

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)

[Heavy daily rainfall characterization and flooding repeating: contribution of three (3) days sliding total to the purposefulness of threshold amount rainfall inducing flooding (Abidjan district, South-est of Ivory Coast)]

Lassina KONATE¹, Boyossoro Hélène KOUADIO^{1,2}, Bernard Kouakou DJÈ³, Gabriel Etienne AKE¹, Vami Herman N'Guessan Bi², Lornng GNAGNE³, ÈMoïse Koffi KOUAME¹, and Jean BIEMI¹

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 ABIDJAN 22, Côte d'Ivoire

²Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 B.P. 801, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM), 15 BP 990 Abidjan 15, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Daily rainfalls as they reach a certain threshold, induce severe flooding in some township of Abidjan district during the largest rainy season. This paper focuses on defining and identifying of heavy daily rainfall threshold linked in flooding over the Abidjan district.

The heavy rainfall maximum and critical occurrence period ascertainment has been possible thanks to the likelihood occurrence (from 0 to 100%). Identifying heavy rainfall threshold related to flooding-causing started with classification and definition of precipitation recorded from 2012 to 2014 over all stations of Abidjan district with the percentile. Then, using the rainfall total sliding window technic helped finding a threshold amount inducing severe flooding.

The critical period rainfall and flooding occurrence (likelihood occurrence of 75%) start from May 27th to June 22th. Rainfall total sliding and past flooding analysis revealed a threshold amount precipitation around 100 mm. Henceforth, this threshold could helped forecaster offices by issuing advisories and warnings for flooding when precipitation expected, at any location of Abidjan district, is near or exceeds the amount of 100 mm.

KEYWORDS: Abidjan district, rainy season, heavy rain, amount threshold, rainfall total, flooding, likelihood occurrence, critical period.

RESUMÉ: Les pluies journalières, lorsqu'elles atteignent une certaine quantité, provoquent des inondations dans certaines communes du district d'Abidjan durant la grande saison des pluies. Ce travail apporte une contribution à la définition et à l'identification d'une quantité seuil de pluie intense induisant les inondations.

Les périodes maximale et critique sont obtenues à partir de la probabilité d'occurrence des pluies. La détermination de cette quantité seuil, influençant les activités anthropiques, s'est faite d'abord par la définition et la classification des pluies journalières enregistrées aux stations des différentes communes de 2012-2014 à partir des percentiles. Ensuite, l'application de la méthode des totaux pluviométriques glissants a permis la détection d'une quantité seuil de pluie causant les

inondations. Le comptage des totaux pluvieux s'est fait sur trois (3) jours consécutifs glissants, qu'il y ait ou non permanence dans les précipitations.

La période critique des pluies et inondations (probabilité d'occurrence de 75%) se situerait entre le 27 mai et le 22 juin. L'analyse des totaux glissants et les épisodes d'inondations indiquent une quantité seuil avoisinant 100 mm de pluie. Ce seuil de 100 mm de pluie pourrait dans l'avenir jouer un rôle d'alerte lorsque les structures de prévision prévoient une pluie proche de cette quantité.

MOTS-CLEFS: district d'Abidjan, pluie intense, inondation pluviale, quantité seuil, totaux pluvieux, occurrence, période critique.

1 INTRODUCTION

Le district d'Abidjan fait face chaque année, durant la grande saison pluvieuse, à des pluies fortes induisant des inondations et glissements de terrains qui ont pour conséquences des pertes en vies humaines. Depuis 2009, plus de dix (10) personnes en moyenne perdent la vie chaque année dans le district d'Abidjan [1]. Les cas d'inondations pluviales meurtrières sont devenus récurrents et sont dues en grande partie à la forte pluviométrie qui affecte cette partie du pays, mais aussi à une démographie galopante qui induit souvent une urbanisation anarchique avec un réseau d'assainissement inadapté non viable ou inexistant dans certains quartiers du district d'Abidjan.

La référence [2] montre que les inondations sont engendrées soit par des pluies d'orage (pluies violentes de forte intensité et de courte durée) soit par des perturbations atmosphériques (pluies modérées mais répétées et de durée relativement longue). Ce constat suppose une quantité seuil au-delà de laquelle les conséquences sur le milieu physique commencent à être visibles. Comme exemple récent, les pluies diluviennes survenues du 16 au 18 juin 2014 dans la commune de Cocody, avec une quantité cumulée sur trois (3) jours avoisinant les 155,7 mm (soit 51,9 mm/jour), ont causé la mort de cinq (5) personnes et l'effondrement d'un immeuble [1].

La détermination d'une quantité seuil de pluies pour la prévention des catastrophes d'inondations dans le district d'Abidjan est l'objet pour lequel cette étude a été entreprise. Son but est de contribuer à l'identification et à la définition d'un seuil de pluies jugées « intenses » induisant les inondations pluviales et leur période d'occurrence.

L'application de la méthode des totaux pluviométriques glissants trois (3) jours aux données de pluies de la période 2012 à 2014 permet la détection d'un seuil de précipitation à la base de certaines inondations survenues dans les communes du district d'Abidjan. Ce seuil ne prend pas en compte l'aspect morphologique de la zone d'étude.

Une meilleure compréhension et connaissance des pluies intenses facilitera la prévision des impacts des événements pluvieux afin de prendre des dispositions de veille pendant une période particulière de l'année notamment la grande saison des pluies.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE 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 (figure 1). Le district s'étend sur une superficie totale de 2119 km² dont 566 km² de lagune [3]. Il regroupe une population estimée à environ 4 707 404 habitants en 2014 [4]. 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.

