

Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO

École Doctorale Lettres, Sciences Humaines et Communication

**Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires
(LERMIT)**

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou



Numéro 006 - octobre 2017, Volume 02
N°ISSN édition numérique : 2424-7375

R-G-O



Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou

R-G-O est une revue scientifique annuelle. Éditée et diffusée par le Laboratoire d'Études et de recherches sur les Milieux et les Territoires (LERMIT), elle est dotée d'un comité scientifique. Les numéros sont publiés soit en version papier, soit en ligne, soit enfin les deux à la fois.

Les opinions émises dans les articles n'engagent que leurs auteurs. La revue n'est pas responsable des manuscrits qui lui sont confiés et se réserve le droit d'y opérer des modifications, pour des raisons éditoriales.

**UNIVERSITE OUAGA I
Pr Joseph KI-ZERBO**

**École doctorale Lettres, Sciences
Humaines et Communication**

**Laboratoire d'Études et de
Recherches sur les Milieux et
Territoires (LERMIT)**



Burkina Faso

Unité - Progrès - Justice

Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou

Directeur de publication : Professeur ZOUNGRANA Tanga Pierre

Rédacteur en chef : Professeur OUEDRAOGO François de Charles

Comité scientifique

- AKIBODE Koffi Ayéchoro, Professeur, Université de Lomé
- ALOKO-N'GUESSAN Jérôme, Directeur de recherche, Univ. Cocody, Abidjan
- BOKO Michel, Professeur, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou
- BOUZOU MOUSSA Ibrahim, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niamey
- HOUSSOU Segbè Christophe, Professeur, Université d'Abomey Calavi
- OUEDRAOGO François de Charles, Professeur, Université de Ouagadougou
- TCHAMIE Thiou Tanzidani Komlan, Professeur, Université de Lomé
- ZOUNGRANA Tanga Pierre, Professeur, Université de Ouagadougou
- AMADOU Boureima, Professeur, Université Abdou Moumouni, Niamey

Comité de lecture

- OUEDRAOGO François de Charles (géographie de la santé),
- ZOUNGRANA Tanga Pierre (géographie, aménagement et SIG),
- DIPAMA Jean-Marie (géographie, environnement, SIG & Télédétection),
- YAMEOGO Lassane (géographie rurale),
- LOMPO Olivier (géographie et environnement)

Conseil scientifique

- IGUE O. John (géographie économique, Cotonou)
- MENGHO Maurice Bonaventure (géographie humaine, Brazzaville)
- SAMBA-KIMBATA Joseph Marie (climatologie, Brazzaville)
- SOME P. Honoré (géographie rurale et télédétection, Ouagadougou)

SOMMAIRE

GNONGBO Tak Youssif, KANKPENANDJA Laldja : Signatures géomorphologiques des formations alluviales de la vallée de l’Oti dans les environs de Mango (Nord-Togo).....	1
NGOMEKA Robert, DITENGO Clémence : Aménagement urbain et dynamique spatiale à Ewo (en République du Congo).....	21
DJAOUGA Mama, AROUNA Ousséni, ZAKARI Soufouyane, TOKO IMOROU Ismaïla, THOMAS Omer : Cartographie des zones inondables dans les communes d’Abomey-Calavi, Seme-Podji et So-Ava au Bénin.....	37
ATAKPAMA Wouyo, FOLEGA Fousséni, AZO Akuètè Kokouvi, PEREKI Hodabalo, MENSAH Kossi, WALA Kperkouma, AKPAGANA Koffi : Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d’Amavenou dans la préfecture d’Agou au Togo.....	59
KAMBIRE Bébé, KAMBIRE Sambé, Giscard ADOU AKA : Impact de l’agression paysanne du parc national de la Comoé (nord-est de la Côte d’Ivoire) : une analyse par la cartographie des paysages.....	83
KPADONOU Cosme Z., KOMBIENI Hervé A., HOUSSOU Christophe : Facteurs de satisfaction des touristes dans les aires protégées : cas de la réserve de biosphère de la Pendjari.....	105
DIARRASSOUBA Bazoumana, ISSA Bonaventure Kouadio : Étude des risques sanitaires et environnementaux à gobelet, un quartier précaire d’Abidjan	125
KOUDOU Dogbo, ZRAN Gonkanou Marius, SILUÉ Pébanagnanan David, FIAGAN Koku-Azonko : Structure et fonctionnement des circuits de distribution du poisson frais de la pêche artisanale continentale à Korhogo, au nord de la Côte d’Ivoire	143
BI Marie Richard Zouhoula, COULIBALY Hamed Tiécoura, KOFFI Simplicé Yao : La contribution du transport dans la consolidation de l’économie de la filière mangue à Korhogo	169
ITONGO Marie Thérèse, EDOU Mesmin, MBOULOUNGOU Alexis : Climat et paludisme à Libreville (Gabon), de 2011 à 2016.....	186

CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES DANS LES COMMUNES D'ABOMEY-CALAVI, SEME-PODJI ET SO-AVA AU BENIN

**DJAOUGA Mama¹, AROUNA Ousséni^{2&1}, ZAKARI Soufouyane¹, TOKO
IMOROU Ismaïla¹, THOMAS Omer¹**

1. Laboratoire de cartographie, DGAT/FLASH/UAC,
E-mails : maloud75@gmail.com, soufouyanez@yahoo.fr, ismael_toko@yahoo.fr,
thomasomer@yahoo.fr
2. ESTBR/UNSTIM,
E-mail : arounaousseni@gmail.com

RÉSUMÉ

Les inondations constituent l'une des catastrophes naturelles qui touchent périodiquement les communes d'Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava au Sud-Bénin. Cet article restitue les résultats des travaux de recherche sur la cartographie des zones inondables dans lesdites communes. Il fait l'état des lieux descriptif par l'identification, la localisation des portions des territoires communaux exposées aux inondations ainsi qu'à l'élaboration des cartes des zones inondables. Les résultats de la recherche montrent que deux types d'inondation sont généralement observés dans les localités du complexe lac Nokoué-Sô-Ouémé auquel appartiennent les communes d'Abomey-Calavi de Sèmè-Podji et Sô-Ava. Il s'agit de l'inondation connue pendant la grande saison des pluies (entre mai et juillet) et de celle causée par le débordement des cours et plans d'eau (Ouémé, Sô et lac Nokoué) qui survient souvent en septembre-octobre. A ces facteurs naturels, il faut ajouter ceux anthropiques comme par exemple les aménagements urbains et hydro-agricoles, l'occupation des réceptacles naturels des eaux par les habitations et certaines infrastructures. Les superficies des zones inondables cartographiées sur la base des périodes de retour de 2 ans et de 10 ans sont respectivement de 147,89 km² (27,39 % du territoire communal) et de 263,09 km² (48,72 % du territoire communal) dans la commune d'Abomey-Calavi, 49,79 km² (26,34 % du territoire communal) et 84,18 km² (44,53 % du territoire communal) dans la commune de Sô-Ava ; 92,80 km² (39,61 % du territoire communal) et 148,01 km² (63,28 % du territoire communal) dans la commune de Sèmè-Podji. Les cartes des zones inondables réalisées constituent de véritables outils de prévention et de gestion des inondations.

