

Collection Environnement et Biodiversité

Numéro 2, Avril 2020



**GESTION DURABLE DES RISQUES D'INONDATION
DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN**

Yao Jean Marc KOUAKOU et Lazare TIA

Editions Resol-Tropiques

Mémoire de Master soutenu publiquement à l'Institut de Géographie Tropicale - UFR Sciences de l'Homme et de la Société - Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire)

Impétrant : KOUAKOU Yao Jean Marc

Date de soutenance : 5 Décembre 2018

Composition du Jury :

Président : TOURE Mamoutou, Maître de Conférences

Rapporteur : ANOH Kouassi Paul, Professeur Titulaire

Rapporteur : TIA Lazare, Maître de Conférences

Examineur : KOUKOUGNON Wilfried Gautier line, Maître-Assistant

Pour citer cette publication

KOUAKOU Yao Jean Marc et TIA Lazare, 2020, « Gestion durable des risques d'inondation dans le district d'Abidjan », Collection Environnement et Biodiversité, n° 2, Abidjan, Editions Resol-Tropiques, 101p.

© Copyright GéoRESBIO - 2020

Le contenu de cette publication n'engage que le(s) auteur(s)

GéoRESBIO

Equipe Interdisciplinaire de Recherche en Environnement et Conservation de la Biodiversité

Institut de Géographie Tropicale

Université Félix Houphouët-Boigny

✉ Info@georesbio.org

🌐 www.georesbio.org - Côte d'Ivoire

AVANT-PROPOS

La présente étude s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche qui conduisent à l'obtention du diplôme de Master en Géographie de l'Environnement, à l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire). Cette étude porte sur la gestion des risques d'inondation en rapport avec les variations pluviométriques dans le district d'Abidjan.

Le choix de ce sujet se justifie par le besoin de la prise en compte des paramètres hydroclimatiques dans la gestion des inondations dans un contexte général des changements climatiques. En effet, la question des risques naturels en général et des inondations en particulier est un sujet qui constitue une préoccupation majeure dans le monde. Les inondations représentent 80% des catastrophes naturelles dans le monde entre 1996 et 2006 causant le décès de 500 000 personnes et des pertes économiques évaluées à environ 600 milliards de dollars. Elles constituent ainsi les catastrophes naturelles les plus récurrentes, qui produisent le plus de dégâts tant au plan matériel qu'humain.

Ainsi, gérer les inondations, c'est-à-dire les connaître, les prévenir, s'en protéger et en limiter les effets lorsqu'elles se produisent, constitue l'un des défis majeurs auxquels les dirigeants du monde sont confrontés.

En Côte d'Ivoire, les événements survenus dans le passé montre à quel point les autorités peinent à faire face aux inondations qui y surviennent pendant les saisons pluvieuses, notamment dans le district d'Abidjan. En effet, le district d'Abidjan est situé dans une zone tropicale humide où la rigueur des précipitations favorise la catastrophe. Les travaux scientifiques sur la gestion des risques d'inondation doivent donc de plus en plus s'intéresser aux relations entre risques et climat. C'est-à-dire tenir compte des changements dans la configuration des précipitations et les phénomènes météorologiques induits par le changement climatique pour l'alerte et plus généralement la prévention.

L'intérêt de la présente étude est de contribuer à la prévention des inondations en milieu urbain par l'alerte précoce afin de réduire leurs impacts sur l'homme et ses biens. Cette approche passe par la localisation des zones inondables, l'étude de l'évolution des précipitations, principal facteur déclencheur des inondations, et la mise en évidence des prédictions futures.

RESUME

Les inondations représentent 80% des catastrophes naturelles dans le monde entre 1996 et 2006. Elles représentent 26% du nombre total des catastrophes hydro-climatiques enregistrées en Afrique entre 1971 et 2001. Dans le district d'Abidjan, les municipalités sont fréquemment affectées par les inondations aux conséquences dommageables. L'objectif général de cette étude est de contribuer à la prévention des risques d'inondation dans le district d'Abidjan à travers la scénarisation des variations pluviométriques. Les traitements SIG permettent de déterminer les zones d'aléa, des niveaux d'enjeux et des zones à risque d'inondation. L'Indice de Pluviométrie Moyen (IPM) de Nicholson a permis l'analyse de la variabilité pluviométrique. La simulation du climat est réalisée selon le modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP 8.5. Les résultats montrent que les communes du district d'Abidjan sont différemment exposées au risque d'inondation. Les résultats attestent également d'une modification des saisons dans le district d'Abidjan avec une baisse des moyennes pluviométriques annuelles (-243 mm), mais des saisons pluvieuses plus longues et un raccourcissement des saisons sèches. Cette nouvelle tendance prévoit la survenue des pluies exceptionnellement abondantes et inattendues pendant les mois habituellement secs. Cette situation peut être à l'origine d'inondations de plus en plus imprévisibles donc très dangereuses dans le district d'Abidjan, à l'horizon 2040.

Mots-clés : district d'Abidjan, inondation, SIG, simulation du climat, variabilité pluviométrique.

TABLES DES MATIERES

AVANT-PROPOS	3
RESUME.....	5
TABLES DES MATIERES	6
SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS.....	9
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE.....	11
I.1 Contexte de l'étude	11
I.2 Compréhension du sujet	12
I.3 Délimitation du cadre de l'étude	14
I.4 Problématique	15
I.5 Objectifs de l'étude.....	17
I.6 Hypothèse de l'étude	17
I.7 Organisation du travail	18
CHAPITRE 2 : CADRE THEORIQUE ET ESPACE D'ETUDE	19
2.1 Cadre théorique	19
2.1.1 Définitions des concepts	19
2.1.4 Intérêts de l'étude.....	32
2.2. Présentation de la zone d'étude.....	33
2.2.1. Situation géographique et administrative	33
2.2.2. Climat.....	35
2.2.3. Relief	36
2.2.4 Sol	36
2.2.5 Végétation	37
2.2.6 Hydrographie	37
2.2.7 Géologie	37
2.2.8 Hydrogéologie.....	38
2.2.9 Peuplement.....	38
2.2.10. Activités socio-économiques	39

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE DES DONNEES..... 40

3.1. Outils, techniques et méthodes de collecte des données.....	40
3.1.1. Recherches bibliographiques et documentaires.....	40
3.1.2. Données utilisées	41
3.1.3. Méthode de l'étude de la variabilité des précipitations: L'indice de Nicholson	42
3.1.4. Méthode de détermination du coefficient de ruissellement.....	43
3.1.5. Méthode de simulation du climat.....	44
3.1.6. Choix du scénario RCP 8.5	45
3.1.7. Matériels utilisés	46
3.2. Traitement des données.....	46
3.2.1. Traitement statistique.....	46
3.2.2. Traitement cartographique	47

CHAPITRE 4 : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS 50

4.1. Localisation des zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan ...	50
4.1.1 Pente et accroissement du ruissellement des eaux pluviales	50
4.1.2. Zones d'aléa inondation.....	51
4.1.3. Enjeux	53
4.1.4. Zones à risque d'inondation	56
4.1.5. Facteurs aggravants des inondations.....	58
4.2. Analyse de l'évolution de la pluviométrie dans le district d'Abidjan	59
4.2.1. Régime pluviométrique.....	60
4.2.2. Variabilité interannuelle des précipitations	64
4.2.3. Détermination du coefficient de ruissellement	68
4.3. Scénarisation des impacts des variations pluviométriques sur l'évolution des inondations.....	72
4.3.1. Prévision des hauteurs pluviométriques à l'horizon 2040	72
4.3.2. Impact des précipitations futures sur les inondations	76

CHAPITRE 5 : DISCUSSION DES PRINCIPAUX RESULTATS 79

5.1. Zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan	79
5.2. Evolution de la pluviométrie dans le district d'Abidjan	80
5.3. Scénarisation des impacts des variations pluviométriques sur l'évolution des inondations	81
CONCLUSION GENERALE	85
REMERCIEMENTS.....	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88
LISTE DES FIGURES.....	100
LISTE DES TABLEAUX	101

SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ANDE	: Agence National de l'Environnement
BM	: Banque Mondiale
BNETD	: Bureau National d'Etude Technique et de Développement
CCD	: Cold Cloud Duration
CEDEAO	: Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CIAPOL	: Centre Ivoirien-Antipollution
CNRTL	: Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales
Cr	: Coefficient de ruissellement
DEM	: Digital Elevation Model
DGPR	: Direction Générale de la Prévention des Risques
EIES	: Etude d'Impact Environnemental et Social
FLASH	: Faculté de Lettres, Arts et Sciences Humaines
GCM	: Modèle de Circulation du Globe
GIEC	: Groupe d'Expert Intergouvernemental sur le climat
IDA	: Association International de Développement
IGT	: Institut de Géographie Tropicale
INS	: Institut National de la Statistique
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
IPM	: Indice Pluviométrique Moyen
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
JAMSTEC	: Agence Japonaise pour la Science de la Terre et des technologies
MICRO-ESM	: Modèle Interdisciplinaire de Recherche sur le Climat
MNT	: Modèle Numérique du Terrain
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NETCDF	: NETwork Common Data Form
NIES	: Institut National pour les Etudes Environnementales
OIPR	: Office Ivoirien des Parcs et Réserves

ONAD	: Office National de l'Assainissement et du Drainage
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
ONPC	: Office National de la Protection Civile
ONU	: Organisation des Nations Unies
ONU-SIPC	: Organisation des Nations Unies-Stratégie Internationale pour la prévention des Catastrophes
ORSEC	: Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PAM	: Programme Alimentaire Mondial
PER	: Plan d'Exposition au Risque
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
RACC	: Rain and Cloud Classification
SAP	: Système d'Alerte Précoce
SHS	: Sciences de l'Homme et de la Société
SIG	: Système d'Information Géographique
SIPC	: Stratégie Internationale pour la Prévention des Catastrophe
UCL	: Université Catholique de Louvain
UEMOA	: Union Monétaire et Economique Ouest Africain

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE

Ce chapitre aborde successivement le contexte de l'étude et sa justification, la présentation de l'état des connaissances sur la question abordée, la problématique, les objectifs et l'hypothèse de recherche.

I.1 Contexte de l'étude

Entre 1990 et 2010 en Afrique de l'Ouest, le changement climatique s'est manifesté par un réchauffement généralisé, une augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur et des précipitations intenses (GIEC, 2014 : 32). Les catastrophes hydro-climatiques notamment les inondations ont augmenté. Selon la Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes (SIPC, 2007 :1), les inondations représentent 26% du nombre total des catastrophes hydro-climatiques enregistrées en Afrique entre 1971 et 2001. Celles-ci ont provoqué d'importantes pertes en vie humaine, de dégâts matériels et environnementaux importants:

En 1997, les inondations en Somalie ont causé le décès de 2311 personnes. En Afrique de l'Est, entre Octobre 1997 et Janvier 1998, de gigantesques inondations, à la suite de pluies torrentielles causées par EL Nino, affectent cinq pays de la région et font plus de 600 morts et 50000 personnes déplacées. En 2001, des crues au Nord de l'Algérie ont fait quelques 800 morts et causé des pertes économiques de l'ordre de 400 millions de dollars.

De Février à Mars 2000, des inondations sans précédent au Mozambique ont fait 699 morts et 95 disparus. Environ 60000 personnes sont abritées dans des camps mis en place par le gouvernement. En Janvier 2015, le fleuve Licungo, qui sépare le pays en deux, monte subitement de 12 m, du jamais vu depuis 1971. La crue dévaste la province de Zambézie, faisant 160 morts et 177000 sinistrés (SIPC, 2007 :1). Dans un contexte de réchauffement climatique accentué, les impacts pourraient s'alourdir dans les pays en développement où la

densité démographique est accrue, l'environnement est considérablement dégradé et la pauvreté grandissante.

Après 2010, 715 projets de réduction des risques hydro-climatiques, d'adaptation et de résilience au changement climatique, pour un montant de 7,3 milliards de dollars US, ont été lancés dans les 17 pays de l'Afrique de l'Ouest (M. Ali *et al.*, 2018 :8). Dans certains pays, les plans de développement communal ont été « acclimatés » pour mieux prévenir les impacts du changement climatique (Niger) et des plans de contingence ont été préparés (Mali, Burundi, Bénin) pour gérer et prendre en charge les impacts du changement climatique.

A cet égard, le 13^{ème} Objectif de Développement Durable (ONU, 2015 :3) recommande l'adoption et la mise en œuvre de plans locaux d'adaptation, d'atténuation et de résilience ainsi que la compréhension et la prise en compte du risque hydro climatique dans la planification du changement climatique. Cependant, aujourd'hui les régions et les communes rarement peuvent s'appuyer sur la connaissance du niveau des risques hydro-climatiques à l'échelle locale pour identifier les mesures de traitement du risque, les lieux où elles devraient être réalisées pour évaluer les projets et les plans de réduction des impacts du changement climatique.

I.2 Compréhension du sujet

En Côte d'Ivoire, les inondations occupent le premier rang des risques hydroclimatiques les plus récurrents. Elles affectent particulièrement la capitale économique, Abidjan. Elles ne sont pas des manifestations spontanées et mystérieuses. Elles ne frappent pas sans préavis car elles sont caractéristiques des crises climatiques et de la gestion de l'espace urbain et résultent des problèmes de développement (A. Tu Ngo : 8).

Lorsqu'aucune activité humaine ne venait modifier les paramètres d'écoulement des bassins versants, des drains et fleuve, la nature dessinerait harmonieusement le paysage et les écoulements seraient paisibles bien que variables. Lorsque les zones urbaines sont suffisamment et correctement dotées d'infrastructures de drainage et lorsqu'aucune activité humaine ne compromette leur fonctionnement normal, les écoulements et le drainage des eaux pluviales sont également paisibles. On en déduit que les inondations sont représentées par une ou plusieurs variables et les espaces dans lesquels elles sont produites sont sous l'influence des interactions de l'atmosphère, de la biosphère et de l'hydrosphère.

La forte pluviosité, les actions anthropiques notamment l'urbanisation incontrôlée sont responsables des inondations en Côte d'Ivoire et singulièrement dans le district autonome d'Abidjan (D. Alla, 2013 :34 ; P. Kaman, 2013 :1 ; C. Hauhouot, 2008 :79). D'autres causes comme les variabilités climatiques, les variations des précipitations et de l'humidité atmosphérique (IPCC, 2002 :47), la défaillance des dispositifs de protection, l'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants (Ministère de l'écologie et du développement durable France, 2004) sont autant d'évènements climatiques et anthropiques qui accélèrent les inondations dans le district d'Abidjan. Ces évènements ne laissent sur leur trace que des pertes en vie humaines et des dégâts matériels suffisamment importants.

Face à ces épisodes d'inondation, plusieurs solutions et moyens de lutte contre les inondations sont entreprises notamment les actions de relèvement et de reconstruction, l'évaluation de la planification et de la gestion urbaine afin de doter les différentes villes d'un document de planification urbaine, le plan national d'organisation de secours en cas de catastrophes (ORSEC). Il existe bien d'autres stratégies de réduction des inondations au plan national comme à l'échelle communale. Cependant, ils ont demeuré impuissants car la question d'inondation étant mal posée, les solutions actuelles n'incluent pas la

surveillance et la prévision des précipitations, pourtant principal facteur déclencheur des inondations dans le district d'Abidjan.

Le district d'Abidjan abrite l'essentiel des activités économiques, administratives et politiques de la Côte d'Ivoire, les inondations pourraient être de plus en plus catastrophiques si des mesures de prévention ne sont pas prises. Le choix du sujet « *Gestion durable du risque d'inondation dans le district d'Abidjan* » se justifie dans le souci de prévenir les risques d'inondation par la scénarisation des variations pluviométriques afin de se préparer et mettre en œuvre des mesures individuelles et collectives de mise en sûreté des personnes et des biens.

I.3 Délimitation du cadre de l'étude

Pendant de longues années, les risques naturels et leurs manifestations n'ont pas été une préoccupation majeure pour la Côte d'Ivoire. La fréquence de leurs manifestations catastrophiques ces dernières années ont amené l'Etat de Côte d'Ivoire à inscrire la gestion des risques dans sa politique de développement conformément au Cadre d'Action de Hyōgo (CAH). Cependant, le cadre institutionnel pour la gestion des risques naturel en Côte d'Ivoire apparaît peu fonctionnel. Il est caractérisé par l'existence de nombreux acteurs sectoriels disposant de responsabilités claires, mais qui n'arrivent pas à coordonner et à conjuguer leurs efforts du fait de l'absence de mécanisme organisationnel clair et pérenne pour la mise en œuvre de chaque phase de gestion des inondations (en dehors des réponses d'urgence) (P. Kaman, 2010 :15).

En Côte d'Ivoire, le risque d'inondation représente le risque naturel le plus dommageable. Le risque n'y est pas récent. Les villes au sud du pays ont tout temps dû y faire face. Bien que disposant d'un important réseau d'assainissement, Abidjan, n'est pas en marge de ce phénomène. En effet, la

capitale économique de Côte d'Ivoire est soumise à chaque saison pluvieuse à des inondations. L'extension urbaine qui touche principalement depuis quelques années les vallées et le littoral n'a fait qu'accentuer les enjeux exposés au risque déjà prégnant. Face à l'ampleur des phénomènes, de nombreuses études globales et locales ont été menées par différents auteurs dont P. Kaman (2013), D. Alla et A. Kangah (2015), C. Hauhouot (2008) etc. . Mais ces études ont abordé la question de l'inondation dans un contexte plus global et ont consisté à faire un état des lieux de sa gestion. En plus, les inondations n'affectent pas que les quartiers précaires qui sont toujours évoqués (D. Alla et A. Kangah, 2015 : 298). Elles touchent toutes les communes et tous les quartiers qu'ils soient huppés ou précaires.

Face à la récurrence des épisodes d'inondation dans le district d'Abidjan, et au regard des dégâts humains et matériels qu'elles provoquent, il paraît plus que nécessaire de se pencher sur ce phénomène en déterminant les zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan, en étudiant la variabilité temporelle de la pluviométrie et en mettant en évidence l'impact du futur régime pluviométrique sur les inondations.

I.4 Problématique

Il est estimé que les changements climatiques observés au cours du XXI^e siècle s'accentueront selon la saison et le milieu géographique (P. Kaman 2013 :7). Le district d'Abidjan n'y fera pas exception. On s'attend à davantage de pluie, notamment des pluies intenses. Les changements dans la répartition des précipitations pourraient affecter l'environnement naturel en accentuant l'intensité ou la fréquence de certains phénomènes naturels, particulièrement les inondations (institut national de la santé publique du Québec, 2012).

En Côte d'Ivoire, les évènements survenus dans le passé illustrent à quel point les municipalités ont pu être affectées par les inondations, lesquelles constituent le risque naturel le plus fréquent à l'échelle du pays (P. Kaman,

2013 :14). Ce risque n'est d'ailleurs pas sans conséquence pour les populations. Entre 2009 et 2011, les inondations dans le district d'Abidjan ont fauché la vie de 49 personnes (A. Aguia, 2018 :3) et occasionné plusieurs dommages matériels et économiques. L'exemple le plus récent s'est déroulé dans la nuit du 18 au 19 juin où les pluies exceptionnelles ont provoqué des inondations dans plusieurs communes d'Abidjan dont Cocody. Le bilan humain s'élève à 18 décès. Outre les décès, les conséquences des inondations sur la santé humaine ne sont pas à sous-estimer, entre autres le risque de blessures, d'intoxications, de maladies gastro-intestinales ou de problèmes respiratoires de même que des impacts sur la santé psychologique (F. Tairou *et al.*, 2010 :18).

Face à cette crise, plusieurs stratégies et mesures de gestion des inondations sont adoptées. Il y a entre autres l'évaluation de la planification et de la gestion urbaine afin de doter les différentes villes d'un document de planification urbaine, le plan national d'organisation des secours en cas de catastrophe (ORSEC) qui constitue le cadre légal national et le principal organe étatique de gestion des situations d'urgence (D. Alla, 2013 :261). Aussi, un effort stratégique se par l'Etat pour la mise en place progressive d'une plateforme nationale pour la réduction des risques naturels (P. Kaman, 2013 :23) conformément au Cadre d'Action de Hyōgo. Il existe bien d'autres stratégies de réduction des inondations au plan national comme à l'échelle communale.

Cependant, l'insuffisance des infrastructures de drainage des eaux de pluies (D. Alla, 2013 :172), la non vulgarisation des plans de secours, des stratégies et mesures prises pour susciter l'adhésion des volontaires, les diagnostics posés bien qu'ils aient un contenu appréciable n'intègrent pas le point de départ des problèmes relatifs à la survenance des inondations. En dépit des multiples solutions et moyens de lutte et d'adaptation apportées aux variabilités hydro climatiques, les catastrophes d'inondations ne cessent de connaître un rythme croissant et ceux sur des espaces de plus en plus importants. Elles causent beaucoup de dégâts matériels et humains et affaiblissent davantage les

populations du district autonome d'Abidjan. Il apparaît ainsi clairement que la gestion des inondations dans le district d'Abidjan pose encore problème car ne s'inscrivant pas dans la durabilité. La question centrale à laquelle cette étude se veut donc de répondre est: Comment gérer durablement les risques d'inondation dans le district d'Abidjan? De cette question, découlent les interrogations suivantes:

- Quelles sont les zones les plus vulnérables aux inondations dans le district d'Abidjan?
- Quelle est la dynamique des pluies dans le district d'Abidjan?
- Quelle sera l'ampleur des inondations face aux variations climatiques et en prévision des pluies dans les vingt prochaines années ?

Notre étude s'articulera autour de ces différentes interrogations.

I.5 Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la prévention des risques d'inondation dans le district d'Abidjan à travers la scénarisation des variations pluviométriques.

De manière spécifique, l'étude vise à :

- déterminer les zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan.
- analyser la dynamique des pluies dans le district d'Abidjan.
- scénariser les impacts des futures pluies sur les inondations.

I.6 Hypothèse de l'étude

L'hypothèse générale de cette étude est : l'intensification des changements climatiques affectera la pluviométrie et exacerbera les épisodes d'inondation dans le district d'Abidjan.

I.7 Organisation du travail

Le développement de la présente étude est organisé en cinq chapitres. Le premier chapitre porte sur l'introduction générale qui donne un aperçu général et une compréhension du sujet ; sur une problématique qui résume les constats de l'étude, sur les objectifs ainsi que l'hypothèse de l'étude. Le second chapitre aborde le cadre théorique et l'espace d'étude à travers l'approche conceptuelle, l'intérêt du sujet et la présentation de la zone d'étude.

Le troisième chapitre aborde les matériels et méthodes d'analyses de données à travers les outils, techniques et méthodes de collecte des données, de même que les outils de traitement utilisés. Le chapitre quatre porte sur la présentation et l'interprétation des principaux résultats de l'étude et le dernier chapitre est consacré à la discussion qui consolide les principaux résultats de l'étude par leur confrontation à des travaux similaires entrepris par des chercheurs à travers le monde.