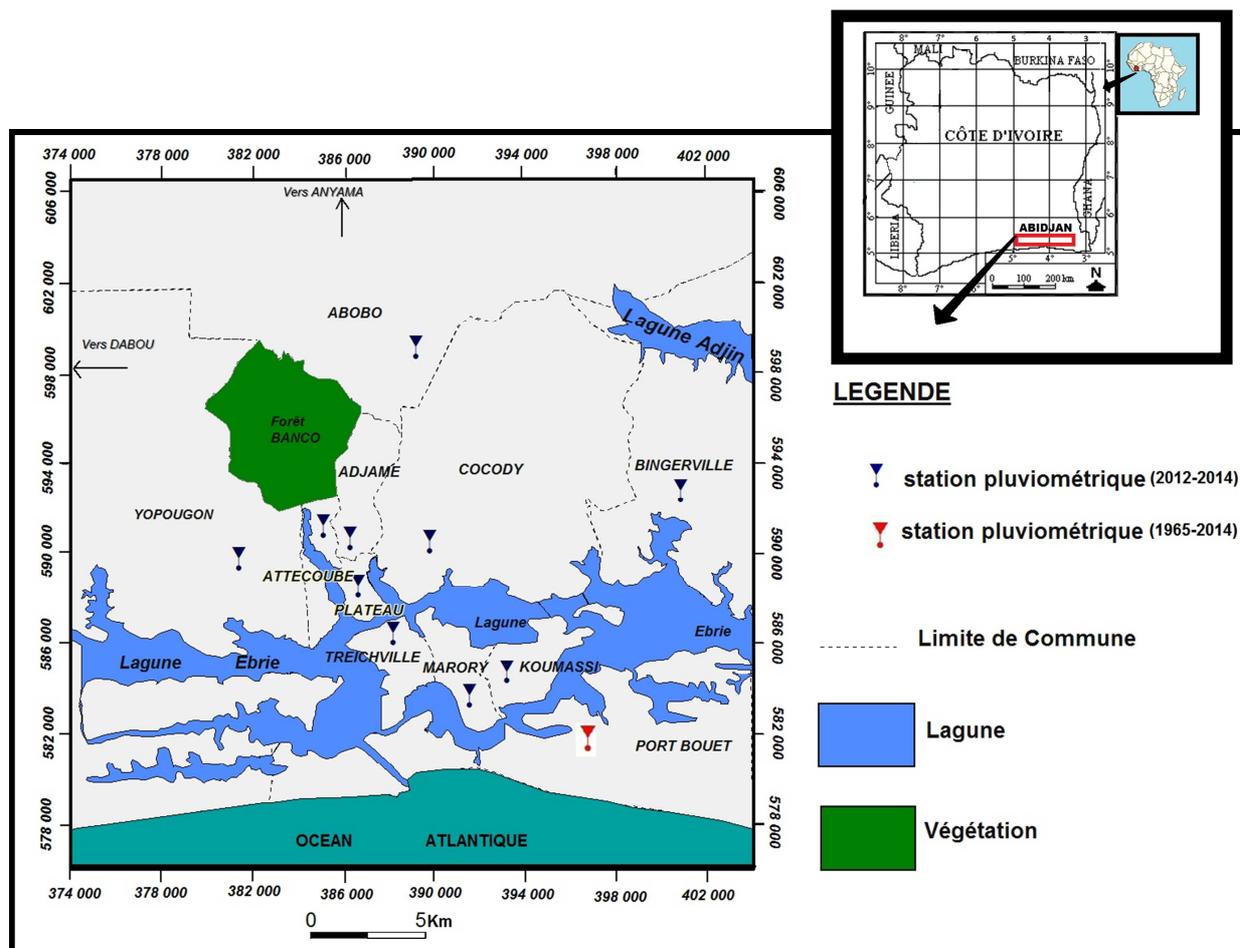


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Dans la zone d'étude, il existe trois grands ensembles géomorphologiques [5] (figure 2):

- 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 ;
- les moyens plateaux d'altitude allant de 8 à 12 m constituent les affleurements du cordon littoral du Quaternaire ; les plaines et lagunes, au Sud, constituent l'ensemble le plus affaissé ;
- Des vallées profondes allant de 12 à 40 m, issues du Centre Nord de la zone, entaillent les hauts Plateaux du Tertiaire. C'est l'exemple des ravins du Banco et du Gbangbo. 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.

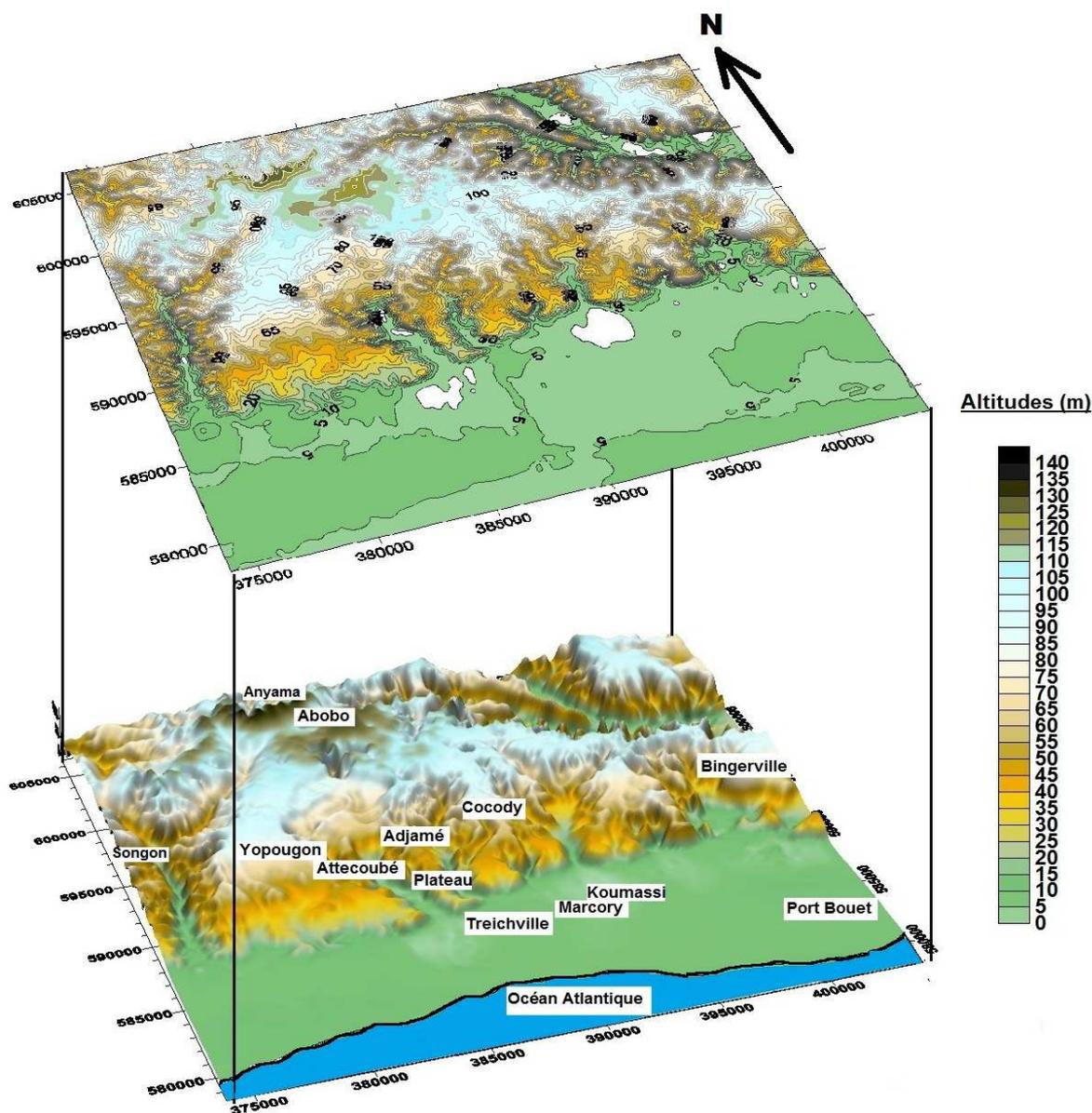


Fig. 2. Géomorphologie de la zone d'étude

2.3 CONTEXTE CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Les hauteurs annuelles de pluies enregistrées dans le district d'Abidjan aux stations de Port Bouet (1963-2000), d'Adiopodoumé (1990-1997) et de Bingerville (1994-2001) révèlent que les pluviométries des mois de mai, juin et juillet sont les plus élevées avec un pic en juin. De manière générale, la pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 2 000 mm [6]. Le district d'Abidjan est soumis à un climat équatorial de transition qui se divise en quatre (4) saisons dans le cycle annuel [7], (figure 3) :

- la grande saison sèche de décembre à avril ;
- la grande saison de pluies de mai à juillet ;
- la petite saison sèche de juillet à septembre ;
- la petite saison des pluies d'octobre à novembre.