Mots-clés : inondation, cartographie, occupation, réceptacles naturels, Sud-Bénin

ABSTRACT

Mapping of the easily flooded zones in the districts of Abomey-Calavi, Sème-Podji and So-Ava in Benin country

The floods constitute one of the natural disasters which periodically touch the districts of Abomey-Calavi, Sèmè-Podji and Sô-Ava in Southern Benin. This article presents the results of the research on the mapping of flood zones in these the districts. It makes the inventory descriptive by identification, the location of the portions of the district territories exposed to floods as well as the preparation of floodplain maps. The results of the research show that two types of flood are usually observed in the localities of the complex lake Nokoué – Sô - Ouémé to which the districts of Abomey-Calavi de Sèmè-Podji and Sô-Ava belong mainly. It is of that known during the great rain season (between May and July) and about that caused by the overflow of these courses and water level (Ouémé, Sô and Lake Nokoué) which often occurs in September-October. For these natural factors, it is necessary to add those anthropic such as for example the urban developments and hydro-agricultural, the land use of the natural receptacles of water by the dwellings and certain of infrastructures. The strongest rains day laborers and monthly fall between May and July in accordance with the mode from precipitations in the sector from study. It is at this period that one generally records the flood related to the great rain season. During its great rising, the lake Nokoué overflows to flood the surrounding localities during one to three months. In the district of Abomey-Calavi, the area of the easily flooded area charted on the basis of period of 2 years return and 10 years are respectively of 147,89 km² (27.39 per cent of the district area) and of 263.09 km² (48.72 per cent of the district area). The area of the easily flooded zones charted on the basis of period of 2 years return and 10 years in the district of Sô-Ava are respectively of 49.79 km² (26.34 per cent of the district area) and of 84.18 km² (44.53 per cent of district area). The area of the easily flooded zones charted on the basis of period of 2 years return and 10 years in the district of Sème-Podji are respectively of 92.80 km² (39.61 per cent of the district area) and of 148.01 km² (63.28 % of district area). Maps being tools of prevention and management of the floods, was realized.

Key words: flood, mapping, occupation, natural receptacles, Sud-Bénin

INTRODUCTION

Selon Mazet (2000), l'inondation apparaît comme la catastrophe naturelle la plus répandue au monde. Elle n'épargne aucune partie de la planète. En effet, d'après la Banque Mondiale (2010), les inondations dévastatrices se sont produites dans tout le bassin de l'Indus (Pakistan) en août 2010 ; dans l'État du Queensland (Australie), en Afrique du Sud, au Sri Lanka, aux Philippines à la fin des années 2010 ; vinrent ensuite les crues du Mississippi au milieu de l'année 2011, des inondations dues à l'ouragan Irène qui a frappé la côte est des États-Unis en août 2011 ; les crues dans le sud de la province pakistanaise du Sindh en septembre 2011 ; et de vastes régions inondées en octobre et novembre 2011 en Thaïlande, dont Bangkok. Les inondations proviennent surtout des phénomènes météorologiques extrêmes (Carry et Veyret, 1996). Dans le golfe de Guinée, de nombreuses villes côtières africaines (Lagos, Douala, Lomé, Abidjan, Cotonou, Freetown, etc.) sont souvent inondées par les eaux ces dernières décennies. La plupart d'entre elles sont construites sur des terrains hydromorphes caractérisés par un engorgement d'eau temporaire, responsable d'inondations périodiques.

Au Bénin, les inondations ont été identifiées comme les catastrophes naturelles qui touchent plusieurs secteurs économiques ainsi que le cadre de vie des populations en milieux urbain et rural (Gbaguidi, 2011). Cependant, certaines inondations peuvent avoir pour cause principale, des défaillances d'ouvrages ou des comportements inciviques notoires. Néanmoins quelque'en soient les causes, les inondations entraînent souvent plusieurs dégâts matériels et même des pertes en vies humaines. En effet, le Bénin a connu en 2010, les inondations les plus désastreuses de son histoire (Godonou, 2013). Elles ont touché 55 communes sur 77, affectant directement au moins 8 % de la population, détruisant 55 000 habitations. Elles ont affecté 128 000 ha de champs de cultures (Gouvernement du Bénin et Banque Mondiale, 2011). Les inondations touchent périodiquement les communes d'Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava. Elles constituent l'une des plus importantes catastrophes naturelles qui sévissent dans ces trois communes et qui se manifestent par une submersion temporaire, rapide ou lente de terres par l'eau. Elles sont l'objet d'attentions particulières dans le plan de contingence de gestion des catastrophes naturelles au Bénin (PDNA, 2009). Cependant, la gestion des inondations au Bénin, ne peut se faire sans une documentation de planification et de repérage adaptée. La gestion efficace de ces catastrophes nécessite au préalable une bonne connaissance des causes des phénomènes et une bonne cartographie de leur extension (Leumbe Leumbe *et al.* (2015). La cartographie est un outil de planification, de gestion durable de l'environnement et du cadre de vie des populations. Elle va permettre de mieux localiser les zones inondables et leur extension dans les communes, afin de faciliter la prise des dispositions idoines. A ce jour, le Bénin dispose de très peu de données planimétriques sur les zones inconstructibles et à haut risque

d'inondation. Les communes d'Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava n'en disposent pratiquement pas. La spatialisation et la mise à disposition de données géo-localisées sur les zones inondables vont permettre de produire des documents de prévention plus efficaces, pour limiter les dommages liés aux inondations des zones inondables *non aedificandi*. Le présent article a pour but de cartographier les zones inondables des communes d'Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava, en vue de les doter d'instruments de management territorial préventif pour la gestion du risque lié aux inondations. Il vise, par ailleurs, à montrer l'importance de la carte comme outils d'aide à la prise de décision.

1. PRÉSENTATION DU SITE DE L'ÉTUDE

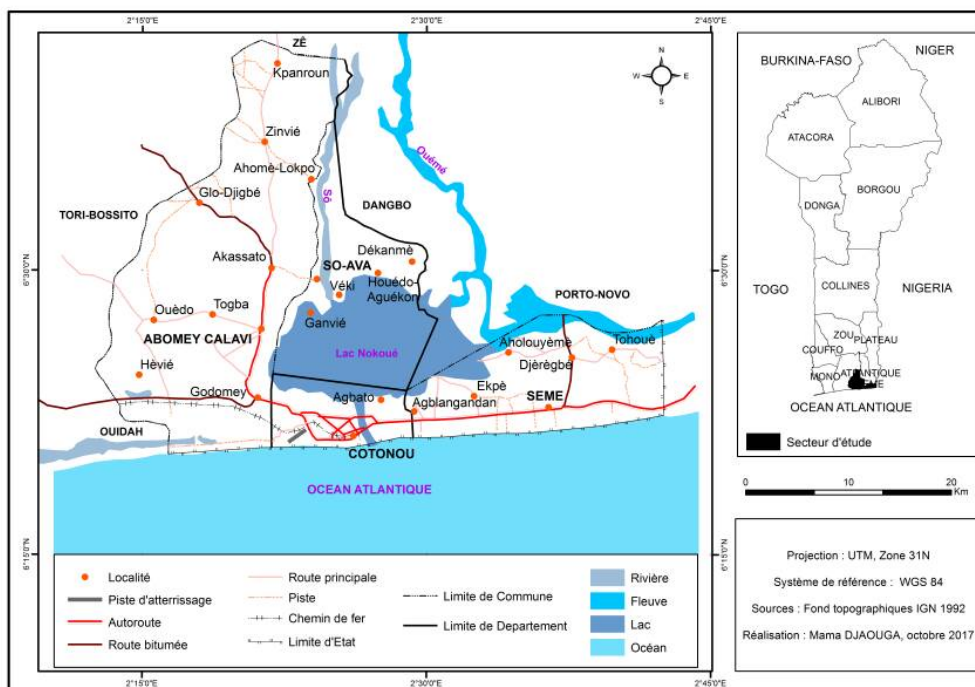
Les communes du secteur d'étude sont situées au sud du Bénin (Figure 1). La commune d'Abomey-Calavi (comprise entre 6°21' et 6°42' de latitude Nord et entre 2° 12' et 2°24' de longitude Est) et celle de Sô-Ava (comprise entre 6°24' et 6°38' de latitude Nord et entre 2° 27' et 2°30' de longitude Est) appartiennent au département de l'Atlantique (compris entre 6°22'' et 7°00' de latitude nord et entre 2° 00' et 2°30' de longitude est). Sô-Ava occupe une partie de la basse vallée du fleuve Ouémé et de la rivière Sô à qui elle doit son nom. La commune de Sèmè-Podji appartient quant à elle au département de l'Ouémé, au sud-est de la République du Bénin. Elle est située entre 6°22' et 6°28' de latitude Nord et entre 2°28' et 2°43' de longitude Est (figure 1).