CHAPITRE 2 : CADRE THEORIQUE ET ESPACE D'ETUDE

2.1 Cadre théorique

2.1.1 Définitions des concepts

2.1.1.1 Aléa à l'origine du risque

Y. Veyret et N. Meschinet de Richemond (2003 :1) définissent l'aléa comme un « *événement possible qui peut être un processus naturel, technologique, social, économique et sa probabilité de réalisation* ». Il est également considéré « *au sens restreint, par la probabilité d'occurrence d'un phénomène* » (A. Dauphiné, 2001 :17). L'intensité, la fréquence ou occurrence sont les principales caractéristiques de l'aléa, mais « *sa dimension spatiale n'est pas systématiquement mise en avant* » (A. Peltier, 2005 :28). Or l'espace affecté par l'aléa est déterminant dans la gestion du risque. Certains auteurs précisent ces caractéristiques en y instaurant non seulement une dimension spatiale mais également temporelle. L'aléa affecte une aire, un territoire pendant une durée indéterminée (A. Bailly, 2004 :241). La définition de l'aléa possède donc nombre d'incertitudes. Il est qualifié de phénomène et/ou l'évènement sans connaître précisément sa durée, le moment où il va se produire, son ampleur et enfin le territoire qu'il va affecter. La probabilité et l'aléatoire priment et ces notions marquent l'imprévisibilité des phénomènes. Même si l'instrumentation de mesures et les modélisations se perfectionnent et permettent une prévision d'un évènement, il reste impossible d'affirmer pouvoir tout prévoir.

L'aléa apparaît ici comme un phénomène indépendant, extérieur, isolé, n'ayant aucune incidence positive ou négative. Ce n'est qu'une fois « couplé » aux enjeux qu'il devient risque. En effet, dans sa définition stricte, il n'apparaît pas comme une menace. Si un séisme, une avalanche ou tout autre phénomène naturel affecte un territoire dépourvu de toute occupation humaine, il ne présente pas de danger et reste à l'état de phénomène, d'excès comme en connaît fréquemment la nature (J. Demangeot, 1996 cité par A. Peltier 2005 :41).

Ainsi l'aléa inondation concerne les caractéristiques physiques de l'inondation (emprise de la zone inondable, hauteur, vitesse, durée de submersion, types de montée d'eau, la présence de cours d'eau ...) et la fréquence. Dans ce cadre de notre travail, il correspond aux axes de concentration des eaux de ruissellement.

2.1.1.2 Composantes anthropiques du risque: enjeu et vulnérabilité

Les enjeux et leur vulnérabilité donnent la dimension sociale au risque. Les enjeux représentent les personnes, les biens, les systèmes, ou autres éléments présents dans les zones de risque et qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles (Nations Unies, 2009 : 16). Selon leur nature, les enjeux peuvent être classés en différents types. Il s'agit des enjeux économiques qui traduisent généralement le degré de perte ou d'endommagement des biens et des activités exposées à l'occurrence d'un phénomène naturel et les enjeux humains qui évaluent d'abord les préjudices potentiels aux personnes, dans leur intégrité physique et morale (S. Défossez, 2009 : 29). Les enjeux humains indiquent que plus les populations sont importantes et concentrées, plus elles sont vulnérables, la pauvreté étant un facteur aggravant (P. Kaman, 2013 :18). A ces deux types d'enjeux peuvent être ajoutés les enjeux matériels et les enjeux environnementaux. Les premiers sont liés au développement socio-économique. Il s'agit des maisons, bâtiments, installations et équipements agro-industriels, infrastructures routières ferroviaires ou portuaires. Les enjeux environnementaux quant à eux concernent l'ensemble des forêts, parcs et écosystèmes.

Le concept de vulnérabilité est cité en général comme deuxième terme du risque. Les définitions de la vulnérabilité ont été regroupées en deux catégories par A. Dauphiné (2001 :24).

La première est d'ordre analytique et indique que « *la vulnérabilité, au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux* » (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement de France, 1997). La démarche est dite analytique, car les enjeux peuvent être décomposés plus ou moins finement. Au niveau des biens économiques par exemple, il est possible de calculer les dommages pour l'agriculture, l'industrie et les services ou d'être encore plus précis en distinguant différentes cultures et filières d'élevage dans le secteur agricole (D. Alla, 2013 :73).

La deuxième est d'ordre synthétique: « *A l'approche classique de la vulnérabilité qui mesure un endommagement potentiel des biens et des personnes et ses répercussions sur l'environnement économique semble s'opposer celle qui considère la vulnérabilité des sociétés à travers leur capacité de réponses à des crises potentielles* » (R. D'Ercole, 1994 :94). En d'autres termes, la vulnérabilité est la « *propension d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique* » (R. D'Ercole, 1994 :87). La terminologie de l'ISDR (2009 :32), aborde dans le même sens en définissant la vulnérabilité comme étant "*les caractéristiques et les circonstances d'une communauté ou d'un système qui le rendent susceptible de subir les effets d'un danger.*" En d'autres termes la vulnérabilité se définit par les caractéristiques et la situation d'un groupe, d'un ménage ou d'un individu, qui influent sur sa capacité d'anticiper, de réagir (survivre dans l'immédiat), de résister (survivre par la suite) et de se remettre de l'impact d'un aléa naturel (P. Kaman, 2013 :18). La vulnérabilité comprend aussi la notion de résilience, soit la capacité d'une société à se rétablir après un sinistre.

2.1.1.3. Risque

Le risque est diversement compris par les auteurs. Ils le définissent comme étant un danger possible. Des géographes abordent dans le même sens,

lorsqu'ils définissent le risque comme un danger auquel l'on est exposé individuellement ou collectivement dans certaines circonstances (R. Brunet *et al.*, 1993 :347) ou comme un danger éventuel, plus ou moins prévisible, dans une aire non précisément définie, d'une durée indéterminée (A. Bailly, 1996 :2). Mais pour être plus précis, J. Tricart (1992 :258) relève que danger et risque sont deux concepts différents et que, par abus de langage, ils sont pris l'un pour l'autre. Selon lui, le danger est le phénomène brut ou la situation qui peut affecter un être, un animal, une plante ou même un objet.

Ainsi défini, le danger existe indépendamment de l'homme, même s'il peut lui faire courir des risques. Par contre le risque est la traduction du danger en menace pour celui qui lui est soumis. Cette menace naît de la conjonction d'une part, du phénomène naturel lui-même (aléa) et de la vulnérabilité et d'autre part de la présence de l'homme (enjeu), de la manière dont cette présence est réalisée face au phénomène : groupement, concentration dans le site menacé ou dispersion des hommes.

La distinction entre danger et risque est également évoqué par P. Baud (1995 :318) pour qui les dangers liés aux phénomènes naturels ne constituent des risques que s'ils affectent des régions peuplées par l'homme. Mieux, le risque est avant tout, le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité (P. Ozer, 2008 :8 ; J. Tacnet et R. Burnet, 2007 :7) et l'aléa n'est risque que s'il s'applique à une zone où les enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence (P. Ozer, 2008 :8). On peut donc retenir que le risque n'est pas le danger, mais il découle de la mise en relation entre la probabilité de survenue d'un évènement et l'ampleur de ses conséquences éventuelles. En d'autres termes, on définit le risque comme les effets d'un aléa sur des biens ou des personnes vulnérables; le danger est un état, le risque sa mesure (P-H. Bourrelier *et al.*, 2000 :194).

Il existe différents types de risque: on parle de risque d'accident, risque industriel et technologique, risque naturel, population à risque etc.

Le risque naturel auquel nous nous intéressons dans cette étude, est celui qui est généré par un aléa d'origine naturelle (inondations). Le risque d'inondation est donc la conséquence de deux composantes: l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de construction, d'équipements et d'activité.

2.1.1.4 Catastrophe

La notion de catastrophe est moins complexe que le risque, même si sa définition manque très souvent de précision. Selon A. Peltier (2005 :42), la catastrophe représente la réalisation concrète du risque. A ce titre, elle possède une dimension matérielle que n'a pas le risque. Elle se distingue donc du risque: le risque est une probabilité qu'un évènement provoque des dommages. Quand il y a catastrophe, l'évènement a eu lieu et a provoqué dommage et victimes (O. Dollfus et R. D'Ercole, 1996 :9). La différence entre risque et catastrophe est également soulignée par d'autres auteurs. Ainsi, le risque majeur est un terme prévisionnel. Lorsque l'évènement se produit, il faut alors parler de catastrophe majeure (P. Baud *et al.*, 1995). La catastrophe est donc la manifestation du risque.

Ainsi, le risque possède une dimension probabiliste que la catastrophe n'a plus, puisqu'en se manifestant, elle est devenue une certitude (A. Dauphiné, 2001 :30). En d'autres termes, les risques sont potentiels mais les catastrophes sont réelles. De plus les risques peuvent ne pas se matérialiser en catastrophe. Par ailleurs, la catastrophe est un ensemble de phénomènes dont les effets sont dommageables. Cette dernière définition implique la notion de seuil. Autrement dit, à partir de combien de pertes en vie humaine ou de quel coût de dommage matériels on peut parler de catastrophe?

La typologie à ce niveau est fonction de l'échelle des catastrophes naturelles. Cette échelle s'appuie sur les impacts humains (les pertes en vie

humaine) et les impacts matériels (l'effondrement des maisons, les récoltes anéanties et les infrastructures détruites).

A partir du nombre de victimes pour les dommages humains, et des pertes financières, pour les dommages matériels, des seuils sont établis. Ils permettent de ranger les événements en six classes, depuis l'incident jusqu'à la catastrophe majeure (tableau 1).

Tableau 1: Echelle de gravité des dommages

N°	Classe	Dommage humain	Dommage matériel (Million d'Euros)
0	Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3
1	Accident	1 ou plusieurs blessés	Entre 0,3 et 3
2	Accident grave	1 à 9 morts	Entre 3 et 30
3	Accident très grave	10 à 99 morts	Entre 30 et 300
4	Catastrophe	100 à 999 morts	Entre 300 et 3000
5	Catastrophe majeure	1000 morts ou plus	3000 ou plus

Source: Mission de l'inspection de l'environnement (1999) tiré de S. Défossez, (2009 :34)

La classe retenue de l'évènement est celle qui correspond à l'impact humain ou matériel le plus élevé. Ainsi, 3 morts et 50 millions d'Euros correspondent à un évènement de classe 3; 120 morts et 50 millions d'Euros correspondent à un évènement de classe 4.

Dans le cadre de cette étude, on définira donc la catastrophe comme un évènement d'origine naturelle (inondation) dont les conséquences dépassent les capacités de la population touchée à faire face ; un évènement qui a donc causé des dommages importants.

2.1.1.5 Gestion des risques naturels

La gestion des risques, en général est une approche systémique et pratique managériale pour limiter les dommages et les pertes potentiels (UNISDR, 2009 :19). Ainsi défini, la gestion des risques naturels renvoie à des mesures prises pour limiter les dommages et les pertes potentiels liés à un aléa d'origine naturelle. La gestion des risques comprend l'évaluation des risques et leur analyse ainsi que la mise en œuvre de stratégies et d'actions spécifiques pour les contrôler, les réduire et les transférer.

Particulièrement, la gestion des risques de catastrophe est un processus de recours systématique aux directives, compétences opérationnelles, capacités et organisations administratives pour mettre en œuvre les politiques, stratégies et capacités de réponse appropriées en vue d'atténuer l'impact des aléas naturels et risques de catastrophes environnementales et technologiques qui leur sont liées (UNISDR, 2009 :19). Cette définition dérive du terme plus général de "gestion des risques" pour traiter de la question particulière de la gestion des risques de catastrophes. La gestion des risques de catastrophes a pour but d'éviter, d'atténuer ou de transférer les effets néfastes des risques par le biais d'activités et de mesures de prévention, d'atténuation et de préparation.

S'inspirant de cette définition, J.M Tacnet et R. Burnet (2007 :9) identifient trois grandes phases dans la gestion des risques, positionnées par rapport à l'occurrence du phénomène: avant le phénomène, on parle de prévention, les interventions lors du phénomène correspondent à la gestion de crise et la phase bilan correspondent au retour d'expérience. Il existe toutefois une complémentarité remarquable entre les différentes phases faisant de la gestion des risques de catastrophes un processus cyclique avec plusieurs composantes. La Banque Mondiale (2014 :12) identifie six composantes essentielles dans ce cycle: 1. l'analyse du risque, 2. l'atténuation, 3. la préparation, 4. la réponse, 5. la reconstruction, 6. l'enseignement et le retour à

l'expérience. P. Kaman (2013 :43), en identifie quatre: la connaissance du risque, la protection, l'assurance et l'adaptation.

La gestion des risques comprend deux notions essentielles, distinctes et complémentaires. Il s'agit de la prévention et de la gestion des urgences. Les actions de préventions renvoient au risque tandis que celles de gestion renvoient à la catastrophe, c'est-à-dire lorsque le risque s'est déjà manifesté (S. Revet, 2009 :8-9) ; M. Henrich, 2013 :38). Les actions de prévention comprennent par exemple la construction des infrastructures, les sensibilisations, les systèmes d'alertes précoces etc. Alors que celles de gestion comprennent l'organisation des secours, la prise en charge des sinistrés etc.

La gestion des risques et catastrophes naturels consiste aussi à mettre en œuvre des moyens pour diminuer la vulnérabilité des populations et des infrastructures face aux risques (P. Ozer, 2008 :56). Cette dernière définition fait appel à une réduction de la pauvreté, qui demeure un facteur influant de la vulnérabilité des populations (Banque Mondiale, 2014 :6 ; IDA, 2008 :1) et privilégie les mesures préventives dans la gestion des risques et catastrophes naturels. La prévention renvoie à toutes les mesures adoptées ou à adopter afin d'éviter ou de réduire les effets de la manifestation d'un aléa naturel.

A. Dauphiné (2007 :115) propose quant à lui, une gestion des risques basée plutôt sur le renforcement de la résilience du système menacé. Pour lui il paraît presque impossible de lutter contre la survenue des phénomènes naturels, le renforcement de la résilience est le meilleur moyen de leur faire face. Il faut donc accepter le risque mais tout faire pour réduire ses impacts. Dans le même ordre d'idée, H. Scarwell (2007 :27), estime que pour pouvoir faire face à l'évolution des risques de catastrophes naturelles, il est impératif de renforcer la résilience des communautés.

En somme la notion de gestion des risques et catastrophes naturels est diversement abordé par les auteurs. Ces définitions portent essentiellement sur la

gestion avant, pendant et après la survenue des phénomènes naturels. De toutes ces définitions, nous retenons dans le cadre de cette étude, celle de (S. Revet, 2009 ; M. Henrich, 2013) qui privilégie la prévention c'est-à-dire s'attaquer préalablement à l'aléa lui-même, afin de ne pas subir sa manifestation et de se retrouver démuné après son passage.

2.1.1.6 Durable et durabilité

Étymologiquement, le mot durable désigne tout ce qui peut durer, tout ce qui est stable. Selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL), le mot "durable" qualifie tout ce qui présente les conditions requises pour durer longtemps, qui est de longue durée, qui présente de la stabilité et de la constance dans le temps. Il s'oppose donc à tout ce qui est passager, éphémère, fugace ou fugitif. Une chose (abstraite ou concrète) durable, doit obligatoirement répondre aux besoins du présent mais aussi à ceux du futur. De cette définition est né le concept de "*développement durable*", à la fin des années 1960, avec l'apparition de problèmes environnementaux dépassants les frontières, tels que les pluies acides et la pollution des eaux. Le terme, "*durable*" vient qualifier le développement pour qu'il soit non seulement effectif dans le présent, mais aussi pour le futur. Cette particularité de long terme dans ce mécanisme implique l'exploitation des ressources humaines et naturelles de telle sorte qu'elles soient disponibles dans l'avenir ; comme le souligne la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de 1987, dans le rapport Brundtland « Le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins est durable ».

Ce concept, désormais omniprésent dans tous les discours, s'est intégré dans de nombreux domaines. On parle par exemple de:

- Agriculture durable: Une agriculture productive, compétitive économiquement, tout en garantissant une production respectueuse de l'environnement, pour permettre de nourrir l'ensemble de la population pour permettre de nourrir l'ensemble de la population mondiale et pour simplement subsister (L. Bihannic et E. Michel-Guillou, 2011 :13).
- Gestion durable des ressources : gestion des ressources de façon écologiquement viable afin de répondre aux besoins sociaux, économiques, écologiques, culturels et spirituels des générations actuelles et futures » (Leroy et al., 2013 :11).

Ainsi comme le souligne R. Joumard (2011 :36), la gestion durable est une gestion à long terme, qui prend en compte les principes du développement durable, c'est-à-dire qui est censée apporter des solutions immédiates et futures en même temps.

Gérer durablement les risques et catastrophes naturels revient donc à envisager une gestion à long terme. C'est apporter des solutions concrètes et efficaces aux risques qui se manifestent actuellement d'une part et mettre en place des systèmes de prévention afin d'anticiper sur la survenue des événements futurs d'autre part.

2.1.1.7 Inondation

L'inondation désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur ou qui afflue dans les talwegs ou les dépressions (M. Benazzouz, 2012 :5). Elle consiste généralement en un débordement de cours d'eau à la suite d'une crue provoquée par des pluies exceptionnelles (P. Tronchon, 1991 :239). Mais de façon plus précise et plus complète, l'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau (J-M. Mercantini et M. Falco, 2018 :13) : elle est due à une augmentation du débit d'un cours d'eau ou à une concentration du ruissellement provoqué par des pluies importantes en durée et

en intensité. Il en existe plusieurs types. J-M. Mercantini et M. Falco, 2018 distinguent quatre types d'inondation. Ce sont :

Les inondations par débordement direct: Ce sont des inondations qui se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur pour occuper son lit majeur (J-M. Mercantini et M. Falco, 2018 : 14).

Les inondations par débordement indirect : Ce sont des inondations qui se produisent par la remontée d'eau dans les réseaux d'assainissement ou d'eaux pluviales ou par l'élévation du niveau de la nappe phréatique (dans ce cas, on parle d'inondation par remontée de nappe) (J-M. Mercantini et M. Falco, 2018 :14).

Les inondations par ruissellement en secteur urbain : Elles se produisent lors de fortes pluies, lorsque la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols ou des réseaux de drainage est insuffisante (J-M. Mercantini et Falco, 2018 :14). En effet, l'imperméabilisation du sol due aux aménagements (bâtiments, route, parkings...) limitent l'infiltration des précipitations dans le sol et accentuent le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Le ruissellement est d'autant plus important que les terrains sont imperméables, le tapis végétal est plus faible, la pente est plus forte et les précipitations plus violentes. Ce type d'inondations, est le plus récurrent dans le district d'Abidjan où les infrastructures d'assainissement font défaut.

Inondations par submersion marine : Cela désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans les conditions météorologiques extrêmes, pouvant cumuler dépression atmosphérique, vent violent, forte houle, associés aux phénomènes météorologiques et/ou marégraphiques provoquant une élévation du niveau moyen de la mer, aggravés lorsque ces phénomènes se conjuguent à l'occasion d'une tempête (J-M. Mercantini et M. Falco, 2018 : 14).

Seule la commune de Port-Bouët dans le district d'Abidjan est exposée à ce type d'inondation, mais elles y sont très rares.

Dans le cadre de cette étude, il s'agit des inondations provoquées par le ruissellement des eaux de pluie.

2.1.1. Modèle de projection climatique

La projection climatique est une simulation de la réponse du système climatique à un scénario futur d'émissions ou de concentration de gaz à effet de serre (GES) et d'aérosols, obtenue généralement à l'aide de modèles climatiques (GIEC, 2014 : 140). Ces modèles sont des représentations mathématiques de processus importants qui font partie du système climatique de la planète. Ils simulent de nombreux éléments du climat, notamment la température de l'atmosphère et des océans, les précipitations, les vents, les courants océaniques et l'étendue de la glace de mer. Ces modèles ont été abondamment testés au regard d'observations historiques. Pour permettre d'établir des projections sur le changement climatique, les modèles climatiques s'appuient sur des informations provenant de scénarii d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques et de mode d'utilisation des terres (GIEC, 2014 :60).

Les futures incidences des précipitations qui sont modélisées dans la présente étude reposent sur des projections des modèles climatiques construites à partir des « profils représentatifs d'évolution de concentration » (RCP). Les RCP sont des scénarii comprenant les séries chronologiques des émissions et des concentrations de l'ensemble des gaz à effet de serre (GES) et aérosols, et gaz chimiquement actifs, ainsi que de l'utilisation des terres et la couverture terrestre (GIEC, 2014 :140). Ils décrivent quatre modes différents d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, des émissions de polluants atmosphériques et de l'utilisation des terres au XXI^e siècle.

Les RCP comprennent un scénario strict d'atténuation (RCP 2.6), deux scénarii intermédiaires (RCP 4.5 et RCP 6.0) et un scénario prévoyant des

émissions de GES très élevées (RCP 8.5). Il convient de souligner que ces scénarii ne tiennent pas compte des variations possibles de forçages naturels (par exemple, du fait d'éruptions volcaniques). Ainsi, pour les besoins du présent rapport, le RCP 8.5 a été choisi comme base des prévisions et des projections climatiques, en partant du fait que les émissions de gaz à effet de serre vont s'amplifier avec les activités humaines.

2.1.3 Apport de la géomatique dans l'analyse des inondations

Pour déterminer les zones à risques d'inondation, il faut manipuler des données spatiales. Pour ce faire, l'outil le mieux approprié est sans aucun doute la géomatique qui peut se définir comme une discipline qui regroupe les pratiques, méthodes et technologies permettant de collecter, analyser et diffuser des données géographiques (D. Hélène et C. Cathy, 2014 :17). De façon plus simple, *"c'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision"* (M. Didier, 1990 cité par D. Alla, 2013 :92). Elle s'est développée avec la vulgarisation des Systèmes d'Information Géographiques ou SIG qui, en tant qu'outils d'aide à la décision, permettent une meilleure gestion des données à références spatiales de sources différentes.

Le SIG est bien un outil utilisé pour extraire des informations synthétiques pertinentes d'un ensemble de données géographiques. En effet, l'analyse du risque d'inondation passe forcément par une bonne localisation des phénomènes (aléas) et des conséquences qu'ils peuvent avoir sur les populations, les bâtiments, les activités, les ouvrages, etc. (enjeux). Cela suppose que l'on mette en place un SIG dans lequel on intègre les facteurs naturels susceptibles d'intervenir dans la manifestation de l'aléa inondation tels que la pente du relief, le niveau de protection du sol, les pluies et les éléments qui pourraient être endommagés à savoir la population et l'habitat à travers sa densité et les matériaux de construction utilisés (D. Alla, 2013 :94). Ces facteurs et éléments

subissent divers traitements qui vont de la numérisation à la sortie des cartes de zones d'aléas, de niveaux d'enjeux et de zones à risques d'inondation, en passant par leur hiérarchisation puis différentes combinaisons entre eux en fonction de l'objectif visé.

La géomatique s'avère ainsi très utile dans la gestion des risques d'inondation dans la mesure où ils permettent non seulement la modélisation du risque, l'établissement ou l'élaboration des cartes de zonages permettant une prise de décision rapide mais aussi d'établir rapidement un état global de la situation pour l'organisation des secours (H. de Boissezon et C. Dubois, 2014 :137).

2.1.4 Intérêts de l'étude

Les catastrophes d'origine naturelle provoquent d'innombrables problèmes qui affectent lourdement la société, l'écologie et l'économie. Les inondations et les tempêtes figurent en tête de liste des catastrophes naturelles les plus récurrentes ces dernières années.

