



Institut de Géographie, de l'Aménagement
du Territoire et de l'Environnement (IGATE)

Université d'Abomey-Calavi (UAC)



Faculté des Sciences Humaines
et Sociales (FASHS)

Département de Géographie et Aménagement du Territoire

MELANGES

**en hommage aux Professeurs THOMAS Omer,
HOUSSOU Sègbè Christophe et HOUNDAGBA Cossi Jean**



La géographie au service du développement durable

Volume 3

**Cartographie au service de l'aménagement du territoire
et du développement durable**



26 - 28 septembre 2018, Abomey-Calavi (Bénin)

ISBN : 978-99919-822-8-1

Editeurs scientifiques

TOKO IMOROU Ismaïla, AROUNA Ousséni & TCHIBOZO Eric Alain

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Laboratoire de Cartographie



**Mélanges en hommage
au
Professeur THOMAS Omer**

**« La géographie au service du
développement durable »**

**Volume 3 : Cartographie au service de
l'aménagement du territoire et du
développement durable**

ISBN : 978-99919-822-8-1

Dépôt Légal N°10699 du 13 Septembre 2018

Bibliothèque Nationale du Bénin, 3^{ème} trimestre

Editeurs scientifiques

TOKO IMOROU Ismaïla, AROUNA Ousséni & TCHIBOZO Eric Alain

Mélanges en hommage au Professeur THOMAS Omer

Editeurs scientifiques

TOKO IMOROU Ismaïla, AROUNA Ousséni & TCHIBOZO Eric Alain

Mise en page et PAO

TOKO IMOROU Ismaïla, DJAOUGA Mama & GBAÏ N. Innocent
Université d'Abomey-Calavi, Bénin
ismael_toko@yahoo.fr ; maloud75@gmail.com & gnofodo@gmail.com

Maquette de couverture

M'Po Edouard IDIETI
Université d'Abomey-Calavi
idworys@hotmail.com

Impression

Imprimerie Presse Indépendante (IPI)
BP : 196 Womey, Bénin
Tél. (+229) 90 92 43 96 ; 97 11 61 54
Email : presseipi@yahoo.fr

Les opinions défendues dans cet ouvrage n'engagent que leurs auteurs ; elles ne sauraient être imputées aux structures auxquelles ils appartiennent ou qui ont financé leurs travaux.

ISBN : 978-99919-822-8-1

Dépôt Légal N°10699 du 13 Septembre 2018
Bibliothèque Nationale du Bénin, 3^{ème} trimestre

Comité d'organisation

Président du comité :

Moussa GIBIGAYE (UAC, Bénin)

Membres :

Expédit W. VISSIN (UAC, Bénin)

Brice TENTE (UAC, Bénin)

Ernest AMOUSSOU (UP, Bénin)

Ibouraïma YABI (UAC, Bénin)

Ismaila TOKO IMOROU (UAC, Bénin)

Euloge OGOUWALE (UAC, Bénin)

Bernard FANGNON (UAC, Bénin)

Clarisse Sidonie HEDIBLE (UAC, Bénin)

Cyr Gervais ETENE (UAC, Bénin)

Henri S. TOTIN VODOUNON (UP, Bénin)

Germain GONZALLO (UAC, Bénin)

Léocadie ODOULAMI (UAC, Bénin)

Toussaint VIGNINO (UAC, Bénin)

Vincent O. A. OREKAN (UAC, Bénin)

Maman Sanni ISSA (UAC, Bénin)

Auguste HOUINSOU (UAC, Bénin)

Eric A. TCHIBOZO (UAC, Bénin)

Hervé KOUMASSI (UAC, Bénin)

Rafiatou BAMISSO (UAC, Bénin)

Djafarou ABDOULAYE, (UAC, Bénin)

Mama DJAUGA (UAC, Bénin)

Patrice Maximilien BOKO (UAC, Bénin)

Soufouyane ZAKARI (UAC, Bénin)

M'Po Edouard IDIETI (UAC, Bénin)

Alfred AÏCHEOU (UAC, Bénin)

Anani Lazare SOSSOU-AGBO

Apollinaire TODAN (UAC, Bénin)

Arsène AKOONGBE (UAC, Bénin)

Barnabé HOUNKANRIN (UAC, Bénin)

Coovi Aimé Bernardin TOHOZIN (AFRIGIS, Nigeria)

Edouard AKPINFIA (UAC, Bénin)

Edwige MIALO (UAC, Bénin)

Emile ATIYE (UAC, Bénin)

Fanès AZALOU TNINGBE (UAC, Bénin)

Fidèle MEDEOU (UAC, Bénin)

Francis YABI (UAC, Bénin)

Gervais ATCHADE (UAC, Bénin)

N. Innocent GBAÏ (UAC, Bénin)

Iréné QUENUM (UAC, Bénin)

Janvier GUEDENON (UAC, Bénin)

Joseph DJEVI (UAC, Bénin)

Adrien DOSSOU-YOVO (UAC, Bénin)

Justin NATTA (UAC, Bénin)

Mathieu LANOKOU (UAC, Bénin)

Luc DOUGNON (UAC, Bénin)

Marc AGBANDJEDJE (UAC, Bénin)

Marc SOHOUNOU (UAC, Bénin)

Martin ASSABA (UAC, Bénin)

Maximienne AMONTCHA (UAC, Bénin)

Oliver KOUDAMILORO (UAC, Bénin)

Oscar GAOU (UAC, Bénin)

Saturnin AGBOMAHENAN (UAC, Bénin)

A. Cyriaque AGBON (UAC, Bénin)

Thierry CODJO (UAC, Bénin)

Ulrich GBAGUIDI (UAC, Bénin)

Brice Saturnin DANSOU (UAC, Bénin)

Emile EDEA (UAC, Bénin)

Hermann PLAGBETO (UAC, Bénin)

Hervé Biaou CHABI (UAC, Bénin)

Ingred M. WANKPO T. (UAC, Bénin)

Roméo CHABI (UAC, Bénin)

Simon Yemalin B. ALLAGBE, (UAC, Bénin)

Thierry AGBANOU B. (UAC, Bénin)

Colloque organisé par le Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, dgatflashuac@gmail.com), en collaboration avec les Laboratoires Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE, labolaceede@gmail.com), Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE, www.labee.org), Cartographie (LaCarto, lacarto_geo@yahoo.fr) Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Comité de lecture

VISSIN Expédit Wilfrid (UAC, Bénin)	BAMISSO Rafiatou (UAC, Bénin)
TENTE A. H. Brice (UAC, Bénin)	BALOUBI David (UAC, Bénin)
VIGNINO Toussaint (UAC, Bénin)	GBESSO François (UAC, Bénin)
VODOUNOU K. Jean Bosco (UAC, Bénin)	KOMBIENI Hervé (UAC, Bénin)
GIBIGAYE Moussa (UAC, Bénin)	KOUMASSI Hervé (UAC, Bénin)
YABI Ibouaïma (UAC, Bénin)	MAKPONSE Mapkondéhou (UAC, Bénin)
ABDOULAYE Ramane (UP, Bénin)	TAKPE Auguste (UAC, Bénin)
ABOUDOU YACOUBOU MAMA Aboudou Ramanou (UP, Bénin)	ZAKARI Soufouyane (UAC, Bénin)
AMOUSSOU Ernest (UP, Bénin)	ABDOULAYE Djafarou (UAC, Bénin)
AROUNA Ousséni (UNSTIM, Bénin)	BOKO Patrice Maximilien (UAC, Bénin)
AZONHE Thierry Hervé Setondji Nicéphore (UAC, Bénin)	IDIETI M'Po Edouard (UAC, Bénin)
DOSSOU Paulin (UP, Bénin)	CHABI Ayédèguè Philippe (UAC, Bénin)
DOSSOU-YOVO Adrien (UAC, Bénin)	GBESSO Florence (UAC, Bénin)
ETENE Cyr Gervais (UAC, Bénin)	KADJEGBIN Roméo (UAC, Bénin)
FANGNON Bernard (UAC, Bénin)	DJAUGA Mama (UAC, Bénin)
GNELE José (UP, Bénin)	NOBIME George (UAC, Bénin)
KISSIRA Aboubacar (UP, Bénin)	ODJOUBERE Jules (UAC, Bénin)
OREKAN Vincent (UAC, Bénin)	OUOROU BARRE Imorou (UP, Bénin)
TOKO IMOROU Ismaïla (UAC, Bénin)	TCHAKPA Cyrille (UAC, Bénin)
TOTIN VODOUNOU Sourou Henry	ZAKARI Soufouyane (UAC, Bénin)
VISSOH Sylvain (UAC, Bénin)	ATCHADE Gervais (UAC, Bénin)
ADJAHOSSOU Naéssé (UNSTIM, Bénin)	GBAÏ N. Innocent (UAC, Bénin)
AGOINON Norbert (UP, Bénin)	AGOÏNON Norbert, (UP, Bénin)
AKINDELE A. Akibou (UAC, Bénin)	AGBON A. Cyriaque (UAC, Bénin)
ALI Rachad (UAC, Bénin)	
OLOUKOÏ Joseph (AFRIGIS, Nigéria)	

Colloque organisé par le Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, dgatflashuac@gmail.com), en collaboration avec les Laboratoires Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE, labolaceede@gmail.com), Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE, www.labee.org), Cartographie (LaCarTo, lacarto_geo@yahoo.fr) Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Comité scientifique