Sur le plan géomorphologique, la commune d'Abomey-Calavi est sise sur des matériaux de surface principalement caractérisée par des dépôts alluviaux de graviers. Ces dépôts sont de faibles épaisseurs et contiennent également du sable et de l'argile (Mairie d'Abomey-Calavi, 2010). Le site de la commune de Sèmè-Podji est une plaine côtière qui s'étend sur du sédiment fluvio-lagunaire actuel ou sub-actuel et sur la sédimentation littorale de cordon récent encadrée dans un complexe de plans d'eau (Océan Atlantique, lagune de Porto-Novo, fleuve Ouémé et lac Nokoué). Le site de la commune de Sô-Ava est constitué de matériaux de surface principalement caractérisés par des dépôts alluviaux récents et anciens constitués de sables, d'argiles avec graviers subordonnés et de niveaux charbonneux. Les rives du lac sont recouverts de dépôts mis en place par les marées et constitués d'argile, de sable et de niveaux charbonneux et par des zones de dépôts deltaïques composés de sable et d'argile.

Dans le secteur d'étude, le climat est de type sub-équatorial avec une alternance de deux saisons pluvieuses (avril à juillet et septembre à novembre) et de deux saisons sèches (décembre à mars et août). La moyenne pluviométrique annuelle est de 1200 mm. Les températures varient entre 22°C et 35°C. L'humidité relative s'établit à 69 % en saison sèche (novembre à mars) et à 90 % en saison humide.

Le réseau hydrographique est constitué essentiellement des plans et cours d'eau que sont le lac Nokoué qui en temps normal a une superficie de 150 km² (Assogba, 2010), la lagune côtière, la lagune de Cotonou, la rivière Sô et l'Océan Atlantique. Ce réseau hydrographique est favorable aux activités de pêche.

Figure 1 : localisation des communes de Abomey-Calavi, Sô-Ava et Sèmè-Kpodji



2. MÉTHODOLOGIE

La démarche méthodologique adoptée est fondée sur une approche participative et cartographique ayant impliqué tous les acteurs des communes.

2.1. Données utilisées et approches

La réalisation de la présente recherche a nécessité la collecte et le traitement des données hydrologiques (hauteurs pluviométriques, pics des hautes eaux), des données et informations relatives aux connaissances et perceptions sur les inondations, des stratégies d'adaptation des populations et autorités locales face aux inondations, des données géoréférencées et planimétriques (cartes topographiques, cartes d'occupation du sol, images satellites) et modèles numériques de terrain (MNT) pour la spatialisation des zones inondables. Les cartes topographiques utilisées pour les communes d'Abomey-Calavi, de Sô-Ava

et de Sèmè-Podji sont extraites des feuilles de Porto-Novo NB 31-XV au 1/200 000 (IGN, 1968), NB 31-XV-3b et NB 31-XV-1d au 1/50 000 (IGN, 1968) et d'Abomey-Calavi NB 31-XV-1d 3-1 au 1/25 000 (IGN, 1991). A partir de ces cartes topographiques, les éléments constitutifs des zones inondables (cours d'eau, zones marécageuses, plans d'eau, points cotés, courbes de niveau) ont été numérisés.

Les images satellites utilisées sont : les ortho-images Quickbird de 2012 de résolution 0,6 m et Ikonos de 2002 de résolution 1 m ainsi que les images Aster GDEM de résolution 30 m (téléchargées sur le site : <http://asterweb.jpl.nasa.gov>). Pour la caractérisation hydrologique des inondations les données utilisées sont les hauteurs pluviométriques journalières de la station Cotonou-Aéroport, les pics des hautes eaux du lac Nokoué mesurés à l'aide d'un limnigraphe enregistreur automatique à la station de la Direction des Pêches (Cotonou), les pics des hautes eaux de l'Ouémé à la station de Bonou. Le choix de ces stations de mesures s'explique par le fait que ce sont les stations les plus proches du secteur d'étude. Pour les hauteurs pluviométriques journalières, les données recueillies couvrent la période 1941-2010 alors que pour les pics des hautes eaux, les données exploitées concernent la période 2001-2010 en raison de l'importance des lacunes notées dans les données antérieures à 2001.

Les données et informations d'enquête sur les inondations (les connaissances, les perceptions et les stratégies d'adaptation) ont été recueillies auprès des populations, des autorités locales et des agents techniques. Ces enquêtés ont été retenus à partir d'un choix raisonné sur la base de leur statut et de leurs connaissances du phénomène d'inondation. Au total 217 personnes ont été enquêtées, à l'aide de questionnaires (entretien structuré), 58 focus group ont été menés à l'aide de guides d'entretien (entretien semi-structuré).

Le tableau I présente de façon détaillée les nombres d'arrondissements, de localités, et d'enquêtés par commune.

Tableau I : Nombres d'arrondissements, de localités et d'enquêtés par commune

Communes	Arrondissements	Localités	Enquêtes individuelles	Focus group
Abomey-Calavi	6	28	110	25
Sô-Ava	6	38	70	29
Sèmè-Podji	6	37	37	4
Total	18	103	217	58

Source : Enquête de terrain, Juin 2014 ; INSAE 2013

Une recherche documentaire a permis de compléter et d'approfondir les connaissances sur l'historique des inondations dans les Communes concernées par l'étude.

2.2. Traitements et analyses

2.2.1. Caractérisation hydrologique des crues dans les communes

La caractérisation hydrologique des inondations a été faite en analysant le nombre de jours pluvieux, la répartition de la pluviométrie mensuelle à la station de Cotonou-Aéroport et en comparant les pics des hautes eaux du lac Nokoué et de l'Ouémé à Bonou. En effet, selon Ahokpossi (2012) une relation directe existe entre les débits du fleuve Ouémé à Bonou et l'augmentation du niveau d'eau dans le lac Nokoué. En étudiant l'évolution des hautes eaux du Nokoué et de l'Ouémé, il est donc possible de comprendre les inondations dans le secteur d'étude.

Les inondations étant des phénomènes récurrents, une analyse fréquentielle des pics des hautes eaux a été faite afin de déterminer leurs périodes de retour. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel "Hyfran Plus". Deux périodes de retour ($T=2$ ans et $T=10$ ans) ont été retenues pour la cartographie des zones inondables. Ce choix a été fait en se basant sur les informations reçues lors des enquêtes de terrain.