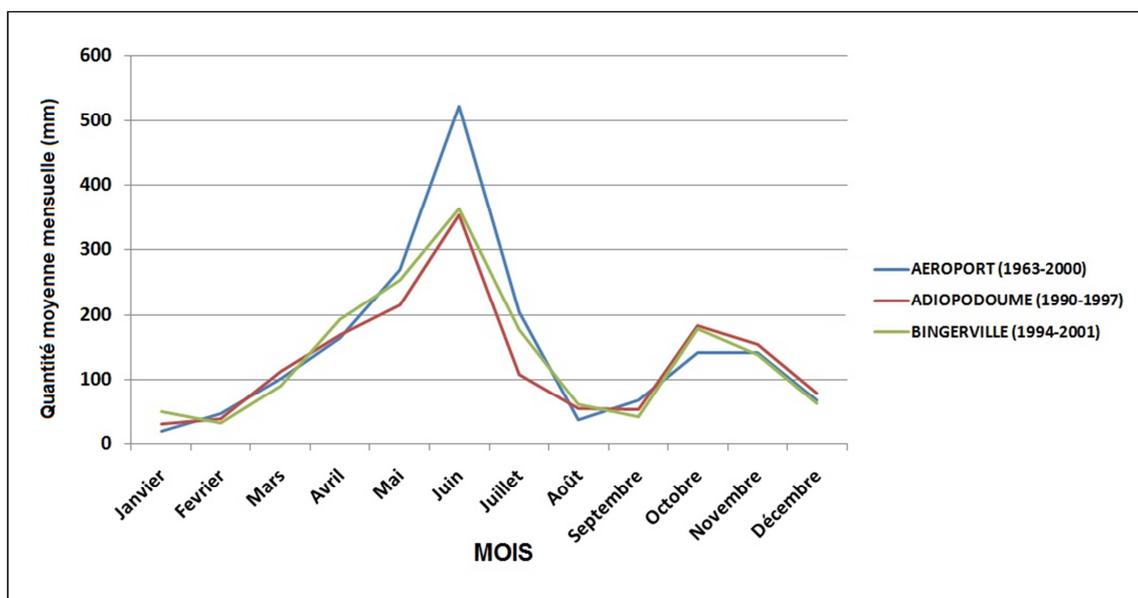


Fig. 3. Variation de la moyenne mensuelle de la pluviométrie dans le district d'Abidjan

Le constat qui ressort est que le district d'Abidjan est très arrosé surtout durant les mois de mai-juin-juillet avec un pic en juin, ce qui est important pour la recharge de la nappe assurant l'alimentation en eau potable de cette capitale économique qui comprend l'essentiel de la population ivoirienne.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 MATÉRIEL ET DONNÉES UTILISÉES

Le matériel de travail se compose de données multi-sources. Il s'agit des données cartographiques, socio-économiques et hydroclimatiques :

- les données cartographiques se composent de la carte topographique d'Abidjan et ses environs au 1/50 000 édité en 1999 par le CCT ;
- les données socio-économiques sur les catastrophes et dégâts d'inondations recensées dans les communes du district obtenues auprès de l'Office Nationale de la Protection Civile (ONPC) et certains organes de presses écrites de la place ;
- les données hydroclimatiques ont été obtenues auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Elles se regroupent en deux catégories (tableau 1), les données pluviométriques journalières sur la période 1985 – 2014 (station de Port Bouet aéroport) et 2012-2014 (stations installées dans chaque commune du district d'Abidjan depuis 2012).

Tableau 1. Localisation des stations pluviométriques du district d'Abidjan

Noms des stations	Coordonnées géographiques		Données utilisées	Chroniques
	Longitude	Latitude		
1-ABOBO mairie	-4°00	5°25	Pluies journalières	2012-2014
2-ADJAME mairie	-4°01	5°20	Pluies journalières	2012-2014
3-ATTECOUBE mairie	-4°02	5°20	Pluies journalières	2012-2014
4-BINGERVILLE mairie	-3°53	5°21	Pluies journalières	2012-2014
5-COCODY mairie	-3°59	5°20	Pluies journalières	2012-2014
6-KOUMASSI mairie	-3°58	5°17	Pluies journalières	2012-2014
7-MARCORY mairie	-3°58	5°16	Pluies journalières	2012-2014
8-Plateau district	-4°01	5°19	Pluies journalières	2012-2014
9- Port-Bouet aéroport	-3°56	5°15	Pluies journalières	1985-2014
10-TREICHVILLE mairie	-4°00	5°18	Pluies journalières	2012-2014
11-YOPOUGON mairie	-4°04	5°21	Pluies journalières	2012-2014

 Station utilisée pour la détermination de la période critique des pluie intenses et inondations

Toutes ces données ont été compilées sur un ordinateur pour le traitement des données hydroclimatiques et cartographiques par le Système d'Information Géographique (SIG) dans la génération des cartes isohyètes à l'aide de logiciels. Ce sont principalement les logiciels MapInfo 7.0 et Surfer 8.0.

3.2 METHODE

3.2.1 CARACTERISTIQUES SAISONNIERES DES PLUIES ET TECHNIQUE DE DETERMINATION DES SEUILS DE PLUIES INTENSES

3.2.1.1 DETECTION DE LA SAISONNALITE ET LA PERIODE CRITIQUE D'OCCURRENCE DES PLUIES INTENSES ET DES INONDATIONS

Le district d'Abidjan connaît une grande saison pluvieuse qui part de mars à juillet. La période principale d'occurrence des pluies journalières intenses se situe alors entre les mois de mars-avril-mai-juin-juillet car c'est au cours de cette période qu'on enregistre les plus fortes quantités de pluies journalières et un nombre très élevé de jours de pluie.

La détermination de la période critique d'occurrence des pluies intenses s'est effectuée sur cet intervalle à partir des pluies journalières sur une période de trente (30) ans (1985-2014). Elle est choisie en fonction de la probabilité d'occurrence des pluies donnée par la relation :

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

Avec N_i , le nombre de fois que l'événement apparait et N , le nombre total d'évènements sur l'année de référence.

P_i évoluant de 0 à 100%, les périodes principales d'occurrence des pluies et inondations seront ainsi déterminées.

3.2.2 DEFINITION ET IDENTIFICATION DU SEUIL DE PLUIE INTENSE

La définition d'un événement pluvieux intense est habituellement basée sur l'utilisation d'une quantité journalière excédant un seuil déterminé [8]. Cette quantité peut égaler celle reçue en quelques jours, en un mois ou en plusieurs mois. Selon les régions, la quantité seuil de pluie considérée comme intense varie [9]. En outre, une classification des hauteurs de pluies journalières peut être faite selon les auteurs. Les pluies s'étendant en général sur plusieurs jours, dans ce cas, la détermination de la valeur seuil peut se faire également sur un nombre de jours définis. Dans cette étude la détermination de quantités seuils est menée à la fois sur les pluies journalières et cumulées sur plusieurs jours.

3.2.2.1 QUANTITES SEUILS DE PLUIES INTENSES A PARTIR DES DONNEES JOURNALIERES

L'estimation des pluies intenses se base sur la quantité de pluie tombée à une seule station. En considérant l'impact potentiel d'un évènement pluvieux important sur la population, le seuil de précipitation significative est de 50 mm de pluie enregistrée à une station en un jour. Ce seuil est largement utilisé par les services météorologiques pour qualifier un évènement pluvieux d'assez significatif pour influencer les activités anthropiques et susceptible de déclencher des catastrophes humaines [10]. De plus, une quantité journalière de pluie de 50 mm dépasse le 90^{ème} percentile des précipitations dans la plupart des stations (plus de 90%) pendant la grande saison des pluies. Ce seuil de 50 mm est utilisé dans cette étude à cause de son importance en prenant en compte la capacité d'adaptation des sociétés vis-à-vis des évènements extrêmes [11]. Cette valeur est proche de 40 mm en 24h utilisée par [12] pour qualifier un évènement pluvieux d'une extrême importance et correspond à 50 mm en 24h considéré comme assez intense par [13]. D'autres valeurs seuils peuvent être déterminées à partir des 95^{ème} et 99^{ème} percentiles des données pluviométriques journalières [9].