ZOUNGRANA T. Pierre, Université de Ouagadougou, (Burkina Faso)
BOKO Michel (UAC, Bénin)
AFOUDA Fulgence (UAC, Bénin)
AGBOSSOU Euloge (UAC, Bénin)
VISSIN Expédit Wilfrid (UAC, Bénin)
SISSIN Brice (UAC, Bénin)
TENTE A. H. Brice (UAC, Bénin)
TSALEFAC Maurice, Université de Dschang (Cameroun)
TCHAMIE Thiou Komlan, Université de Lomé (Togo)
SAMBA KIMBATA Marie Joseph, Université de Brazzaville (Congo)
SAGNA Pascal, Université Cheikh Anta Diop (Sénégal)
RICHARD Yves, Université de Dijon (France)
QUENOL Hervé, CNRS-COSTEL (France)
OGOUWALE Euloge (UAC, Bénin)
MALOBA MAKANGA Jean Damien, Université Omar Bongo (Gabon)
MAHE Gil, IRD-Hydrosociences (France)
HOUNDENOU Constant (UAC, Bénin)
HENIA Latifa, Université de Tunis (Tunisie)
GUEDEGBE DOSSOU Odile (UAC, Bénin)
FONTAINE Bernard, Université de Dijon (France)
FAZZINI Massimiliano, Université de Ferrara (Italie)
ERPICUM Michel, Université de Liège (Belgique)
DUBREUIL Vincent, Université Rennes 2 (France)
CLEDJO Placide (UAC, Bénin)
CAMBERLIN Pierre, Université de Dijon (France)
BROU Téléphore, Université de la Réunion (France)
BLIVI A. Adoté, Université de Lomé (Togo)
BIGOT Sylvain, Université Joseph Fourier de Grenoble 1 (France)
YABI Ibouaïma (UAC, Bénin)
VODOUNOU Jean Bosco (UP, Bénin)
VIGNINOUS Tousaint (UAC, Bénin)
TOTIN VODOUNON Sourou Henri (UP, Bénin)
TOKO IMOROU Ismaïla (UAC, Bénin)
POHL Benjamin, Université de Dijon (France)
OREKAN Vincent O. A. (UAC, Bénin)
ODOULAMI Léocadie (UAC, Bénin)
ISSA Maman Sanni (UAC, Bénin)
MADELIN Malika, Université Paris Diderot (France)
HEDIBLE Sidonie Clarisse (UAC, Bénin)
GNELE José E. (UP, Bénin)
GIBIGAYE Moussa (UAC, Bénin)
FAGNON Bernard (UAC, Bénin)
TCHIBOZO Eric A. (UAC, Bénin)
VISSOH Sylvain (UAC, Bénin)
EL MELKI Taoufik, Université de La Manouba (Tunisie)
DOSSOU-YOVO Adrien (UAC, Bénin)
BEN BOUBAKER Habib, Université de la Manouba - Tunis (Tunisie)
AZONHE Thierry H. Setondji N. (UAC, Bénin)
AROUNA Osséni, UNSTIM (Bénin)
AMOUSSOU Ernest (UP, Bénin)
ROUCOU Pascal, Université de Dijon (France)
KAMAGATE Bamory, Université Abobo-Adjamé, UFR-SGE (Côte d'Ivoire)
DIEDHIOU Arouna, IRD-LTHE (France)

Colloque organisé par le Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, dgatflashuac@gmail.com), en collaboration avec les Laboratoires Pierre Pagny : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE, labolaceede@gmail.com), Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE, www.labee.org), Cartographie (LaCarto, lacarto_geo@yahoo.fr) Université d'Abomey-Calavi, Bénin

SOMMAIRE

	INTRODUCTION	vi
N°	TITRE DE L'ARTICLE ET AUTEURS	PAGE
1	ÉTALEMENT DE LA VILLE DE PARAKOU AU BÉNIN : APPROCHE CARTOGRAPHIQUE ABDOUL RAZAK MAMA YAYA, OMER THOMAS, SOUFOUYANE ZAKARI, MOUHAMED AMINOU BIO GOUNOU	1
2	GESTION DES RESSOURCES FONCIERES EN MILIEU RURAL DANS LA COMMUNE DE DJOUGOU ABOUDOU YACOUBOU MAMA ET ABOUDOU RAMANOU	11
3	DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DU SOL EN ZONE D'AGRICULTURE EXTENSIVE : CAS DU SECTEUR NATITINGOU-BOUKOUMBE AU NORD-OUEST DU BENIN AGBANOU BIDOSESSI THIERRY, OREKAN A. O. VINCENT, ABDOULAYE DJAFAROU, PAEGELOW MARTIN, TENDE BRICE	22
4	GRANULOMETRIE DES DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES FLUVIATILES DANS LA COMMUNE DE ADJOHOUN AU BÉNIN (EN AFRIQUE DE L'OUEST) AGBOMAHENAN SATURNIN, ETENE GERVAIS CYR, AMOUSSOU ERNEST, TENDE AGOSSOU BRICE HUGUES	35
5	ETAT DES LIEUX DES SOURCES THERMALES DANS LA COMMUNE DE DANGBO AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST) AIMADE SELOME H. S., KOUDAMILORO OLIVIER, AZONHE THIERRY, SOHOUNOU MARC , VISSIN EXPEDIT W.	45
6	APPORT DU SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) DANS LA GESTION FONCIERE DE LA COMMUNE DE BOHICON AKOGBEKAN S. ANSELME AINAMON D. K. JEAN,, AFOUTOU L. GUILLAUME	54
7	CONSTRAINTES AU PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT REGIONAL DE L'ESPACE TRANSFRONTALIER GRAND-POPO-ANEHO AKPAKLA YVETTE CELINE , DOSSOU GUEDEGBE ODILE	65
8	CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE DES UNITÉS D'OCCUPATION DU SOL DANS LA COMMUNE DE GLAZOUÉ ALI RACHAD K. F. M.	79
9	CARTOGRAPHIE MULTIFACTORIELLEDES RISQUES D'EROSIONS SUR LES PLATEAUX DU SUD-EST AU BENIN SIMON B. YEMALIN ALLAGBE, JEAN COSSI HOUNDAGBA, BRICE A. TENDE, NORBERT AGOÏNON, FRANÇOIS C. TCHIBOZO	93

10	SUIVI DIACHRONIQUE DE LA CONSOMMATION DES TERRES AGRICOLES PAR IMAGERIE SPATIALE DANS LA COMMUNE DE DJAKOTOMEY, BÉNIN AZANDÉGBÉ ESPÉRANCE J. et TOKO IMOROU ISMAÏLA	107
11	SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE INTELLIGENT POUR LE SUIVI DES ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES BIAYE BALA MOUSSA , COULIBALY AMADOU, GAYE KHALIFA, AIDARA CHERIF,ET DIAGNE SERIGNE	120
12	ESSAI DE CLASSIFICATION DES ESPACES AGRICOLES SELON LE LIGNAGE ET DES SYSTEMES DE PRODUCTION DANS LA COMMUNE D'AGBANGNIZOUN BOGNONKPE LAURENCE NADINE ¹ ; GIBIGAYE MOUSSA ¹ ; TENTE BRICE	132
13	ANALYSE DES DISPARITES SPATIALES LIEES AUX INFRASTRUCTURES SANITAIRES DANS LA COMMUNE DE KETOU DAHANDE S. CLAUDE - DEKLE AMOS - KIKI CYRILLE - HONVO ASER	141
14	FONDEMENTS SOCIO-ANTHROPOLOGIQUES DE LA PROLIFÉRATION DES INSTITUTIONS ROYALES DANS L'AIRE CULTURELLE ADJATADO DU COUFFO EN RÉPUBLIQUE DU BÉNIN DANSOU Yao Mathias ¹ et AMOUZOUVI H. DODJI	149
15	TOPONYMES EN CARTOGRAPHIE PARTICIPATIVE DANS LE BARGU : CAS DE PARAKOU EN REPUBLIQUE DU BENIN DJAUGA MAMA, THOMAS OMER., HOUNDAGBA COSSI JEAN, ZAKARI SOUFOUYANE, MAZO ISMAËL, TOKO IMOROU ISMAÏLA ET AROUNA OUSSÉNI	159
16	DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DES TERRES AVANT ET APRÈS LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN D'AMÉNAGEMENT PARTICIPATIF DE LA FORÊT CLASSÉE DE L'ALIBORI SUPERIEUR AU BÉNIN DRAMANE ISSIAKO, THOMAS OMER, TOKO IMOROU ISMAÏLA, AROUNA OUSSÉNI, DJAUGA MAMA, ZAKARI SOUFOUYANE	172
17	VALIDATION SPATIALE DU MODELE LAND CHANGE MODELLER (LCM) A PARTIR DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES TERRES DANS L'HYDRO-ECOREGION DE LA DONGA EDEA O. EMILE, OREKAN VINCENT O. A.et BOKO MICHEL	187
18	GESTION DU FONCIER RURAL ET DEVELOPPEMENT LOCAL DANS LES COMMUNES DE N'DALI ET SINENDE GANSARI SANNI, GIBIGAYE MOUSSA et BIAOU GAUTHIER	199
19	DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES DES SITES BIOTA W11 ET LEURS PERIPHERIES DE 2006 A 2016 DANS LES COMMUNES DE OUASSA-PEHUNCO ET DE SINENDE	210