2.2.2. Cartographie des zones inondables

La réalisation de la cartographie de zones inondables s'est faite en deux étapes successives : d'abord, les inondations ont été identifiées dans l'espace et dans le temps, ensuite leur ampleur a été estimée à l'aide des données d'investigation de terrain et des données hydrologiques.

L'inventaire géo-référencé des villages et portions inondées dans les communes d'Abomey-Calavi, Semè-Kpodji et Sô-Ava et les documents planimétriques (cartes topographiques, pédologiques, cartes d'occupation des terres) ont permis de disposer d'une première cartographie sommaire des portions de terres exposées aux inondations.

Par ailleurs, les résultats de la caractérisation des crues, en termes d'intensité et d'extension spatiale des inondations suivant une période de retour 2 ans et 10 ans, ont permis d'obtenir des indications précieuses sur les zones inondables. Ces informations ont été confrontées à un modèle numérique de terrain (MNT) obtenu par la méthode d'interpolation par Krigeage des valeurs d'altitude. Les images Aster GDEM de résolution 30 m et des images Landsat (30*30 m) ont été utilisées. Ces images ont permis de réaliser les cartes d'occupation des terres. Les modèles numériques de terrain (MNT) des communes d'Abomey-Calavi de Sèmè-Podji et de Sô-Ava ont été réalisés à partir

des images Aster GDEM de résolution 30 m. Pour ce faire, le logiciel ArcGIS 10.1 a été utilisé.

La délimitation et la cartographie des zones inondables des communes a été alors faite à partir de l'identification des espaces topographiquement basses et des hauteurs d'eau. La prise en compte de deux périodes de retour ($T1 = 2$ ans et $T2 = 10$ ans) a permis de spatialiser les extensions et les limites des portions inondables en fonction des hauteurs d'eau. La superposition des informations recueillies dans les documents planimétriques (carte topographique, carte d'occupation du sol, images satellites, MNT) et sur le terrain a permis d'obtenir des indications précieuses sur les zones inondables.

Ces différents traitements ont permis d'obtenir les résultats dont l'essentiel est présenté ici.

3. MANIFESTATIONS ET CAUSES DES INONDATIONS DANS LES COMMUNES

3.1. État des lieux

D'après les investigations de terrain, 28 localités de la commune d'Abomey-Calavi sont fréquemment touchées par les inondations. Les arrondissements d'Abomey-Calavi, Kpanroun et Godomey sont les plus touchés par les inondations de 1960 à 2013. Quant aux arrondissements de Togba, d'Akassato et Zinvié, ils ont connu des inondations respectivement à partir de 1974, 1977 et 1982. Zinvié est l'arrondissement le moins affecté (8 années d'inondation entre 1960 et 2013). Ces inondations durent de 1 à 3 mois avec des hauteurs d'eau variant entre 0,5 m et 1 m. De 1960 à 2013 au moins 4 grandes inondations ont été constatés à Kpanroun, Akassato et Godomey. La dernière plus grande inondation était celle de l'année 2010. Sa durée a été de 1 à 3 mois environ et la hauteur des eaux avait atteint 0,5 voire 2 m selon les localités.

La commune de Sô-Ava est une commune régulièrement inondée depuis les années 1960. Seuls 4 villages sur les 42 que compte cette commune sont épargnés par les inondations. Les années repères d'inondation les plus fréquemment évoquées sont les années 2010 et 2013. Les types d'inondation les plus fréquents observés dans la commune de Sô-Ava sont ceux de 1 à 3 mois et de plus de 3 mois. La hauteur des eaux en période d'inondation, varie de 1 m à 3,5 m dans l'arrondissement de Ahomey-Lokpo, de 1,5 m à 4 m à Ganvier I et Ganvier II, de 1 m à 2,5 m à Sô-Ava et, de 1 m à 4 m dans l'arrondissement de Vikky.

Ces inondations surviennent au cours des mois de juillet, août, septembre et octobre. Ces mois correspondent à la période de manifestation des effets des hautes eaux de l'Ouémé et du Lac Nokoué. De mémoire des personnes ressources, la dernière plus grande inondation est celle de 2010. La commune de Sèmè-Podji

connaît des inondations presque tous les ans mais selon les populations enquêtées, les plus grandes, sont celles de 1965 et de 2010. Elles durent en moyenne 4 mois. La hauteur des eaux de ces inondations oscille de 1 à 2,5 m. L'ampleur de l'inondation de 1965 est à l'image de celle de 2010 avec des caractéristiques semblables.

3.2. Causes et effets des inondations

D'après les investigations de terrain les causes à l'origine des inondations dans les communes étudiées sont d'ordres naturels et anthropiques.

3.2.1. Causes naturelles des inondations

Les causes naturelles des inondations dans les communes sont : la faible profondeur de la nappe phréatique qui remonte très facilement en saison pluvieuse le sol constitué de sables alluviaux; la grande platitude du relief; l'intensité des pluies ; le régime hydrologique des cours et plans d'eau du Sud-Bénin. A ces causes, il faut ajouter des facteurs amplificateurs des inondations que sont les effets des changements climatiques.

3.2.2. Causes anthropiques des inondations

Plusieurs causes anthropiques concourent à l'avènement des inondations dans les communes d'Abomey-Calavi, Sô-Ava et Sèmè-Podji. D'après les investigations de terrain, on peut citer l'occupation des bas-fonds (zones *non aedificandi*) et le comblement des axes naturels d'écoulement des eaux, le dépôt d'ordures en bordure du lac et de la lagune, l'insuffisance et/ou le mauvais entretien des systèmes d'évacuation des eaux pluviales, l'obstruction des exutoires d'eaux usées par des déchets solides, le dépôt d'ordures dans les rues empêchant l'écoulement des eaux pluviales, l'occupation anarchique des abords des voies publiques, la non-exécution et la non application des résultats issus des plans d'aménagement et d'urbanisation, l'encombrement des exutoires naturels par les installations humaines et les déchets, les installations humaines qui précèdent les lotissements, la mauvaise conduite du processus de lotissement. En effet, malgré la récurrence des inondations et les dégâts qu'elles occasionnent, les populations refusent de quitter les zones inondables. Certaines de ces populations justifient leur comportement par le fait qu'elles manquent de moyens pour s'installer ailleurs alors que d'autres pensent qu'elles ne peuvent quitter les zones inondables parce que celles-ci pourvoient l'essentiel de leurs moyens de subsistance.

3.2.3. Impacts des inondations

D'après les investigations de terrain, les impacts des inondations dans les communes d'Abomey-Calavi, de Sô-Ava et de Sèmè-Podji sont nombreux. Au

nombre desquels, on peut citer : les pertes en vies humaines, l'affaissement et parfois l'effondrement de certains bâtiments, des cas d'électrocution, les pertes de cultures et d'animaux d'élevage, la baisse ou la cessation de certaines activités économiques, l'impraticabilité des voies d'accès aux équipements marchands et ateliers, l'augmentation du coût de transport et du prix de certaines denrées alimentaires, la difficulté d'accès à l'eau potable par les populations sinistrées dont la plupart sont pauvres et exposées à l'insuffisance des ouvrages d'assainissement, l'augmentation des cas de maladies hydriques (le choléra, la diarrhée), la cessation momentanée des activités pédagogiques dans les écoles de certaines localités, etc.