En dépit des multiples solutions et moyens de lutte et d'adaptation apportés aux variabilités hydroclimatiques, les inondations ne cessent de croître et ce, sur des espaces de plus en plus importants. Elles touchent près de 196 millions de personnes, dans plus de 90 pays, dans le monde chaque année (PNUD, 2004 :3). Les inondations restent par ailleurs la catastrophe naturelle la plus dommageable en Côte d'Ivoire. Elles affectent particulièrement la ville d'Abidjan où l'urbanisation rapide et non contrôlée, la forte concentration de la population conjuguées à l'aléa naturel favorise les catastrophes. Les inondations ont eu un impact sans précédent sur les populations dans le district d'Abidjan. Elles endeuillent chaque saison pluvieuse de nombreuses familles avec plusieurs dégâts matériels non évalués. Ainsi les inondations urbaines compromettent

sérieusement le développement et menacent la vie des populations, notamment celles des villes en rapide expansion des pays en développement.

Face à la récurrence des épisodes d'inondation dans le district d'Abidjan, et au regard des dégâts humains et matériels qu'elles provoquent, il paraît plus que nécessaire de se pencher sur ce phénomène. Notre étude sur la gestion des inondations dans le district s'inscrit donc dans un intérêt général de contribuer à la prévention des inondations en milieu urbain. L'on trouve donc intéressant de s'adonner à cet exercice dans le but de produire un document scientifique sur lequel pourront s'appuyer les chercheurs et les responsables de politique de gestion de l'environnement urbains de Côte d'Ivoire en vue d'apporter une solution définitive aux inondations qui accablent les populations du district d'Abidjan. Ce travail vise donc, d'une part à inciter les acteurs de la gestion de l'environnement à intégrer la question des risques naturels en général et particulièrement des inondations dans toutes les prises de décisions et d'autre part à mettre en place un système d'alerte précoce afin de réduire les impacts des inondations sur l'homme et ses biens.

2.2. Présentation de la zone d'étude

Toute étude qui ne se déroule pas dans un laboratoire épouse nécessairement un cadre physique ou milieu afin de bien circonscrire le phénomène ou l'évènement à étudier. Ainsi, il est nécessaire dans le cadre de notre étude, de circonscrire clairement le champ de l'étude afin de déterminer les zones exposées au risque d'inondation en vue de parvenir à des analyses acceptables.

2.2.1. Situation géographique et administrative

Le district d'Abidjan est situé au Sud de la Côte d'Ivoire, au bord du Golfe de Guinée (Figure 1). Il a été érigé par la loi N°2001-478 du 09 Août 2001.

Conformément à cette loi, le district d'Abidjan est devenu une collectivité décentralisée de type particulier dotée d'une personnalité morale et d'une autonomie financière. Il s'est approprié des dix communes de la ville d'Abidjan (Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Plateau, Yopougon, Marcory, Koumassi, Treichville et Port-Bouët) auxquelles s'ajoutent trois sous-préfectures qui sont: Anyama, Bingerville et Songon distantes respectivement de 22, 18 et 15 km de l'agglomération d'Abidjan. Le district d'Abidjan s'étend sur une superficie totale de 57 735 ha dont 8 981 ha de lagune soit 16 % de la superficie totale et 48 754 ha de terre ferme soit 84 % de la superficie totale (M. Saley *et al.*, 2009 :2). Le district d'Abidjan comprend l'agglomération d'Abidjan qui est une ville cosmopolite de l'Afrique subsaharienne ainsi que la capitale économique de la Cote d'ivoire. Véritable poumon économique, Abidjan abrite l'essentiel des entreprises de tous les secteurs d'activité. Elle regroupe encore pour l'instant sur son périmètre, l'ensemble des Institutions de la République, en attendant le transfert effectif de la capitale administrative et politique à Yamoussoukro.

Il existe donc des biens de plus en plus importants susceptibles d'être affectés par les inondations dans le district d'Abidjan, étant donné qu'il est sous l'influence de plusieurs facteurs physiques qui renforcent la survenance des inondations.

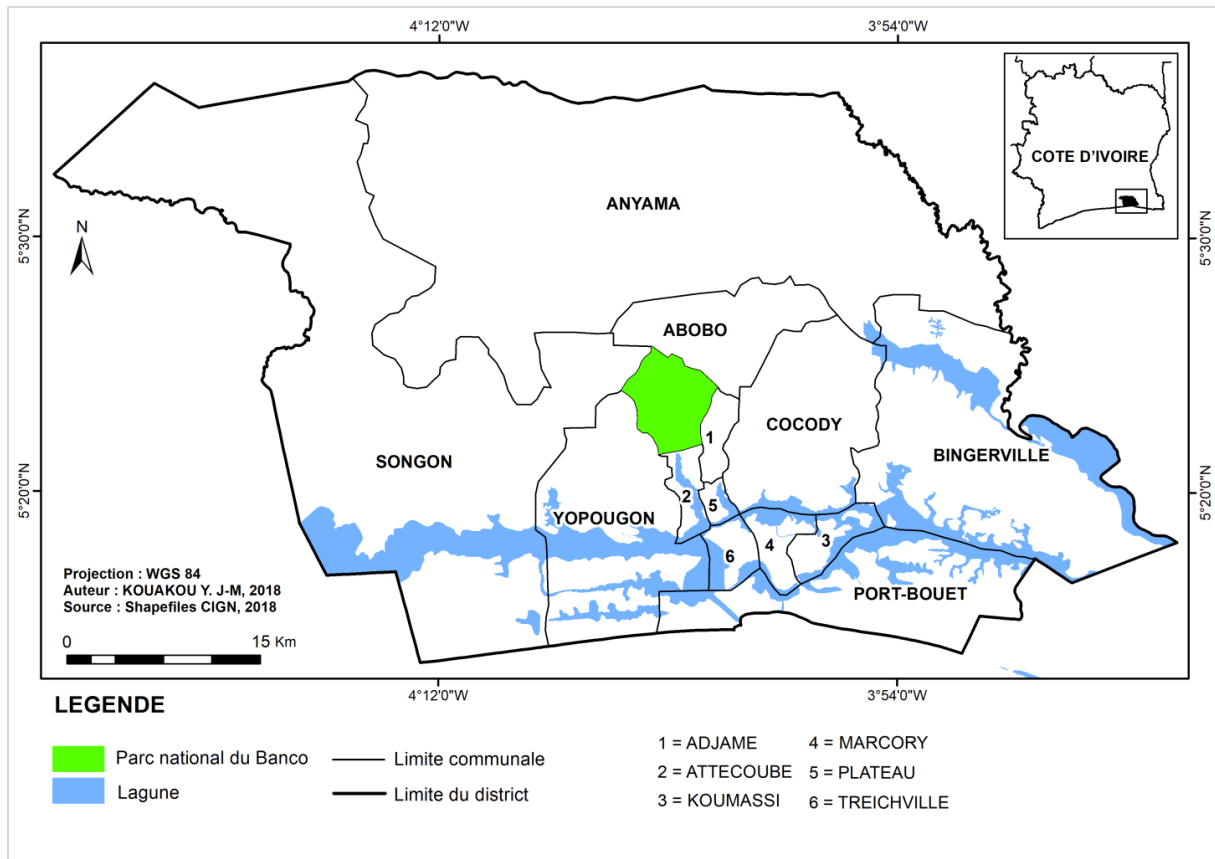


Figure 1: Situation géographique du district d'Abidjan

2.2.2. Climat

Le district d'Abidjan jouit d'un climat de type sub-équatorial, chaud et humide. Il existe deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La petite saison sèche dure d'Août à Septembre alors que la grande commence à partir de Décembre et se termine fin Mars. Quant à la petite saison des pluies, elle s'étend d'Octobre à Novembre.

La grande saison pluvieuse se déroule d'Avril à Juillet mais le mois de Juin est le plus pluvieux. Ce dernier enregistre des hauteurs moyennes parfois supérieures à 1000 mm. En mai et juin les averses représentent entre 22 et 64% du total annuel (C. Hauhouot, 2008 :78). Elles sont accompagnées d'orages nocturnes avec des rafales de vent de 55 à 75 km/h. Outre leur abondance (plus 1500 mm d'eau par an), les précipitations d'Abidjan sont redoutables par leur caractère continu ; elles durent des heures et parfois plusieurs jours, mettant à

rude épreuve la perméabilité des sols et les systèmes d'assainissement (C. Hauhouot, 2008 :78).

2.2.3. Relief

Le district d'Abidjan présente un ensemble de relief qui se caractérise par deux éléments majeurs : les plateaux et la plaine littorale. On rencontre les plateaux au Nord de la lagune Ebrié, c'est-à-dire à Abidjan Nord et dans les trois sous-préfectures environnantes que sont Bingerville, Songon et Anyama. Ils constituent les hauts reliefs qui dominent en plusieurs endroits le plan d'eau sous la forme d'une falaise. Les altitudes de ces reliefs s'élèvent progressivement du Sud vers le Nord, mais ne dépassent pas 140 m. Ils présentent une certaine vigueur de détail, avec des problèmes de terrassement, d'érosion et de stabilité des versants. En bordure de la lagune, les plateaux sont pénétrés par des vallées profondes de direction globalement nord-sud dont les versants ont des pentes plus ou moins fortes et dont la largeur du fond se rétrécit de l'aval à l'amont. Ce sont des vallées sèches bien hiérarchisées à l'intérieur des plateaux qu'elles découpent en interfluves plus ou moins horizontaux (D. Alla, 2013 :16).

La plaine littorale se rencontre au Sud de la lagune Ebrié. C'est un ensemble parfaitement plat et marécageux par endroit, où les altitudes varient entre 1 et 9 m. Au niveau de l'île de Petit Bassam où on a les communes de Treichville Marcory et Koumassi, ce relief atteint à peine 6 m d'altitude. A Port-Bouët, il est haut de 7 à 9 m sur la côte alors qu'en arrière il ne dépasse guère 4 m (D. Alla, 2013 :24).

2.2.4 Sol

Deux principaux types de sols se rencontrent dans la zone d'étude. Il s'agit des sols ferrallitiques fortement dessaturés et présentant un horizon humifère peu épais. Les sols hydromorphes constituent le deuxième élément

pédologique. Cette hydromorphie a été provoquée par une évolution pédologique dominée par un excès d'eau. ces sols se sont développés dans le secteur littoral, en présentant un faciès assez grossier où dominent les éléments sableux.

2.2.5 Végétation

La zone d'étude se situe dans le domaine de la forêt équatoriale. Il y a cependant plus de forêt (hormis la forêt de Banco qui est une réserve naturelle) du fait d'une urbanisation galopante et incontrôlée. La végétation est composée de quelques arbres se trouvant majoritairement dans les trois sous-préfectures de Songon, Anyama et Bigerville, et de hautes herbes dans les espaces non mis en valeur. Cette végétation est dans l'ensemble interrompue par l'occupation humaine. Cette absence de végétation réduit considérablement l'infiltration des eaux pluviales et accroît par conséquent les ruissellements en milieu urbain.

2.2.6 Hydrographie

Le district d'Abidjan bénéficie d'un système lagunaire composé des lagunes Ebrié, Aghien et Potou, ainsi que de nombreux cours d'eau. On distingue :

- L'Agnéby et la Mé, globalement de direction nord-sud, qui alimentent la lagune Ebrié et constituent les plus grands cours d'eau de la région.
- Le Banco, le Gbangbo et l'Anguédou, petites rivières de direction nord-sud.
- La Djibi et la Bété, de direction Nord Ouest-Sud Est, qui se jettent dans la lagune Aghien (A. Traoré *et al.*, 2012 :7049).

2.2.7 Géologie

Du point de vue géologique, le district d'Abidjan appartient au bassin côtier d'âge Crétacé-Quaternaire. Il s'étend sur 400 km de long et sur 40 km de

large de Fresco à la limite du Ghana. Les formations sédimentaires de ce bassin sont constituées d'argiles et d'argiles sableuses, de sables et de grès, de conglomérats, de sables glauconieux et de marnes (D. Alla, 2013 :27).

2.2.8 Hydrogéologie

Le district d'Abidjan est alimenté en eau par deux principaux réservoirs du bassin sédimentaire ivoirien :

- L'aquifère du Moi-Pilocène (Continental Terminal) : Cet aquifère constitue la principale nappe d'alimentation en eau potable, pour l'agglomération d'Abidjan. On l'appelle communément « Nappe d'Abidjan » ou « Nappe du Continental Terminal ».
- L'aquifère du Crétacé supérieur : Cet aquifère possède des bancs calcaires peu fissurés, grésseux, à gros grains de quartz roulés, surmontant des sables fins coquillers. Il est situé à 200 m de profondeur et est exploité par une entreprise de production d'eau minérale (« AWA »). (Jourda et *al.*, 2003, cités par M. Saley et *al.*, 2009 :5).

2.2.9 Peuplement

Le district autonome d'Abidjan regroupe une population estimée à 4.707.404 habitants dont 4.395.243 vivent dans l'agglomération d'Abidjan soit 93 % et 312.161 dans les trois sous-préfectures (RGPH, 2014). Il renferme 21% de la population totale de Côte d'Ivoire. Le taux de croissance démographique y est estimé à 3,5%. En moins d'un siècle, Abidjan a connu une croissance démographique fulgurante. Sa population est passée de 65.000 habitants en 1950 à 2.877.948 en 1998 et 4.707.404 habitants en 2014 (RGPH, 2014). Plusieurs facteurs expliquent cette croissance rapide de la population. Il y a entre autres l'industrialisation qui a favorisé la création d'emplois attirant ainsi les populations rurales et les ressortissants de la sous-région, sans oublier les affres de la crise sociopolitique qui a entraîné un déplacement en masse des personnes.

Dans le district d'Abidjan, vivent des personnes de toutes origines. La population autochtone d'Abidjan et ses alentours est constituée essentiellement de Tchaman ou Ebrié appartenant au groupe ethnique Akan. Toutefois, les quatre grands groupes ethniques et culturels de Côte d'Ivoire y sont représentés : Akan 48% ; Mandé 24% ; Krou 20% et Gour en nombre moins important.

2.2.10. Activités socio-économiques

Plusieurs activités socioéconomiques sont menées dans le district d'Abidjan. Les populations des sous-préfectures vivent des activités traditionnelles comme la pêche et la vente et la commercialisation de « *l'attiéké* ». Quant à la ville Abidjan, elle est aujourd'hui la plaque tournante de l'Afrique de l'Ouest. Abidjan abrite le plus grand port d'Afrique de l'ouest par le flux important de marchandises qu'elle draine chaque jour. L'ouverture du canal de Vridi a permis de l'accostage des bateaux et la facilitation d'évacuation des produits de l'arrière-pays. Autour du port s'est développé des industries très diversifiées faisant d'Abidjan un pôle industriel important. L'activité industrielle en forte croissance a favorisé d'autres zones industrielles notamment dans les communes de Yopugon et Koumassi.

Enfin, Abidjan est la place financière de l'Afrique de l'Ouest. Elle abrite bon nombre d'institutions financières et politiques internationales. En effet, le siège de Bourse Régionale ainsi que celui de la Banque Africaine de Développement s'y trouvent. Les dommages potentiels des inondations sont donc très importants du fait de la concentration des biens socioéconomiques.

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE DES DONNEES

Il s'agira dans ce chapitre de présenter la démarche méthodologique adoptée pour atteindre les objectifs de cette étude ; c'est-à-dire les techniques et méthodes de collecte des données ainsi que les différents traitements qui leur ont été appliqués.

3.1. Outils, techniques et méthodes de collecte des données

3.1.1. Recherches bibliographiques et documentaires

Pour les besoins de cette étude, les recherches ont été menées dans différents centres de documentations et sur internet. Ainsi, les bibliothèques de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), de l'Institut de Géographie Tropicale (IGT), de l'Unité de Formation et de Recherche SHS (ex FLASH) et la Bibliothèque Centrale de l'Université Félix Houphouët Boigny ont été fréquentées.

Dans ces centres de documentation, des ouvrages, des thèses, des mémoires et des rapports de colloques traitant des risques et des catastrophes naturels tels les inondations, les mouvements de terrain, les séismes, leurs impacts et leur gestion dans les régions du monde ont été parcourus. Des sites internet consultés ont permis d'avoir en ligne des ouvrages, des revues scientifiques, des articles scientifiques, des articles de journal, non disponibles dans les bibliothèques.

En outre, nous avons eu l'aide de certaines personnes intervenantes dans domaine de l'étude des risques naturels pour l'obtention d'ouvrages de spécialité. Ces différentes informations permettent en effet des précisions sur le mode, les acteurs et les outils de gestion des risques naturels et singulièrement des inondations dans le monde.

3.1.2. Données utilisées

Les données utilisées dans cette étude sont à la fois qualitatives et quantitatives. Elles sont constituées essentiellement des variables qui décrivent les paramètres environnementaux (pente, réseau hydrographique) et climatiques (pluviométrie) responsables des inondations dans le district d'Abidjan. Il s'agit des:

- données climatologiques: elles prennent en compte les hauteurs de pluie à des pas de temps décadaire, mensuelle et annuelle dans le district d'Abidjan. Ces données ont été téléchargées sur internet via le lien <https://www.tamsat.org.uk/data/rfe/index.cgi> sur la période 1987-2018. Ce sont des données pluviométriques estimées par le satellite METEOSAT concernant tout le continent africain. De par leurs caractéristiques physiques et orbitales, de même que leurs fréquences de prises de vue quasi permanentes d'une image du disque terrestre complet (2 500 pixels sur 2 500 lignes) toutes les demi-heures dans les bandes spectrales en plus de l'infrarouge thermique, les satellites METEOSAT constituent un outil de choix pour la collecte d'informations sur les nuages, entre autres (J.-D. Taupin *et al.*, 1993 :163).
- Les données de simulation du climat du modèle MIROC-ESM sous le scénario 8.5: elles prennent en compte les hauteurs mensuelles et annuelles de pluie dans le district d'Abidjan à l'horizon 2040.
- Une image satellitaire DEM (Digital Elevation Model) du capteur Aster de résolution 30 m obtenue dans les archives de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) sur le site « *earthexplorer.usgs.gov* ». De cette image, a été extraite les limites du district d'Abidjan à partir du fichier de type "shapefile" fourni par le BNETD (Bureau National d'Etude Technique et de Développement).

- La densité du bâti: elle a été obtenue grâce à l'image satellitaire très haute résolution (inférieur au mètre) offerte par l'extension « OpenLayer » du logiciel Qgis 2.18. De cette image, nous avons pu extraire la densité du bâti permettant la détermination des niveaux d'enjeu.

3.1.3. Méthode de l'étude de la variabilité des précipitations: L'indice de Nicholson

Pour l'analyse de la variabilité des précipitations entre 1987 et 2018, nous avons procédé au calcul des moyennes annuelles des précipitations et de l'indice de Nicholson afin de définir les années excédentaires. En effet, l'analyse pluviométrique va permettre de cerner les fluctuations majeures ayant caractérisé le district d'Abidjan depuis les années 1987 jusqu'à 2018. Ce qui sans doute représente le premier facteur exposant le paysage du district d'Abidjan aux inondations. Pour mieux évaluer les variations de pluie annuelle, Nicholson *et al.* (1988), cités par E. Servat *et al.* (1997 :836), ont défini un Indice de Pluviométrie Moyen (IPM) qui, calculé chaque année sur la période étudiée, s'exprime par l'équation (1):

$$IPM = \left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right) \quad (1)$$

Avec :

IPM : Indice Pluviométrique Moyen

X_i : Hauteur de pluie de l'année i (en mm)

\bar{X} : Hauteur de pluie moyenne sur la période d'étude (en mm)

σ : Ecart type de la hauteur de pluie sur la période d'étude

L'Indice Pluviométrique Moyen détermine une variable centrée réduite, calculée sur les hauteurs de pluie annuelle (E. Servat *et al.*, 1997 :836).

Une période est dite normale lorsque les fluctuations de l'indice de part et d'autre de l'axe des abscisses sont identiques ou s'annulent. Dans ce cas la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de la pluviométrie totale. Pendant la période excédentaire (ou humide), la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Enfin, la période déficitaire (ou sèche) correspond à une période où la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale ou à la moyenne de la période normale. La représentation graphique de l'indice sur une période de dix (10) ans traduit l'évolution de la pluviométrie dans le temps et permet d'en dégager la tendance.

3.1.4. Méthode de détermination du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement d'une surface donnée est le rapport du volume d'eau qui ruissèle au volume d'eau tombée sur cette surface. Il est déterminé par l'équation (2):

$$Cr = \frac{\text{Volume d'eau ruisselée}}{\text{Volume d'eau tombée}} \quad (2)$$

Le coefficient de ruissellement (Cr) est influencé par de nombreux paramètres que sont:

- la nature de la surface du terrain ;
- l'influence de la topographie et de la topo-urbanisation des bassins;
- la pente moyenne de la surface du terrain en direction de la décharge ;
- l'intensité de la pluie ;
- la perméabilité des sols ;
- les conditions atmosphériques antérieures à la pluie, etc.

Cependant, le coefficient de ruissellement dépend principalement de la densité de la construction (D. Loembe, 1986 :125). Ce paramètre pris en compte dans la présente étude pour la détermination du coefficient de ruissellement. Car l'étude est menée dans une zone fortement urbanisée. Dans la pratique, si la zone

considérée est assez étendue et d'aspects variés comme dans le cas de l'étude, il est indispensable de la décomposer en zones partielles ayant chacune son coefficient de ruissellement. Le coefficient pondéré de la zone globale sera alors la moyenne pondérée de ceux des zones partielles. Ainsi le coefficient de ruissellement pondéré du district d'Abidjan est la moyenne des coefficients des treize communes qui le composent. Il est calculé selon l'équation (3) :

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

C_p : Coefficient de ruissellement pondéré

C_i : Coefficient de ruissellement partiel relatif à chaque commune

A_i : Surface correspondante aux coefficients C_i .

3.1.5. Méthode de simulation du climat

Dans cette étude, les données sur l'évolution future la pluviométrie et ont été obtenues grâce au Modèle de Circulation du Globe (GCM), préparé par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution Climatique (GIEC). Le portail des données fournit de nombreux GCM différents, développés par différents centres de recherche climatiques mondiaux. Les sorties mensuelles de pluviométries maximales et minimales du modèle MIROC-ESM ont été utilisées pour déterminer les tendances pluviométriques futures et leur impact sur les inondations.

Le modèle MIROC-ESM (Modèle Interdisciplinaire de Recherche sur le climat) est un modèle élaboré en collaboration par l'Université de Tokyo, l'Institut National pour les Etudes Environnementales (NIES) et l'Agence Japonaise pour les Sciences de la Terre et technologies Marine (JAMSTEC). Les sorties de ce modèle ont été prises sur <http://cip.csag.uct.ac.za> à 30 secondes d'arc de résolution spatiale à l'horizon 2040 pour le scénario RCP8.5 (scénario avec des émissions de GES très élevés).

3.1.6. Choix du scénario RCP 8.5

La projection climatique (ou scénario climatique) est la combinaison d'un modèle climatique et d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre. Les RCP ou encore profils représentatifs d'évolution de concentration sont des scénarii d'évolution du forçage radiatif total approximatif pour l'année 2100 (GIEC, 2014 :140). Ils sont basés sur une combinaison de modèles d'évaluations intégrés, des modèles de climat simple, ainsi que des modèles de chimie atmosphérique et de cycle du carbone (GIEC, 2014 :140). Pour la présente étude, des modèles issus du RCP 8.5 ont été retenus pour montrer l'évolution de la pluviométrie à l'horizon 2040. Pour ce faire, le profil de chaque modèle de scénario est mis en comparaison avec celui des observations afin de déceler le modèle idéal.