	GBEROU SENI THOMAS OMER, TOKO IMOROU ISMAÏLA, AROUNA OUSSENI, DJAOUGA MAMA, ZAKARI SOUFOUYANE	
20	AMENAGEMENT ET GESTION DES MOBILIERS URBAINS DANS LA VILLE DE PARAKOU : ETAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES GNELE José Edgard	226
21	ÉVALUATION DU STOCK DE CARBONE DE LA BIOMASSE LIGNEUSE AERIENNE DANS LA ZONE CYNÉGÉTIQUE DE LA DJONA AU NORD – BÉNIN DJIBRIL ABDOULAYE GUIRGUISOU, TOKO IMOROU ISMAÏLA, THOMAS OMER, ZAKARI SOUFOUYANE, AROUNA OUSSENI et DJAOUGA MAMA	239
22	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PASTORALE DANS LA ZONE SEPTENTRIONALE DE LA REGION DE TAHOUA PAR APPROCHE SIG ET TELEDETECTION IBRAHIM SADDI	251
23	ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA FILIERE BOVINE D'EMBOUCHE DES MENAGES RURAUX EN TERROIR MOBA-GOURMATCHE DANS LA REGION DES SAVANES AU TOGO KAMINA MANDAHEWA ⁽¹⁾ , ZINSOU-KLASSOU KOSSIWA	263
24	OCCUPATION DU SOL ET AGRICULTURE DURABLE PERIURBAINE DANS LA COMMUNE DE LOKOSSA : NECESSITÉ D'UN CHANGEMENT DE PARADIGME KOMADAN MARCEL, YABI IBOURAÏMA, AGBON CYRIAQUE	277
25	GESTION FONCIERE ET PROBLEMATIQUE DE DEVELOPPEMENT DES COLLECTIVITES LOCALES DANS LA COMMUNE DE DJOUGOU KOMBIENI HERVE et TCHINTCHIN QUINETTE	289
26	APPORT DES SIG DANS L'ANALYSE PROSPECTIVE DE LA DISPONIBILITÉ DES TERRES POUR UNE GESTION PARTICIPATIVE DES TERRITOIRES RURAUX DANS LE CENTRE-TOGO KOUMOI ZAKARIYAO, OREKAN O. A. VINCENT	303
27	APPROCHE COMPARATIVE DES METHODES DE CLASSIFICATION D'IMAGES DES UNITES D'OCCUPATION DES TERRES DANS LE BASSIN COTONNIER DU BENIN KOUTA SÉBASTIEN, SOGBOSSI ÉRICK S, MAZO ISMAËL, TOKO ISMAÏLA IMOROU et THOMAS OMER	316
28	EFFETS SOCIOECONOMIQUE DU SECTEUR DE L'ARTISANAT SUR LES TERRITOIRES DE DEVELOPPEMENT DU DEPARTEMENT DU BORGOU ET DE L'ALIBORI AU NORD DU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST) MASSIM – OUALI GASTON, GIBIGAYE MOUSSA et TENTE A. H. BRICE	328
29	STOCK DE CARBONE DANS LE BLOC FORESTIER MONTS-KOUFFE ET WARI-MARO AU BENIN	340

	MAZO ISMAËL, THOMAS A.B. OMER, SOGBOSSI ERICK, TOKO IMOROU ISMAÏLA, DJAOUGA MAMA, ZAKARI SOUFOUYANE & AROUNA OUSSENI	
30	DYNAMIQUE DES FORMATIONS VÉGÉTALES LE LONG DES COULOIRS DE TRANSHUMANCE DANS LA COMMUNE DE SAVE AU CENTRE-BENIN MOUSSA LOUKMANE, TOKO IMOROU ISMAÏLA ET YABI IBOURAÏMA	352
31	APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE L'ÉVOLUTION DES EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN AU SUD DE LA COTE D'IVOIRE N'GUESSAN BÏ VAMÏ HERMANN, ARONA DÏEDHÏOU, ADJAKPA THÉODORE, KOUADIO BOYOSSORO HÉLÈNE, BADARA ALÏOUNE KONE, KOUAME KOFFÏ, ASSA YAPÏ, AFFIAN KOAUDÏO	364
32	COLONISATION AGRICOLE ET MUTATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES PAYSAGES AU SUD-OUEST DU BASSIN VERSANT DE L'OUEME SUPERIEUR AU BENIN PLAGBETO A. HERMANN, OREKAN O. A. VINCENT et ABDOULAYE DJAFAROU	379
33	CARTOGRAPHIE DES CONFLITS D'USAGE AUTOUR DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES DANS LA RESERVE DE BIOSPHERE TRANSFRONTALIERE DU W AU NORD-BENIN SABI LOLO ILOU BERNADETTE, TOKO IMOROU ISMAÏLA, VIGNINOÛ TOUSSAINT & THOMAS OMER	391
34	PRODUCTION DES CULTURES DE CONTRE SAISON SUR LES TERRES EXONDEES DE LA COMMUNE DE MATERI : DYNAMIQUE SOCIO-ECONOMIQUE ET SPATIALE SOUBEROU KAFILATOU T, RADJI MOURITALA M. A, IDANI MINDRI. OGOUWALE EULOGE	399
35	ÉCHANGES DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES DANS L'ESPACE TRANSFRONTALIERS MATÉRI - MANDOURI AU NORD-OUEST DE L'ATACORA AU BÉNIN TADJA IDRÏSSOU, IKO AFE COSSI SYLVESTRE, GONZALLO GERMAIN	410
36	ACTIVITES INFORMELLES ET OCCUPATION DES ESPACES PUBLICS DANS L'ARRONDISSEMENT DE CALAVI AU BENIN TCHAKPA CYRILLE, BOUKARI SALIOU, OKOUNYODE JOSEPH A. O., YABI IBOURAÏMA ET HOUSSOU CHRISTOPHE S.	420
37	MODELISATION SPATIALE DU RISQUE EROSIF DANS LA COMMUNE DE ZE (BENIN) TENTE V. ORESTE, DOHOUNKPAN Y. R. BERENGER, TOHOZIN C. B. AIME, HOUNDAGBA C. J	431
38	MODELISATION PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LE BASSIN VERSANT DU PETIT KOUFFO (UN SOUS-BASSIN DU ZOU) AU BENIN	

	TOVIDE GERALD, AGOÏNON NORBERT, OREKAN VINCENT, TENTE BRICE	
39	CARTOGRAPHIES DES PRATIQUES DE PRODUCTION AGRICOLE RESILENTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA BANDE SUDHUMIDE SECHE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST : CAS DE KEROU, DE KOUANDE ET DE PEHUNCO YALLOU CORA DOMINIQUE JOËL, GIBIGAYE MOUSSA, MAKPONSE DAMIEN, TENTE BRICE	
40	CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA FORET CLASSEE DE GOUNGOUN ET SES TERROIRS PERIPHERIQUES ZAKARI SOUFOUYANE, THOMAS A. B. OMER, DJAOUGA MAMA, MAZO ISMAËL, TOKO IMOROU ISMAÏLA ET AROUNA OUSSÉNI	453
41	EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DES ACTIVITES PORTUAIRES SUR LA VILLE DE COTONOU ET SES PERIPHERIES AGBANDJEDJE S. MARC SONGBE EVARISTE A. A LAWANI KOYOUNATH I.	483

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE L'ÉVOLUTION DES EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN AU SUD DE LA CÔTE D'IVOIRE

N'GUESSAN BÌ VAMÌ HERMANN^{1,2*}, ARONA DIEDHIU³, ADJAKPA THÉODORE⁴, KOUADIO BOYOSSORO HÉLÈNE^{1,2}, BADARA ALIOUNE KONE^{1,2}, KOUAME KOFFI^{1,2}, ASSA YAPI², AFFIAN KOAUDIO^{1,2}

vami@outlook.com*, arona.diedhiou@gmail.com, adjakpatheo@yahoo.fr

¹Département des Sciences et Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement, UFR des Sciences de La Terre et des Ressources Minières,

² Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection,

³Laboratoire de la Physique de l'Atmosphère et de Mécanique des Fluides (LAPA-MF),

⁴Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED)

Université d'Abomey - Calavi (UAC) Cotonou, Bénin, Université Felix-Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire¹²³.

Résumé : Durant ces dernières années, le District d'Abidjan est confronté à des problèmes d'inondations de plus en plus récurrentes occasionnant des dégâts considérables. L'objectif dans ce travail est de réaliser une étude spatio-temporelle des événements pluviométriques extrêmes à partir des observations journalières TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) par la méthode des indices climatiques dans le District d'Abidjan en s'appuyant sur la Télédétection. Les données utilisées datent de 1998 à 2015 et ont été analysées au pas de temps journalier à l'aide du programme CLIMACT 2 master qui a servi au calcul des six indices climatiques retenus dans ce travail à savoir PrcpTOT (Total Précipitation), R95p (very wet days), R95pTOT (Percentage of very wet days), R99P (extremely wet days), R99pTOT (Percentage of extremely wet days) et SDII (simple daily intensity index). Les valeurs de ces indices climatiques obtenues, ont été spatialisées et regroupées en trois périodes de six ans pour chaque indice climatique. Sur toute la période d'étude, le cumul annuel des hauteurs de pluies varie de 1237,39 mm à 1351,67mm avec une lame d'eau moyenne comprise entre 11,5 et 16,5 mm/j. Le cumul des hauteurs de pluies intenses varie de 228,4 mm et 456 mm avec une fréquence des pluies intenses comprises entre 17,5 % et 33,8 %. Le cumul des hauteurs de pluies extrêmes est compris entre 31,7 mm et 191 mm avec une fréquence des pluies extrêmes qui varie entre 2,7 % et 15,3 %. De 1998 à 2003, le cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes se situe entre 113,6 et 191 mm et de 2004 à 2009. Il est compris entre 31,7 et 92,6 mm soit une baisse de 98,4 mm. De 2010 à 2015 le cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes varie de 59,5 à 158,4 mm soit une hausse de 65,8 mm. La fréquence des pluies extrêmes évolue également dans le même sens, elle diminue de moitié lors de la première phase jusqu'en 2009 et augmente également de moitié jusqu'en 2015 ce qui pourrait engendrer l'augmentation de l'occurrence des inondations. Les indices R99p et R99pTOT représentent donc les indices climatiques traduisant mieux l'occurrence des inondations dans le District d'Abidjan.

Mots clés : Côte d'Ivoire, Indices climatiques, TRMM, extrêmes pluviométriques.