D'après les investigations de terrain en 2010, la commune de Sèmè-Podji a enregistré 7910 habitants sans abris, 3142 habitations inondables, 24 écoles et complexes ; 111 infrastructures inondées ; 602,5 hectares de culture dévastées. Avec 10 pertes en vies humaines et 36 blessés. A Agblangandan 15 églises ont été inondées et 274 édifices sinistrés à Ekpè.

3.3. Caractérisation hydrologique des inondations et périodes de retour

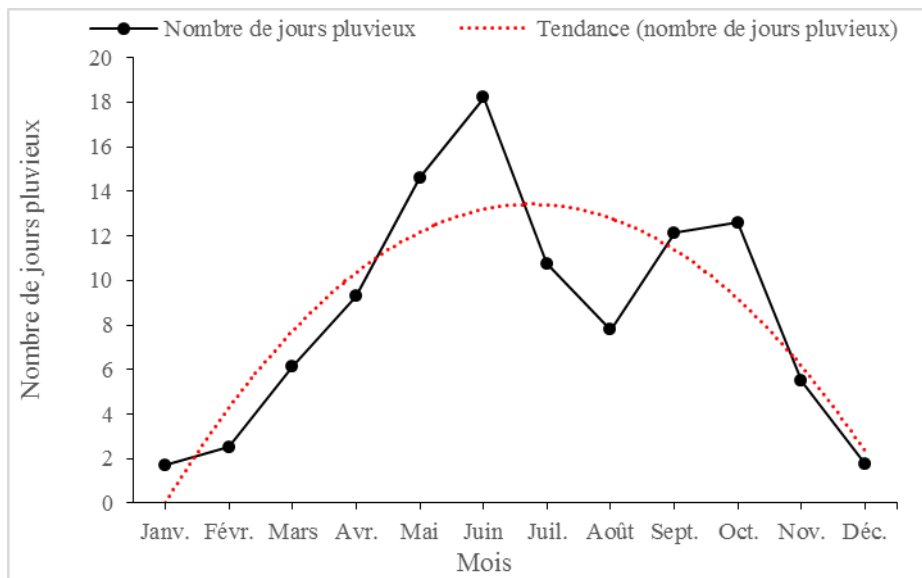
En raison des origines pluviale et fluviale des inondations dans le secteur d'étude, les analyses ont porté à la fois sur les précipitations et les écoulements.

3.3.1. Précipitations et inondations dans le secteur d'étude

Dans le secteur d'étude, le climat est de type sub-équatorial avec une alternance de deux saisons pluvieuses (avril à juillet et septembre à novembre) et de deux saisons sèches (décembre à mars et août).

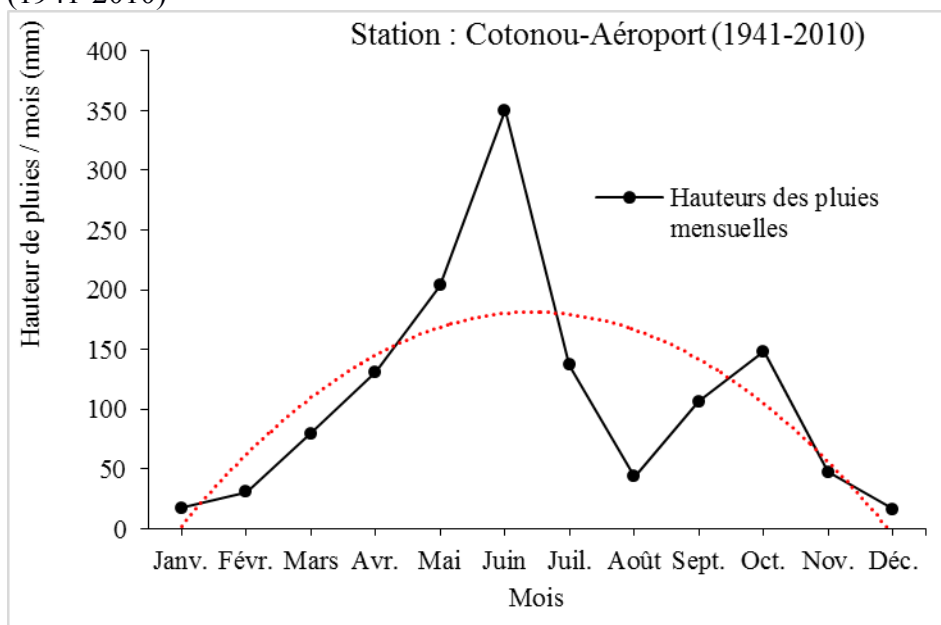
L'analyse des précipitations dans le secteur d'étude a porté sur le nombre de jours pluvieux par mois (NJP) et la répartition des totaux pluviométriques mensuels (TPM). L'examen de la figure 2 montre que le NJP présente deux pics. Le premier pic (NJP =18) est enregistré en juin et le second (NJP = 12) en octobre. Les plus faibles valeurs du NJP sont notées entre décembre et mars correspondant à la grande saison sèche dans le secteur d'étude.

Figure 2 : Nombre de jours pluvieux à la station de Cotonou-Aéroport (1941-2010)



L'observation de la figure 3 montre que la répartition des totaux pluviométriques mensuels (TPM) révèle deux pics correspondant respectivement au mois de juin (TPM= 350 mm) et d'octobre (TPM= 148 mm).

Figure 3 : Totaux pluviométriques mensuels à la station de Cotonou-Aéroport (1941-2010)



Selon les observations et les enquêtes de terrain les inondations sont beaucoup plus enregistrées au cœur (juin-juillet) de la grande saison des pluies et un peu moins pendant la petite saison des pluies.

3.3.2. Régime des eaux et inondations dans le secteur d'étude

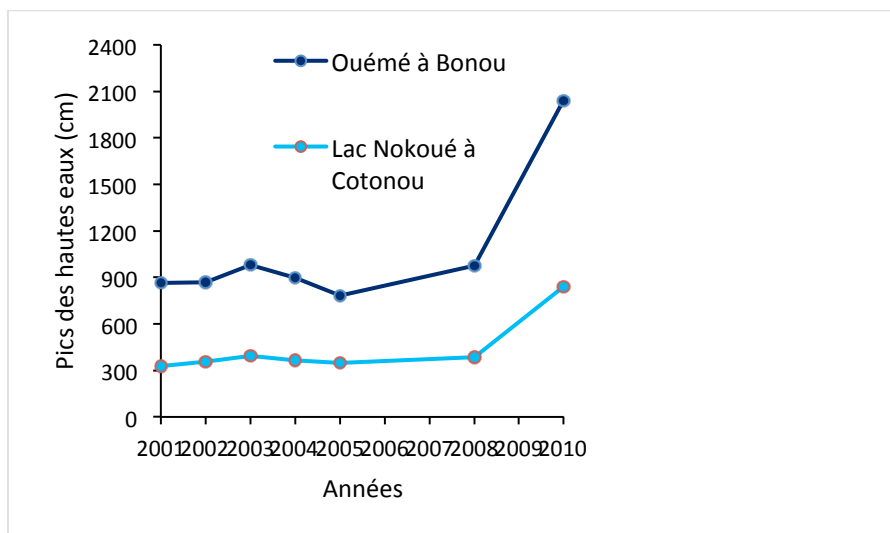
D'après les investigations de terrain, il y a une étroite relation entre le régime des écoulements de l'Ouémé à Bonou et le régime des eaux du lac Nokoué. Il ressort de l'analyse des données collectées que : que le lac Nokoué a un régime hydrologique caractérisé par :

- une très faible crue de mars à mai ;
- une crue d'août à octobre ;
- une décrue d'octobre à décembre ;
- une période d'étiage de mai à juillet.