La démarche adoptée pour sélectionner un bon modèle dans une zone consiste à superposer le cycle moyen annuel des observations aux cycles moyens annuels des modèles disponibles. Cette approche permet d'éliminer les modèles ayant des simulations très incohérentes. La comparaison du cycle moyen annuel des observations à ceux des modèles est effectuée sur une période de (1987-2018). Cette méthode est appliquée aux données du scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) sur la période 2040. Ainsi ce scénario, dénommé les « Profils représentatifs d'évolution de concentration » (ou les RCP) est utilisé pour simuler une série de profils futurs d'évolution de concentration plausibles pour les gaz à effet de serre.

Partant du principe que les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère vont augmenter, nous optons pour les RCP 8.5 qui sont des profils de non atténuation et qui représentent les profils à plus fortes émissions. Contrairement les RCP4.5 représentent les profils d'atténuation, de diminution des gaz à effet de serre. Le nombre compris dans chaque nom de profil (p. ex. 4.5, 8.5) correspond à la quantité de forçage radiatif ou de « réchauffement »

supplémentaire résultant de l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à la fin du XXI^e siècle. Les RCP 8.5 correspondent à une augmentation continue de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et qui est donc le plus pessimiste.

3.1.7. Matériels utilisés

Le matériel utilisé dans l'étude est l'outil informatique. Il constitue le moyen le plus sûr et le plus rapide pour traiter les données qui sont prises en compte dans ce travail. Outre les logiciels habituels de traitement de texte (Microsoft Word) ou d'information statistiques (Microsoft Excel), la nécessité de cartographier les zones à risque d'inondation, à partir des données à références spatiales nous a obligé à faire recours aux logiciels de SIG ArcGIS 10.2.2 et Qgis 2.18.

3.2. Traitement des données

Dans cette partie, il s'agit de rendre utilisable les données brutes acquises. Celles-ci feront ainsi l'objet de traitements informatiques qui aboutiront à la réalisation de tableaux, de graphiques, de cartes et l'élaboration des figures.

3.2.1. Traitement statistique

Le traitement statistique s'est fait grâce au tableur Excel de Microsoft 2007. Il a porté sur les données pluviométriques préalablement traitées sous Arc GIS 10.2 qui nous a permis de disposer des tables de données qui ont ensuite été transposées sur Excel. Le tableur Excel nous a permis de faire les totaux des données pluviométriques décadaires pour obtenir les moyennes pluviométriques mensuelles. Les totaux mensuels des 12 mois de l'année ont été additionnés pour avoir les moyennes pluviométriques annuelles. Ces données ont enfin servi à la construction des courbes et des graphiques.

3.2.2. Traitement cartographique

3.2.2.1 Traitement des données pluviométriques

Ce traitement concerne celui des données pluviométriques TAMSAT téléchargées sur internet. Les données utilisées sont issues de la combinaison de modèles climatiques et d'observations réalisés grâce à des capteurs satellitaires, car elles permettent d'obtenir une meilleure couverture temporelle. De plus, elles offrent aussi une excellente couverture spatiale de la zone d'étude, selon la taille des pixels utilisés. Les données de pluviométrie sont disponibles sous le format NetCDF (.nc) et sont au pas de temps décadaire pour chaque mois de la période de 1987 à 2018. Elles sont transformées en polygones sous Arc GIS 10.2 correspondant à la limite administrative de la zone d'étude et disposant des tables de données, nous les avons transposés sur Excel pour un traitement statistique.

3.2.2.2 Détermination du réseau hydrographique

Ce traitement s'est fait à partir d'une image satellitaire DEM (Digital Elevation Model) du capteur Aster de résolution 30 m obtenue dans les archives de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) sur le site « *earthexplorer.usgs.gov* ». De cette image, ont été extraites les limites du district d'Abidjan à partir du fichier de type « shapefile » fourni par le BNETD (Bureau National d'Etude Technique et de Développement). Une fois les limites obtenues, nous avons procédé à un échantillonnage de l'image passant ainsi de 30 m à 20 m de résolution. Ce traitement a été fait afin d'avoir une résolution plus fine de l'image pour que les résultats à l'échelle du district soient plus proches de la réalité. Une fois le réseau hydrographique obtenu, nous avons procédé à une classification par la méthode de Strahler (1952), qui est intégré dans le logiciel ArcGis 10.2.2.

3.2.2.3 Réalisation de la carte des pentes

La carte des pentes a été faite à partir de l'image DEM (Digital Elevation Model) rééchantillonnée 20 m. Nous avons extrait un fichier de pentes exprimées en pourcentage. La carte qui en a résulté met en évidence le sens d'écoulement des eaux et permet d'apprécier l'intensité du ruissellement sur le site étudié. Quatre classes de pente ont été obtenues: faibles (0 à 4 %), moyennes (5 à 11%), fortes (11 à 16 %), très fortes (16 à 22 %).

3.2.2.4 Détermination des zones d'aléa inondation

Les fonds de vallée en milieu urbain sont des axes de concentration et d'évacuation des eaux pluviales. Ils constituent par conséquent des zones d'aléa d'inondation. Mais, l'inondation par ruissellement se produit lorsque les quantités d'eau qui ruissèlent dans les axes de concentration atteignent un certain niveau, alors que la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols et celle des réseaux de drainage sont dépassées. Ainsi pour déterminer ces zones nous avons considéré le réseau hydrographique qui a été réalisé pour cette étude. Les drains les plus épais constituent les aléas les plus importants et inversement.

3.2.2.5 Détermination des niveaux d'enjeux

Les enjeux sont liés à la présence humaine et constituent la deuxième composante du risque après l'aléa. En milieu urbain, les enjeux sont nombreux et peuvent être plus ou moins importants en fonction de leur répartition. Vu l'échelle à laquelle cette étude a été faite, nous n'avons considéré que la densité du bâti pour déterminer le niveau d'enjeux. Cette détermination s'est faite en numérisant les bâtis à partir d'image satellitaire très haute résolution (inférieur au mètre) offerte par l'extension « OpenLayer » du logiciel Qgis 2.18.

3.2.2.6 Détermination des zones à risque d'inondation

Le risque étant la résultante de la confrontation de l'aléa et des enjeux, la carte de l'aléa inondation a été croisée avec celle des enjeux. La carte de synthèse issue de ce croisement a permis de déterminer les espaces qui sont sous la menace d'un risque d'inondation. Quatre niveaux de risque, allant de très faible à très élevé, ont été déterminés.

CHAPITRE 4 : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans ce chapitre, nous déterminerons d'abord les zones où les aléas naturels sont susceptibles de provoquer des inondations. Ensuite, nous analyserons la dynamique de la pluviométrie dans le district d'Abidjan. Enfin, nous montrerons les prévisions pluviométriques à l'horizon 2040 dans le district d'Abidjan et leur impact sur les inondations.

4.1. Localisation des zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan

4.1.1 Pente et accroissement du ruissellement des eaux pluviales

La pente est un facteur déterminant dans la survenance des inondations. Car elle met en évidence le sens d'écoulement des eaux et permet d'apprécier l'intensité du ruissellement sur le site. L'intensité de ruissellement est proportionnelle à la raideur des pentes. Plus la pente est forte, plus le ruissellement est intense et plus l'accumulation des eaux dans les fonds de vallée est forte. Selon la raideur, quatre niveaux de pente ont été cartographiés (Figure 2).

Dans l'ensemble le district d'Abidjan est dominé par des pentes faibles (0 à 4 %) ; tous les quartiers situés sur la plaine littorale présentent des pentes faibles (Figure 2). Par conséquent, les ruissellements des eaux y sont très faibles. Les pentes moyennes (5 à 11 %) sont observées dans certains quartiers des communes situées au Nord de la lagune Ebrié. Les quartiers à pentes moyennes sont Cocody, Bingerville, Yopougon, Anyama, Abobo, Attécoubé et Songon. Les pentes fortes (11 à 16 %) sont observées dans les communes d'Abobo et d'Anyama. Dans ces communes, le ruissellement des eaux pluviales est beaucoup plus important que dans les précédentes.

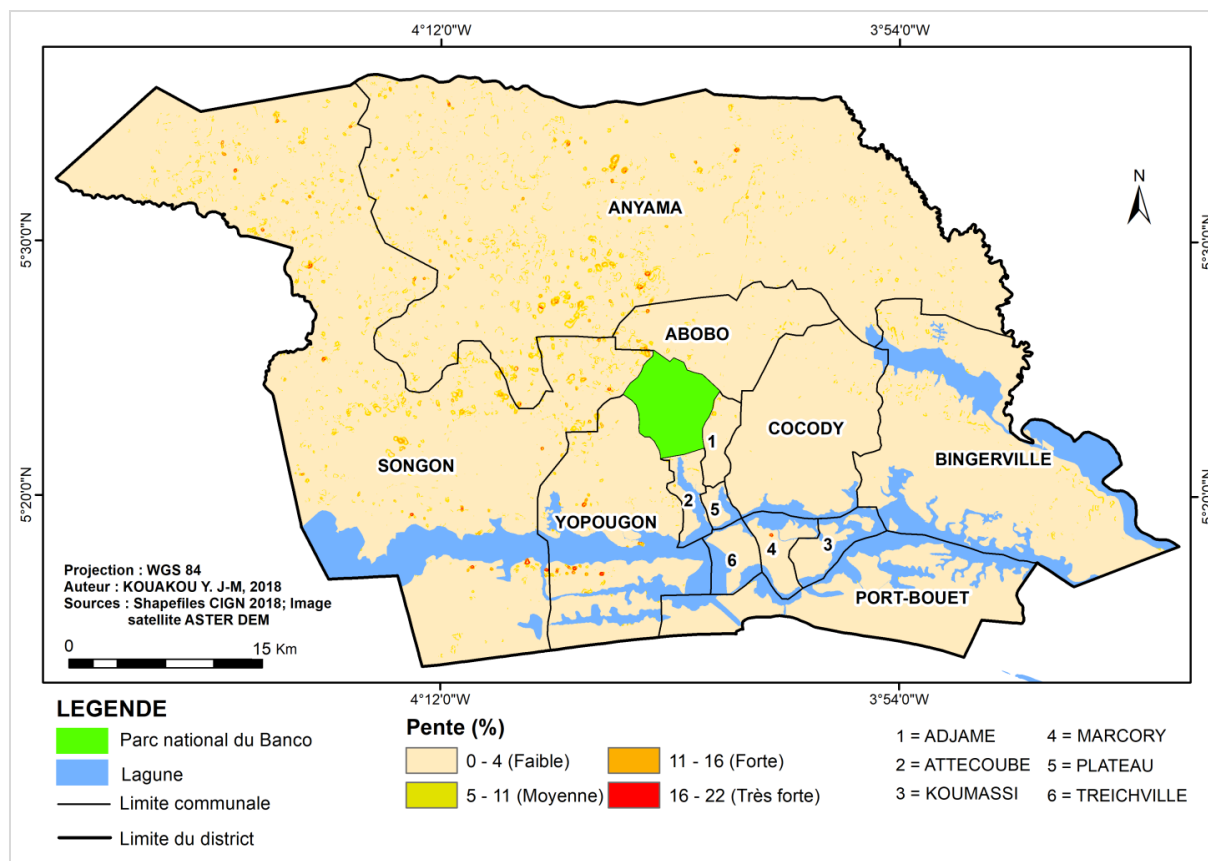


Figure 2: Répartition des pentes dans le district d'Abidjan

L'accumulation des eaux pluviales dans les fonds de vallées provoque des inondations importantes. Les pentes les plus fortes (16 à 22 %) sont observées dans la commune d'Anyama et Abobo. Le ruissellement des eaux y est plus important que dans toutes les autres communes. L'importance des pentes dans ces quartiers entraîne un ruissellement intense qui provoque non seulement des inondations mais aussi l'érosion en milieu urbain.

4.1.2. Zones d'aléa inondation

Les zones d'aléa inondations sont les zones susceptibles de submersion par les eaux de ruissellement. Les niveaux d'aléa sont proportionnels aux drains et sont de quatre types (figure 3).

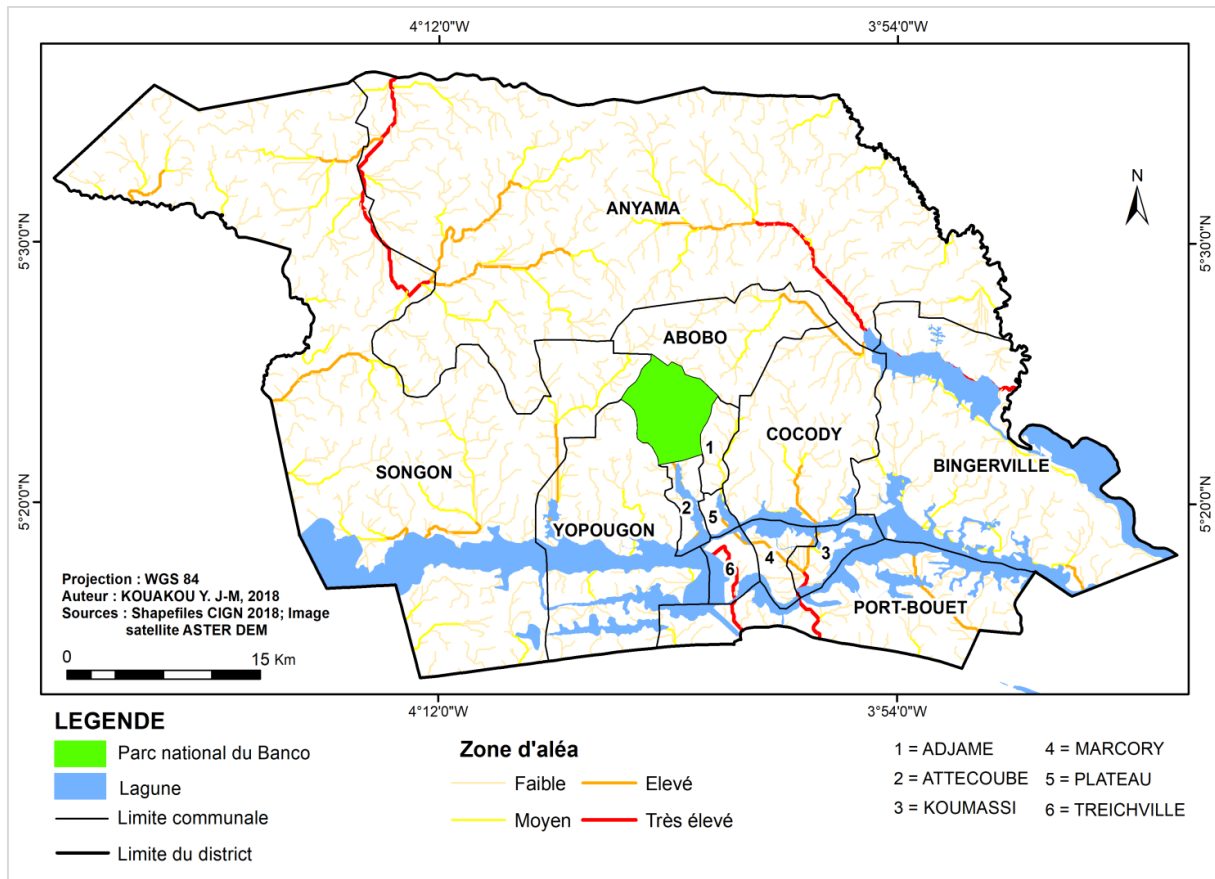


Figure 3: Zones d'aléa inondation dans le district d'Abidjan

4.1.2.1. Zones à faible aléa

Les zones d'aléa faibles correspondent aux zones où le ruissellement de l'eau pluviale est relativement faible donc naturellement moins exposées aux inondations. Les zones à faible aléa se localisent dans toutes les communes du district d'Abidjan. Elles occupent ainsi la majeure partie du district d'Abidjan mais elles sont beaucoup plus concentrées dans les communes au Sud de la lagune Ebrié (Abidjan Sud). L'aléa inondation dans ces zones est très faible à cause de la faiblesse de la pente. Plus la pente est faible et moins l'intensité du ruissellement est importante. L'importance de la quantité d'eau ruisselée ne suffit donc pas pour créer les inondations dans ces zones.

4.1.2.2. Zones d'aléa moyen

On trouve les zones à aléa moyen dans les communes au Nord de la lagune Ebrié surtout à Songon, Yopougon, Anyama, Abobo et Cocody. Dans ces zones, les pentes sont relativement importantes. Le ruissellement des eaux est donc plus important que dans le cas précédent. Les axes de concentration des eaux sont plus importants que les premiers mais l'étroitesse des vallées réduit naturellement le niveau d'exposition aux inondations.

4.1.2.3. Zones d'aléa élevé

Les zones d'aléa élevé sont principalement localisées dans les communes de Songon, Anyama, Abobo, Cocody, Yopougon. Dans ces zones, la raideur des pentes accroît l'intensité du ruissellement. C'est donc une quantité importante d'eau qui transite par les axes de concentration et envahit les fonds de vallées généralement plus larges et fortement urbanisés. La concentration des eaux de ruissellement dans ces fonds de vallées prédispose naturellement le site aux inondations.

4.1.2.4. Zones d'aléa très élevé

Dans les communes de Songon, Anyama, le nord de Bingerville, Treichville et Port Bouët, les sites sont naturellement beaucoup exposés aux inondations. le niveau d'aléa est élevé à cause de la raideur des pentes. A Anyama et Songon, les pentes élevées (16 à 22 %) accroissent considérablement le ruissellement en milieu urbain. La concentration des eaux de ruissellement est donc importante. Ainsi une pluie moyennement importante suffit pour créer une inondation dans ces zones.

4.1.3. Répartition des enjeux

La densité des constructions, c'est-à-dire leur concentration est l'indicateur qui a permis d'apprécier le niveau d'enjeux.

Ainsi quatre niveaux d'enjeux partant de « très faible » à « élevé » ont été retenus (Figure 4).

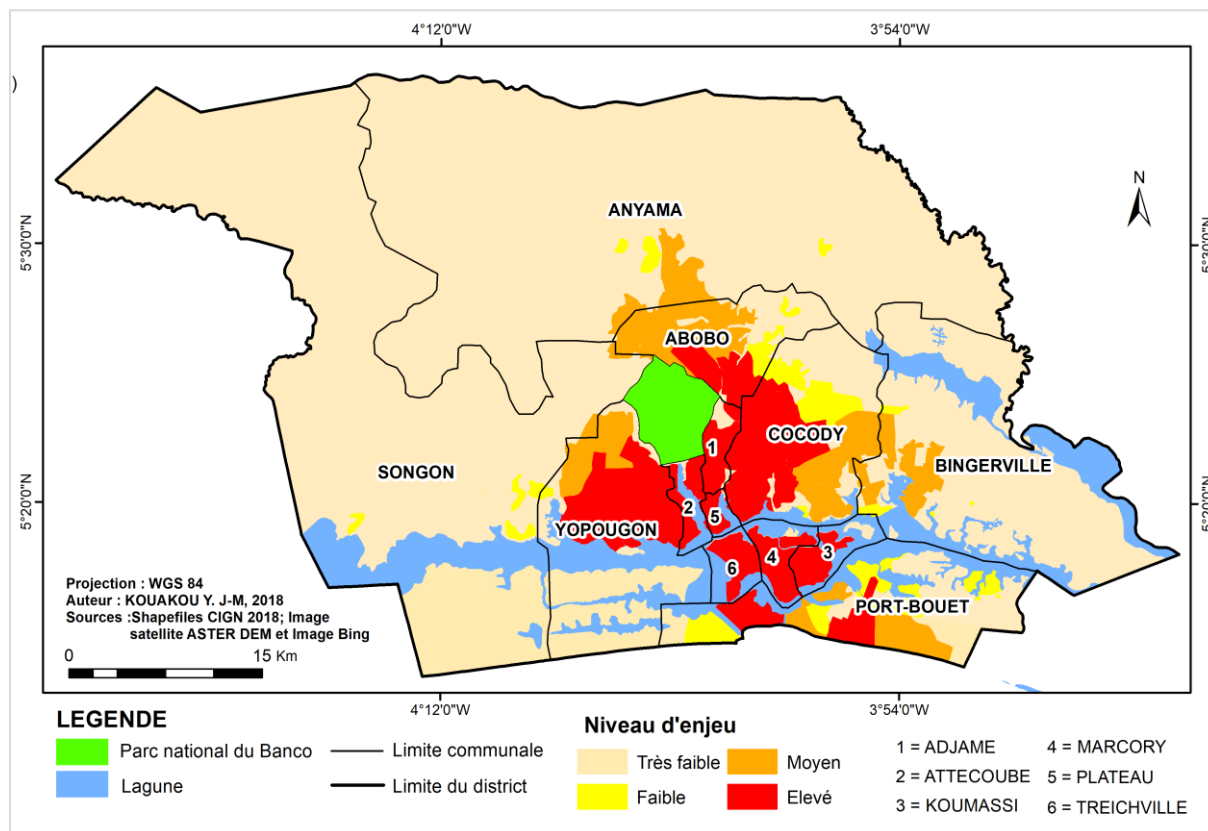


Figure 4: Niveaux d'enjeux dans le district d'Abidjan

4.1.3.1 Zones d'enjeux très faibles

Elles se rencontrent pour la plupart dans les zones en périphérie de l'agglomération d'Abidjan, c'est-à-dire Songon, Bingerville et Anyama où l'habitat est moins dense donc espacé. Les constructions sont moins concentrées à cause du phénomène urbain qui y est très récent. Dans les zones à enjeux très faibles, quelques rares maisons sont construites ou sont en construction et des infrastructures routières sont en cours de réalisation. Dans ces zones les constructions sont de moins en moins concentrées que dans les autres cas. Une inondation y causerait donc moins de dégâts matériels.

4.1.3.2 Zones d'enjeux faibles

Les zones d'enjeux faibles sont des zones où les constructions sont moins espacées que dans le précédent cas. Elles sont pour la plupart localisées au nord de Cocody et à l'Est du canal de Vridi. Dans ces secteurs, les constructions sont de plus en plus nombreuses, mais elles sont disséminées ou éparpillées dans l'espace. Les potentiels dommages matériels d'une inondation dans ces zones sont relativement faibles, mais plus importants que dans le précédent cas.

4.1.3.3 Zones d'enjeux moyens

Ce sont les zones où les enjeux sont relativement importants en termes de distribution des constructions. Ces dernières sont de plus en plus concentrées que dans les précédents cas. Ce niveau d'enjeu s'observe dans la partie Nord de Yopougon, dans la partie Nord d'Abobo, au Sud d'Anyama, au Sud-est de Cocody jusqu'à Bingerville, et au Sud de Port Bouët. Une inondation dans ces zones peut avoir des conséquences importantes à cause des habitations de plus en plus serrées.