Abstract: During these last years, the District of Abidjan is confronted with problems of flooding more and more recurrent causing considerable damage. The objective in this work is to carry out a spatio-temporal study of extreme rain events from TRMM observations (Tropical Rainfall Measuring Mission) by the method of climate indices in the District of Abidjan based on remote sensing. The data used date from 1998 to 2015 and were analyzed on a daily basis using the CLIMACT 2 master program which was used to calculate the six climate indices selected in this work namely PrcpTOT (Total Precipitation), R95p (very wet days), R95pTOT (Percentage of very wet days), R99P (extremely wet days), R99pTOT (Percentage of extremely wet days) and SDII (simple daily intensity index). The values of these climatic indices obtained were spatialised and grouped into three six-year periods for each climatic index. Throughout the study period, annual cumulative rainfall amounts ranged from 1237.39 mm to 1351.67 mm with a mean water level ranging from 11.5 to 16.5 mm / day. The cumulative amount of intense rain varies from 228.4 mm to 456 mm with an intense rainfall frequency of between 17.5% and 33.8%. The cumulative peak rainfall amounts are between 31.7 mm and 191 mm with an extreme rainfall frequency that varies between 2.7% and 15.3%. From 1998 to 2003, the cumulative annual rainfall extremes ranged between 113.6 and 191 mm and from 2004 to 2009 it is between 31.7 and 92.6 mm, a decrease of 98.4 mm. From 2010 to 2015, the cumulative annual rainfall extremes range from 59.5 to 158.4 mm, an increase of 65.8 mm. The frequency of extreme rainfall is also moving in the same direction, halving in the first phase until 2009 and increasing by half until 2015, which could lead to an increase in the occurrence of floods. The indices R99p and R99pTOT thus represent the climatic indices better reflecting the occurrence of floods in the District of Abidjan.

Key word: Climatic Index, TRMM, rainfall extrem event, Ivory Coast

Introduction

Des changements dans de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ont été observés depuis 1950 (IPCC, 2014) dont une augmentation du nombre d'événements de fortes précipitations dans certaines régions. Augmentation qui a probablement joué un rôle dans la hausse récente des inondations (Harding *et al.*, 2014).

Les aléas d'origine hydroclimatique (inondations, tempêtes ou sécheresses) constituent une menace globale à laquelle chaque pays du monde est en partie exposé. Selon l'Office des Nations Unies pour la réduction des Risques de Catastrophes (UNISDR, 2015), les aléas d'origine hydroclimatique sont les phénomènes naturels les plus fréquents et les plus dévastateurs dont l'amplitude spatiale a permis d'affecter n'importe quel pays du monde au cours de la période 1995-2015 (Bouba *et al.*, 2017). L'analyse de l'évolution du nombre d'occurrences des phénomènes hydroclimatiques en Afrique montre que ce sont les aléas d'inondations qui sont les phénomènes les plus récurrents, et dont les impacts humains et matériels s'avèrent très désastreux (CRED, 2012 ; Gemenne *et al.*, 2017).

Plusieurs travaux scientifiques effectués en Afrique de l'Ouest et centrale sahélienne ont permis de mettre en exergue le rôle de la pluviométrie dans processus d'occurrence de ces catastrophes d'inondation (Bouba *et al.*, 2017). Les résultats qui en découlent renseignent sur les évolutions historiques des conditions pluviométriques à savoir : une normalité du régime pluviométrique, assortie d'une croissance de la vulnérabilité de la société (Ozer et Perrin, 2014 ; Ozer, 2014) ; une augmentation de la pluviométrie au lendemain de la sécheresse des années 1970 (De Longueville *et al.*, 2016 ; Ozer *et al.*, 2017) entraînant une augmentation des écoulements (Mahe *et al.*, 2010) ; ou encore une augmentation de l'importance des extrêmes pluviométriques ces deux dernières décennies (Panthou *et al.*, 2014).

Ces dernières années, le District d'Abidjan a connu des inondations historiques, avec d'importants dégâts matériels et humains de 2009 à 2018 généralement dans le mois de juin ainsi que plusieurs autres localités de la Côte d'Ivoire (Konaté *et al.*, 2014). Parmi les facteurs mis en cause figurent les changements d'usage des sols ayant entraîné la modification des états de surface et l'augmentation du ruissellement. À ceux-là s'ajoute l'évolution du régime pluviométrique (Bahari *et al.*, 2018). Etant donné une augmentation de la pluviométrie et des écoulements prévue d'ici à la fin du 21^{ème} siècle (IPCC, 2001, ARDOINBARDIN, 2004), les années à venir pourraient donner lieu à un risque élevé d'inondation dans le District d'Abidjan.

La présente étude propose donc une analyse des précipitations à travers les indices pluviométriques en vue de mettre en évidence l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques et les tendances pluviométriques qui sont à l'origine de l'aggravation des inondations dans le District d'Abidjan. Il s'agira de manière spécifique d'adopter une approche méthodologique qui consiste à analyser l'évolution des caractéristiques pluviométriques à savoir la quantité, la fréquence et la répartition spatiale, à travers des indices pluviométriques.

Le district d'Abidjan est compris entre 5° et 5°55' de latitude Nord, et 4°25' et 3°45' de longitude Ouest. Il est érigé depuis 2001 en district d'Abidjan. Elle compte environ 4707404 habitants, et la densité de son espace urbanisé est de 114/ha. Le district d'Abidjan abrite les 13 communes comprenant les dix communes d'Abidjan et celles d'Anyama, Songon et Bingerville.

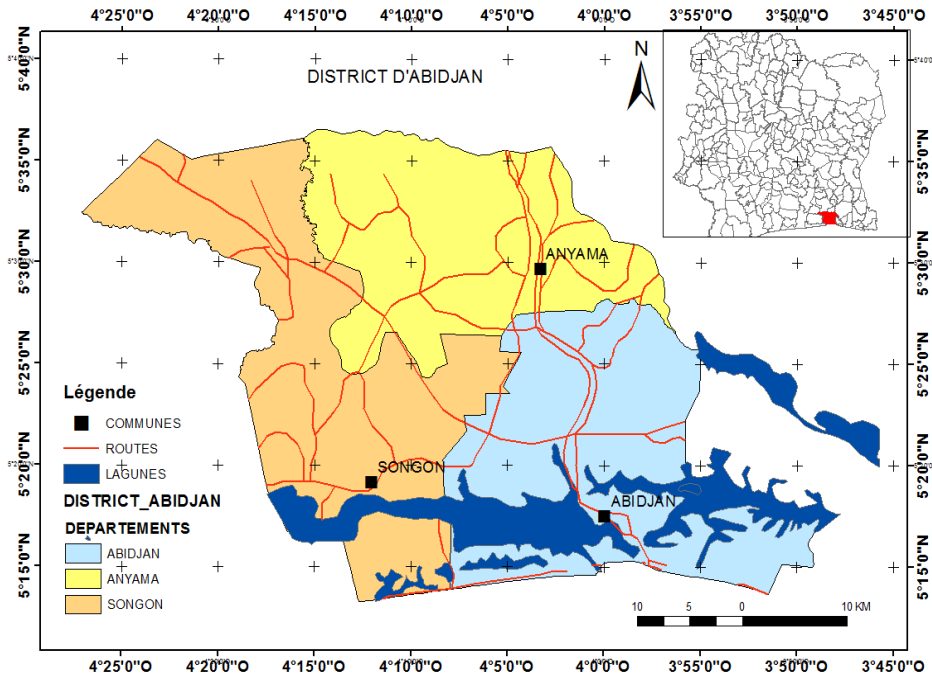


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

1. Matériel et méthode

L'analyse spatio-temporelle de l'évolution des pluies extrêmes journalières dans le District d'Abidjan a nécessité l'utilisation des observations pluviométriques du satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) qui offrent une couverture totale du District. La démarche méthodologique suit l'approche par indices climatiques définie par le groupe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI : Expert Team on Climate Change Detection and Indices), (Hyndman, 1996 ; Zhang, 2004 ; Xuelin et Yang, 2004).

1.1. Matériel

1.1.1. Données utilisées

Les données utilisées pour mener à bien cette étude sont essentiellement pluviométriques :

- Données de pluies satellitaires

Les données utilisées sont essentiellement composées de séries chronologiques de hauteurs griddées de pluies journalières datant de 1998 à 2015 avec une résolution spatiale de 0,25 degrés soit 25 Km. Ces données proviennent des observations journalières du satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Elles couvrent tout le district d'Abidjan et sont téléchargées sur le site d'IRI COLUMBIA (International Research Institut). Les données TRMM offrent une grille de 32 points de mesures dans le District d'Abidjan dont 9 répartis sur tout le territoire du District d'Abidjan. Ces données sont disponibles de 1998 à 2015.

1.1.2. Logiciels utilisés

Les logiciels utilisés sont de plusieurs types :

- XLSTAT 2016 a servi au rangement et au traitement statistique des données pluviométriques ;
- le logiciel de statistique R, pour le calcul des indices climatiques ;
- les programmes informatiques *RH_test* pour le test d'homogénéité des données TRMM et
- *ClimPACT 2 Master* pour le calcul des indices climatiques au pas de temps journalier.

Ces programmes sont accessibles à partir du site web de Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI). *ClimPACT 2 Master* est un programme informatique dédié aux études climatiques, élaboré et recommandé par l'OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie) qui fonctionne sous l'environnement du logiciel R.

1.2. Méthodologie

L'approche méthodologique adoptée dans cette étude pour analyser les événements pluvieux extrêmes est basée sur la méthode des indices climatiques (Hyndman, 1996 ; Zhang, 2004 ; N'Guessan bi, 2014 ; Manton *et al.*, 2001 ; Haylock *et al.*, 2006 ; New *et al.*, 2006 ; Aguilar *et al.*, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2011) proposée par l'équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI).

1-2-1. Calcul des indices climatiques

▪ Méthodes d'analyse des pluies journalières

Le groupe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI : Expert Team on Climate Change Detection and Indices) a défini 27 indices dont 11 pour caractériser les précipitations et 16 les températures extrêmes (Xuelin et Yang, 2004). Ces indices décrivent les caractéristiques particulières des extrêmes pluviométriques, y compris la fréquence, l'amplitude et la persistance des événements pluvieux (Taïbi, 2016). Ces derniers peuvent être regroupés en 6 grandes catégories :

- 1- indices basés sur les percentiles ;
- 2- indices absolus (exprimant des valeurs maximales ou minimales à l'intérieure d'une saison de l'année) ;
- 3- indices basés sur des seuils (valeurs définies à partir d'un seuil donné) ;
- 4- indices traduisant une durée ;
- 5- Autre type d'indices (n'appartenant à aucune des catégories ci-dessus).