Pendant sa grande crue, le lac déborde pour inonder les localités environnantes pendant un à trois mois. Il est également à remarquer que la faible crue du lac intervient durant les mois les plus pluvieux de l'année c'est-à-dire mai et juin. De plus, les variations des débits de l'Ouémé à Bonou et les variations du niveau du lac Nokoué ont une allure générale semblable.

L'observation de la figure 4 permet de mieux comprendre la relation entre le débordement des eaux du fleuve Ouémé à Bonou et le débordement des eaux du lac Nokoué à Cotonou.

Figure 4 : Débordement de l'Ouémé à Bonou et du lac Nokoué à Cotonou



L'examen de la figure 4, permet de remarquer une évolution parallèle entre les pics des hautes eaux (crues) de l'Ouémé à Bonou et du lac Nokoué à Cotonou. Les relevés des enregistrements permettent de noter qu'une crue survenue à Bonou met entre cinq (5) et dix (10) jours pour parvenir au niveau du lac Nokoué à Cotonou. Il est donc possible connaissant les pics des eaux de l'Ouémé à Bonou de bien prévoir le débordement (période et intensité) des eaux du lac Nokoué à Cotonou en particulier et dans le secteur d'étude en général. Les résultats de l'analyse fréquentielle réalisée avec le logiciel "Hyfran plus" ont permis d'estimer les débits de crue avec leur période de retour (tableau II).

Tableau II : Débits de crue de l’Ouémé à Bonou selon différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	Probabilité de non dépassement	Débits de crue (m³/s)	Ecart-type
50	0,98	1490,0	76,418
20	0,95	1358,2	66,415
10	0,9	1241,0	58,363
5	0,8	1099,1	50,235
2	0,5	827,95	43,069

Sources : Résultats de traitements de données avec ‘‘Hyfran plus’’

De l’examen du tableau II, pour une période de retour de deux (2) ans, le débit de crue de l’Ouémé calculé est 827,95 m³/s avec une probabilité de non dépassement de 0,5.

Pour une période de retour de 10 ans, le débit de crue calculé est de 1241,0 m³/s avec une probabilité de non dépassement de 0,9.

3.4. Stratégies de gestion des risques d’inondation

3.4.1. Typologie

Les principales stratégies endogènes de gestion des risques d’inondation développées dans les communes sont les suivantes: le renforcement des fondations des habitations, la construction des digues et des canaux d’évacuation des eaux, etc. Mais ces stratégies endogènes sont très insuffisantes face à l’ampleur des dégâts causés par les inondations.

a- Pour les autorités en charge de la commune d’Abomey-Calavi, les stratégies de lutte développées par les populations des arrondissements fréquemment inondés se résument prioritairement à la construction des digues, la protection des fondations des habitations et l’évacuation des eaux en cas d’inondation. Dans certaines agglomérations, des constructions sur pilotis sont réalisées. D’après les investigations de terrain, les populations victimes d’inondation reçoivent des aides (vivres, moustiquaires, tentes, ustensiles de cuisine, feuilles de tôles et ciments, médicaments et vêtements) des parents et amis, mais aussi du gouvernement et des ONG (CARITAS, Croix Rouge Bénin, etc.). La planche 1 présente l’état des digues de protection dans le village de Togbin dans l’arrondissement de Godomey (commune d’Abomey-Calavi).

Planche 1 : Digue de protection contre les eaux dans le village de Togbin



Prise de vue : LaCarto/Espace 2020, juin 2014

b- Concernant la commune de Sô-Ava, les stratégies de lutte développées par les populations des arrondissements fréquemment inondés sont beaucoup plus des stratégies de survie lors des inondations. Elles se résument prioritairement en la mise en place des claires (kpêkpê en langue locale), au séjour dans les barques et pirogues et à des séances de prières. On note aussi dans certaines agglomérations des constructions sur pilotis.

De même lors de ces catastrophes d'inondation à Sô-va, les aides (vivres, moustiquaires, des feuilles de tôles et ciments, rarement de médicaments et de vêtements) dont bénéficient les personnes sinistrées proviennent principalement des parents et amis, du gouvernement et des ONG (CARITAS, etc.).

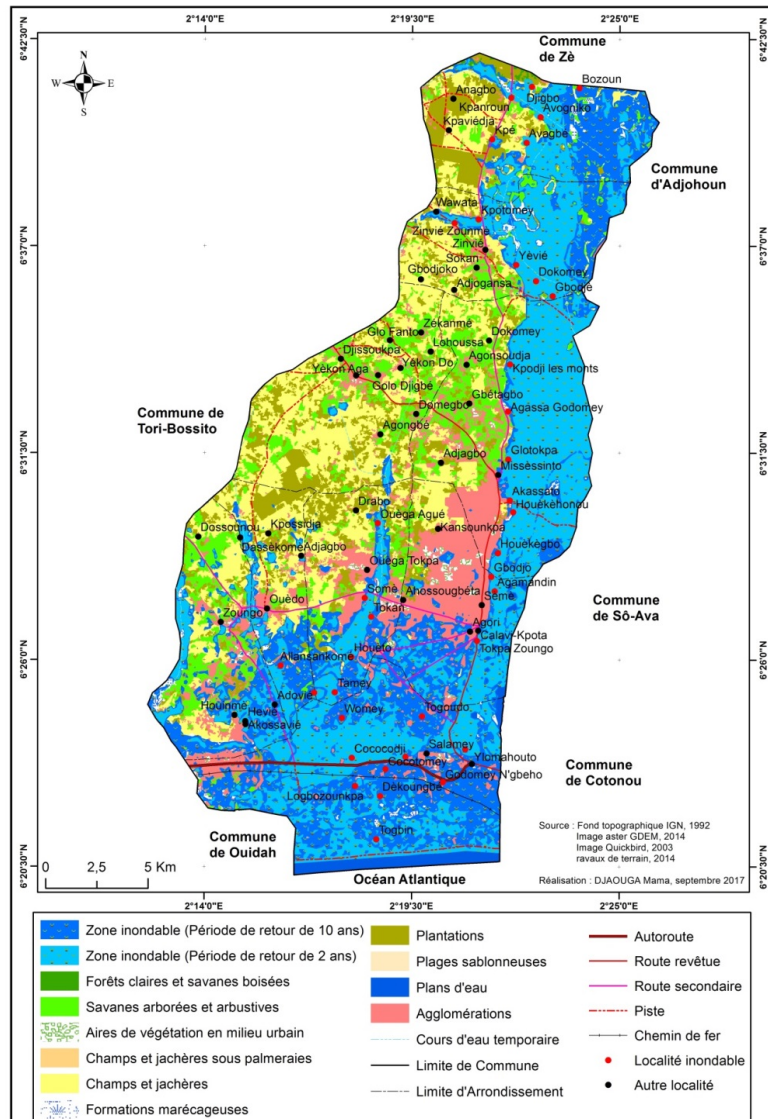
c- Les stratégies endogènes de gestion des risques d'inondation dans la commune de Sèmè-Podji sont diversifiées. Au nombre de ces stratégies, on peut citer : le renforcement des fondations des habitations, la construction des digues et des canaux d'évacuation des eaux. Mais ces stratégies endogènes sont très insuffisantes face à l'ampleur des dégâts causés par les inondations.