4.1.3.4 Zones d'enjeux élevés

Les zones d'enjeux élevés sont des secteurs où les constructions ont été densifiées. Elles sont de plus en plus serrées et moins dispersées dans l'espace. Les constructions sont particulièrement plus denses dans les communes de: Adjamé, Plateau, Marcory, Koumassi, Treichville, le Sud-est d'Abobo jusqu'à Cocody, le Sud de Yopougon, et Port-Bouët. Les enjeux y sont concentrés et importants car ces espaces sont très fortement urbanisés, avec une concentration importante de l'habitat, des équipements et des infrastructures. Une inondation dans les zones d'enjeux élevés peut donc causer des dommages matériels très importants.

4.1.4. Zones à risque d'inondation

En fonction de la présence et de la densité des enjeux (bâtis) dans les zones d'aléa inondation (axe de concentration des eaux de ruissellement), cinq (5) niveaux de risques ont été identifiés (Figure 5). Ces niveaux vont de « très faible » à « élevé ».

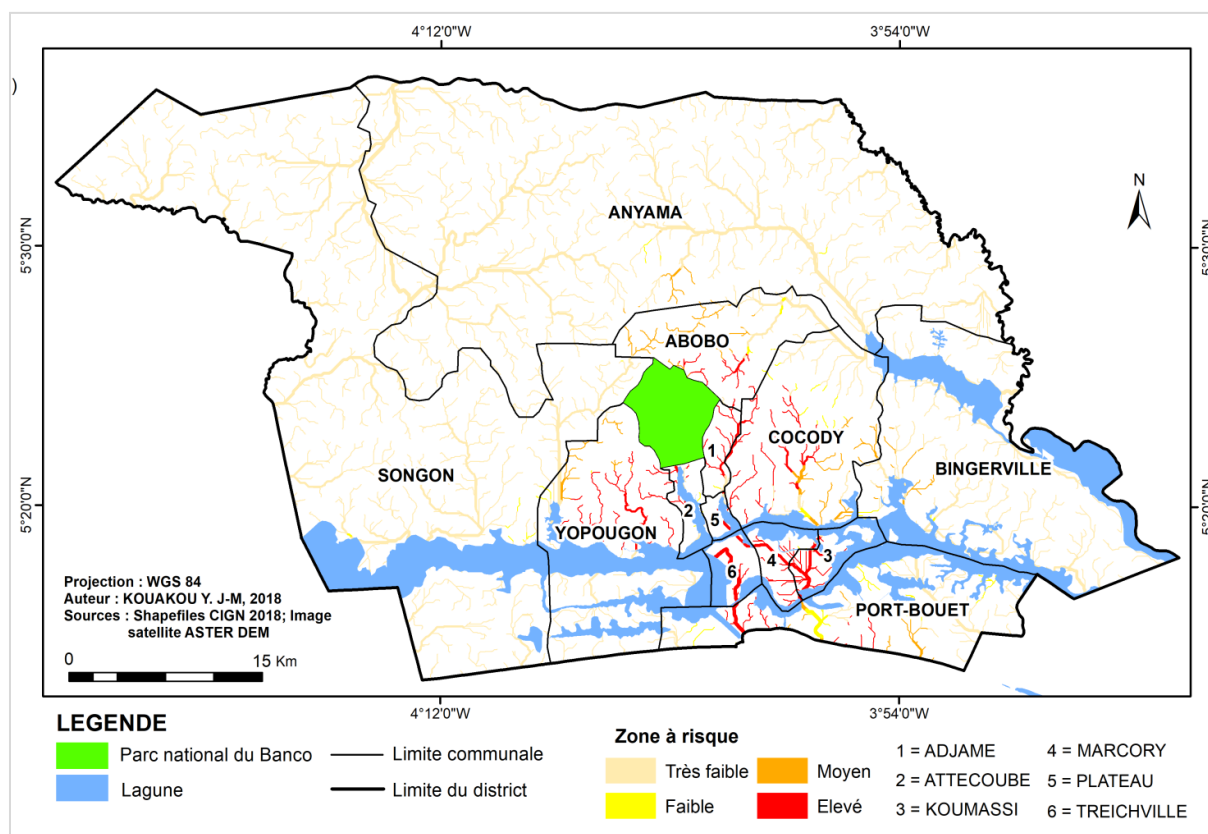


Figure 5: Zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan

4.1.4.1 Zones à risque très faible et faible

Les zones à faible risque d'inondation se localisent dans les communes de Songon, Anyama, Bingerville, Plateau, la partie septentrionale de Cocody, le Nord d'Attécoubé et une partie de Port Bouët. Dans ces zones, quelques habitations sont isolées et dispersées dans les têtes de vallées. Le risque d'inondation y est faible pour deux principales raisons:

La première, la faible présence des enjeux dans certains secteurs. En effet, lorsque les enjeux sont faibles dans un secteur, le risque d'inondation y est également faible, même si le site est naturellement favorable aux inondations (aléa). Car la menace ne touche qu'une frange partie des constructions. C'est le cas dans les communes comme Songon, Bingerville, Anyama, où les enjeux sont relativement faibles ou moins importants.

La deuxième, les enjeux peuvent être très importants, mais l'aléa faible, c'est-à-dire le site n'est pas naturellement favorable à l'inondation. Dans ce cas lorsqu'aucune action ou activité humaine ne vient à modifier le drain naturel des eaux pluviales, les inondations n'ont aucune chance de se produire.

4.1.4.2 Zones à risque moyen

Ce niveau de risque est beaucoup présent dans les communes d'Abobo, les quartiers au Nord de Yopougon, Cocody (Nord et Ouest) et Adjamé. Le risque d'inondation y est élevé parce que les portions des drains naturels ont été investies par les populations dans ces quartiers. La présence des enjeux, qui pourraient être endommagés en cas d'inondation est importante, ce qui accroît le niveau de risque dans ces zones.

4.1.4.3 Zones à risque élevé

On localise les zones à risque élevé dans les communes d'Abobo, Attécoubé, Cocody, Koumassi, Treichville et Port Bouët. Dans ces secteurs, une inondation causerait beaucoup de dommage en raison de la forte présence humaine ou à cause de la topographie. La conjonction des deux termes du risque (aléa et enjeux), tous deux élevés, augmente considérablement le risque d'inondation. L'urbanisation des fonds de vallées dans les communes de Yopougon, Abobo et Cocody augmentent considérablement les risques d'inondation avec des dommages potentiels plus importants que dans les niveaux précédents.

La vallée de Cocody (Palmeraie), comme le soulignent A. Della et A. Kangah (2015 :305), est une vallée de fond plat dont la largeur dépasse par endroit 1 km en est une parfaite illustration. Ce fond que partage en partie les quartiers Palmeraie, Bounoumin, Allabra et Riviera-SIDECI est totalement urbanisé avec des habitations bâties sur les versants des vallées par les sociétés immobilières ou des constructions individuelles et d'importants équipements et infrastructures y sont réalisées. Les inondations sont fréquentes dans cette zone, avec des dégâts humains et matériels toujours importants. La dernière en date est celles de la nuit du 18 au 19 Juin 2018 causant la mort de 15 personnes dans le district d'Abidjan dont 5 aux quartiers Palmeraie et Allabra.

4.1.5. Facteurs aggravants des inondations

Bien que l'occupation humaine des zones naturellement favorables à l'inondation soit source de risque pour leurs habitants, le risque d'inondation et sa manifestation sont exacerbés par un certain nombre de facteurs anthropiques.

Le premier de ces facteurs aggravants des inondations à Abidjan est l'inadaptation du réseau de drainage aux besoins. En effet, bien qu'Abidjan bénéficie d'un important réseau de drainage des eaux pluviales, il ne répond pas partout aux besoins de la ville en matière d'assainissement pluvial. Non seulement certains caniveaux se sont dégradés au fil des années, mais aussi, le recalibrage du réseau existant n'a pas suivi l'urbanisation. Il en résulte que, pendant les fortes pluies, la plupart des caniveaux, n'arrivant plus à canaliser les volumes d'eau devenus trop importants pour leur dimension, sont saturés et débordent. Les inondations que l'on observe dans les communes de Cocody relèvent en grande partie de cet état d'obsolescence du réseau de drainage.

Le deuxième facteur concerne le dysfonctionnement du réseau de drainage existant lié au mauvais usage que les populations font des caniveaux créés pour l'évacuation des eaux pluviales. En effet, dans pratiquement tous les quartiers populaires, en absence de réseau d'assainissement des eaux usées, les

riverains rejettent leurs eaux usées directement ou par l'intermédiaire de canalisation de fortune. Plus grave encore, ce sont les ordures ménagères qui finissent dans les caniveaux qui se bouchent au fil du temps.

Le troisième facteur est la conquête des bordures lagunaires. Certaines personnes, pour des raisons qui sont propres à elles, profitent de l'ensablement des bordures lagunaires et des baies pour s'installer. Ces pratiques qui sont courantes dans les quartiers précaires étendent ainsi les surfaces inondables.

En somme, le site du district d'Abidjan prédispose certaines communes aux inondations. La présence ou non des enjeux dans ces secteurs détermine le niveau de risque auquel les populations sont exposées. Ainsi, Toutes les communes du district d'Abidjan sont exposées au risque d'inondation par ruissellement d'eau pluviale, mais à des niveaux d'exposition différents. Le risque d'inondation est particulièrement élevé dans les communes de Cocody, Abobo, Attécoubé, Yopougon, Koumassi, Treichville où les habitations, les infrastructures et les équipements sont implantés dans les fonds des principaux axes de concentration et d'évacuation des eaux de pluies des bassins-versant. Les inondations sont régulièrement enregistrées dans les zones à risque élevé, pendant les fortes pluies entre Mai et Juillet ou de Septembre à Octobre. Certaines actions de l'homme aggravent dangereusement les risques d'inondation dans ces secteurs.

4.2. Analyse de l'évolution de la pluviométrie dans le district d'Abidjan

Les inondations par ruissellement d'eau sont provoquées par une accumulation des eaux pluviales dans les bassins versants suite à des épisodes de pluie importants. La pluie étant donc le principal facteur déclencheur des inondations dans le district d'Abidjan, une analyse de son évolution est faite dans cette partie.

4.2.1. Régime pluviométrique

Les précipitations, l'insolation et l'humidité relative de l'atmosphère sont les éléments météorologiques qui agissent en concert pour déterminer les types de temps dans le district d'Abidjan. Le climat est de type sub-équatorial et comprend quatre saisons (figure 6).

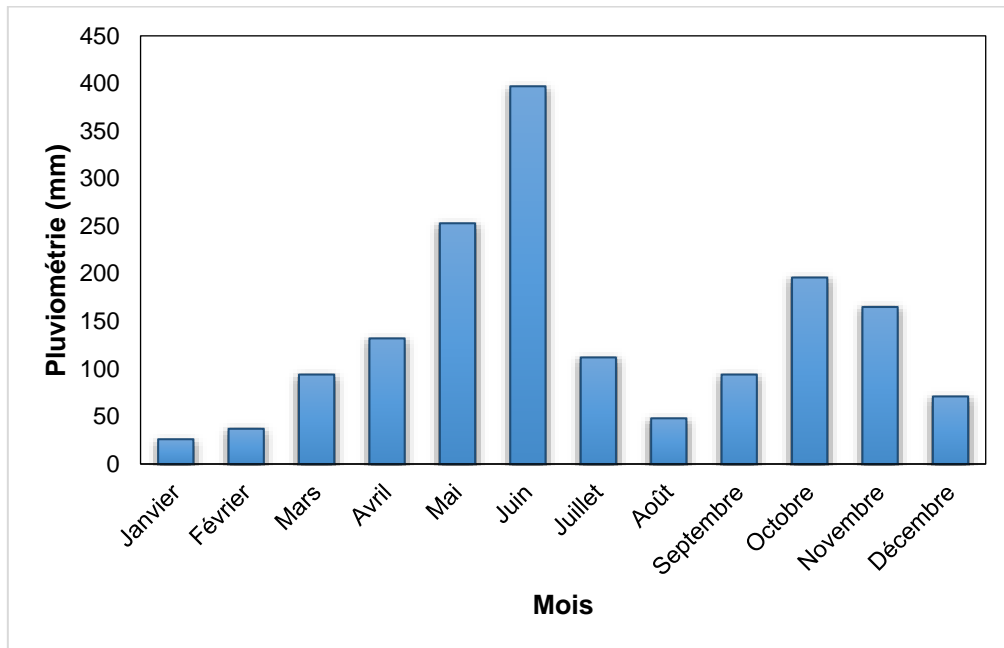


Figure 6: Evolution des hauteurs moyennes de pluie dans le district d'Abidjan (1987-2018)

Source: Données TAMSAT, 2018

Dans le district d'Abidjan comme partout dans le monde tropical, c'est le rythme et la fréquence et le rythme des précipitations qui déterminent les saisons, les températures étant élevées et peu variables au cours de l'année. Ainsi, quatre types de saisons sont distingués: deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches (figure 6).

La grande saison sèche va de Décembre à Mars et se caractérise par des précipitations moyennes inférieures à 100 mm dans l'année. Avec moins de 30 mm en général, le mois de Janvier est le plus sec dans tout le district d'Abidjan.

A partir du mois d'Avril commence la grande saison pluvieuse qui s'achève au mois de Juillet. C'est au cours de cette période que les précipitations deviennent de plus en plus fréquentes et de plus en plus abondantes. Chaque année le mois d'Avril reçoit un peu plus de 100 mm de pluie en moyenne. La tendance humide s'affirme davantage en Mai. Dans ce mois les volumes de pluie augmentent brusquement et atteignent 250 mm en moyenne. Il s'agit des précipitations abondantes et régulières qui se prolongent jusqu'en Juin, le mois le plus pluvieux de l'année dans le district d'Abidjan. Celui-ci enregistre en effet des quantités moyennes de pluie proche de 400 mm. Les maxima de pluie observés dans le mois de Juin au cours de la période 1987-2018 ont été enregistrés en 1988 (567 mm), 1989 (500 mm), 1999 (712 mm), 2000 (586 mm), 2002 (556 mm), 2009 (649 mm), 2017 (556 mm). Bon nombre des inondations meurtrières et dévastatrices dans le district d'Abidjan ont lieu dans ce mois. En Juillet, dernier mois de la grande saison pluvieuse, les précipitations sont moins abondantes et moins relativement irrégulières. Il pleut en moyenne un peu plus de 110 mm de pluie.

Cette première période pluvieuse est suivie de la petite saison sèche qui s'étend sur Août et Septembre. Au cours de ces deux mois, les quantités de pluie baissent considérablement, mais restent plus élevées que celles enregistrées dans les mois de Janvier et Février. En effet, il tombe en moyenne 50 mm de pluie en Août et 90 mm en Septembre. Il peut cependant avoir des précipitations exceptionnelles, comme ce fut le cas en 2004 où Septembre fut le mois le plus pluvieux de l'année avec des hauteurs de pluie de 294 mm; en 1987 où Septembre fut le deuxième mois le plus pluvieux de l'année avec 286 mm derrière Octobre qui cumulait 289 mm. Les précipitations peuvent être extrêmement faibles (1 à 6 mm) dans le mois d'Août comme ce fut le cas en 1990 (1 mm), 1997 (5 mm) et 2001 (6 mm), mais rarement nulles.

Après cette petite saison sèche, les pluies sont à nouveau importantes en Octobre et Novembre. C'est la petite saison des pluies dont Octobre est le mois

le plus humide qui enregistre en moyenne 196 mm de pluie. Les maxima pendant le mois d'Octobre sont entre 330 et 350 mm tandis que les minima enregistrés tournent autour de 90 mm. Pendant le mois de Novembre les précipitations moyennes sont estimées à 165 mm avec des précipitations plus irrégulières, ce qui annonce la saison sèche.

Le district d'Abidjan baigne donc dans un environnement climatique subéquatorial caractérisé par deux périodes de pluie intercalées par deux périodes sèches, à durée inégale. Les pluies annuelles observées dans le district d'Abidjan sont dans l'ensemble abondantes (1618 mm en moyenne). Elles sont fortement concentrées sur la grande saison humide (Avril à Juillet), surtout sur les mois de Mai, Juin et Juillet. En effet, il tombé en moyenne 762 mm de pluie au cours de l'année pendant ces trois mois soit 47% de la pluviométrie annuelle. Pour les précipitations exceptionnelles supérieures à 2000 mm, ces mois reçoivent entre 900 et 1300 mm de pluie.

Pendant ces trois mois pluvieux, les précipitations sont plus concentrées sur la deuxième décade de chaque mois, c'est-à-dire du 10^{ème} au 20^{ème} jour du mois (Figure 7). La décade 2 du mois de Juin reçoit le maximum de pluie pendant l'année avec des hauteurs de pluie avoisinant les 140 mm soit sensiblement égales au cumul de pluie du mois de Novembre, dernier mois de la petite saison pluvieuse. Les pluies durant les premières décades, comparées à celles enregistrées aux décades 2 sont moins importantes mais elles restent toutefois supérieures aux précipitations des décades 3 des mois de Mai, Juin et Juillet (Figure 7). La 1^{ère} décade (du 1^{er} au 10^{ème} jour) du mois de Juillet est plus humide que celle des deux autres mois tandis que la 3^{ème} décade (du 20^{ème} au 30^{ème} jour) de Mai reste plus arrosée que celle des deux autres mois (Figure 7). Les précipitations et inondations aux conséquences meurtrières ont lieu pendant cette période (Mai à Juillet).

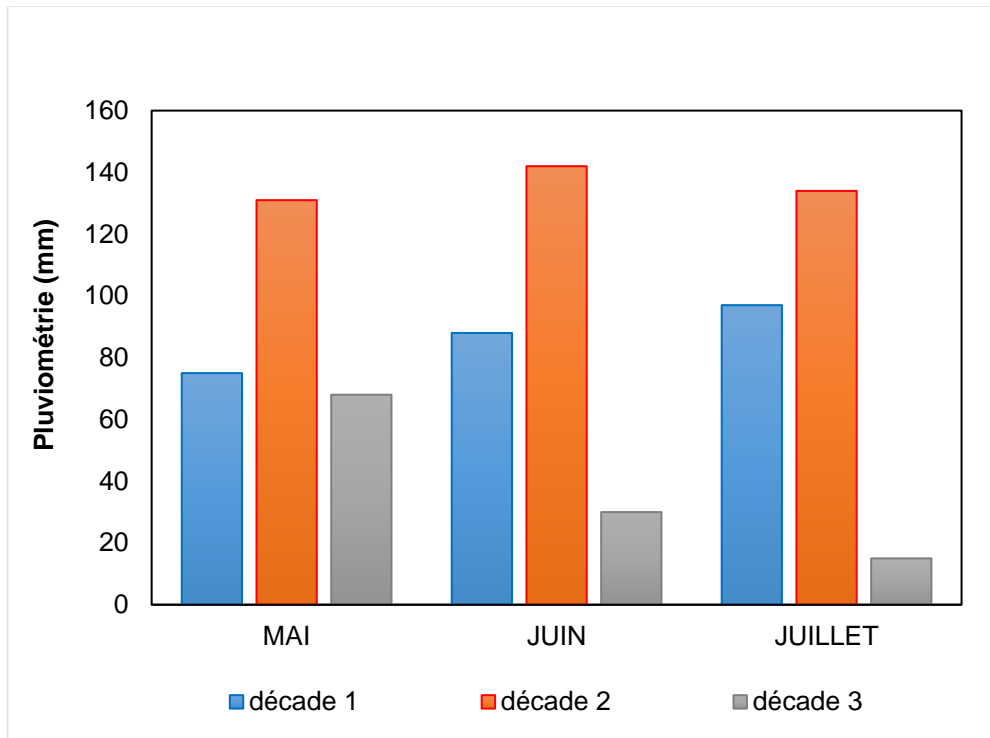


Figure 7: Répartition de la pluviométrie par décade pendant les mois les plus humides

Source: Données TAMSAT, 2018

Ces grosses pluies, arrivant sur un sol déjà et peu ou non couvert de végétation constituent de petites crises écologiques, c'est-à-dire les moments où les inondations sont tout à fait possibles. En outre, l'imperméabilité des surfaces liée aux effets induits de l'urbanisation, l'absence de systèmes d'évacuation des eaux pluviales ou la mauvaise gestion des ouvrages de protection existants (C. Hauouhot, 2008; D. Alla, 2013) sont autant de facteurs qui prédisposent le district d'Abidjan aux inondations pendant les périodes humides. En effet, ces facteurs énumérés ne favorisent pas l'écoulement et le drainage normal des eaux pluviales pourtant très abondantes. Il en résulte une accumulation de celles-ci dans les fonds des vallées. Ce qui provoque les inondations par ruissellement d'eau avec des conséquences humaines parfois importantes (Tableau 2).

Tableau 2: Hauteur de pluie des mois humides pendant les inondations meurtrières

	Mai	Juin	Juillet	Total	Part dans le total annuel	Nombre de décès
2018	254 mm	411 mm	183 mm	848 mm	44%	18
2017	260 mm	559 mm	89 mm	908 mm	41%	15
2016	244 mm	271 mm	88 mm	603 mm	42%	16
2014	310 mm	473 mm	108 mm	882 mm	55%	23
1996	321 mm	348 mm	323 mm	992 mm	60%	28

Source : TAMSAT et Ministère de l'intérieur de Côte d'Ivoire, 2018

Il est tombé entre Mai et Juin de l'année 1996, 992 mm de pluie soit 60% de la pluviométrie annuelle de cette année. Ces pluies ont occasionné 28 décès. C'est le plus lourd bilan jamais enregistré à Abidjan. En 2014, les mois de Mai Juin et Juillet enregistraient 55% de la moyenne pluviométrique annuelle. 23 décès provoqués par les inondations avaient été enregistrés durant cette période. Les années 2016, 2017 et 2018 ont enregistré respectivement 42%, 41% et 44% des totaux pluviométriques annuelles durant ces trois mois avec des bilans respectifs de 16, 15 et 18 morts. Le nombre de décès évolue avec la concentration de pluie dans ces trois mois. Plus ces mois reçoivent de pluie, plus le nombre de décès liés aux inondations est important.

4.2.2. Variabilité interannuelle des précipitations

L'étude réalisée a principalement concerné la période 1987-2018. L'application de l'Indice de Nicholson à cette période met en évidence une grande instabilité pluviométrique dans le district d'Abidjan (Figure 8).

