afrique de l'Ouest. En Afrique Centrale et Nord, les travaux des auteurs [35] et [36] indiquent une croissance de la pluviométrie à partir 1998, respectivement au Tchad et au Maroc (au niveau du littoral).

Dans le reste du monde, l'évolution de certains indices extrêmes rejoint dans certains cas ceux d'Abidjan. Les résultats sont semblables à ceux de 2008 [37] dans l'Etat de Sao Paulo au Brésil, car les indices d'extrêmes calculés sur la période 1950 à 1999 fait état de l'évolution à la hausse des indices PTOT, P95p et Px5j et une diminution de l'indice JS. Mais, [38] notent une évolution contraire c'est-à-dire la baisse des indices PTOT, JP, Px5J et JS avec une légère hausse de Px1J, dans tout le Brésil (1960 et 2012). En Asie du Sud-Est, [39] montrent après leurs travaux, une hausse des indices SDII et P95p et baisse de JS comme dans le District d'Abidjan cependant l'indice JP décroît.

Ce regain de la pluviométrie observé dans cette étude et les autres travaux montrent ainsi la pertinence des indices d'extrêmes climatiques dans la compréhension de la recrudescence des inondations, surtout que ces derniers sont facilement compréhensibles et maniables pour des études d'impacts climatiques sur le plan socio-économique. Cependant [40] indique que ceux-ci sont particulièrement influencés par des variations de plusieurs années et sont donc fortement sensibles à la couverture temporelle des observations utilisées ce qui pourrait justifier les résultats non concordants obtenus dans cette étude pour la même zone d'étude.

VII. CONCLUSION

Les indicateurs d'extrêmes pluviométriques ont mis en évidence une tendance à la hausse des événements pluviométriques intenses sur toute la période d'étude (1985 à 2014). Seul, l'indice de jours consécutifs secs (JS) est lui en baisse de -0,402 jours/an. Les tendances les plus significatives ($p\text{-value} > 0,05$) touche les indices PTOT, SDII, P95p. Ces analyses supposent que l'élévation des PTOT est due à l'augmentation des SDII au sein desquelles la proportion des P95p est en hausse. Ces résultats qui indiquent un regain de la pluviométrie pourraient expliquer l'importance des inondations et pertes en vie humaine et dégâts matériels de ces dernières années.

VIII. REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent aux responsables de ces structures ayant mis à notre disposition les données nécessaires à la réalisation de cette étude, ce sont:

- La SODEXAM, à Direction de la Météorologie Nationale et surtout au service météorologique du département de l'agrométéorologie et des applications météorologiques pour les données hydroclimatiques de cette étude ;

- l'ONPC (Office National de la Protection Civil) particulières au Département des Opérations Sécuritaires (DOS) qui nous a remis les données des catastrophes d'inondations enregistrées dans le district d'Abidjan ces cinq dernières années.