Les pluviométries maximales journalières enregistrées aux différentes stations du district d'Abidjan ont été identifiées pendant la saison pluvieuse. En se basant sur la définition de la pluie maximale tombée à une station le 90^{ème} (43 mm), 95^{ème} (69 mm) et le 99^{ème} (91 mm) percentiles de ces valeurs ont été identifiés pour différentes classes de pluies intenses à chaque poste pluviométrique. Cependant, ces valeurs ont été légèrement ajustées, puisqu'elles pourraient être utilisées dans un cadre opérationnel, pour se retrouver dans les intervalles des seuils habituellement utilisés (Tableau II) par les bureaux de prévisions [9] (Dyson, 2009). Ainsi un évènement pluvieux est dit « significatif » lorsqu'une pluie excède 50 mm à une station, il est considéré comme « intense » lorsqu'elle dépasse 75 mm et de « très intense » quand elle est au-dessus de 100 mm. Cette valeur se rapproche de celle utilisée respectivement par [9] 115 mm et [14] 125 mm. Une étude statistique de ces classes de pluies intenses est menée pour saisir la répartition temporelle de ces évènements pluvieux pendant la période maximale d'occurrence des pluies qui comprend la période critique.

Tableau 2. Classification des pluies en fonction de leur intensité selon [9] (Afrique Sud), [13] (Thaïlande), [10] (Chine), [15] (France), [16] (Angleterre) et [8] (Canada), [13] Etats Unis

PLUIE	HAUTEUR
Intense	50 mm
Très intense (seuil critique)	> 100 mm

3.2.2.2 QUANTITE SEUIL DE PLUIE PAR LA METHODE DES TOTAUX GLISSANTS PLUVIOMETRIQUES

Pour comprendre l'importance des pluies intenses induisant les inondations, il est utilisé la méthode des totaux glissants pluviométriques également appelé la technique de la fenêtre de N jour glissants ([17] et [18]). Cette méthode consiste au calcul d'un total pluviométrique choisi sur un nombre de jours avec ajout à chaque fois d'une donnée nouvelle de pluie journalière en remplacement de la donnée ancienne. Ainsi, le total pluviométrique « glisse » sur l'ensemble des données pluviométriques de la période choisie.

Cette technique à l'avantage de prendre en compte le cumul de la pluie sur un nombre de jours donnés. Ce nombre de jours est habituellement prescrit artificiellement ([19] ; [20]). Dans cette étude le total pluviométrique est calculé sur trois (3) jours glissants. Le comptage des valeurs maximales se fait sur trois (3) journées consécutives, qu'il y ait ou non permanence dans les précipitations.

Cette méthode de détection des pluies intenses est appliquée seulement aux stations ayant enregistrées les données pluviométriques pendant la période maximale des pluies et inondations. Il s'agit des stations de Cocody, Treichville, Plateau, Port bouet et Yopougon. Elles représentent 50% des pluviomètres installés dans la zone d'étude. Elles sont par conséquent considérées comme assez représentatives des pluies tombées à cette période sur le district d'Abidjan. La détermination du seuil de pluie sur trois (3) jours (pendant la période critique) permet une bonne évaluation de la quantité de pluies diluviennes à la base des inondations dans le district d'Abidjan.

3.2.3 VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES JOURNALIERES ET EVALUATION DES INONDATIONS PAR TOTAUX GLISSANTS PLUVIOMETRIQUES

Il est appliqué la méthode des totaux pluviométriques trois (3) jours glissants à ces différents postes durant les mois d'occurrence des inondations. La réalisation de cartes isohyètes pour les pluies journalières et les totaux pluviométriques glissants de la journée la plus catastrophique est traitée. Cette spatialisation des pluies journalières d'une part et des totaux

glissants d'autre part permet la visualisation de l'évolution pluviométrique en relation avec les inondations recueillies auprès de l'ONPC et autres organes de presses (Tableau III). Une évaluation de l'étude des inondations par pluies journalières et totaux glissants aide à évaluer les quantités de pluies (journalières ou cumulées) les plus représentatives induisant ces catastrophes durant cette période.

Tableau 3. Historique (non exhaustive) des inondations enregistrées dans le district d'Abidjan (2012-2014)

DATE	COMMUNES	TYPE d'inondations	Pluie Journalière (mm)	IMPACTS		Sources
				Pertes humaines	Dommages	
Dimanche 17 juin 2012	Attécoubé	Ruissellement urbain	31,1	00	Circulation interrompue	Fraternité Matin (Frat-Mat) du 18 juin
	Cocody		28	00		
	Yopougon		27,9	00		
Lundi 03 juin 2013	Attécoubé	Ruissellement urbain torrentiel	65,2	01	-Dégâts importants -Maisons détruites	ONPC
	Yopougon		79,4	01		
Jeudi 05 juin 2014	Yopougon	Ruissellement urbain torrentiel	68	00	-Maisons détruites -circulation interrompue	-ONPC -Soir info, -Patriote,
	Attécoubé	Ruissellement éboulement	81,6	06	-Maisons détruites	Notre Voie du 06 juin
Mardi 10 juin 2014	Cocody	Ruissellement urbain torrentiel	25,4	06	-Maisons détruites -Circulations interrompues	-Nouveau Réveil -Soir info -Nord-Sud du 11 juin
Mercredi 18 juin 2014	Attécoubé Adjamé	Ruissellement Eboulement	52,9	07 00	- Maison détruites - Circulation interrompue	- ONPC -Frat Mat, -patriote,
	Yopougon	Ruissellement Urbain torrentiel	49,1	00	- Circulation interrompue	- LG info du 20 juin
	Cocody	Ruissellement urbain torrentiel	9,8	05	-Maisons détruites -Immeuble R+3 écroulé	
Dimanche 29 juin 2014	Songon	Ruissellement et Débordement fleuve Agneby	56,48	00	-Plantation bananeraie détruite	Frat Mat 30juin

4 RESULTATS

4.1 CARACTERISATION PLUVIOMETRIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DE 1985 A 2014

4.1.1 SAISONNALITE DES PLUIES ET JOURS DE PLUIES

On enregistre sur la période 1985 à 2014 une moyenne de treize (13) jours de pluie pendant le mois de mai et plus de vingt (20) jours de pluie durant celui de juin (figure 4). Les probabilités d'occurrence des pluies de ces deux (2) mois sont par conséquent les plus élevées durant l'année. Les cumuls pluviométriques mensuels et les jours de pluies suivent la même tendance. En effet, les mois de mai et de juin sont les plus pluvieux avec respectivement des quantités atteignant 300 mm et 500 mm de pluie en moyenne. Les jours de pluies montrent l'importance des précipitations dans cette période charnière de la saison pluvieuse dans le district d'Abidjan.