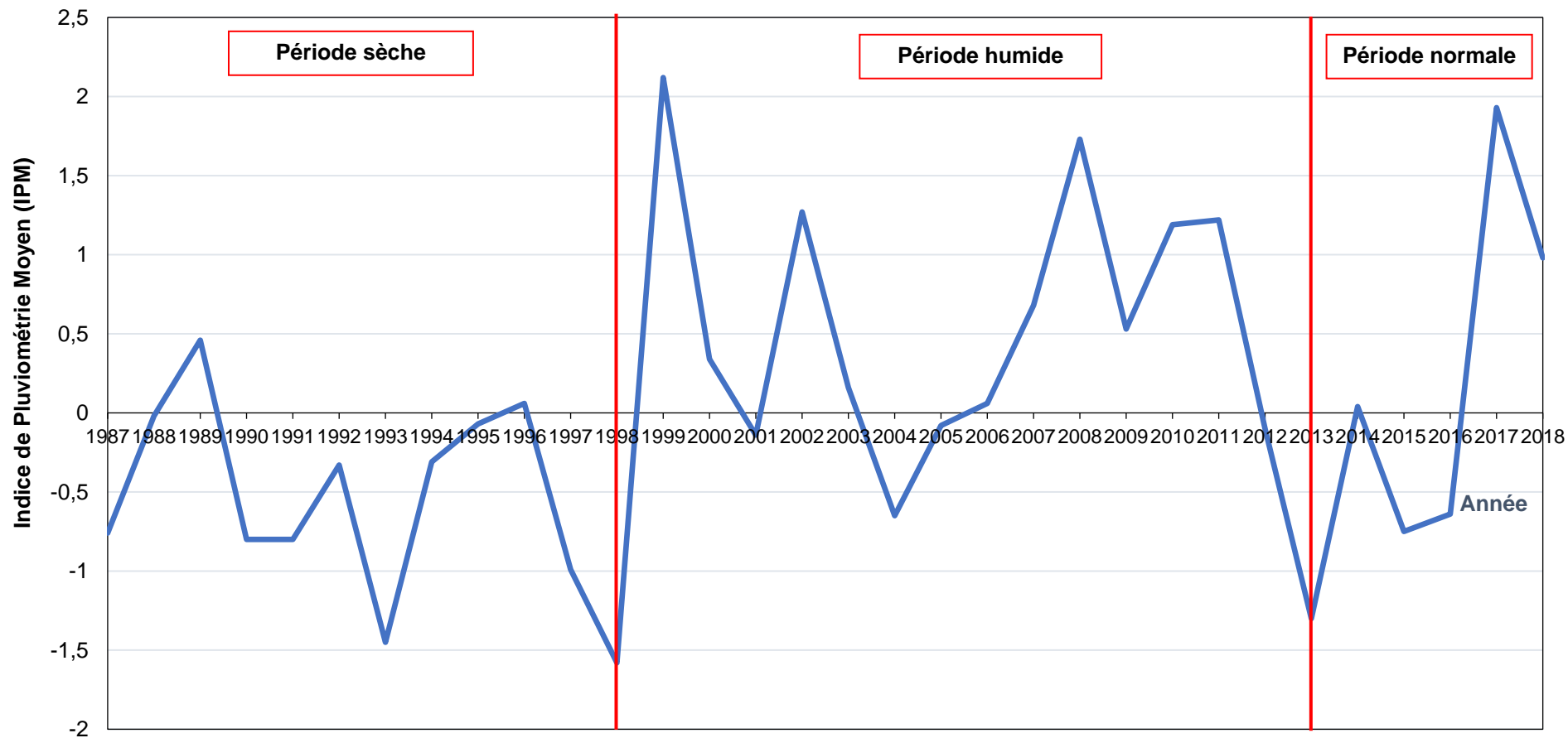


Figure 8: Fluctuations pluviométriques selon l'indice de Nicholson

Source : TAMSAT, 2018

Les résultats de l'indice de Nicholson appliqué au district d'Abidjan permettent d'identifier trois grandes périodes:

Les résultats de l'indice de Nicholson appliqué sur le district d'Abidjan permettent d'identifier trois (03) grandes périodes:

- . Une période sèche ou déficitaire entre 1987 et 1998 avec une moyenne pluviométrique de 1426 mm soit 35 % des totaux pluviométriques, inférieurs à la moyenne annuelle totale qui est de 1618 mm.
- . Une période humide ou excédentaire allant de 1998 à 2013 avec une moyenne pluviométrique estimée à 1790 mm soit 41 % des totaux pluviométriques supérieurs à la moyenne pluviométrique annuelle qui est de 1618 mm.
- . Une période normale allant de 2013 à 2018 avec une moyenne pluviométrique de 1632 mm, soit 16 % des totaux pluviométriques sensiblement égaux à la moyenne annuelle totale.

La courbe de fluctuation par l'indice de Nicholson reflète bien la grande variabilité pluviométrique au niveau du district d'Abidjan depuis 1987. Les variations pluviométriques pendant les trois périodes illustrent une augmentation de la pluviométrie dans le district d'Abidjan. La pluviométrie est passée de 1403 mm en 1987 à 2239 mm en 1999, soit une augmentation de 37% en 12 ans. Cette augmentation n'est pas sans conséquence pour le territoire du district d'Abidjan. Elle est le premier élément déclencheur des épisodes d'inondation observés chaque année dans le district d'Abidjan. Cette hausse pluviométrique est également mise en évidence sur la figure 9, qui fait la synthèse des trois (3) décennies (1987 – 1997, 1998 – 2007, 2008 – 2018).

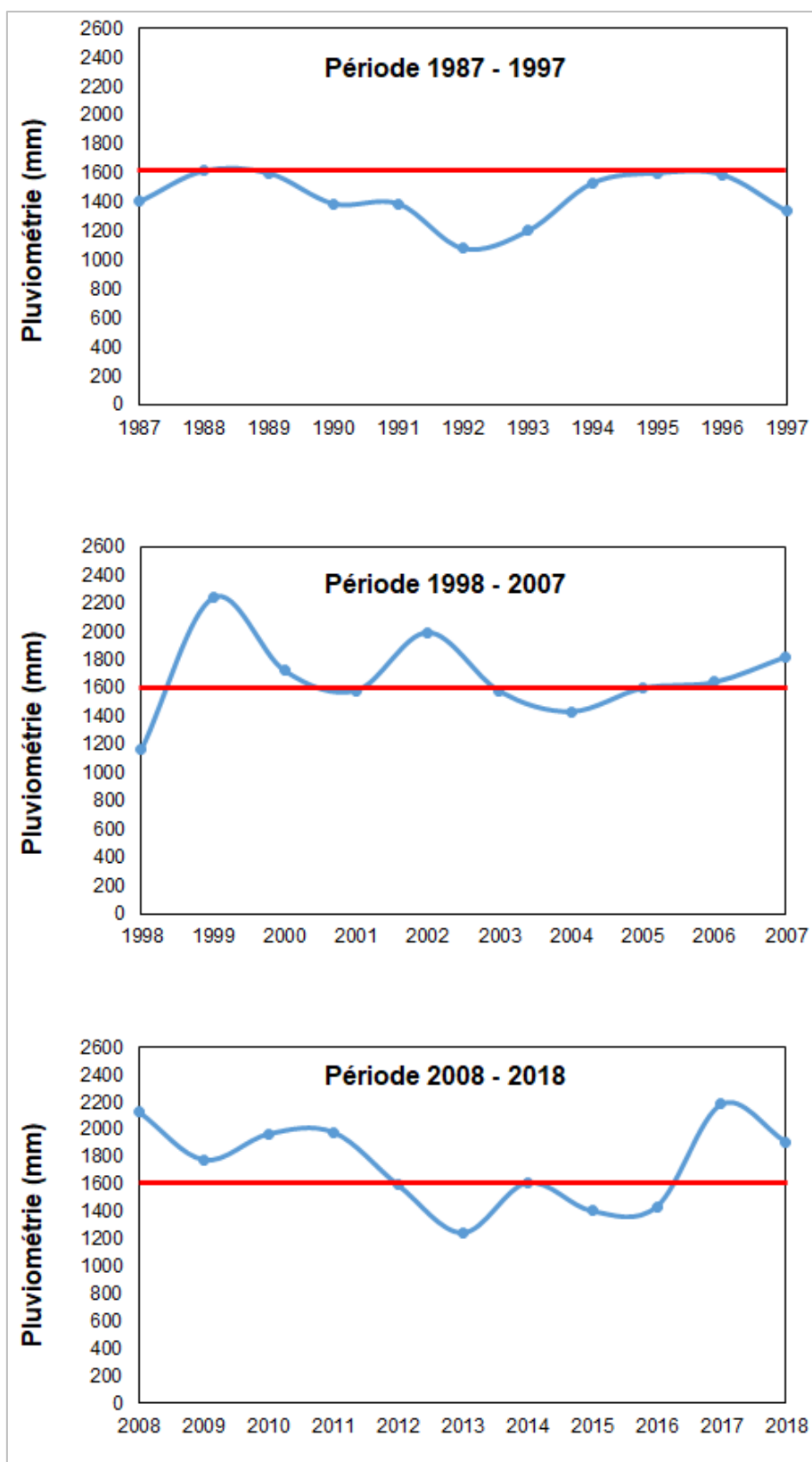


Figure 9: Variation de la pluviométrie au cours des trois décennies 1987-1997, 1998-2007 et 2008-2018.

Source : Données TAMSAT, 2018

L'étude de la variation pluviométrique au cours des trois décennies (1987-1997; 1998-2007; 2008-2018) illustre une augmentation des hauteurs moyenne de pluie bien qu'instables. En effet les pluviométries maximales des deux dernières décennies (1998-2007; 2008-2018) dépassent progressivement le maximum pluviométrique de la première décennie 1987-1997 qui est de 1600 mm considéré comme pluviométrie de référence (représenté par le trait rouge sur la figure 9). Ainsi la pluviométrie est passée de 1600 mm en 1989 à 2184 mm en 2017, soit une augmentation pluviométrique de 27% en 28 années.

La moyenne pluviométrique par décennie ne cesse d'augmenter. Elle est de 1435 mm, 1676 mm et 1750 mm respectivement pour les décennies 1987-1997, 1998-2008 et 2009-2018. Il en ressort une tendance croissante des moyennes pluviométriques dans le district d'Abidjan entre 1987 et 2018.

4.2.3. Détermination du coefficient de ruissellement

Le ruissellement désigne l'écoulement des eaux à la surface des sols. Conditionnées par différents facteurs hydrographiques, il se produit lorsque l'intensité des précipitations dépasse les capacités d'infiltration et de rétention d'un sol. En milieu urbain, l'artificialisation des sols favorise le ruissellement. En effet, lors des averses, l'eau collectée par les toitures puis déversée sur le sol revêtu ne réussit pas à s'infiltrer, ruisselant ainsi pour atteindre le réseau pluvial. En cas de fortes précipitations, ces eaux saturant les réseaux, ce qui conduit à des phénomènes d'inondations. Pour éviter la saturation de ces ouvrages, il faut les dimensionner ou les redimensionner afin de les adapter au flux d'eau ruisselant.

Pour le redimensionnement des ouvrages, il est important de déterminer le coefficient de ruissellement (C_r) des revêtements utilisés au sein des projets de construction. D. Loembe (1986 :127) propose certaines valeurs du coefficient de ruissellement en fonction du mode d'occupation du sol (tableau 3).

Tableau 3: Coefficient de ruissellement en fonction du mode d'occupation du sol

Type d'habitat	Coefficient de ruissellement
Très dense	$0,8 \leq Cr \leq 0,9$
Dense	$0,6 \leq Cr \leq 0,7$
Moins dense	$0,4 \leq Cr \leq 0,5$
Résidentiel	$0,2 \leq Cr \leq 0,3$
Zone non édifiée	$0,15 \leq Cr \leq 0,2$
Zone boisée	$0,05 \leq Cr \leq 0,1$

Source: D. Loembe, 1986, page 27.

Coste et Loudet proposent dans le tableau 4 les coefficients de ruissellement selon la nature de la surface.

Tableau 4: Coefficient de ruissellement selon la nature de la surface

Nature de la surface	Coefficient de ruissellement
Pavage, chaussées revêtues, piste en ciment	$0,70 \leq Cr \leq 0,95$
Sols imperméables avec végétation	$0,05 \leq Cr \leq 0,1$
Sols perméables avec végétation	$0,1 \leq Cr \leq 0,15$

Source: C. Coste et M. Loudet, 1990.

Dans le cadre de la présente étude, le coefficient de ruissellement est déterminé en fonction de la densification de l'habitat (critère de détermination des niveaux d'enjeux). La référence aux niveaux d'enjeux (Figure 4) permet de déterminer les coefficients de ruissellement par commune dans le tableau suivant.

Tableau 5: Coefficient de ruissellement par commune

Commune	Coefficient de ruissellement
Abobo	0,8
Adjamé	0,9
Anyama	0,6
Attécoubé	0,9
Bingerville	0,7
Cocody	0,7
Koumassi	0,9
Marcory	0,9
Plateau	0,9
Port-Bouët	0,7
Treichville	0,9
Songon	0,5
Yopougon	0,9

Source : Kouakou, 2018

Le coefficient de ruissellement dans le district d'Abidjan varie de 0,5 à 0,9. Les plus faibles sont déterminés dans les communes de Songon (0,5) et Anyama (0,6). Dans ces communes les habitations sont dispersées donc moins denses. Le couvert végétal est plus développé, ce qui réduit considérablement le ruissellement des eaux pluviales. Les communes qui enregistrent les coefficients de ruissellement élevés sont: Yopougon, Adjamé, Plateau, Attécoubé, Treichville, Marcory et Koumassi. Dans ces communes, le coefficient de ruissellement est de 0,9 soit 90 %. Dans ces communes, les habitations sont concentrées et très denses, les sols sont sans couvert végétal et imperméabilisés par l'urbanisation. La densification joue un rôle important dans la part des eaux pluviales livrées au ruissellement et participe à la montée brutale des eaux dans les ouvrages de drainage.

En effet, une parcelle densément occupée par les constructions, présente aux précipitations des toitures de tôle aux surfaces totalement imperméables.

Celles-ci ont un coefficient de ruissellement estimé à 0,9, donc elles sont capables de concentrer 90% des pluies qui tombent sur elles. Dans les cités populaires, comme Abobo, Adjamé ou Yopougon, les eaux pluviales sont déversées dans les cours des parcelles, dont les surfaces sont parfois cimentées ou revêtues de dalles étanches, puis dans les rues. Ces eaux ainsi déversées entretiennent ensuite un ruissellement important. Le coefficient de ruissellement pondéré (C_p) dans le district d'Abidjan est 0,72 soit 72% des pluies qui tombent.

Cependant, partant du fait que le district d'Abidjan est fortement urbanisé avec une prédominance des chaussées revêtues, les routes et rues bitumées, la surface imperméable (C. Hauhouot, 2008 :81; P. Kaman, 2013 :16; D. Alla, 2013 :307), le coefficient de ruissellement dans le district d'Abidjan peut être ajusté à 0,9 (tableau 4). Ce coefficient important montre que seul 10 % des eaux pluviales sont infiltrées. Les 90 % sont "contraintes" au ruissellement de surface. Avec des précipitations assez fortes (1618 mm en moyenne) et des infrastructures de drainages insuffisantes et inadaptées, les ruissellements urbains n'ont d'autres conséquences que les épisodes d'inondations observées pendant les saisons pluvieuses.

Le district d'Abidjan est donc territoire fortement et constamment arrosé. Ces pluies exceptionnelles sont à la base des inondations dans les communes du district d'Abidjan. En effet, la zone d'Abidjan est soumise à des précipitations moyennes annuelles supérieures à 1500 mm réparties sur une centaine de jours entre Mai et Octobre. La moyenne calculée dans le district d'Abidjan sur la période 1987 à 2018 est de 1618 mm. L'étude pluviométrique montre une variabilité pluviométrique et une hausse des précipitations moyennes annuelles depuis 1998. Elle a augmenté de 27% en 30 ans. La pluviométrie moyenne annuelle est passée de 1435 mm entre 1987-1998 à 1750 mm entre 2008-2018. Cette forte pluviométrie dans un espace où le coefficient de ruissellement est de 0,9 du fait de l'urbanisation, le dysfonctionnement des ouvrages de drainage n'a d'autre conséquence que de provoquer les inondations.

4.3. Scénarisation des impacts des variations pluviométriques sur l'évolution des inondations

Le réchauffement climatique qui s'intensifie de jour en jour aura certainement une influence significative sur les phénomènes météorologiques extrêmes. Afin de déterminer ses impacts probables sur les épisodes d'inondations dans le district d'Abidjan, des projections sont faites dans ce chapitre pour déterminer les prévisions pluviométriques à l'horizon 2040.

4.3.1. Prévision des hauteurs pluviométriques à l'horizon 2040

La prévision des hauteurs pluviométriques à l'horizon 2040 a été possible grâce à une simulation du climat selon le modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP 8.5. C'est un modèle dit pessimiste qui nous a permis d'obtenir les données consignées dans le tableau 6:

Tableau 6: Projection des hauteurs de pluie selon le modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP8.5 à l'horizon 2040

SIMULATION DU CLIMAT RCP 8.5 HORIZON 2040												
Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Variation mensuelle (mm)	+18	+25	+22	+6	-33	-186	+25	+37	-6	-56	-68	-33
Variation annuelle	-243 mm											

Source : données scénario RCP 8.5, 2018

Les analyses des évolutions futures des précipitations selon le scénario RCP 8.5 montrent les fluctuations futures que connaîtra le district d'Abidjan à l'horizon 2040 par rapport à la moyenne de référence 1987-2018. Les valeurs illustrent une instabilité pluviométrique dans le district d'Abidjan accentuée par un changement de régime pluviométrique, par rapport à la moyenne pluviométrique de référence (1987-2018). Les précipitations subiront une légère augmentation entre Janvier et Avril ainsi qu'aux mois de Juillet et Aout. Alors

que de Septembre à Décembre, en Mai et Juin les précipitations connaîtront une baisse. Le mois de Juin connaîtra la plus grande baisse avec une diminution allant jusqu'à (-186 mm) et Aout la plus grande hausse (+37mm).

De façon générale, le district d'Abidjan connaîtra une baisse des moyennes pluviométriques annuelles à l'horizon 2040 selon le modèle MIROC-ESM. La moyenne pluviométrique annuelle à l'horizon 2040 passera à 1375 mm, loin en dessous de la moyenne de la période 1987-2018 qui est de 1618 mm. Soit une baisse de 243 mm (tableau 6). Ces résultats témoignent donc d'un changement du régime pluviométrique dans le district d'Abidjan (Figure 10).

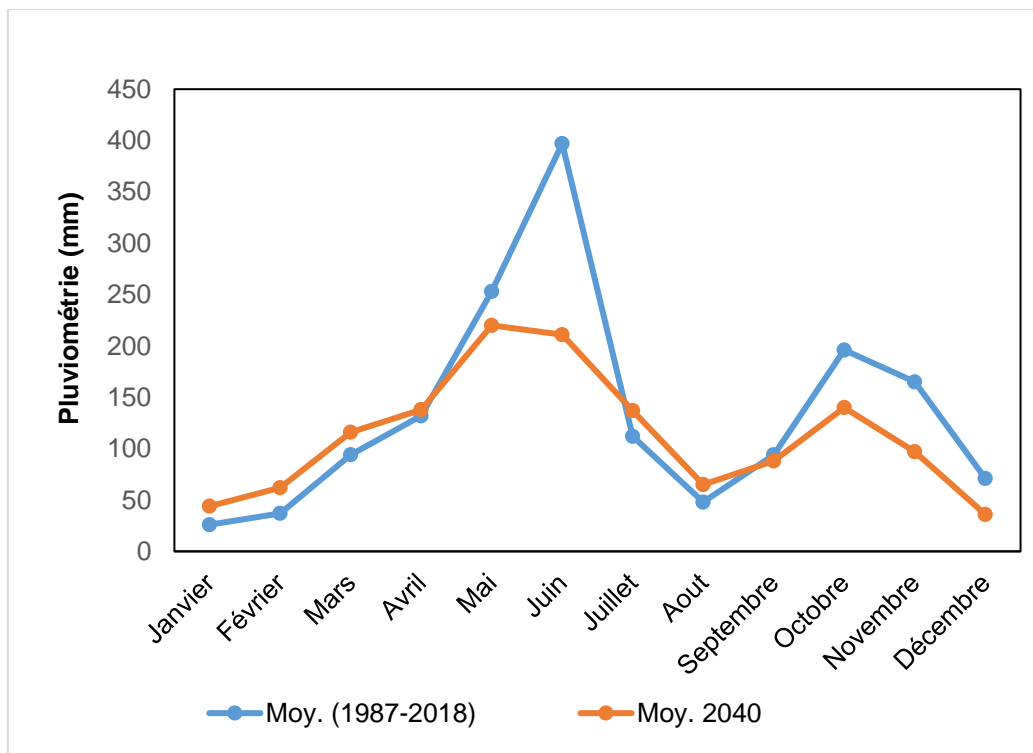


Figure 10: Moyennes pluviométriques mensuelles des périodes 1987-2018 et 2040

Source : Données TAMSAT et modèle climatique sous le scénario RCP 8.5, 2018.

La comparaison des moyennes pluviométriques mensuelles de la période 1987-2017 à celles de l'horizon 2040 témoigne d'une baisse de la moyenne pluviométrique annuelle des précipitations dans le district d'Abidjan à l'horizon

2040. Cependant lorsque nous comparons les moyennes mensuelles, il en ressort que certains mois subiront des baisses alors que d'autres connaîtront une hausse pluviométrique. De Septembre à Décembre, la moyenne pluviométrique baissera ainsi que dans les mois de Mai et Juin. D'autres mois à l'inverse verront leur moyenne pluviométrique en hausse. Il s'agit des mois de Janvier à Avril et les mois de Juillet et Aout. La baisse de la pluviométrie n'implique pas directement une diminution des fréquences d'inondation, au contraire elle les rendra de plus en plus imprévisible car leur survenance pourrait simplement changer de période.

En effet, malgré la baisse de la moyenne pluviométrique mensuelle, certains mois connaîtront une hausse (Tableau 6, Figure 10). Ces mois connaîtront des averses avec des quantités d'eau très élevées, sur une période réduite. Ce qui peut provoquer des inondations. Les inondations pourraient donc intervenir à des périodes auxquelles l'on ne s'y attend pas. Il pourrait par exemple avoir inondation de Janvier à Avril, en Juillet et Aout alors que ces événements habituellement ne surviennent qu'entre Mai et Juin. Malgré une baisse de la pluviométrie entre Mai et Juin, les pluies restent importantes et toujours susceptibles de déclencher des inondations. Ainsi, les inondations qui habituellement n'interviennent qu'en Mai et Juin, pourraient être déclenchées entre Mars en Juillet et de Septembre à Novembre (soit sur 8 mois de l'année) à l'horizon 2040 en raison de la hausse des précipitations dans les mois habituellement secs.

Les tendances pluviométriques à l'horizon 2040 montrent également une modification saisonnière (Figure 11).

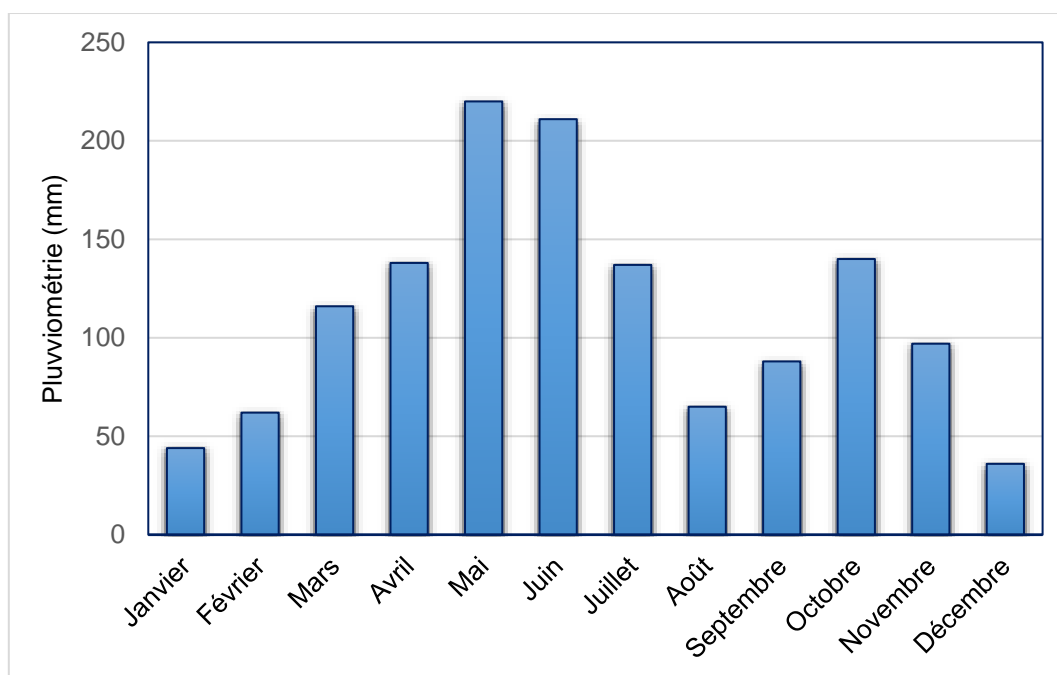


Figure 11: Evolution des hauteurs moyennes de pluie à l'horizon 2040.