Notre reconnaissance va également à l'équipe de travail du laboratoire des Sciences Géologiques (GEOSCIENCES) de l'unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences Biologiques de l'Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo qui a permis la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1]. ISDR, International Strategy for Disaster Reduction. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives 2004, 12p.
- [2]. EM-DAT, Type de catastrophes survenues dans le monde de 1990 à 2007. The OFDA/CRED International Disaster Database. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. 2007, 7p.
- [3]. BD CATNAT, 15 ans de catastrophes naturelles dans le monde, 2015, 20p.
- [4]. Frich P., Alexander L. V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M. R., Klein T. A. M. and Peterson P. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, Vol. 19, 2002, pp. 193-212.
- [5]. Groisman P. Y., Knight R. W. and Karl T. R.. Changes in intense precipitation over the central United States. *Journal of Hydrology-meteorology*, Vol. 13, 2012, 20p.
- [6]. Vincent L. A. et Mekis É.: Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. *Atmosphere-Ocean*, Vol. 44, N°2, 2006, pp. 177-193.
- [7]. OMM, Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, OMM-N°1090, 2012, 25p.
- [8]. Peterson T. V., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. and Plummer N., Report on the activities of the Working Group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001, World Meteorological Organisation Report WCDMP-47, WMO-D 1071, WMO, Geneva, 2001, 28p.
- [9]. ONPC, Inondations en Côte d'Ivoire, Département des Opérations Sécuritaires (DOS), Rapport annuel, 2014, 7p.
- [10]. Deh S. K, Contributions de l'évaluation de la vulnérabilité spécifique aux nitrates et d'un modèle de transport des organochlorés à la protection des eaux souterraines du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Université Félix Houphouët Boigny, 2013, 184p.
- [11]. INS, Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), Résultats globaux, Districts Régions Départements Sous-préfectures. Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH, 2014, 26p.
- [12]. Tapsoba S, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (sud de la Côte d'Ivoire) : hydrochimie, isotopie, et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de doctorat 3ème cycles, Université de Cocody, 1995, 201 p.
- [13]. Tastet J. P, Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences, Université de Bordeaux I, 1979, 181 p.
- [14]. Zhang X. and Yang F, RCLIMDEX (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview (Ontario, Canada), 2004, 22p.
- [15]. Zhang and Yang, Zhang X. and Yang, RCLIMDEX (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview (Ontario, Canada), 2004, 23p.
- [16]. Peterson T, Introduction to Indices: National Climatic Data Center, NESDIS/NOAA Asheville, NC USA, 2004, 24p.
- [17]. Planchon V, Traitement des valeurs aberrantes: concepts actuels et tendances générales. *Geographia Technica*, Vol.10, 2005, pp. 20-30.
- [18]. Wang X. L., Chen H., Wu Y., Feng Y. and Pu Q. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 49, N°12, 2010, pp. 2416-2436.
- [19]. Wang X. L., Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol.25, N°3, 2008, pp. 368-384.
- [20]. IPCC, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, 582 pp.
- [21]. Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M. and Nanni T, Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865–1996. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 66, 2000, pp. 49-60.
- [22]. Danumah H. J, Assessing urban flood risks under changing climate and land use in Abidjan District, South Cote d'Ivoire. Thesis of Doctor of Philosophy, Kwame N'Krumah university of science and technology, Ghana, 2016, 197p.
- [23]. Balliet R., Saley M. B., Eba L. A., Sorokoby M. V., N'Guessan Bi H. V., N'Dri A. O., Djè B. K. et Biémi J, Evolution des extrêmes pluviométriques dans la région du gôh (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *European scientific journal*, Vol.12, N°23, 2016, pp. 74-87.
- [24]. Yao A. B., Goula B. T. A., Kouadio Z. A., Kouakou K. E., Kane A. et Sambou S, Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire'', *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, Vol. 19, 2012, pp. 136-157.
- [25]. Descroix L., Moussa I. B. N., Genthon P., Sighomnou D. and Mahé G, Impact of drought and land-use changes on surface-water quality and quantity: the Sahelian paradox. In: Bradley Paul Editions, Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability, from Technology, 2013, pp. 243-271.
- [26]. Panthou G., Vischel T., Lebel T., Blanchet J., Quantin G. and Ali A, Extreme rainfall in West Africa: A regional modeling. *Water Resources Research*. Vol. 48, N°8, 2012, pp. 1-19.

- [27]. Sarr M. A., Zoromé M., Seidou O., Bryant C. R. and Gachon P, Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal: A change point approach. *Journal of Hydrology*, Vol.55, 2013, pp. 326-334.
- [28]. Sagna, 2005 Sagna P, Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie Ouest de l'Afrique occidentale, Thèse d'État ès lettres, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 2005, 786 p.
- [29]. Sagna P., N'diaye O., Diop C., Niang A. D. et Sambou P. C., Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? *Pollution atmosphérique* N°227, 2015, 21p.
- [30]. Ozer P., Hountondji Y. C., Gassani J., Djaby B. and De Longueville F, Evolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010). XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie Dijon (France), 2014, 7p.
- [31]. New M., Hewitson B., Stephenson, D. B, Tsiga A., Kruger A., Manhique A., Gomez B., Coelho C. A. S., Masisi D. N. and Kululanga E, Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Resources*, Vol. 111, 2006, 16p.
- [32]. Panthou G., Vischel T. and Lebel T, Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, Vol. 34, 2014, pp. 998-4006.
- [33]. Dong B. W. and Sutton R, Dominant role of greenhouse gas forcing in the recovery of Sahel rainfall nature. *Climate Change*, Vol. 5, N°8, 2015, pp. 757-760.
- [34]. Sanogo S., Fink A. H., Omotosho J. A., Ba A., Redl R. and Ermert V, Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *International Journal of Climatology*, Vol. 35, 2015, pp. 4589-4605.
- [35]. Bedoum A., Biona C. B., Alladoun M., Adoum I. et Baohoutou L, Variabilités climatiques et ruptures dans les séries des précipitations en république du tchad. *Revue Ivoirienne des Sciences Technologie*, Vol. 21 et 22, 2013, pp. 187-208.
- [36]. Filahi S., Mouhir I., Tanarhte M. et Tramblay Y, Tendances et variabilité des événements extrêmes au Maroc. XXVIII^{ème} colloque de l'association internationale de climatologie, Liège, 2015, pp. 463-468.
- [37]. Dufek A. S. and Ambrizzi T, Precipitation variability in Sao Paulo State, Brazil theoretical and applied climatology, Vol. 93, N°3, 2008, pp. 167-178.
- [38]. Dos Santos C. A. C, Recent changes in temperature and precipitation extremes in an ecological reserve in Federal District, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 29, N°1, 2014, pp.13-20.
- [39]. Endo N., Matsumoto J. and Lwin T, Trends in Precipitation Extremes over Southeast Asia. *SOLA*, Vol. 5, 2009, pp. 168-171.
- [40]. Goubanova K, Une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin Méditerranéen et de leur évolution future. Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, France, 2007, 121p.