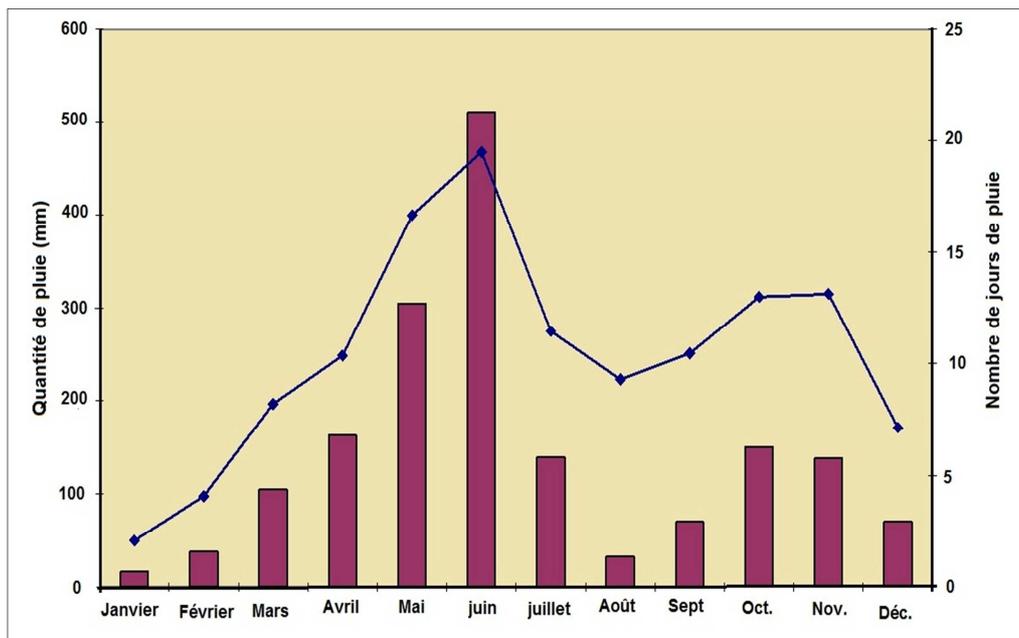


Fig. 4. Quantité et nombre de jours de pluie de 1985 à 2014 du district d'Abidjan

4.1.2 PERIODES MAXIMALE ET CRITIQUE D'OCCURRENCE DES PLUIES INTENSES ET INONDATIONS DURANT LA GRANDE SAISON PLUVIEUSE

La probabilité d'occurrence des pluies entre le 1^{er} mars et le 31 juillet varie de 25% à 90% (figure 5). Pendant la période du 27 avril au 17 juillet, elle dépasse les 50%, ce qui représente un (1) jour de pluie sur deux(2). Cette période correspond à la période maximale d'occurrence des pluies intenses. Au sein de cet intervalle de temps et durant les jours du 27 mai au 22 juin, la probabilité d'occurrence des pluies atteint le seuil critique de 75% (soit 3 jours de pluie sur 4). Cette période représente alors la période critique d'occurrence (figure 5) des pluies intenses. Le mois de juin est ainsi le mois critique d'occurrence des pluies de quantité importante. Cette période critique correspond également à la recrudescence des pluies intenses qui a pour conséquence les inondations dans la zone d'étude (le sol déjà saturé refoule l'excès d'eau pluviale engendrant les inondations).

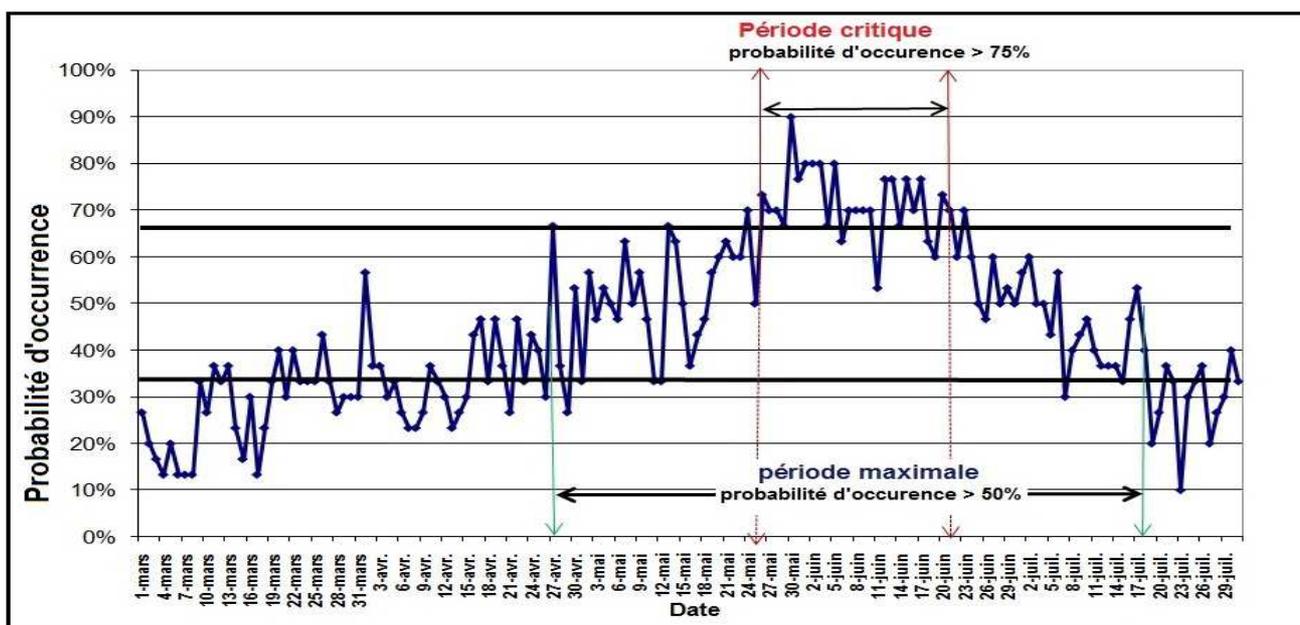


Fig. 5. Probabilité d'occurrence des pluies intenses journalières et des inondations sur la période de mars à juillet (1984-2014) du district d'Abidjan

4.2 CLASSIFICATION DES SEUILS DE PLUIES INTENSES JOURNALIERES DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN

Il a été déterminé différentes classes de pluies intenses durant la période maximale d'occurrence des pluies qui couvrent les mois de mai à juillet. Ces événements pluvieux sont répertoriés pour tout le district d'Abidjan au niveau des postes qui ont enregistré des données durant ces trois (3) années. Une analyse statistique de ces pluies a été faite (Tableau IV).

Tableau 4. Classification et occurrence des pluies intenses journalières en fonction de leur intensité durant la période maximale d'occurrence des pluies (mai-juin-juillet) de 2012 à 2014

	PLUIE SIGNIFICATIVE (50 ≤ P ≤ 75mm)			PLUIE INTENSE (75mm ≤ P < 100mm)			PLUIE TRES INTENSE (P ≥ 100mm)			
	Pluie max à une station	moyenne	max	Max nombre de jours successifs	moyenne	max	Max nombre de jours successifs	moyenne	max	Max nombre de jours successifs
MAI	120 ('14)	8,7	13 ('12)	0	2,0	4('12)	0	0,3	2('14)	0
JUIN	145 ('14)	11,7	17('12,'14)	8 ('14)	5,0	8('14)	3 ('14)	3,7	10('14)	3 ('14)
JUILLET	157 ('14)	3,3	7 ('12)	2 ('12,'14)	1,7	4('12)	2 ('12)	0,3	1('14)	0
		7,9			2,9			1,7		

P : pluie / nb : nombre max : nombre maximal d'occurrence / (') : année d'occurrence / □ : Moyenne sur les 3 années d'étude

L'analyse de ces différentes classes de pluies intenses montre que durant la période maximale, les pluies significatives (50 mm), les pluies intenses (supérieures à 75 mm) et les pluies très intenses (supérieures à 100 mm) sont respectivement fréquentes (une moyenne de 8 occurrences par an), moins fréquentes (moyenne de 3 occurrences par mois) et relativement faible (1,7 en moyenne) dans la zone d'étude.