Source: Données modèle climatique sous le scénario RCP 8.5, 2018

L'évolution des hauteurs de pluie dans le district d'Abidjan à l'horizon 2040 met en évidence quatre saisons mais de durées différentes, comparées aux saisons de la période de référence (1987-2018). Ces quatre saisons sont réparties comme suit:

- Une grande saison sèche. Elle s'étend désormais de Décembre à Février alors qu'elle était de Décembre à Février pendant l'année de référence (1987-2018).
- Une grande saison pluvieuse. Elle débute en Mars pour prendre fin en Juillet. La grande saison pluvieuse sera donc plus longue avec l'inclusion du mois de Mars.
- Une petite saison sèche désormais raccourcie à 1 mois (le mois d'Aout) mais avec des précipitations en hausse. Aout est un mois intermédiaire entre la grande et la petite saison pluvieuse.
- Une petite saison pluvieuse. Elle sera cependant plus longue comparée à celle de la période de référence. Elle commence désormais en Septembre pour s'achever en Novembre.

Cette répartition est la preuve d'une modification saisonnière ou d'un changement de saison dans le district d'Abidjan. Nous assisterons ainsi à des saisons pluvieuses plus longues et à un raccourcissement des saisons sèches. Cette nouvelle tendance porte à croire que des pluies exceptionnelles et importantes pourraient tomber pendant les mois dits secs. Celles-ci auraient des conséquences telles les inondations désastreuses.

L'analyse du scénario RCP 8.5 sous le modèle MIROC-ESM montre dans l'ensemble une baisse des pluviométries et une modification saisonnière dans le district d'Abidjan. Les modifications enregistrées en termes de tendances des précipitations pourraient s'expliquer par un fort taux d'émission des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO₂, méthane, protoxyde d'azote etc.), d'aérosol et de gaz chimiquement actifs dans l'atmosphère contribuant au réchauffement climatique (GIEC, 2007 :37).

4.3.2. Impact des précipitations futures sur les inondations

Le phénomène d'inondation pourrait s'amplifier dans le district d'Abidjan à partir de l'analyse du scénario RCP 8.5 du modèle MIROC-ESM. En effet, le district d'Abidjan connaîtra un changement des saisons pluvieuses dans les décennies à venir du fait du réchauffement climatique. Bon nombre des conclusions du rapport du GIEC (2007) s'avèrent donc de plus en plus probables et les conséquences de plus en plus sévères: augmentation de la variabilité des régimes pluviométriques, mais aussi de précipitations plus extrêmes, dont la fréquence et les impacts seraient plus accrues. L'évolution des conditions pluviométriques induira certainement l'augmentation du risque d'inondation. Cette augmentation très probable des phénomènes météorologiques extrêmes est en lien avec les changements climatiques. Ainsi, l'intensité, la fréquence, les vagues de chaleur et inondation devraient s'amplifier en Afrique subsaharienne.

Les averses seront donc caractérisées par des quantités d'eau très élevées, sur une période réduite. Les hauteurs d'eau relevées après un épisode pluvieux pourront parfois correspondre aux moyennes mensuelles. Ainsi, les changements climatiques sont susceptibles d'accroître la fréquence et la gravité des inondations (CEDEAO, 2008 :14). Car elles seront de plus en plus imprévisibles. Les pluies les plus violentes s'accompagneront de vents forts (passage de 15 à 30 m/s en quelques minutes), d'une augmentation de pression, d'une baisse de température (de 1 à 10° C) et enfin, d'une pluie intense (de 10 à 30 minutes) et abondante (OMM, 2016 :29). L'intensité des pluies est un paramètre majeur dans l'ampleur des inondations. Ces pluies extrêmes et violentes induites par les changements climatiques feront dépasser la capacité d'absorption des sols urbains déjà fragilisée par l'urbanisation. Après engorgement, l'eau se maintient en surface et ruissèle. Moins l'eau s'infiltrer plus vite elle ruissèle. La rapidité du déclenchement du ruissellement aggrave le risque d'inondation. Ceci est d'autant plus remarquable dans la ville d'Abidjan (où 90 % des eaux pluviales sont ruissèlent en surface), où bâti et voiries provoquent l'imperméabilisation des sols, et de fait un plus grand risque d'inondation.

L'élévation du niveau des mers constitue un risque supplémentaire pour les villes situées sur le littoral et leurs populations. Leur altitude souvent faible et leur densité souvent relativement importante. Le littoral Ouest-africain fait partie des trois zones côtières les plus vulnérables au monde: de Douala à Dakar, en passant par Cotonou, 12 agglomérations de plus d'un million d'habitants y sont implantées (CEDEAO, 2008 :19).

Dans le district d'Abidjan, la montée du niveau marin fait craindre de probables inondations futures, et pèse déjà sur certains endroits notamment dans la commune de Port-Bouët. Bien que ce type de risque ne soit pas développé dans le cadre de ce travail, certains caractères demandent d'être pris en considération dans le contexte des inondations pluviales. par exemple, la

pression de l'eau marine sur les nappes phréatiques et sur les basfonds où l'eau de la nappe affleure, limite l'infiltration des eaux de pluies.

Les prévisions pluviométriques dans le district d'Abidjan obtenues grâce à la simulation du climat sous le scénario RCP 8.5 ont montré qu'à l'horizon 2040, le district d'Abidjan subira un changement de saison. Ce changement se justifie par un allongement des saisons pluvieuses et un raccourcissement des saisons sèches. Ainsi, la grande saison pluvieuse débutera en Mars et se terminera en Juillet. Quant à la petite saison des pluies, elle se situera de Septembre à Novembre. Ce nouveau régime de pluie modifie également les périodes de survenance des inondations. Ces événements qui habituellement interviennent entre Mai et Juin seraient susceptibles de se déclencher désormais entre Mars et Juillet ou de Septembre à Novembre, conformément au nouveau régime pluviométrique. Il convient donc de prendre des dispositions pendant ces mois pour la mise en sûreté des personnes et des biens.

CHAPITRE 5 : DISCUSSION DES PRINCIPAUX RESULTATS

Dans cette étude, il s'agissait de déterminer les zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan, d'analyser la dynamique des pluies et de scénariser les impacts des futures pluies sur la dynamique des inondations dans le but de les prévenir. La discussion portera sur les principaux résultats que nous confronteront à ceux des travaux antérieurs portant sur la même thématique, afin de juger la qualité et la validité de nos résultats.

5.1. Zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan

Les zones à risque d'inondation concernent les zones où le ruissellement naturel des eaux de pluie pourrait provoquer les inondations. A partir d'une image satellite DEM (Digital Elevation Model) du capteur Aster de résolution 30 m obtenue dans les archives de la NASA et rééchantionnée à 20 m, nous avons pu déterminer les zones d'aléa inondation. La détermination des niveaux d'enjeux s'est faite en numérisant les bâtis à partir d'image satellitaire très haute résolution (inférieur au mètre) offerte par l'extension « OpenLayer » du logiciel Qgis 2.18. Les cartes des zones à risque d'inondation sont obtenues à partir de la combinaison spatiale entre les zones d'aléa inondation (axe de ruissellement des eaux de surface) et les niveaux d'enjeu. Cette combinaison des données spatiales a été possible grâce au SIG dont l'efficacité n'est plus à démontrer dans l'analyse spatiale (A. Della et Kangah, 2015 :306).

Cette méthode de détermination des zones à risque d'inondation est différente des méthodes de détermination des zones inondables par débordement des cours d'eau basées sur la modélisation et faisant appel aux données hydrologiques ou hydromorphologiques. Elle a permis donc de montrer que les risques d'inondation se localisent à différents niveaux dans presque toutes les communes d'Abidjan. Ce résultat coïncident avec ceux des auteurs comme A. Aguia (2018 :5) qui a démontré dans une étude qu'aucune commune du district

n'est totalement épargnée des inondations, seulement que les niveaux d'exposition diffèrent d'une commune à l'autre. Ils corroborent également avec ceux du ministère de l'environnement, de la salubrité urbaine et du développement durable (2011 :23), qui ont démontré que l'importance des zones à risque varie en fonction des sites inondables. Certaines communes comme Abobo, Cocody, Koumassi sont des zones où le risque d'inondation est plus élevé qu'ailleurs. Il s'agit des secteurs où les habitations, les infrastructures et les équipements sont implantés dans le fond des principaux axes de concentration et d'évacuation des eaux de pluies des bassins-versant. Les inondations sont régulièrement enregistrées dans les zones à risque élevé et très élevé, pendant les fortes pluies entre Mai et Juillet ou de Septembre à Octobre. Ces zones sont pour la plupart les quartiers dans les cuvettes (comme c'est le cas à Abobo), les fonds de vallée, comme dans la commune de Cocody à la Riviera Palmeraie démontré dans les travaux de A. Kangah et D. Alla (2015).

5.2. Evolution de la pluviométrie dans le district d'Abidjan

Dans cette partie de l'étude, il s'agissait d'analyser la dynamique de la pluviométrie dans le district d'Abidjan. Le calcul de l'indice pluviométrique moyen de Nicholson a permis d'analyser la variabilité temporelle des précipitations dans le district d'Abidjan. L'étude menée sur la période 1987-2018 a permis d'observer une alternance de période sèche (1987-1998), humide (1998-2013), normale (2013-2018). Cet indice calculé illustre l'instabilité de l'offre pluviométrique de la zone d'étude à l'instar de tous les pays d'Afrique de l'Ouest depuis des décennies (CEDEAO, 2008 :12) comme le font constater (A. Ali et T. Lebel, 2009 :15) qui soulignent une variabilité pluviométrique unique à la surface du globe caractérisée par un déficit pluviométrique répété depuis la fin des années 1960. Cette instabilité des régimes pluviométriques est signalée par plusieurs auteurs dans différentes régions du pays. En effet, M. Saley et *al.* (2009 :8) dans leurs travaux ont montré une grande variabilité des pluies dans le

district d'Abidjan caractérisé par un déficit des précipitations depuis 1970 jusqu'en 1975 et une reprise de la pluviométrie pendant la décennie 1990-2000. K. Amani *et al.* (2010 :2) signalent une instabilité dans le centre ivoirien marquée par une récession des fréquences de jours pluvieux et une diminution de la durée des saisons pluvieuses à partir de 1970.

L'étude des caractéristiques pluviométriques a également montré que les précipitations sont très abondantes dans le district d'Abidjan (moyenne annuelle =1618 mm). Cependant celles-ci sont concentrées sur trois mois c'est-à-dire Mai, Juin et Juillet. Ces résultats sont confirmés par de nombreux auteurs dont D. Alla (2013 :35), M. Saley *et al.* (2009 :4), C. Hauhouot (2008 :78). Ces derniers dans leurs travaux ont montré que les moyennes pluviométriques à Abidjan varient entre 1600 et 2000 mm et que ces pluies sont fortement concentrées sur la grande saison pluvieuse (de Mai à Juillet). Ces mois reçoivent entre 52 et 57,5 % du volume total des pluies de l'année. C'est pendant cette période qu'interviennent les inondations dans le district d'Abidjan.

5.3. Scénarisation des impacts des variations pluviométriques sur l'évolution des inondations

La simulation climatique faite selon le modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP 8.5 atteste d'une modification des saisons dans le district d'Abidjan avec des saisons pluvieuses plus longues et un raccourcissement des saisons sèches. Cette nouvelle tendance prévoit la survenue des pluies exceptionnellement abondantes et inattendues pendant les mois habituellement secs. Ce scénario d'évolution du climat indique que la variabilité climatique que nous connaissons actuellement va s'amplifier et s'intensifier. Les inondations vont non seulement devenir plus fréquentes mais aussi de plus grande ampleur. Celles-ci sont imputables au recul de la grande saison des pluies ainsi qu'aux précipitations accrues en août et à l'élévation des températures, comme le font remarquer E. Ago (2005 :10) et E. Amoussou *et al.* (2008 :9). Ces observations

sont en accord avec les études réalisées en Afrique de l'ouest par plusieurs auteurs. Ces études ont mentionné que les inondations occupent une bonne place parmi les risques liés aux phénomènes extrêmes d'origine hydrométéorologique.

En effet, le GIEC (2007) estime, très vraisemblable (90 à 95 % de probabilité) que les chaleurs extrêmes et les événements de fortes précipitations continueront à devenir plus fréquents, plus intenses et surtout de plus en plus variables d'une année à l'autre. Selon N. Madiodio *et al* (2004 :8), les scénarios d'évolution du climat en Afrique de l'ouest indiquent que la variabilité climatique que nous connaissons actuellement va s'amplifier et s'intensifier. Sécheresses et inondations vont non seulement devenir plus fréquentes mais aussi de plus grande ampleur. Ces mêmes constats ont été faits par IPCC (2012 :9), qui souligne que les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes vont conditionner la vulnérabilité à l'égard des phénomènes extrêmes futurs en modifiant les écosystèmes. De même, R. Katz et B. Brown (1992 :298) évoquent l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes tels que les sécheresses, les inondations et les pluies très intenses.

En dépit des tendances à la baisse des précipitations les décennies à venir dans le district d'Abidjan (tableau 6), les inondations pourraient augmenter d'ampleur et de fréquence du fait de la fréquence accrue des épisodes de fortes précipitations qui peuvent accroître l'écoulement dans la plupart des zones et faciliter la recharge des nappes souterraines dans certaines plaines inondables. Les régimes climatiques actuels tendent à indiquer un réchauffement de la planète et une augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes dont les précipitations (L. Colin, 2004 :21). Il est donc nécessaire de s'inquiéter davantage de la récurrence d'événements climatiques extrêmes (précipitations intenses et inondations) que de la hausse du niveau de la mer dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Car les plaines

inondables ont été propices à l'établissement de populations humaines et au développement des activités économiques dans le district d'Abidjan.

Certes les résultats des projections sont plus inquiétants que rassurants mais il convient de signifier que les inondations ne sont pas des manifestations spontanées. Elles ne frappent pas sans préavis. Car lorsqu'aucune activité humaine ne venait modifier les paramètres d'écoulement des bassins versants, la nature dessinerait harmonieusement le paysage et les écoulements seraient paisibles bien que variables. Lorsque les zones urbaines sont suffisamment et correctement dotées d'infrastructures de drainage et lorsqu'aucune activité humaine ne compromet leur fonctionnement normal, les écoulements et le drainage des eaux pluviales sont également paisibles. De façon précise, lorsque le système de drainage répond correctement, la probabilité d'une inondation est très faible. Or le système de drainage dans le district d'Abidjan est aujourd'hui confronté à un problème de dimensionnement et d'encombrement dû à l'incivisme des riverains qui se débarrassent de plus en plus de toutes sortes d'ordures dans les caniveaux à ciel ouvert (D. Alla et A. Kangah., 2015 :306). En plus le sol urbain est de plus en plus imperméable à cause de l'urbanisation et la disparition de la couverture végétale. Les infiltrations des eaux de pluie qui sont réduites conduisent à un accroissement du ruissellement. C'est ce qui se passe dans les zones à risques élevé et très élevés qui subissent des inondations pendant chaque saison des pluies.

C'est pourquoi pour réduire les inondations, dans le district d'Abidjan, il convient d'assurer dans un premier temps un curage régulier de tous les collecteurs pour faciliter la circulation des eaux de ruissellement. Ensuite dans la perspective d'une gestion préventive, il faut, d'une part, redimensionner les ouvrages existants et en créer d'autre afin de faciliter la circulation des eaux pluviales. D'autre part, il faut procéder à une implantation des stations de mesures de paramètres hydroclimatiques pour un suivi régulier des différentes

fluctuations et pour procéder à une modélisation des données afin de mieux caractériser la relation pluie-inondation.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude, il a été question de la gestion durable des risques d'inondation dans le district d'Abidjan basée sur la localisation des zones à risque, l'étude de la variabilité temporelle de la pluviométrie et la mise en évidence de l'impact du futur régime pluviométrique sur les inondations. L'étude avait pour objectif de prévenir les phénomènes d'inondation à travers la scénarisation des variations pluviométriques. La détermination des zones à risque s'est faite après une synthèse des cartes d'aléa et d'enjeux. Il en est sorti de son analyse que toutes les communes sont touchées par les inondations mais à des degrés différents.

L'analyse de la dynamique des pluies sur la période 1987-2018 a mis en évidence l'importance des précipitations (1618 mm) et leur concentration sur les trois mois les plus pluvieux (Mai, Juin et Juillet) qui reçoivent plus de la moitié de la pluviométrie annuelle. Cette analyse a également révélé des fluctuations pluviométriques dans la zone. L'indice de Nicholson appliqué à cet effet sur la période 1987-2018 a permis de dégager des périodes excédentaires et déficitaires. Ce qui témoigne de la grande instabilité pluviométrique dans la zone. Cette tendance pluviométrique dans une zone où 90 % des eaux pluviales ruissèlent provoque les inondations.

Les projections futures de la pluviométrie du modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP 8.5 prévoient à l'horizon 2040 une baisse des précipitations mais aussi un changement de saison. Les saisons pluvieuses seront plus longues alors que les saisons sèches se raccourciront. Ce changement saisonnier exacerbera les épisodes d'inondation dans le district d'Abidjan. Elles seront de plus en plus imprévisibles car elles pourraient survenir à des périodes auxquelles l'on ne s'y attend pas. Leurs conséquences seraient donc de plus en plus désastreuses.

Les recommandations suivantes sont formulées dans l'optique de réduire la vulnérabilité des populations :

- redimensionner les ouvrages de drainage et les adapter au flux d'eau ruisselant;
- faire le curage systématique des ouvrages d'assainissement et actualiser le schéma directeur;
- évaluer les coefficients de ruissellement des secteurs avant la construction des infrastructures de drainage afin de réduire le ruissellement de surface;
- orienter l'urbanisation dans les communes moins exposées au risque;
- investir dans la technologie pour la surveillance des phénomènes météorologiques.

REMERCIEMENTS

Le présent travail n'aurait pu aboutir sans le soutien de plusieurs personnes. Je tiens à leur exprimer toute ma gratitude. Je souhaite remercier particulièrement M. TIA Lazare, qui a accepté de m'encadrer et me diriger tout au long de la réalisation de ce projet. Ses conseils instructifs et judicieux, sa disponibilité, ses encouragements, ses corrections ont grandement contribué à la réussite de ce travail ; merci professeur pour votre implication personnelle dans l'aboutissement de ce travail. J'adresse mes vifs remerciements à tous les enseignants de l'Institut de Géographie Tropicale notamment ceux du parcours Géographie Physique et Environnement (GPE) ; merci pour la formation que vous m'avez donnée. Infiniment merci à mes parents, mes frères et sœurs, mes cousins et cousines et tous les membres de la grande famille BONGO pour leur encouragement quotidien. Un merci sincère à ma cousine que j'appelle affectueusement « tante » Adjoua Yvonne KOUAME qui, sans elle je ne serais pas arrivé jusqu'ici. Je lui dois une fière chandelle!

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGO Expedit Evariste, PETIT François, OZER Pierre, 2005, « Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et Bénin) », *Geo-Eco-Trop*, vol. 29, 2005, pp.1-14.
- AGUIA Aristide, 2018, *Utilisation des images satellites pour l'alerte précoce aux pluies fortes/inondations. Cas des inondations du 18 et 19 Juin 2018 à Abidjan*. 13^{ème} forum EUMETSAT, SODEXAM, Abidjan. 12 p.
- ALI Abdou et LEBEL Thierry, 2009, « The Sahelian standardized rainfall index revisited », *International Journal of Climatology* (12), 1705–1714, 29 p.
- ALI Moussa, BACCI Maurizio, BRACCIO Sarah, ISSA Hassimou, OUMAROU Amadou Zaqueye, TIEPOLO Maurizio, 2018, *Analyse du risque d'inondation dans les communes de la région de Dosso au Niger, 1998-2016*. Rapport n°5 du projet ANADIA Niger, 33 p.
- ALLA Della André et KANGAH Armand, 2015, « Détermination des zones à risques d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG): cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'Ivoire) », *Geo-Eco-Trop*, 39, 2: pp 297-308.
- ALLA Della André, 2013, *Risques naturels dans l'agglomération d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*, Abidjan, Université Félix Houphouet Boigny, département de Géographie, Thèse de doctorat d'Etat non publiée, 389 p.
- AMANI Michel Kouassi, KOFFI Fernand Kouamé, YAO Koffi, KOUAKOU Bertrand Djè, PATUREL Jean-Emmanuel, OULARE Sekouba, 2010, « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », *Cybergeo : European Journal of Geography*, 2010, 513, 28 p.

- AMOUSSOU Ernest, CAMBERLIN Pierre, PERARD Jocelyne, 2008, *Instabilité spatio-temporelle des régimes pluviométriques dans le bassin versant du Mono-Couffo (Afrique de l'Ouest) de 1961 à 2000*, Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon.
- Association Internationale de Développement (IDA), 2008: *Gérer les risques naturels, réduire les risques liés au développement*. Banque mondiale, 10p.
- BAILLY Antoine, 1994, *La géographie des risques naturels*, Paris, Armand Colin, pp. 181-186.
- BAILLY Antoine, 2004: *Les concepts de la géographie humaine*, Paris, Armand Colin (coll. U), 333 p.
- Banque Mondiale, 2014, *Risque et opportunité: la gestion du risque à l'appui du développement*. Rapport sur le développement dans le monde, 66p.
- BAUD Pascal, BOURGEAT Serge et BRAS Catherine, 1995, *Risque*, dictionnaire de Géographie, Hatier, pp. 313-322.
- BENAZZOUZ Mohamed Tahar, 2012, *les caractéristiques des inondations et leurs conséquences sur l'aménagement du territoire à partir de cas algériens*, cours international CRSTA, université Omar El Bernaoui, 44p.
- BIHANNIC Lise et MICHEL-GUILLOU Elisabeth, 2011, « Développement durable et agriculture durable: sens du concept de "durabilité" à travers la presse régionale et le discours des agriculteurs », *Développement durable et territoires*, vol. 2, n° 3, 31 p.
- BOURRELIER Paul-Henri, DENEUFBOURG Guy, DE VANSSAY Bernadette, 2000, *les catastrophes naturelles; le grand cafouillage* Paris, col. Osman Eyrolles, 262 p.