Les six indices pluviométriques considérés dans cette étude concernent la première et la dernière catégorie (Xuelin et Yang, 2004) :

▪ Indices basés sur les percentiles

- totale annuelles de pluies des jours très humides R95p (very wet days) en mm
- Hauteurs Hauteurs totale annuelles de pluies des jours extrêmement humides R99p (extremely wet days) en mm

▪ *Autre type d'indices*

- Pourcentage des Hauteurs totale annuelles de pluies des jours extrêmement humides R99Ptot
- Intensité de pluies journalières SDII (simple daily intensity index) en mm/j
- Hauteur de pluies totale annuelles PrcpTOT (Total Precipitation) en mm
- Pourcentage des Hauteurs totales annuelles de pluies des jours très humides (R95pTOT)

Le calcul des indices climatiques se déroule en de trois étapes :

- Contrôle de la qualité (QC) des données utilisées ;
Test d'Homogénéité des données TRMM ;
- Calcul les indices climatiques.

Avant le calcul des indices, la qualité des données est contrôlée et l'homogénéité des données testée.

▪ *Contrôle de la qualité (QC) des données*

La procédure de contrôle qualité des données devant servir au calcul des indices suit le principe suivant : Les valeurs négatives de précipitations sont remplacées par la valeur -9,99 qui correspond à l'indication d'une donnée marquante. Ensuite la détection des valeurs aberrantes se fait à partir d'un seuil fixé à une valeur égale à la moyenne des hauteurs de pluies sur toute la période d'étude augmentée ou diminuée de 4fois l'écart-type (Sensoy *et al.*, 2013) :

$$P(ab) = P(moy) \pm 4 * STD$$

Avec :

$P(ab)$: Valeur de précipitation aberrante,

$P(moy)$: Valeur de précipitation donnée et

STD : Ecart-type

Le pourcentage des données manquantes est également vérifié lors de cette étape car il doit être inférieur à 25 %, condition nécessaire pour que le programme informatique calcul des indices.

▪ *Test d'Homogénéité des données TRMM*

L'homogénéité des données est vérifiée à l'aide d'un programme informatique *RHtest* développé par le Service Météorologique du Canada (Zhang *et al.*, 2005) et implémenté sous l'environnement du logiciel de statistique et de programmation R. Cette procédure est basée sur un modèle de double régression (Wang, 2003).

▪ *Calcul les indices climatiques*

Après avoir contrôlé la qualité et testé l'homogénéité des données, l'étape suivante consiste au calcul des indices climatiques. La validation des valeurs des indices calculés suit les critères suivants : L'erreur d'estimation de la pente de la droite résultant de la régression linéaire doit être inférieure à la valeur estimée de la pente et la P-value résultant du test de significativité associé doit être inférieure à 0,05 (P-value < 0,05). Ainsi la tendance obtenue est statistiquement significative avec un seuil de confiance de 95% (Sensoy *et al.*, 2013).

Il s'agit dans ce travail d'analyser la tendance de la fréquence et l'intensité des pluies journalières dans le District d'Abidjan de 1998 à 2015 à partir des observations satellitaires TRMM. L'analyse de la fréquence des pluies journalières repose sur deux méthodes de classification, une basée sur un seuil fixe relatif, classification non supervisée et l'autre basée sur un seuil fixe absolu, classification supervisée. La classification non supervisée a été utilisée dans la présente étude. La méthode du seuillage par percentile permet de déterminer le nombre de jour pluvieux par an dépassant la valeur de pluie associée à chaque percentile. Dans cette classification 8 seuils de percentiles sont définis : 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95% et 99%. Ce choix a été fait ainsi pour représenter les différentes tranches de pluies journalières et obtenir des échantillons avec un nombre d'évènements suffisants pour mener une analyse statistiquement significative. Cette démarche a également servi à déterminer la tranche de pluie associée à la contribution annuel des pluies intenses et des pluies extrêmes par rapport aux des totaux annuels (Taïbi, 2016).

Les pluies intenses sont représentées par la valeur de percentile 95 % et les pluies extrêmes par celle de 99%. Ces percentiles sont les plus utilisés pour caractériser la fréquence des extrêmes (Martinez *et al.*, 2007 ; Kioutsioukis *et al.*, 2010 ; Lupikasza, 2010 ; Sahani *et al.*, 2012 ; Griffiths *et al.*, 2003 ; New *et al.*, 2006 ; Aguilar *et al.*, 2009, Khomsi *et al.*, 2015).

2. Résultats

2.1. Evolution interannuelle du cumul annuel des hauteurs de pluies et de l'intensité pluviométrique dans le District d'Abidjan de 1998 à 2015

2.1.1. Cumul annuel des hauteurs de pluies (*prcpTOT*)

De 1998 à 2015, la hauteur totale de pluies annuelles dans le District d'Abidjan est comprise entre 1237,39 et 1351,67 mm. De 1998 à 2003 ce cumul est compris entre 1280,53 et 1351,67 mm et de 2004 à 2009 cette valeur est comprise entre 1237,39 et 1298,38 soit une baisse de 53,29 mm. De 2010 à 2015, le total annuel des hauteurs de pluies est compris entre 1245,04 et 1331,67 soit une légère hausse de 33,29 mm. Sur toute la période d'étude la hauteur totale annuelle de pluie baisse de 20 mm. La tendance générale du cumul annuel des hauteurs de pluies de 1998 à 2015 dans le District d'Abidjan est à la baisse mais révèle une reprise des précipitations à partir de 2010.

De 1998 à 2003, les valeurs élevées du cumul annuel sont localisées au nord et au sud-est du District d'Abidjan, de 2004 à 2009, ces valeurs élevées sont essentiellement localisées au nord du District et de 2010 à 2015, elles se situent au nord et au sud du District.

2.1.2. Lamme moyenne d'eau tombée (*SDII*)

De 1998 à 2015 la lamme d'eau moyenne dans le District est comprise varie de 11,5 et 16,5 mm/j. De 1998 à 2003, la lamme d'eau moyenne journalière varie de 13,2 à 16,5 mm/j et de 2004 à 2009 elle varie de 11,9 à 16,9 mm/j soit une baisse de 0,6 mm/j et de 2010 à 2015 elle varie de 11,5 à 16 mm/j soit une hausse de 0,1 mm/j. De 1998 à 2015, la lamme d'eau moyenne baisse de 0,5 mm/j. La tendance générale de la lamme d'eau moyenne durant la période d'étude dans le District d'Abidjan est donc à la baisse mais doublée d'une légère hausse à partir de 2010.

De 1998 à 2003 les valeurs élevées de la lame d'eau moyenne concernent le nord du District et les faibles valeurs se situent au sud du District. Cette réalité est inversée lors de la seconde période de 6 ans, de 2004 à 2010 et continue lors de la dernière période de 6 ans, de 2010 à 2015. La direction Nord-Sud est la direction majeure suivie par la distribution spatiale de la lame d'eau moyenne dans le District de 1998 à 2015.

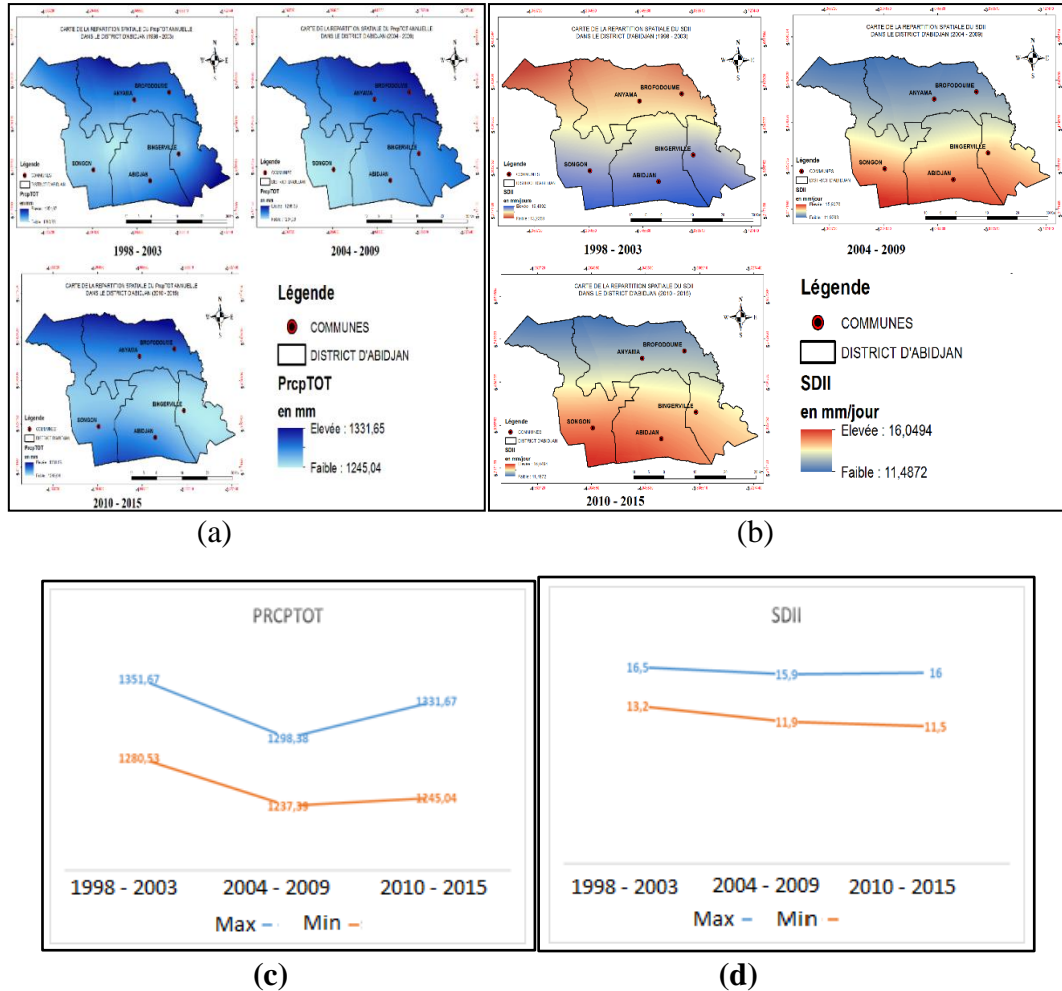


Figure 2 : Evolution spatio-temporelle (a-b) et tendance du cumul annuel des hauteurs de pluies (c) et de la lame d'eau moyenne (d)