Le mois de juin est celui qui enregistre les plus importantes occurrences d'évènements pluvieux intenses. Durant ces trois années, il a enregistré les moyennes les plus importantes en pluies significatives (11,7), intenses (5,0) et très intenses (3,7), ce qui confirme l'aspect critique de ce mois en évènements pluvieux.

L'année 2014 a été la plus touchée par les classes de pluies de forte quantité. De plus, elle a enregistré les pluviométries les plus intenses durant la période maximale d'occurrence (mai (120 mm), juin (145 mm) et juillet (157 mm)). Le mois de juin de cette même année a connu plus de 90% des différentes classes de pluies intenses définies. Il a été ainsi le mois le plus touché par les pluies intenses et les inondations.

4.3 IDENTIFICATION DU SEUIL DE PLUIE INTENSE A PARTIR DES TOTAUX PLUVIOMETRIQUES GLISSANTS 3 JOURS CONSECUTIFS

4.3.1 CAS DES PÉRIODES CRITIQUES (2012-2014)

La méthode de détection du seuil de pluies intenses sur trois (3) jours glissants a permis d'avoir les totaux pluviométriques concernés pour le mois de juin des années d'étude. Elle est appliquée seulement aux stations ayant enregistré des pluies durant la période maximale des pluies (figure 6). Les courbes d'évolution des totaux pluviométriques glissants pour le mois de juin (mois critique) de ces trois (3) années sont obtenues.

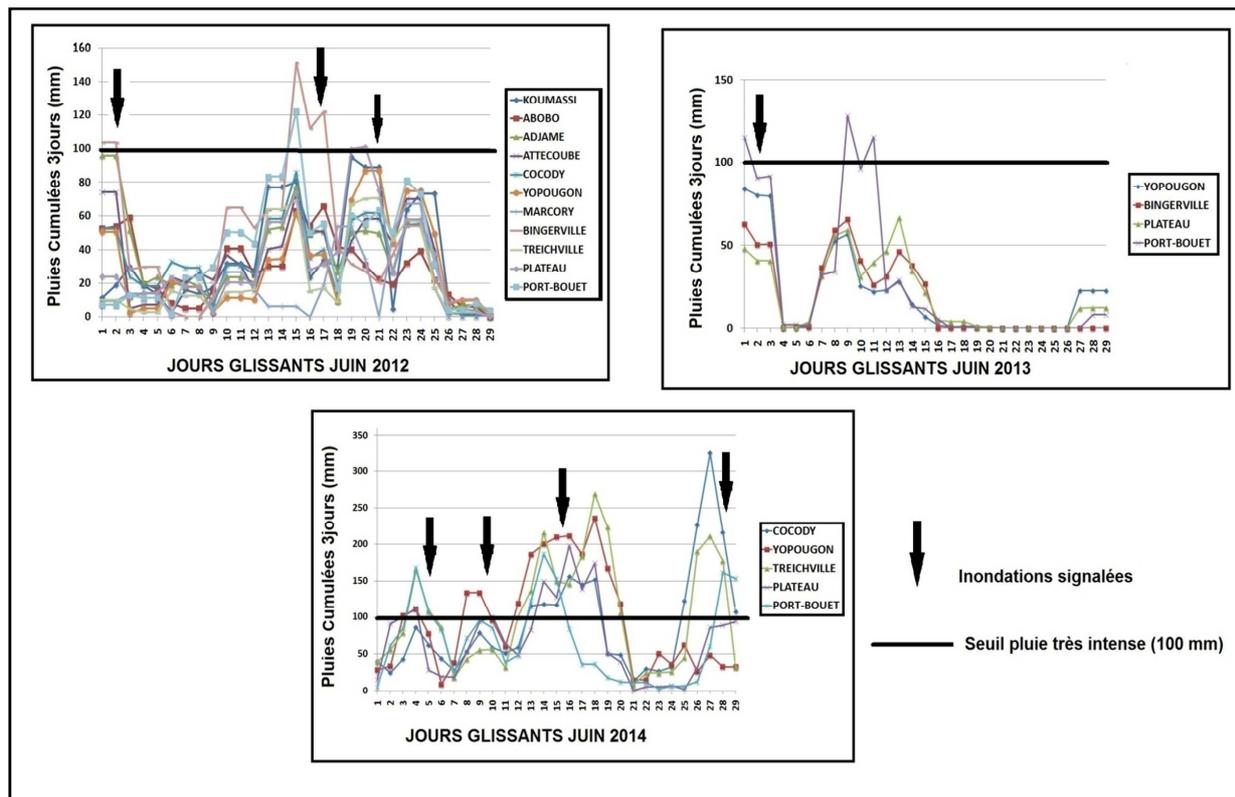


Fig. 6. Graphiques représentatifs des dates d'occurrence des totaux pluviométriques glissants trois (3) jours et inondations pendant la période critique (2012-2014) au niveau du district d'Abidjan

L'observation des courbes d'évolution des totaux pluviométriques sur des jours glissants montre que les pluies de trois (3) jours suivent la même tendance dans chaque commune du district malgré le nombre souvent faible de pluviomètres ayant enregistré les données de pluies à ces dates (seulement 4 stations en juin 2013). On constate par ailleurs une relation entre les dates d'occurrences des inondations et les cumuls pluviométriques glissants les plus élevés. La majorité des stations des communes du district présentent un pic pluviométrique à ces différentes dates d'inondations. Le mois de juin de l'année 2014 est le plus touché par les inondations, ce qui se justifie par le nombre important des différentes classes de pluie intenses pendant la période maximale d'occurrence des pluies.

Les quantités de pluies cumulées sur les dates glissantes lors des inondations enregistrées durant ces trois ans avoisinent ou dépassent le seuil des 100 mm de pluies (figure 6, trait noir) alors que les quantités journalières des pluies à chaque station excèdent rarement cette valeur. Cette valeur seuil de pluie de 100 mm qu'il ait ou non permanence dans les précipitations est la quantité au-delà de laquelle les conséquences des pluies sur le milieu physique deviennent importantes.