3.4. Cartographie des zones inondables en fonction des périodes de retour

3.4.1. Secteur des zones inondables de la commune d'Abomey-Calavi

La figure 5 présente la carte des zones inondables de la commune d'Abomey-Calavi

Figure 5 : Carte des zones inondables de la commune d'Abomey-Calavi



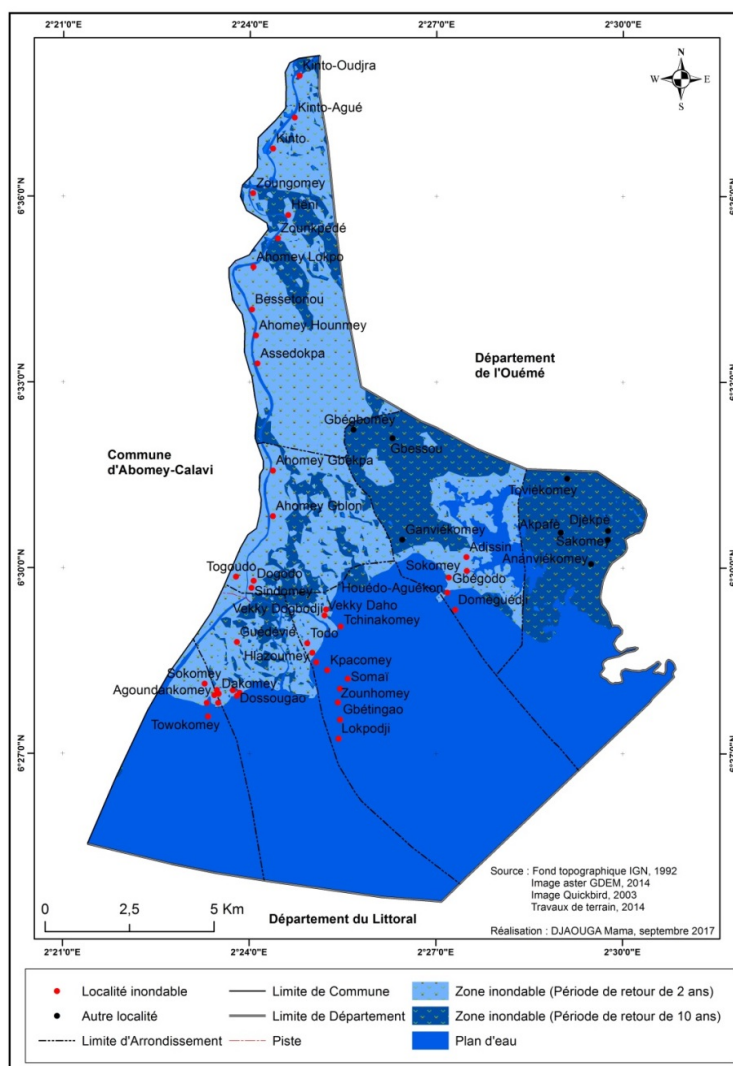
L'examen de la figure 5, on note que que les zones inondables de la commune d'Abomey-Calavi pour les périodes de retour de 2 ans occupent une

superficie de 147,89 km² (27,39 % du territoire communal) alors que pour une période de retour de 10 ans les superficies envahies par les eaux couvrent 267,03 km² (48,72 % du territoire communal).

3.4.2. Secteur des zones inondables de la commune de Sô-Ava

La figure 6 présente la carte des zones inondables de la commune de Sô-Ava.

Figure 6 : carte de zones inondables de la commune de Sô-Ava



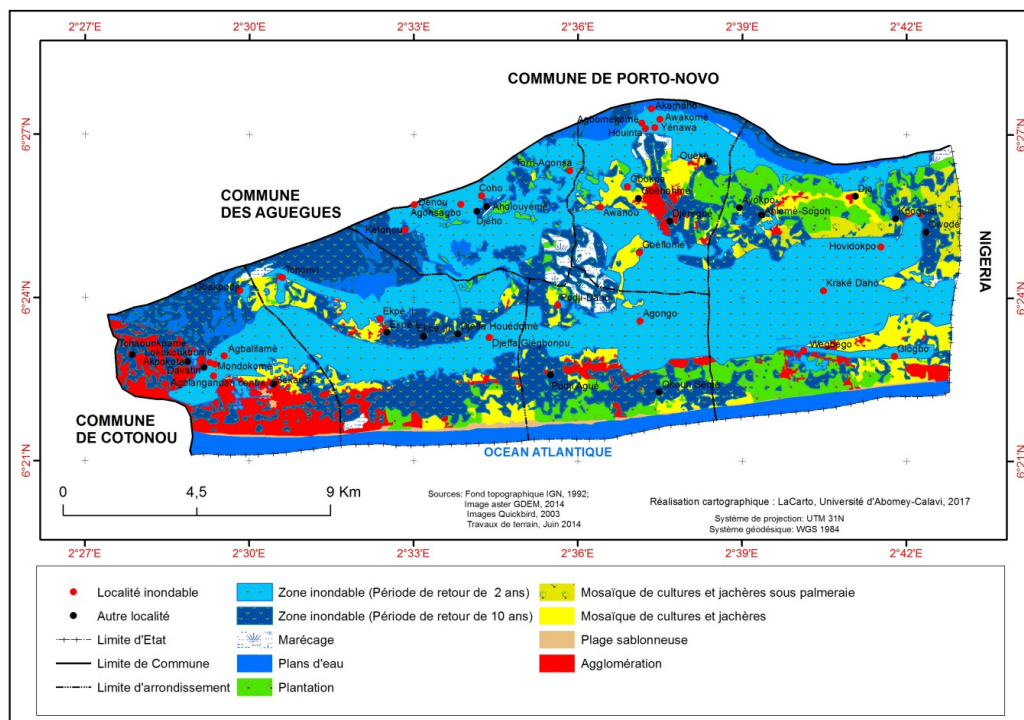
De l'analyse de la figure 6, il ressort que pour une période de retour de 2 ans les zones inondables de la commune de Sô-Ava concernent 49,79 km² soit 26,34 % du territoire communal alors que la superficie des zones inondables

cartographiées sur la base d'une période de retour de 10 ans couvre de 84,18 km² soit 44,53 % du territoire communal.

3.4.3. Secteur des zones inondables de la commune de de Sèmè-Podji

La figure 7 présente la carte des zones inondables de la commune de de Sèmè-Podji.

Figure 7 : carte des zones inondables de la commune de Sèmè-Podji



L'examen de la figure 7 montre que pour une période de retour de 2 ans, les zones inondables cartographiées couvrent une superficie de 92,80 km², soit 39,61 % du territoire communal alors que pour une période de retour de 10 ans la superficie des zones inondables cartographiées est de 148,01 km², soit 63,18 % du territoire communal.