2.2. Evolution annuelle des hauteurs et de la fréquence des pluies intenses dans le District d'Abidjan de 1998 à 2015

2.2.1. Cumul des hauteurs de pluies intense (R95p)

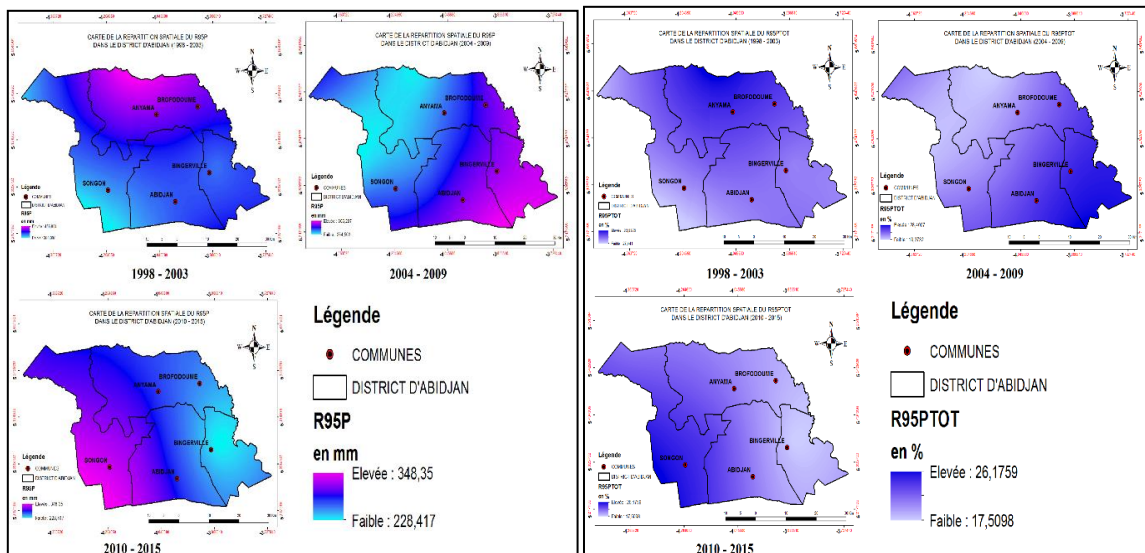
De 1998 à 2015, le cumul annuel des hauteurs de pluies intenses est compris entre 228,4 et 456 mm. De 1998 à 2003, ce cumul est compris entre 256 et 456 mm, de 2004 à 2010, il se situe entre 254,5 et 355,3 mm soit une baisse de 100,7 mm. De 2010 à 2015 le cumul se situe entre 228,4 et 349,3 mm, soit une baisse de 6 mm. Sur toute la période d'étude le cumul annuel des hauteurs de pluies intense baisse de 106,7 mm. La tendance générale des pluies intenses sur toute la période d'étude est à la baisse.

De 1998 à 2003, les valeurs élevées du cumul annuel des hauteurs de pluies intenses se situent au nord du District d'Abidjan. De 2004 à 2015, ces valeurs élevées concernent le sud-est du District. De 2010 à 2015, ces valeurs élevées sont localisées au sud-ouest du District. Durant toute la période d'étude, les valeurs élevées des hauteurs totales annuelles de pluies intenses sont localisées successivement au nord, au sud-est et au sud-ouest du District d'Abidjan.

2.2.2. Fréquence des pluies intenses (R95pTOT)

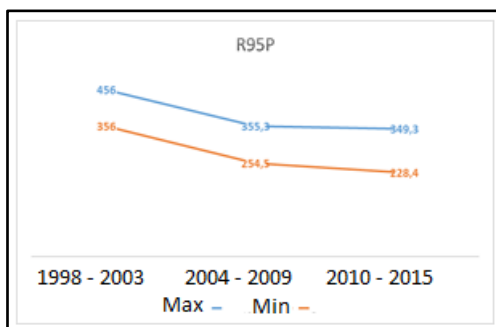
De 1998 à 2015, la fréquence des pluies intenses est comprise entre 17,5 % et 33,8 %. De 1998 à 2003, cette fréquence varie de 27,4 % à 33,8 %, de 2004 à 2009 elle se situe entre 19,4% et 28,4 % soit une baisse de 5,4 % et de 2010 à 2015, cette contribution des pluies intenses est comprise entre 17,5 % et 26,2 % soit une baisse de 2,2 %. De 1998 à 2015 la fréquence des pluies intenses baisse de 7,6 %. La contribution des pluies intenses est donc à la baisse de manière générale de 1998 à 2015 dans le District d'Abidjan.

Pendant les trois périodes de 6 ans, la distribution spatiale de la fréquence des pluies intenses suit celle du cumul annuel des hauteurs de pluies intenses. Ainsi la contributions maximales des pluies intenses est alternativement localisées au nord de 1998 à 2003, au sud-est de 2004 à 2009 et au sud-ouest de 2010 à 2015.

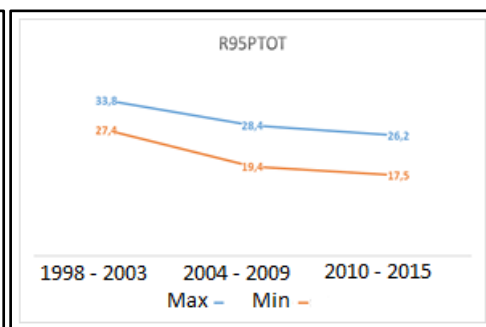


(a)

(b)



(c)



(d)

Figure 3 : Evolution spatio-temporelle (a-b) et tendance du cumul annuel des hauteurs de pluies (c) et de la fréquence des pluies intenses (d)

2.3. Evolution annuelle des hauteurs et de la fréquence des pluies extrêmes dans le District d'Abidjan de 1998 à 2015

2.3.1. Cumul des hauteurs de pluies extrêmes (R99p)

De 1998 à 2015, le cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes varie de 31,7 à 191 mm. De 1998 à 2003, ce cumul se situe entre 113,6 et 191 mm et de 2004 à 2009 il est compris entre 31,7 et 91,6 mm soit une baisse de 98,4 mm. De 2010 à 2015 le cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes varie de 59,5 à 158,4 mm soit une hausse de 65,8 mm. Sur toute la période d'étude le cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes diminue de 32,6 mm. Cette baisse générale est marquée par une hausse significative des pluies extrêmes à partir de 2010.

De 1998 à 2003, les valeurs élevées du cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes sont localisées à l'ouest et au nord-ouest du District d'Abidjan. De 2004 à 2009 ces valeurs se situent au nord et au nord-ouest du District et de 2010 à 2015 elles concernent le sud-ouest du District.

2.3.2. Fréquence des pluies extrêmes (R99pTOT)

De 1998 à 2015, la fréquence des pluies extrêmes dans le District d'Abidjan se situe entre 2,7 % et 16,6 %. De 1998 à 2003 cette fréquence est comprise entre 8,8 % et 15,3 % et de 2004 à 2009 elle varie de 2,7 % à 7,3 % soit une baisse de 8 %. De 2010 à 2015 la contribution des pluies extrêmes se situe entre 4 % et 11 % soit une hausse de 3,7%, traduisant une accentuation et une généralisation des pluies extrêmes. Durant toute la période d'étude la fréquence des pluies extrêmes baisse de 4,3 %. Cette baisse est également marquée par une augmentation de la fréquence des pluies extrêmes à partir de 2010. Ces pluies extrêmes ont une durée de 1 à 3 jours et sont généralement à la base des inondations dans le District d'Abidjan (Konaté et al., 2014)

Durant toute la période d'étude la distribution spatiale des valeurs élevées de la fréquence des pluies extrêmes suit celle du cumul annuel des hauteurs de pluies extrêmes.