- BRUNET Roger, FERRAS Robert et THERY Hervé, 1992, « les Mots de la géographie, dictionnaire critique », *Travaux de l'Institut Géographique de Reims*, n°83-84 pp. 148-154.
- CEDEAO (Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest), 2008, *le climat et les changements climatiques. Atlas de l'intégration en Afrique de l'Ouest*, 23 p.
- COLIN Lionel Soskolne, 2004, *Changement climatique, phénomènes météorologiques extrêmes et effets sur la santé en Alberta*. Université d'Alberta, 11 p.
- COSTE Christian et LOUDET Maurice, 1990, l'assainissement en milieu urbain ou rural. Tome 2 : les réseaux et les ouvrages de retenue, conception, calculs, exécution des ouvrages d'écoulement, paris, Edition du Moniteur, 415 p.
- DAUPHINE André et PROVITOLO Danielle, 2007, « La résilience: un concept pour la gestion des risques », *Annales de géographie*, 2007/2, n°654, pp. 115-125.
- DAUPHINE André, 2001, *risques et catastrophes naturels. Observer, spatialiser, comprendre et gérer*, Paris, Armand Colin, coll.U, 264 p.
- DE BOISSEZON Hélène et DUBOIS Cathy, 2014, *les données de la télédétection dans la gestion des risques et des désastres en Haïti: difficile rencontre entre expertise exogène et savoirs locaux*, centre national d'étude spatiale, France, pp 135-140.
- DEFOSSEZ Stéphanie, 2009, *Evaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aude*, Montpellier, Université Paul Valéry-Montpellier III Thèse de Doctorat, Géographie, 462p.

- DEMANGEOT Jean, 1996, « Géographie zonale et milieux naturels », *In* : DERRUAU M. « Composantes et concepts de la géographie physique », Collection U, Armand Colin/Masson, Paris, pp. 95-113.
- D'ERCOLE Robert, THOURET Jean-Claude, DOLLFUS Olivier, ASTE Jean-Pierre, 1994, « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de géographie alpine*, tome 82, n°4, pp. 87-96.
- DOLFUS Olivier et D'ERCOLE Robert, 1996, *Les mémoires des catastrophes au service de la prévision et de la prévention de risques naturels, risques naturels, risques de sociétés*, Paris, Economica, pp 7-18.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC changement climatiques 2007*, Genève, Suisse, ISBN 92-9169-222-0, 103 p.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2014, *Changements climatiques 2014: rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Genève, 164 p.
- HAJJI Hicham, 2005, *Gestion des risques naturels: une approche fondée sur l'intégration des données*, Lyon, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées (INSA), 183 p.
- HAUHOUOT Célestin, 2008 « Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'Abidjan. Etude de cas à Attécoubé », *Geo-Eco-Trop*, n° 32 pp75-82.

- HEINRICH Michel, 2013, *la prise en compte du risque inondation dans les schémas de cohérence territoriale (ScoT)*, Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI), Paris, 74 p.
- IDA (Association International de Développement), 2008: *Gérer les risques naturels, réduire les risques liés au développement*. Rapport de Juillet 2018, Banque Mondiale, 10 p.
- INS (Institut National de la Statistique), 2014, *Répertoire des localités: district autonome d'Abidjan*, 13p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2002, *Climate change and biodiversity*. ISBN 92-9169-104-7, 86 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2012, *Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation climatique*, résumé à l'intention des décideurs, 22 p.
- JOUMARD Robert, 2011, (Ed.), 2011, *Durable?*, Paris, Ifsttar, 292 p.
- KAMAN Paul, 2010, *Guide de sensibilisation sur la réduction des risques de catastrophes en Côte d'Ivoire*. Ministère de l'environnement et des eaux et forêt, Côte d'Ivoire, 102 p.
- KAMAN Paul, 2013, *Analyse des vulnérabilités aux catastrophes et des capacités de réponses en Côte d'Ivoire*. Ministère de l'environnement et des eaux et forêt en collaboration avec l'ONU-SIPC, 58 p + annexes.
- KATZ Richard et BROWN Barbara, 1992, «Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages », *Climatic change*, vol.21, n°3, pp 289–302.
- KONAN Estelle, PENE Crépin et DICK Emmanuel 2017, « Caractérisation agro-climatique du périmètre sucrier de Ferké 2 au Nord de la Côte

d'Ivoire », *Journal of applied Biosciences*, 116: 11532-11545 ISSN 1997-5902, 14 p.

KOUAME Yao Morton, SORO Gneneyougo Emile, KOUAKOU Koffi Eugène, KOUADIO Zile Alex, MELEDJE N'diaye Edwige Hermann, GOULA Bi Albert et ISSIAKA Savane, 2013, « Scénarios des changements climatiques pour les précipitations et les températures en Afrique subsaharienne tropicale humide : Cas du bassin versant de Davo, Côte d'Ivoire », *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp197-213.

LARRIVÉE Caroline, MOFFET Virginie, BLAIS Pierre, MARCEAU Monique, DUPUIS Clotilde, DESJARLAIS Claude, BOURQUE Alain, 2010, « Elaborer un plan d'action aux changements climatiques. Guide destiné au milieu municipal québécois », [en ligne] URL <http://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/climat-municipalites2/Plan-adaptation.pdf> consulté le 26 Mai 2016.

LAUREN Andres et STRAPAZZON Géraldine, 2007, « gestion des risques et prises en compte du développement durable, lien équivoque. Le cas du Sud Grenoblois », *Revue de Géographie alpine*, Vol.95, n°2, pp 29-39.

LE MORVAN Didier, 2010, « Quelle stratégie de gestion des risques côtiers pour l'union européenne? », *Vertigo*, n°8, 11p.

LEDOUX Bruno, 2006, *La gestion des risques naturels*, Lavoisier, Paris 770 p.

LEROY Maya, DERROIRE Géraldine, VENDE Jeremy et LEMENAGER Tiphaine, 2013, *La gestion durable des forêts tropicales. De l'analyse critique du concept de l'évaluation environnementale des dispositifs de gestion*. AgroParisTech et Agence Française de Développement (AFD), 240 p.

- LOEMBE D., 1986: *Les problèmes de drainage des eaux pluviales sur le site urbain de Brazzaville*. Acte de colloque, ORSTOM santé et urbanisation, Congo pp 111-135.
- MADIODIO Niasse, AFOUDA Abel, et AMANI Abou, 2004, *Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification: élément de stratégie régionale de préparation et d'adaptation*. UICN, Glan, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. 71p.
- MERCANTINI Jean-Marc et FALCO Marie, 2018, *Musées Résilients aux inondations-Analyse conceptuelles et Cartographie. Projet MRI-Analyse Conceptuelle du Projet-Cartographie des Musées Sommaire*, Marseille, Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS), 52 p.
- MESSOULI Mohammed, MOKSSIT Abdalah et BADQIQI Abdelaziz, 2014, *Anticipation et gestion des risques d'évènement climatiques extrêmes et catastrophes naturelles au Maroc*, Rapport de synthèse, IRES, Maroc, 106p.
- MEVA'A Abomo Dominique, FOUUDA Martin, BONGLAM Chofor Zoum et KAMWO Mireille, 2010, *Analyse spatiale du risque d'inondation dans le bassin versant du Mbanya à Douala, capitale économique du Cameroun*. Laboratoire de recherche en géographie (LAGREG), Université de Douala, Cameroun, 10 p.
- NDAO Mariétou, 2012, *Dynamique et gestion environnementale de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal: étude de l'occupation du sol par la télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye (à Dakar), Mbore à (Thiès) et Saint Louis*, Toulouse, Université de Toulouse, Thèse de doctorat, géographie de l'environnement, 370 p.

NICHOLSON Sharon, KIM Jeeyoung and HOOPINGAMER Jon, (Ed.), 1988 *Atlas of African rainfall and its interannual variability*, Florida, USA, Department of Meteorology, 237 p.

OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie), 2016, *relever les défis du changement climatique*, Bulletin Météo, 44 P.

ONU (Organisation des Nations Unies), 2007, « Cadre d'action de Hyōgo pour 2005-2015: pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes », [en ligne] URL <http://www.unisdr.org/hfa>, consulté le 30 Avril 2016.

ONU (Organisation des Nations Unies), 2015, « Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 », [en ligne] URL <https://www.preventionweb.net/files43291frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf>, consulté le 30 avril 2016, 40p.

ONU (Organisation des Nations Unies), 2015, « les objectifs de développement durable », [en ligne] URL http://www.un.org/fr/documents/view_doc.asp?symbol=A/69/L.85 consulté le 25 Avril 2017.

ONU, 2015 : « les objectifs de développement durable : informations et conseils pour les organisations de volontaires », [en ligne] URL <https://www.unv.org/sites/default/files/UNV%20QA%20on%20SDGswebF.pdf>, consulté le 30 Avril 2017, 10p.

OZER Pierre, 2008, *Introduction aux risques naturels*. Support de cours, département des sciences de gestion de l'environnement, Université de Liège, Belgique, 59p.

PATUREL Jean-Emmanuel, SERVAT Eric, LUBES-NIEL Hélène, DELATTRE O., 1998: « Analyse des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de

- variabilité climatique », *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 43, n° 6, pp. 937-945.
- PELTIER Anne, 2005, *La gestion des risques naturels dans les montagnes d'Europe occidentale. Etude comparative du Valais (Suisse), de la Vallée d'Aoste (Italie) et des Hautes-Pyrénées (France)*, Toulouse, Université Toulouse II-le Mirail, thèse de doctorat, Géographie, 741 p.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2004, « la réduction des catastrophes, un défi pour le développement », [en ligne] URL <http://www.undp.org> , consulté le 02 Mai 2017.
- REVET SANDRINE, 2009, « Les organisations internationales et la gestion des risques et catastrophes "naturels" », *Les études du CERI*, n°157- septembre 2009, 30 p.
- ROUX Christian, 1996, *Analyse des précipitations en hydrologie urbaine. Exemple de la Seine-Saint-Denis*, France, Ecole Nationale des Ponts et Chaussée, Science et Technique de l'Environnement, Thèse de Doctorat, 290 p.
- SALEY Mahaman Bachir, TANOHO Raoul, KOUAME Koffi Fernand, OGA Marie Solange, KOUADIO Boyossoro Helène, DJAGOVA Valère Éric, OULARE Sékouba, YOUAN Ta Marc, AFFIAN Kouadio, JOURDA Jean Patrice, ISSIAKA Savané et BIEMI Jean, 2009, « Variabilité spatiotemporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eaux souterraines: cas du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) », *Laboratoire associé francophone*, LAF n° 401, 18 p.
- SCARWELL Helga-Jane, 2007, « déconstruire les logiques de gestion du risque d'inondation, de la résistance à la résilience: quelle adaptation de la prévention des risques naturels au réchauffement climatique », *Air pur* n°72-deuxième semestre 2007, pp 24-31.

- SERVAT Eric, PATUREL Jean-Emmanuel, LUBES-NIEL Hélène, BROU Kouamé et MASSON Jean-Marie., 1997, *Variabilité des régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne*. Compte rendu de l'académie des sciences, Paris t.324, série IIa, pp 835-838.
- TACNET Jean-Marc et BURNET Roland, 2007, « Risques naturels: organisation de la gestion et de la prévention en France », *PRINAT-action* n°2, version 1.3 juillet 2007, 55 p.
- TAIROU Fassiatou, BUSTINZA Ray, BELANGER Diane et GOSSELIN Pierre, 2010, « Proposition d'indicateurs aux fins de vigie et de surveillance de troubles de la santé liés aux précipitations non hivernales, inondations, glissements de terrain et sècheresses » [en ligne] URL https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1240_PropoIndicPrecipNonHivernales.pdf consulté le 26 Mai 2016. Pp 12-26.
- TAUPIN Jean-Denis, ARNAUD Yves et LAURENT H., 1993, *Validation de deux méthodes d'estimation des pluies par satellite (EPSAT-LANNION et TAMSAT-READING) à l'aide du réseau dense de pluviographes de l'expérience EPSAT-Niger*, Niamey, Mission technique de télédétection, ORSTOM et Groupe PRAO, pp 163-168.
- TOMAS Julien, 2014, *gestion des risques naturels et changement climatique: les chalenges des actuaires*, Lyon, Laboratoire de sciences actuarielle et financière, 72 p.
- TRAORE Abou, SORO Gbombélé, KOUADIO Emmanuel Konan, BAMBA Barthélémy Siaka, OGA Marie Solange, SORO Nagnin et BIEMI Jean, 2012, « Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune en période d'étiage : la lagune Aghien (Côte d'Ivoire) », *Int. J. Biol. Cem. Sci.-International Journal of Biological and Chimical Science*, 6(6), p 7048-7058.

- TRICART Jean, 1992, « Dangers et risques naturels et technologiques », *Annales de géographie*, n°565, pp. 257-287.
- TRICOT Anne et LABUSSIÈRE Olivier, 2009, « Les difficultés d'application des plans de prévention en France: "lorsque le territoire façonne le risque » », *Cahier de géographie du Québec*, vol. 53, n°148, pp 119-134.
- TRICOT Anne, 2008, « La prévention des risques d'inondation en France: entre approche normative de l'Etat et expériences locales des cours d'eau », *Environnement urbain/Urban Environment*, vol. 2, 2008, p. 123-133.
- TRONCHON Pierre, 1991, *Risques majeurs, environnement et collectivités locales*, Paris, Berger-Levrault, pp 238-239.
- TU NGO Anh, 2014, *Evaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (centre du Viêt-Nam)*, Orléans, Université d'Orléans, école doctorale science de l'homme et de la société, géographie, thèse de doctorat, 427 p.
- UCL (Université Catholique du Louvain Bruxelles-Belgique), 2007 : *Types de catastrophes survenues dans le monde de 1990-2007*, Bruxelles, UCL, 5p.
- UNISDR (Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies), 2009, *Terminologie pour la prévention des catastrophes*, Genève, Suisse, Nations Unies, 34 p.
- VAMI Herman N'guessan Bi, SALEY Bachir, WADE Soulèye, DJAGOUA Éric Valère, KOUAME Fernand et AFFIAN Kouadio, 2014 « Cartographie du risque d'inondation par une approche couplée de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) dans le département de Sinfra (centre de la Côte d'Ivoire) », *European scientific journal*, vol. 10 n°2 p. 170-191.

VEYRET Yvette, MESCHINET De Richemond, 2003, « Les risques naturels en France », In : VEYRET Yvette (Ed.), Les risques, Paris, SEDES, P. 119-131.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique du district	35
Figure 2: Répartition des pentes dans le district d'Abidjan.....	51
Figure 3: Zones d'aléa inondation.....	52
Figure 4: Niveaux d'enjeu dans le district d'Abidjan.....	54
Figure 5: Zones à risque d'inondation dans le district d'Abidjan.....	56
Figure 6: Evolution des hauteurs moyennes de pluie dans le district d'Abidjan.....	60
Figure 7: Répartition de la pluviométrie par décade pendant les mois les plus humides.....	63
Figure 8: Fluctuation pluviométriques par application de l'indice de Nicholson.....	66
Figure 9: Variation pluviométrique au cours des trois décennies (1987-1997; 1998-2008; 2009-2018).....	68
Figure 10: Comparaison des moyennes pluviométriques mensuelles de la période 1987-2018 et de l'horizon 2040.....	75
Figure 11: Evolution des hauteurs moyennes de pluie dans le district d'Abidjan à l'horizon 2040.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Echelle de gravité des dommages.....	24
Tableau 2: Hauteur de pluie des mois humides pendant les inondations meurtrières.....	64
Tableau 3: Coefficients de ruissellement en fonction du mode d'occupation du sol.....	70
Tableau 4: Coefficients de ruissellement selon la nature de la surface.....	70
Tableau 5: Coefficient de ruissellement par commune.....	71
Tableau 6: Projection des hauteurs de pluie selon le modèle MIROC-ESM sous le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2040 dans le district d'Abidjan.....	73

Parutions dans les Collections GéoRESBIO

(CEB, CSN, CHS et CJE)

- CEB n° 1 : Matières résiduelles et pollution de la baie lagunaire de Marcory-Treichville à Abidjan (Côte d' Ivoire), Séka A.G.P. et Tia L.
- CEB n° 2 : Gestion durable des risques d'inondation dans le district d'Abidjan (Côte d' Ivoire), Kouakou J.M. et Tia L.
- CEB n° 3 : Exploitation minière et dégradation de l'environnement dans la sous-préfecture de Hiré (Ouest de la Côte d'Ivoire), Ouattara O et Kambiré B.
- CEB n° 4 : Occupation des espaces verts et qualité du cadre de vie dans la commune de Yopougon, Kouakou N.F.A. et N'dahoulé Y.R.
- CEB n° 5 : Activités socio-économiques et dégradation de la Forêt Classée de Monogaga à San-Pédro (Côte d' Ivoire), Kpeula D.A. et Tia L.
- CHS n° 1 : Variabilité climatique et sécurité alimentaire dans les pays du Golfe de Guinée : apport des données géospatiales, Oria M. et Tia L.
- CHS n° 2 : Plantations industrielles et sécurité alimentaire dans la sous-préfecture d'Azaguié (Cote d' Ivoire), Kouamé K.R. et Tia L.
- CHS n° 3 : Les stratégies territoriales de distribution des opérateurs de téléphonie mobile à Adjamé, Assémien K.B.N.E. et Touré M.
- CSN n° 1 : Analyse de la dynamique spatiale de la réponse du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à la variabilité climatique en zone forestière de la Côte d' Ivoire, Guy M.K et Tia L.
- CSN n° 2 : Mutations spatiales et prolifération des moustiques dans la sous-préfecture de Chiépo (Côte d' Ivoire), Ogbapo P.C. et Tia L.
- CSN n° 3 : Etude des pathologies en milieu urbain : cas du paludisme dans la commune d'Abobo (Côte d' Ivoire), Tanon M.J.A. et Tia L.

Collections GéoRESBIO

Les Editions RESOL-TROPIQUES publient les Mémoires de Master et les Thèses de Doctorat dans les Collections GéoRESBIO ci-dessous :

Collection Environnement et Biodiversité (CEB)

Cette collection publie les meilleurs Mémoires de Master et Thèses de Doctorat soutenus dans les domaines de l'Environnement et de la Biodiversité.

Elle est complémentaire des collections CSN, CHS et CJE.

Collection Sciences de la Nature (CSN)

Agroécologie, Anthropologie, Biologie, Botanique, Écologie, Écophysiologie, Entomologie, Médecine, Ornithologie, Pharmacologie, Physiologie, Systématique, Zoologie, Chimie, Climatologie, Géographie Physique, Géologie, Géophysique, Hydrogéologie, Hydrologie, Télédétection, SIG, GPS, Drone, Cartographie...

Collection Sciences Humaines et Sociales (CHS)

Psychologie, Sociologie, Anthropologie, Science de l'Éducation, Démographie, Géographie, Communication, Télédétection, Système d'Information Géographique (SIG), GPS, Drone à capteur multispectral, Cartographie...

Collection Sciences Juridiques et Économiques (CJE)

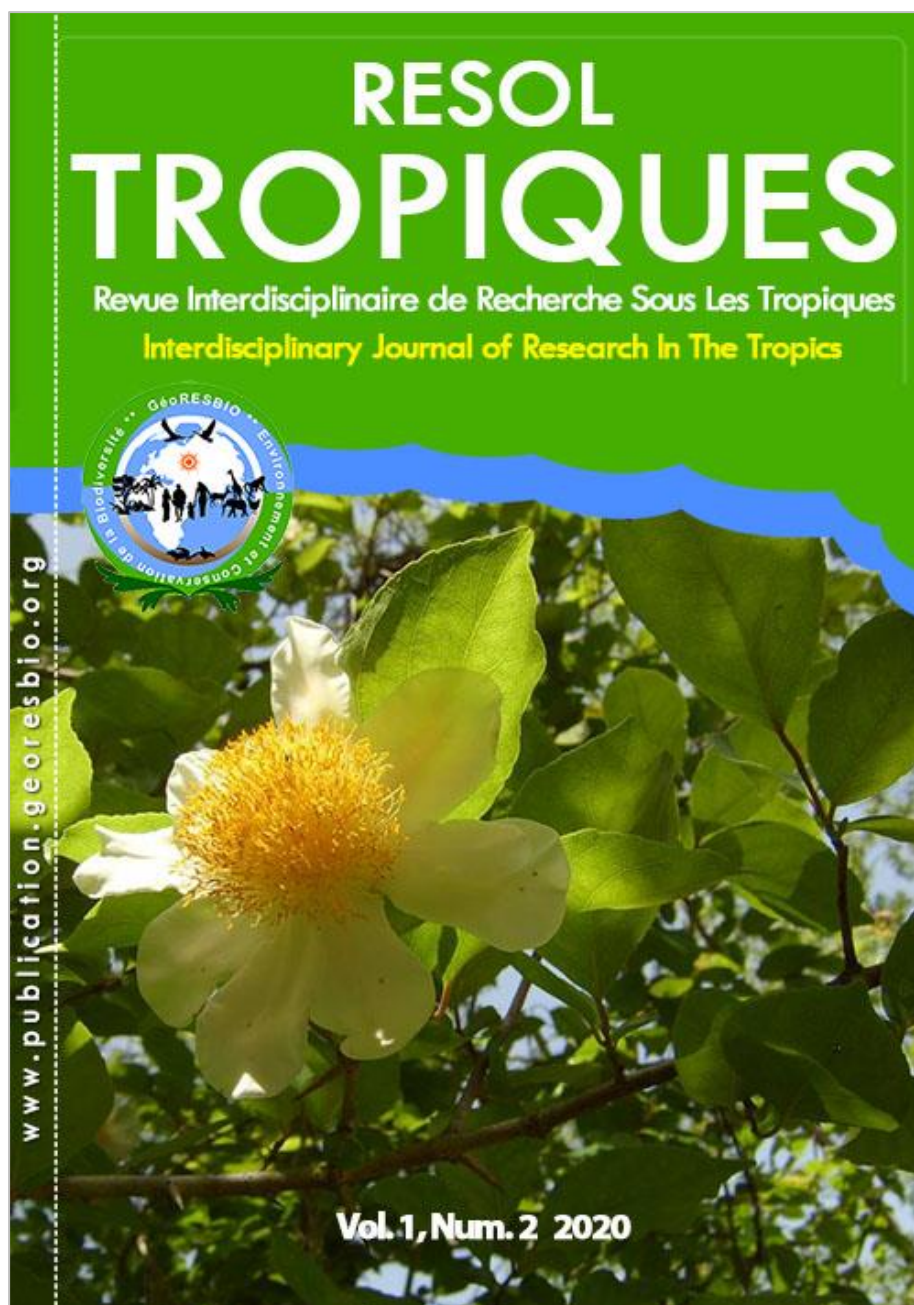
Droit de l'environnement, Économie de l'environnement et toutes autres sciences portant sur le droit, la loi, les interactions économiques entre les sociétés et l'environnement...

Pour soumettre un mémoire, une thèse..., rendez-vous sur

 www.publication.georesbio.org

 info@georesbio.org

La Revue RESOL-TROPIQUES
publie en ligne, en accès libre, trois numéros par an






Pour soumettre un article scientifique, rendez-vous sur

 www.publication.georesbio.org

 GéoRESBIO (Equipe Interdisciplinaire de Recherche
en Environnement et Conservation de la Biodiversité)

 Institut de Géographie tropicale (IGT)

 Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan - Côte d'Ivoire

 www.georesbio.org -  info@georesbio.org