4.3.2 VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE ET RELATION TOTAUX GLISSANTS-INONDATIONS DANS LA DETERMINATION D'UNE QUANTITE SEUIL: CAS DES INONDATIONS DU 16-17-18 JUNI 2014

La répartition spatiale de la pluie journalière et des totaux glissants montre une différence nette dans la répartition des pluies. L'exemple de la considération unique des pluies journalières du 18 juin (figure 10a) dans la zone d'étude montre que seule la commune du Plateau est touchée entièrement par des pluies avoisinant 100 mm à cette date. Les communes d'Attécoubé, d'Adjamé (partie sud) et Cocody (extrémité sud ouest) ne le sont que partiellement. La majeure partie du district est en dessous des 100 mm (seuil d'inondation). Cependant l'ampleur des inondations, les dégâts associés et les pertes en vies humaines (12 morts) montrent le contraire, ce qui suppose que la saturation du sol par les pluies précédentes est non négligeable. Une approche par cumul de pluies journalières sur un nombre de jours glissants qui prendrait en compte les pluies des jours précédents s'avère importante. Le jour glissant 16 qui représente les pluies cumulées glissantes du 16, 17 et 18 juin (figure 10b) indique que la majorité du district d'Abidjan est affectée par une pluviométrie de plus de 100 mm (seuil de pluies très intense). Les inondations enregistrées dans toute la zone d'étude confortent l'idée selon laquelle les hauteurs de pluies de la seule journée du 18 juin ne sont pas à elles seules responsables de tous ces dégâts.

Le cumul des pluies sur trois (3) jours glissants ne néglige pas les pluies des jours précédents qui jouent un rôle important dans la saturation du sol en augmentant le ruissellement. Cette remarque démontre ainsi l'importance des totaux glissants dans la compréhension et l'étude des inondations pluviales urbaines. Pour le district d'Abidjan la hauteur de pluie à la base des inondations avoisine ou dépasse le seuil des 100 mm de pluies avec ou non permanence.

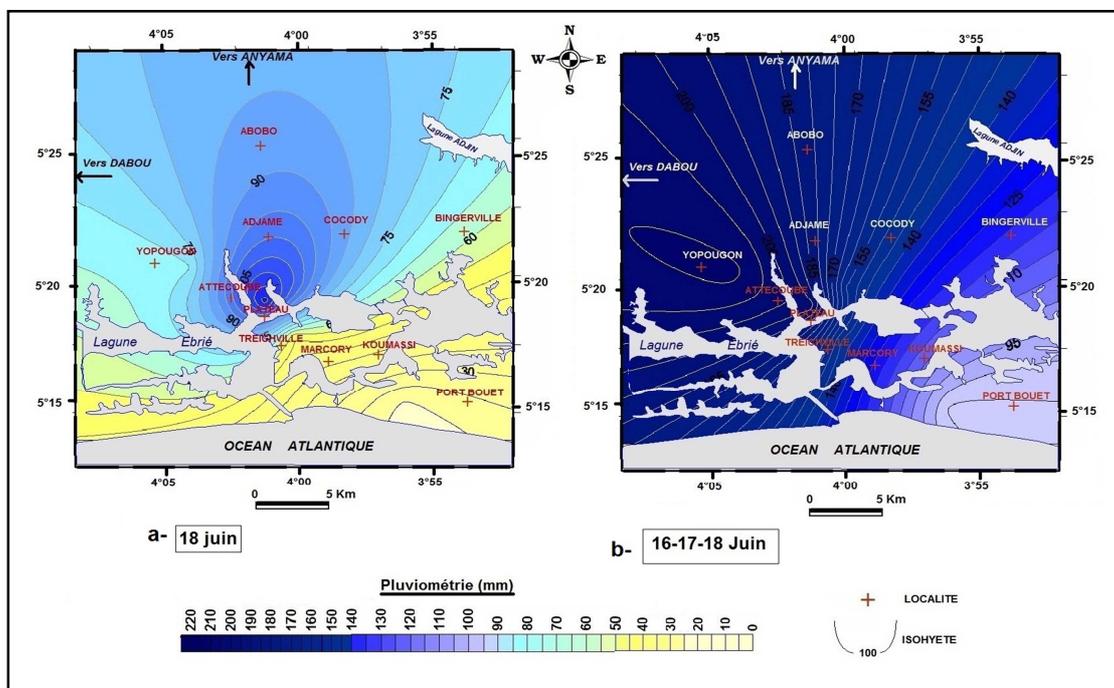


Fig. 10. Isohyètes des pluies journalières et pluies de trois (3) jours et pertinence de l'utilisation des totaux glissants pluviométriques pour l'étude des inondations pluviales

5 DISCUSSION

Cette étude a été menée en grande partie avec les données des stations installées dans le district depuis 2012. Malgré le faible nombre de stations (seulement 4 sur les 11) ayant enregistré de façon régulière les pluies durant la période maximale d'occurrence des inondations et pluies intenses, les données recueillies sont assez représentatives de la pluviométrie de la zone du district d'Abidjan. Les valeurs seuils de pluies intenses définies (50 mm, 75 mm et 100 mm) sont significatives et représentatives des dégâts d'inondations liés à ces pluies. Pour toute la zone d'étude il a été identifié, durant ces trois (3) ans, 71 pluies significatives ($50 \leq P \leq 75\text{mm}$), 26 pluies intenses ($75\text{mm} \leq P < 100\text{mm}$) et 15 pluies très intenses ($P \geq 100\text{mm}$). Il apparaît évident que le nombre d'événements pluvieux intenses répertoriés, durant ces trois (3) ans, est proportionnel au nombre de pluviomètres ayant enregistré les données pluviométriques.

Il faut signaler que les quantités seuils adoptées et décrites dans cette étude, leurs implications dans les inondations et dégâts qu'elles causent, sont établies pour la zone du district d'Abidjan qui se caractérise par une pluviométrie abondante et des inondations récurrentes. Ces classes de pluies définies sont appropriées pour la zone d'étude et ne s'appliquent pas systématiquement à toute la Côte d'Ivoire.

Aussi, la quantité seuil de 50 mm de pluie significative se rapproche de celle de [12] qui est de 40 mm de pluies dans le sud du Portugal (zone géomorphologique affectée par des zones de basses altitudes) et est identique à celle de [13] définie en Taiwan situé également dans une zone équatoriale. De plus, la quantité seuil de pluie très intense (100 mm) est en accord avec la hauteur de pluie de 100 mm déjà signalée par [21] dans la ville d'Abidjan. Cette quantité se rapproche du seuil de pluie très intense décrite par [9] dans la province de Gauteng en Afrique du Sud, 115 mm de pluie et de [14] 125 mm de pluie dans les plaines des Etats Unis d'Amérique. En outre, ces quantités se retrouvent également dans notre classification basée sur le 90^{ème} (44 mm), 95^{ème} (69 mm) et 99^{ème} percentiles (91 mm).

L'application des totaux pluviométriques glissants a permis la détection de la quantité seuil à la base des inondations dans le district d'Abidjan. Cette technique de fenêtres glissantes comme dans les travaux de [17] au Royaume Unis et [18] en Amérique du nord a montré l'importance de l'utilisation des totaux pluviométriques cumulés dans la détermination du seuil de pluies intenses causant les inondations dans le district d'Abidjan. Le nombre de jours artificiellement prescrit selon les études sur la durée des épisodes pluvieux en Europe [19] et des changements dans les classes de pluies intenses au centre des Etats Unis d'Amérique [20]. Ce nombre de trois (3) jours en référence à [22] sur la caractérisation des précipitations extrêmes en Afrique de l'ouest a permis une meilleure approche de ces épisodes pluvieux et leur implication dans les inondations sur l'ensemble d'une zone donnée. La valeur seuil induisant les inondations dans les différentes communes du district, avoisinent les 100 mm de pluie qu'il y ait ou non permanence dans les précipitations.