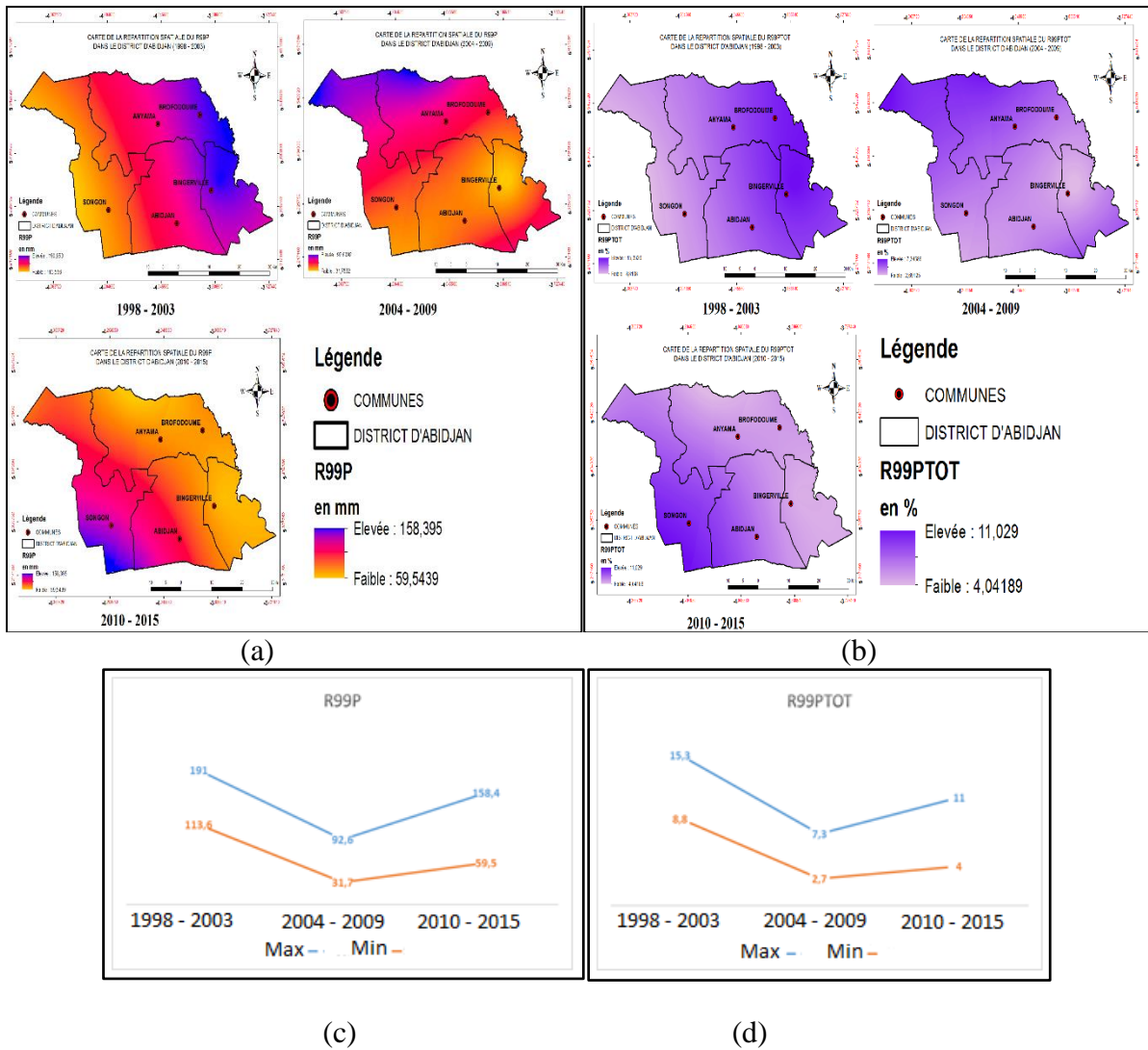


Figure 4 : Evolution spatio-temporelle (a-b) et tendance du cumul annuel des hauteurs de pluies (c) et de la fréquence des pluies extrêmes (d)

Discussion

Le présent travail a consisté en une étude spatio-temporelle des extrêmes pluviométriques dans le District d'Abidjan de 1998 à 2015 à partir des observations TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). L'approche méthodologique est basée sur l'utilisation des indices de pluies journalières d'extrêmes proposés par les experts du ETCCDI qui ont l'avantage de décrire les caractéristiques particulières des extrêmes, y compris la fréquence, l'amplitude et la persistance. Les données de pluies utilisées dans le cadre de cette étude sont des données TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) qui résultent de la combinaison des capteurs Radar et optique (Microondes et infra rouge). Ces données ont l'avantage de mieux traduire l'évènement pluvieux mesuré par les satellites comme l'ont montré plusieurs travaux (Kummerow *et al.*, 1998 ; Huffman *et al.*, 2007 ; Amekudzi *et al.*, 2016). Le processus de définition de l'évènement pluvieux nécessite l'application d'un seuillage qui varie d'une étude à une autre soit 0,85 mm ou 1 mm comme dans plusieurs travaux (Barron *et al.*, 2003 et

Seleshi and Camberlin, 2005 en Afrique ; Barron et al., 2003 ; Seleshi et Camberlin, 2005 en Afrique, Groisman et Knight, 2008 aux Etats Unis d'Amérique ; Zolina *et al.*, 2013 en Europe). Le seuil appliqué dans nos travaux est de 1mm, ainsi un jour est considéré pluvieux lorsque la quantité de pluie tombée est supérieure à 1mm comme l'ont considéré Froidurot et Diedhiou (2017) dans leurs travaux.

Les indices basés sur les percentiles avec des seuils fixés permettent d'évaluer les extrêmes modérés qui se produisent généralement quelques fois par année plutôt que les événements à fort impact observés une fois par décennie. Pour les précipitations, les seuils de percentile sont calculés à partir de l'échantillon de tous les jours de pluie de la période d'étude, de 1998 à 2015 suivant une classification non supervisée (Taïbi, 2016). Ces indices permettent d'évaluer directement les tendances observées dans la fréquence ou l'intensité des événements pluvieux qu'ils soient modérés ou extrêmes. La raison du choix d'un seuillage par percentile plutôt qu'un seuil fixe apparaît dans le fait que le nombre de jours dépassant un seuil de percentile est mieux réparti dans l'espace (Taïbi, 2016). Par contre les valeurs des seuils sont spécifiques aux sites. Ces indices permettent des comparaisons spatiales parce qu'ils échantillonnent la même partie de la distribution de probabilité des précipitations à chaque emplacement. Les indices basés sur des seuils absolus sont moins appropriés pour les comparaisons spatiales des extrêmes que ceux basés sur des seuils par percentile car selon les travaux de Taïbi (2016), sur de grandes surfaces, les indices basés sur des seuils absolus peuvent échantillonner des parties très différentes des distributions de températures et de précipitations. Le choix d'une méthode d'analyse des pluies journalières dépend de la région d'étude et de son régime pluviométrique. La plupart des études font appel à la méthode de seuillage par percentile et caractérisent les pluies extrêmes par le nombre de jours de pluies et la hauteur journalière des 90, 95, 99 et 99,5^{ème} percentiles (Martinez *et al.*, 2007 ; Kioutsioukis *et al.*, 2010 ; Lupikasza, 2010 ; Sahani *et al.*, 2012 ; Griffiths *et al.*, 2003 ; New *et al.*, 2006 ; Aguilar *et al.*, 2009, Khomsi *et al.*, 2015). Dans d'autres études, le nombre de jours de pluies est évalué par rapport à un seuil fixe de hauteur de pluie journalière (10mm, 20mm, 50mm...etc.) (Ozer, 2007 ; Sahani *et al.*, 2012, Kingumbi *et al.*, 2005). Alpert *et al.* (2002) ont choisi d'analyser les pluies journalières en les classant par intervalle de pluies : 0-4, 4-16, 16-32, 32-64, 64-128, >128mm. Kingumbi *et al.* (2005) ont analysé les pluies journalières de la Tunisie selon les classes suivantes : 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, >30mm.

Il a été observé au cours de ces dernières décennies une modification du régime pluviométrique des pluies journalières en termes de fréquence et d'intensité dans certaines régions du monde. Le District d'Abidjan présente une baisse générale du cumul annuel de pluies de 1998 à 2015. Ces résultats sont similaires à ceux de New *et al.*, (2006), Aguilar *et al.* (2009), Sahani (2012). En effet, dans leur étude portant sur l'évolution des conditions climatiques extrêmes quotidiennes couvrant le Sud et l'Ouest de l'Afrique, New *et al.* (2006) ont montré que les régions connaissent globalement une baisse des précipitations totales annuelles (PRCPTOT) et du nombre de jours de pluie. Aguilar *et al.* (2009) dans leur analyse des précipitations de l'Afrique centrale entre 1955 et 2006 ont abouti aux mêmes conclusions,

L'étude de la pluviométrie journalière du mois de juin, à partir des totaux glissants sur trois (3) jours a permis selon les travaux de Konaté *et al.* (2014) a permis de définir une quantité seuil de 100 mm pour l'occurrence des inondations dans le District d'Abidjan. Selon ces travaux, les inondations répertoriées dans la zone du District d'Abidjan montrent que cette valeur est atteinte soit en un jour (rare) ou sur un cumul des hauteurs de pluies de deux à trois

jours (fréquent). La connaissance des pluies de trois (3) jours permet ainsi une meilleure approche des événements extrêmes et leur relation avec les inondations. Cette réalité explique l'augmentation de la contribution des pluies extrêmes à l'occurrence des inondations de plus en plus récurrente dans le District d'Abidjan depuis 2009 conformément au résultat de nos travaux.

La présente étude montre une baisse générale des événements pluviométrique extrêmes doublée d'une augmentation de ces événements pluvieux quotidiens de forte intensité à partir de 2010 comme cela a aussi été observé dans le Sahel ouest africain (Descroix *et al.*, 2013 ; Bodian, 2014 ; Panthou *et al.*, 2014 ; Hangnon *et al.*, 2015 ; Bamba *et al.*, 2015). L'évolution temporelle de l'intensité des pluies journalières aux différents points de mesure montre une tendance générale à la baisse non significative dans le District d'Abidjan 1998 à 2015. Trambly *et al.* (2013) ont trouvé les mêmes résultats pour la plupart des stations du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie). L'évolution de la lame d'eau moyenne précipitée (SDII) dans le District est marquée par une légère hausse à partir de 2010. Filahi *et al.* (2015) révèlent une hausse du SDII pour des stations au Maroc et Bayes (2015) une légère évolution du SDII au Bangladesh. La distribution spatio-temporelle tendance des cumuls annuels de pluies de 2010 à 2015 revele une hausse soit un retour de la pluviométrie comme observé par Kaboré *et al.* (2015) dans le Centre-Nord du Burkina-Faso. Un retour des précipitations a été également observé à partir de 2010 de même dans les travaux de Ibrahim (2012) et Ozer et Perrin, (2014). Kabore *et al.* (2017) révèlent une la forte variabilité spatiale de la pluviométrie annuelle 2010 et 2015. Descroix *et al.* (2015) notent également que l'augmentation des pluies semble plus prononcée, plus franche et plus durable à l'Ouest (Sénégal) alors que dans le Sahel Central (Niger Moyen). Ballet *et al.* (2016) ont également mis en évidence une hausse des jours extrêmement humides (R99p) dans la région du Gôh située au centre-ouest de la Cote d'Ivoire avec une baisse générale du cumul annuel hauteurs de pluies toujours dans la région, du Gôh. Ce retour des précipitations explique l'augmentation du risque d'inondation ces dix dernières années comme l'ont montré certaines études sur le Sahel (Tarhule, 2005), les villes de Bangui et de Dakar (Bangui, 2005) et au Sénégal (Sene et Ozer, 2002). Ces résultats corroborent les projections de l'IPCC (2007) qui prévoient une accentuation des phénomènes climatiques extrêmes durant les prochaines décennies et confirment la tendance régionale déjà observée (Kabore *et al.*, 2017).

Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que la Télédétection est un moyen efficace pour la cartographie des extrêmes pluviométriques. Elle a permis d'avoir une vue globale de la répartition spatio-temporelle des extrêmes pluviométriques dans le district d'Abidjan de 1998 à 2015 à partir des données TRMM. Cette étude a montré une tendance générale à la baisse des six indices climatiques étudiés. Mais deux de ces indices méritent une attention particulière à savoir le cumul des hauteurs de pluies extrêmes (R99p) et la fréquence des pluies extrêmes (R99pTOT). Ces deux indices diminuent de moitié de la première période de 6 ans (1998-2003) à la seconde (2004-2009) et de la seconde période de 6 ans à la dernière (2009- 2010), ils augmentent de moitié. Cela révèle une forte variation au niveau des hauteurs des pluies extrêmes ainsi que leur fréquence accentuée par un retour des précipitations à partir de 2010. Cette réalité explique l'augmentation des inondations ces dernières années, de 2009 à 2018 et présage une probable augmentation de l'occurrence des événements hydrométéorologiques à savoir les inondations dans le District d'Abidjan les années à venir.

Références bibliographiques

Aguilar A., Aziz Barry A., Brunet M., Ekan L., Fernandes A., Massoukina M., Mbah J., Mhanda A., Do Nascimento D.J., Peterson T.C., Thamba Umba, O., Tomou M. & Zhang X., 2009: Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of geophysical research*, 114, DO2115, doi : 10.1029/2008JDO11010, 2009.

Balliet R., Saley B., Sorokoby M., N'Guessan BI V. H., N'dri A., Dje K.B., Biemi J., 2016 : Evolution des extremes pluviométrique dans la region du goh (centre ouest de la cote d'ivoire). *European scientific journal* vol 12. 14p.

Bamba A., Dieppois B., Konare A., Pellarin T., Balogun A., Dessay N., Kamagate B., Savane I. Et Diedhiou A., 2015: Changes in vegetation and rainfall over West Africa during the last three decades (1981-2010). *Atmospheric and climate Sciences*, 5, 367-379.

Bahari I M., Bouzou I., Moussa, Maiga O F., 2018 : Évolution des caractéristiques pluviométriques et recrudescence des inondations dans les localités riveraines du fleuve Niger, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Regards / Terrain, mis en ligne le 25 mai 2018, consulté le 26 août 2018. URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/19891>; DOI: 10.4000/vertigo.19891.

Bayes H., 2015 : Rainfall Pattern Modeling of Chittagong District, Bangladesh, Technical Report, BUET-Japan Institute of Disaster Prevention and Urban Safety (BUET-JIDPUS); Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), Dhaka-1000, Bangladesh ,36p.

Bangui P., 2005 : La « métropolisation » des pays d'Afrique subsaharienne et les inondations de Bangui et de Dakar d'août 2005. Eléments de compréhension et plaidoyer pour une politique volontariste d'urbanisme, pp : 12-25 in pôle d'excellence régional « espaces et sociétés en Afrique noire », 2006 EAMAU, AUF, 25 p.

Bodian A., 2014 : Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Revue Physio-Géo*, 8, 1, 297-312.

Bouba L., Sauvagnargues S., Gonne B., Ayral P.A., Ombolo A., 2017 : Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'Extrême-Nord Cameroun, numéro spécial, *Geo-Eco-Trop.*, 2017, 41, 3, n.s.: 339-358

Descroix L., Diongue Niang A., Dacosta H., Panthou G., Quantin G. Et Diedhiou A., 2013 : Evolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel). *Climatologie*, 10, 37-49.

Descroix L., Diongue Niang A., Panthou G., Bodian A., Sane Y., Dacosta H., Malam Abdou M., Vandervaere J.-P. Et Quantin G., 2015 : Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : La SénéGambie et le bassin du Niger Moyen. *Climatologie*, 12, 25-43.

François L., 1996 : Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau. Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux. *Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne*, 366p.

Filahi S., Mouhir L., Tanarhte M., Tramblay Y., 2015 : Tendance et variabilité des événements extrêmes au Maroc, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015.

Griffiths G.M., Salinger M.J., Leleu I., 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23: 847-869.

Hangnon H., De Longueville F., Ozer P., 2015 : Précipitations 'Extrêmes' et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 497-502.

Haylock M.R., Peterson T., Abreu De Sousa J.R., Alves L.M., Ambrizzi T., Anunciação Y.M.T., Baez J., Barbosa De Brito J.I., Barros V.R., Berlato M.A., Bidgain M., Colonel G., Corradi V., Garcia V.J., Grimm A.M., Jaido Dos Anjos R., Karoly D., Marengo J.A., Marino M.B., Meira P.R., Miranda J.C., Molion L., Moncunill

D.F., Nechet D., Ontaneda G., Quintana J., Ramirez E., Rebello E., Rusticucci M., Santos J.L., Trebejo I. & Vincent L., 2006 : Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19: 1490-1512.

Hountondji Y.C., De Longueville F., Ozer P., 2011: Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*, 26-27 August 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/96112> (April 19, 2016)

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.), Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Ibrahim B., 2012 : Caractérisation des saisons des pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé, Thèse de doctorat en sciences de la terre de l'université Pierre et Marie Curie, 245 p.

Kabore P. N., Ouedraogo A., Some L. Et Millogo-Rasolodimby J., 2015 : Les facteurs déterminants de la production de céréales sèches en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11, 1, 214-230.

Konate L., Kouadio H B., Djè B K., Ake G E., N'Guessan Bi V H., Gnagne L., Kouame M K., Biem. J., 2016 : Caractérisation des pluies journalières intenses et récurrences des inondations : apport des totaux glissants trois (3) jours à la détermination d'une quantité seuil d'inondation (District d'Abidjan au Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 17 No. 3 Aug.* 2016, pp. 990-1003 © 2016 Innovative Space of Scientific Research Journals, <http://www.ijias.issr-journals.org/>.

Manton M.J., Della-Marta P.M., Haylock M.R., Hennessy K.J., Nicholls N., Chambers L.E., Collins D.A., Daw G., Finet A., Gunawan D., Inape K., Isobe H., Kestin T.S., Lefale P., Leyu C.H., Lwin T., Maîtrepierre L., Outprstown N., Page C.M., Pahalad J., Plummer, N., Salinger M.J., Suppiah R., Tran V.L., Trewin B., Tibig I., Yee D., 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pasific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21: pp. 269-284.

New M., Hewiston B., David B., Tsiga S.A., Kruger A., Manhinsue A., Gomez B., Coelho C.A.S., Masisi D.N., Kalulanga E., Bulane E., Fortunata L., Mdoka M.L. & Lajoie R., 2006: Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102, doi: 10.1029/2005JD006289.

New M., Hewiston B., David B., Tsiga S.A., Kruger A., Manhinsue A., Gomez B., Coelho C.A., Masisi D.N., Kalulanga E., Bulane E., Fortunata L., Mdoka M.L. Lajoie R., 2006: Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west africa. *Journal of geophysical research*, 111, d14102, doi: 10.1029/2005jd006289.

N'Guessan Bi V.H., Saley M. B., Sorin P., Romilus T., Bogdan B., Djagoua E.V., Kouamé F., Borda M., Affian K., 2014: Markovian approach for analysis and prediction of monthly precipitation field in the department of sinfra (central-west of côte d'ivoire) *international journal of engineering research and general science* **volume 2**, issue 1, 49p.

Ozer P., Perrin D., 2014 : Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. In A., Ballouche & N.A. Taïbi (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*. Angers, France: Presses de l'Université d'Angers, 227-245.

Panthou G., Vischel T., Lebel T., 2014: Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.3984

Pamalba N., Kabore, Ouedraogo A., Moussa M., Yaka P., Some L., 2017 : Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du burkina faso entre 1961 et 2015, *Climatologie*, vol. 14 (2017) ;pp 82-95.

Sahani M., Moeyersons J., Vandecasteele I., Trefois P., Ozer P., 2012 : Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de butembo (rdc) de 1957 à 2010. *Geo-eco-trop.*, 36 : pp.121-136.

Stern, R.D., et Coe, R., 1984: A model fitting analysis of daily rainfall data. *J. Royal statistical society (a)*, 147: 1-34.

Sahani M., Moeyersons J., Vandecasteele I., Trefois P., Ozer P., 2012 : Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 À 2010, *Geo-Eco-Trop.*, 36 : 121-136.

Sene S., Ozer P., 2002 : Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 42, 27-43.

Sensoy S., N. Türkoğlu , Akçakaya A., Ekici M. , Demircan, M., Ulupinar Y., Atay H., Tüvan A., Demirbaş H ., 2013 : Trends in turkey climate indices from 1960 to 2010, *proceeding of the 6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2013 3 - 5 Haziran 2013, İstanbul*.

Tarhule A., 2005: Damaging rainfall and flooding. The other Sahel hazards. *Climatic Change*, 72(3), 355-377.

Tramblay Y., El Adlouni S., Servat E., 2013 : Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, p.3235-3248.

Wang, X. L., 2003: Comments on "Detection of undocumented change points: A revision of the twophase regression model." *J. Climate*, 16, 3383-3385.

Zhang, X G., Hegerl, zwiers F W., Kenyon J., 2004: Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. 18 *journal of climate*, 11p.

Zhang X., Aguilar E., Sensoy S., Melkonyan H., Tagiyeva U., Ahmed N., Kutaladze N., himzadeh F., Taghipour A., Hantosh T.H., Albert P., Semawi M., Karam Ali M., Said Al-Shabibi M.-H., Al-Oulan Z., Zadari T., Khelet I.-A., Hamoud S., Sagir R., Demircan M., Eken M., Adiguzel M., lexander L., Peterson T.C., Wallis T., 2005: Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research* 110:D22104, DOI: 10.1029/2005JD006181.