4. DISCUSSION

Les facteurs déterminant les inondations sont nombreux et de diverses natures (naturelle et anthropique). Les résultats de la présente recherche montrent que l'occurrence des inondations peut être appréhendée à partir de l'analyse des précipitations et du régime hydrologique du lac Nokoué et de l'Ouémé dans le secteur d'étude. Ce constat est corroboré par les résultats des travaux de

Ahokpossi (2012). En effet, il a été noté que les inondations dans les communes de Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava surviennent le plus souvent dans la seconde moitié de la grande saison de pluies dans le Sud-Bénin et de la période des hautes eaux du lac Nokoué et de l'Ouémé à Bonou. La spatilisation des zones inondables dans les communes d'Abomey-Calavi, Sô-Ava et Sèmè-Podji a montré que ces espaces sont majoritairement des zones topographiquement basses. En effet, les pentes topographiques dans ces communes sont généralement moins de 2 %. Le relief de la commune de Sô-Ava est relativement plat avec un dénivelé faible entre les rives du lac Nokoué et le point le plus élevé. La commune de Sèmè-Podji est sur une plaine côtière encastrée dans un complexe de plans d'eau. Elle s'étend sur le sédiment fluvio-lagunaire actuel ou sub-actuel et sur la sédimentation littorale. La topographie très basse varie entre 0 et 6 m environ d'altitude. Les localités inondées sont situées dans les zones basses des cours d'eau. Ce constat est confirmé par Houndagba *et al.* (2011) qui ont montré que les vallées des principaux cours d'eau (Ouémé, Zou et Couffo) au Bénin sont le siège de fortes inondations. Celles-ci se produisent fréquemment dans leur cours aval, où ont été façonnées de vastes plaines alluviales dans le bassin sédimentaire. La commune d'Abomey-Calavi se retrouve dans deux unités géomorphologiques du pays. La bordure côtière est principalement occupée par le lac Nokoué avec des dépressions lagunaires sur ses rives. La plaine d'inondation de la berge Est de la rivière Sô est située dans les vallées de l'arrière-pays et est principalement caractérisée par une plaine inondable et des marécages. La prévention la plus efficace pour limiter les dommages liés aux inondations dans ces communes serait de limiter au maximum l'urbanisation des zones inondables. Les localités se trouvant dans ces zones doivent adopter des mesures visant à maîtriser l'urbanisation et adapter le bâti à l'existence du risque d'inondation (surélévation du premier niveau par exemple pour éviter les dommages aux biens et aux personnes). La maîtrise de l'urbanisation devrait s'exprimer au travers des plans de prévention des risques naturels inondations prescrits et élaborés par l'État sur la base de la cartographie liée aux périodes de retour de 2 ans et 10 ans .

La cartographie des zones inondables dans toutes les communes concernées indique que la superficie des zones inondables extraite sur la base d'une période de retour de 2 ans est inférieure à celle extraite sur la base d'une période de retour de 10 ans par rapport au territoire communal.

Le contrôle du développement des zones inondables doit prendre en compte la plus forte crue historique connue et afin de préserver des champs d'expansion des crues des dommages liés aux inondations.

La cartographie de ces inondations nécessite des données planimétriques de très grandes résolutions quel que soit l'approche de cartographie adoptée. Le manque, l'insuffisance et la qualité de certaines données utilisées dans la présente recherche méritent d'être soulignés car ils peuvent limiter la portée des résultats

obtenus. Les MNT utilisés dans la réalisation de l'étude (30 m de résolution) montre les limites du travail. Les images LIDAR pourraient à l'avenir être utilisées compte tenu de la topographie basse des communes étudiées.

CONCLUSION

La cartographie des zones inondables a été réalisée dans les communes d'Abomey-Calavi, de Sèmè-Podji et de Sô-Ava. La caractérisation hydrologique des inondations a été faite à partir de l'analyse des débits journaliers et des niveaux d'eau dans le lac Nokoué. Deux types d'inondation sont généralement observés dans les localités du complexe lac Nokoué-Sô-Ouémé auquel appartiennent en grande partie les communes d'Abomey-Calavi, Sèmè-Podji et Sô-Ava. Il s'agit de celle connue pendant la grande saison des pluies (juin) et de celle causée par le débordement de ces cours et plan d'eau (Ouémé, Sô et lac Nokoué) qui survient souvent en octobre. A partir de ces cartes de zones inondables, les autorités compétentes peuvent déclarer certaines zones inconstructibles. La présente étude dans ces communes fortement urbanisées pourrait se poursuivre avec la prise en compte des ortho-images, des modèles numériques de terrain de haute résolution et des images LIDAR, capables de montrer des configurations plus précises du relief de la zone côtière très basse.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée grâce aux concours des institutions suivantes à qui nous tenons à remercier : le Projet d'Urgence de Gestion Environnementale en Milieu Urbain (PUGEMU) ; la Société d'Etudes Régionales, d'Habitat et d'Aménagement Urbain (SERHAU) et le Laboratoire de Cartographie (LaCarto) qui ont initié cette étude de cartographie des zones inondables dans les communes d'Abomey-Calavi, Sèmè-Podji et Sô-Ava.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AHOKPOSSI (Y.), 2012. *Analyse des phénomènes hydropluviométriques extrêmes en relation avec les inondations de Cotonou*. Url : <http://www.institut-numerique.org/analyse-des-phenomenes-hydropluviometriques-extremes-en-relation-avec-les-inondations-de-cotonou-2010-523aaa1232ee5>. Consulté le 08 octobre 2017.

ASSOGBA (L. P.), 2010. *Etude de l'influence du lac Nokoué et du chenal sur les inondations dans la ville de Cotonou au Bénin. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en aménagement et protection de l'environnement*. Url : http://www.memoireonline.com/10/12/6381/m_Etude-de-l-influence-du-lac-Nokoue-et-du-chenal-sur-les-inondations-dans-la-ville-de-Cotonou-au-Be6.html#toc23. Consulté le 08 octobre 2017.

BANQUE MONDIALE, 2010. *Villes et inondations. Guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXI^e siècle. Résumé à l'intention des décideurs*, 63 p.

CARRY (G.) et VEYRET (Y.), 1996. « La prévention du risque d'inondation: l'exemple français est-il transposable aux pays en développement. Paris ». In *Cah. SC; Hum*, n°. 32, (2196), pp. 423-443.

GBAGUIDI (T. B.), 2011. *Système d'Information et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou, mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou*, 102 p.

GODONOU (J. L.), 2013. « Evaluation des risques environnementaux des inondations de 2010 au Bénin : cas des communes de Lalo, Dogbo, Lokossa », www.sifee.org, 12 p.

Gouvernement du Bénin et Banque Mondiale (GFDRR-PDNA), 2011. *Inondations au Bénin. Rapport d'évaluation des besoins post catastrophe*, 84 p.

HOUNDAGBA (C.J), BOKONON-GANTA (E.), DJAUGA (M.) et AWINDE (M.), 2011. « Cartographie des contraintes biophysiques pour une meilleure gestion des ressources naturelles dans le département du Zou ». In *Revue de Géographie du Bénin*, n°10, pp. 49 -70.

INSAE, 2013. *Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 4). Résultats provisoires*, Cotonou, 8 p.

LEUMBE LEUMBE (O.), BITOM (D.), MAMDEM (L.), TIKI (D.) et IBRAHIM (A.), 2015. « Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne : cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord

Cameroun ». In *Afrique Science*, n°11(3), pp. 45 - 61 45, ISSN 1813-548X,
<http://www.afriquescience.info>.

MAZET (P.), 2000. *Aménagement du territoire*. A. Colin, Paris, 181 p.

Mairie d'Abomey-Calavi, 2010. *Schéma Directeur d'Aménagement de la Commune*, 53 p.

PDNA, 2009. *Plan de contingence du Bénin*, Cotonou, 131 p.