Cette méthode des totaux pluviométriques glissant donne la quantité totale de pluies sur ces trois (3) jours, mais n'indique pas si cet évènement pluvieux a persisté tout le long de ces jours [10]. Cependant, la quantité cumulée donne une indication sur le risque d'inondation de la zone enregistrant ces pluies.

Certes, la valeur seuil de précipitation ne prend pas en compte l'aspect géomorphologique des communes du district, cependant elle pourrait être influencée par le facteur niveau d'assainissement de la zone d'étude car les autres études notamment en Europe, aux USA, en Afrique du sud montrent des valeurs seuil légèrement à la hausse à cause de ce facteur.

6 CONCLUSION

Les précipitations journalières de différents seuils causent de graves inondations, avec des pertes en vies humaines de plus en plus croissantes, lors de la période maximale d'occurrence des pluies (mai-juin-juillet) avec un pic pendant la période critique des pluies (juin) dans le District d'Abidjan. L'analyse des données journalières de pluies enregistrées aux stations montre que la zone d'étude est plus sujette aux pluies significatives ($50 \leq P \leq 75\text{mm}$) pendant la période maximale d'occurrence des pluies définies dans cette étude. Par contre les pluies intenses ($75\text{mm} \leq P < 100\text{mm}$) ont une occurrence faible, et les pluies très intenses ($P \geq 100\text{mm}$) sont très faibles. Le mois de juin, en plus d'être le mois critique, est celui qui concentre la plus forte probabilité d'occurrence des quantités seuils de pluies définies dans cette étude. Le mois juin 2014 a été le plus catastrophique en évènements pluvieux intenses avec 17 pluies significatives, 8 pluies intenses, 10 pluies très intenses pour l'ensemble des postes pluviométriques de la zone d'étude ce explique le nombre élevé d'inondations recensées et l'ampleur des dégâts et perte en vie humaines (24 morts) le plus élevé depuis [1].

En outre, l'étude de la pluviométrie journalière du mois de juin, pendant la période critique, à partir des totaux pluviométriques glissants sur trois (3) jours a permis de définir une quantité seuil de 100 mm impliquée dans les inondations. Cette quantité représente le seuil au-delà duquel le sol ne peut plus absorber l'eau et alors les conséquences sur le milieu physique (inondations) commencent à se faire ressentir. Les inondations répertoriées dans la zone du district d'Abidjan durant la période critique montrent que cette valeur est atteinte soit en un jour (rare) ou sur un cumul de pluies de deux à trois jours (fréquente). Ainsi, le cas particulier des pluies du 16 au 18 juin 2014 a montré que la considération des pluies journalières ne permettait de comprendre, à elle seule, l'importance et la gravité des inondations car elle ne prenait pas en compte les pluies des jours précédents qui jouaient un rôle indéniable dans la saturation du sol. La connaissance des pluies de trois (3) jours permet ainsi une meilleure approche des évènements extrêmes et leur relation avec les inondations.

Toutes les quantités seuils utilisées ont été décrites et définies de façon détaillées. Ces quantités pourraient être revues à la hausse si le niveau d'assainissement s'améliore dans la zone d'étude. Cependant à l'heure actuelle, ces différentes valeurs pourraient servir de base dans la prévision des impacts désastreux des pluies intenses sur le district d'Abidjan.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent aux responsables de ces structures ayant mis à notre disposition les données nécessaires à la réalisation de cette études, 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 précisément 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 à l'équipe de travail du laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement et à la section en charge des Risques hydroclimatiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny qui a permis la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] ONPC, "Inondations en Côte d'Ivoire", Département des Opérations Sécuritaires (DOS) 7p. 2014.
- [2] DDRM, "Dossier Départemental des Risques Majeurs : les risques dans les Hauts-de-Seine, Risques météorologiques", Préfecture des hauts- de-seine, 2008, p37-p51.
- [3] I. Yacoub, "Analyse de l'évolution qualitative et quantitative des ressources en eau souterraine du Grand Abidjan. DEA. Sciences de terre option hydrogéologie, Université de Cocody Abidjan, 57 p. 1997.
- [4] INS (Institut national de la Statistique), "Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) : Résultats globaux, Districts Régions Départements Sous-préfectures". République de Côte d'Ivoire, Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH 26p, 2014.
- [5] J. P. Tastet, "Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du golfe de guinée (Côte d'Ivoire, Togo, benin)", thèse de doctorat d'état, université de bordeaux, 157p. 1979.
- [6] M. B. Saley, R. Tanoh, K. F. Kouamé, M. S. Oga, B. H. Kouadio, E. V Djangoua, S. Oularé, T. M. Youan, K. Affian, J. P. Jourda, I. Savane, et J. Biemi, "Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire)". Actes-des colloque Niamey. 17p. 2010.
- [7] S. Tapsoba, "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, 201 p.13p, 1995.
- [8] X. Zhang, W.D. Hogg, and E. Mekis, "Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada". *Journal Climate* 14 1923-1936. 13p. 2001.
- [9] L. Dyson, "Heavy daily-rainfall characteristics over the Gauteng Province", Department of Geography, Geoinformatics and Meteorology, *Geography Building 2-12*, University of Pretoria, Pretoria 0001, South Africa.12p 627-638 12p, 2009.
- [10] Y. Chen, and P. Zhai, "Persistent extreme precipitation events in China during 1951–2010" State Key Laboratory of Severe Weather, *Chinese Academy of Meteorological Sciences*, CMA, Beijing, P. R. China Vol. 57: 143–155, 13p, 2013.
- [11] M. Beniston, D.B. Stephenson, O. B. Christensen, C. A. Ferro, and others, " Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections". *Climate Change* 81. p71–p95, 2007.
- [12] M. Fragoso and T. Tildes Gomes, "Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large- scale atmospheric circulation types in Southern Portugal", *International Journal of Climatology* 28 (4) 537-544. 8p, 2008.
- [13] C. Chen, Y. Chen, C. Liu, P. Lin, and W. Chen, "Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan". *Weather Forecasting* 22 (5) 981-1002, 2007.
- [14] A. A. Bradley, et J. A. Smith, "The hydrometeorological environment of extreme rainstorms in the southern plains of the United States". *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 33 1418-1431. 14p, 1994.
- [15] Météo France, *Phénomènes météo : Les pluies intenses*, 2015.
[En ligne] disponible: <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-pluies-intenses>. (8 octobre 2015)
- [16] MetService, "Weather Warning Criteria", 2015. [En ligne]: <http://www.metservice.com/warnings/weather-warning-criteria.htm> (22 Octobre)
- [17] T. J. Osborn, et M. Hulme, "Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A Mathematical, Physical Engineering Science*, 360:1313–1325, 2002.
- [18] K. E. Kunkel, "North American trends in extreme precipitation", *Natural Hazards* 29:291–305. 16p, 2003.
- [19] O. Zolina, Simmer C., S.K. Gulev, S. Kollet, "Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls", *Geophysical Research Letters* 37p. 2010.
- [20] P.Y. Groisman, R. W. Knight, T. R. Karl, "changes in intense precipitation over the central united states", *journal of hydrometeorology* 13:47–66. 20p, 2012.
- [21] K. B. Djè, "Analyse des risques d'inondations à Abidjan", SODEXAM, Direction de la météorologie National, République de Côte d'Ivoire, bulletin mensuel d'alerte, 2013.
- [22] R. Morel, "Les pluies de trois jours comme extrêmes des précipitations", *Geographia Technica*. Numéro spécial, 329-334, 6 pages, 2009.