

# *SIG Pour l'Optimisation de la Cartographie de l'Influence Des Evènements Hydroclimatiques Extrêmes sur l'Etat de la Sécurité Alimentaire dans le Bassin Béninois de la Pendjari à l'Exutoire de Porga*

## *[GIS For The Optimization Of The Mapping Of The Influence Of Extreme Hydroclimatic Events On The State Of Food Security In The Beninese Pendjari Basin At The Porga Outlet]*

Pierre OUASSA<sup>1 et 2</sup>, Séraphin CAPO ATIDEGLA<sup>3</sup>, Jean SODJI<sup>4</sup>, Expédit Wilfrid VISSIN<sup>2</sup>

Auteur correspondant : Pierre OUASSA

<sup>1</sup>Doctorant en GéoInformation et ses Applications à la Gestion Intégrée des Eaux et des Ecosystèmes (GAGIEE) Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC, Rép. du Bénin)

<sup>2</sup>Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)

Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

<sup>3</sup> Laboratoire d'hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

<sup>4</sup>Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA) /FASHS/UAC/Bénin.



**Résumé** – Le bassin béninois de la Pendjari est exposé aux effets des évènements hydroclimatiques extrêmes qui affectent négativement les activités des populations. Cette recherche vise à utiliser les SIG pour cartographier les zones d'influence des évènements hydroclimatiques extrêmes sur l'état de la sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga.

L'approche méthodologique adoptée, a consisté à l'utilisation des données climatiques (hauteur de pluies journalières et mensuelles) des stations de Tanguéta et Natitingou sur la période de 1965 à 2017 obtenues à Météo-Bénin. Les données hydrologiques constituées des débits journaliers du fleuve calculées à partir des indices de la Pendjari à l'exutoire de Porga, sur la période 1965-2017 sont extraites de la base de données de la DG-Eau. Aussi, les données d'occupation du sol et les produits dérivés des modèles numériques de terrain ont été utilisées. Le traitement des données est fondé sur l'intégration dans un système d'information géographique (SIG), des données interprétées à partir des images TM de Landsat 8, OLI-TIRS, des données hydroclimatiques et des produits dérivés d'un modèle numérique de terrain (MNT). Un système d'indicateurs basé sur les notes de chaque indicateur a été utilisé pour déterminer l'état de la sécurité alimentaire.

L'analyse spatiale réalisée, a permis d'élaborer les cartes des aléas hydroclimatiques et de la vulnérabilité des populations à l'inondation et à la sécheresse. Le croisement entre les cartes des risques d'inondation et de sécheresse et celle de l'état de la sécurité alimentaire a permis d'obtenir la carte de l'influence de chaque risque sur la sécurité alimentaire avec quatre niveaux d'influence qui varient du très faible au fort.

**Mots clés** – Bassin béninois de la Pendjari, risque d'inondation, SIG, cartographie, sécurité alimentaire.

**Abstract – The Beninese Pendjari basin is exposed to the effects of extreme hydroclimatic events that negatively affect the activities of the populations. This research aims to cartography the zones of influence of extreme hydroclimatic events on the state of food security in the Beninese basin from the Pendjari to the Porga outlet.**

The methodological approach adopted consisted in the use of climatological data (daily and monthly rainfall height) from the Tanguiéta and Natitingou stations over the period from 1965 to 2017 obtained from Météo-Benin. The hydrological data consisting of the daily flows of the river and the Pendjari indices at the Porga outlet, over the period 1965-2017 are extracted from the DG-Water database. Also, land use data and products derived from digital terrain models were used. The data processing is based on the integration into a geographic information system (GIS), data interpreted from Landsat 8 TM images, OLI-TIRS, hydroclimatic data and products derived from a digital terrain model (DTM). A system of indicators based on the ratings of each indicator was used to determine the state of food security.

The spatial analysis carried out enabled to draw up maps of hydroclimatic hazards and the vulnerability of populations to flooding and drought. The crossing between the flood and drought risk maps and that of the state of food security allowed to obtain the map of the influence of each risk on food security with four levels of influence that vary from very low to strong.

**Key words – Beninese Pendjari basin, flood risk, GIS, cartography, food security.**

## INTRODUCTION

Le nombre de personnes souffrant de la faim dans le monde est encore trop élevé: au moins

805 millions de personnes, soit une personne sur neuf, à travers le monde n'a pas assez à manger. Les tendances mondiales en matière de réduction de la faim masquent des disparités au sein et entre les régions [5].

Ainsi, l'amélioration de la sécurité alimentaire fait l'objet d'un consensus unanime et est au cœur des préoccupations des grandes agences internationales, tandis que les initiatives régionales de lutte contre la faim gagnent du terrain : en juillet 2014, lors du sommet de l'Union africaine à Malabo (Guinée équatoriale), les chefs d'États africains se sont engagés à mettre un terme à la faim sur le continent d'ici à 2025 ; en 2013, lors du premier sommet de la Communauté des États latino-américains et caribéens, les chefs d'État et de gouvernement ont approuvé l'objectif Faim zéro 2025 et réaffirmé l'engagement de la région en faveur de l'initiative Amérique latine et Caraïbes libérées de la faim en 2025 lancée en 2005 [14].

L'Afrique, continent le plus vulnérable, du fait des guerres, de la famine et de la pauvreté devra prendre des mesures pour faire face aux effets néfastes des changements climatiques afin de s'assurer une sécurité alimentaire. Tout d'abord parce qu'il existe des lacunes importantes sur les manières de faire face aux impacts et aux effets économiques et sociaux de ces changements ; ensuite parce que les économies de ces pays dépendent fortement de secteurs et ressources très sensibles aux changements climatiques, par exemple l'agriculture, les ressources côtières, les infrastructures, les ressources en eau et en énergie [3].

De plus, les productions agricoles nationales du Bénin assurent, en général, l'autosuffisance pour les céréales, les tubercules et les légumineuses tandis que le pays est chroniquement déficitaire en protéines animales. Cette autosuffisance alimentaire demeure précaire et présente des disparités régionales dont certaines persistent en dépit des mesures politiques visant certaines régions du pays. C'est le cas de la région de l'Atacora qui intègre le bassin béninois de la Pendjari, réputée pour la pauvreté et l'insécurité alimentaire de sa population [16].

La collecte et la diffusion de données pertinentes, précises et actualisées sont d'une importance capitale pour améliorer la connaissance de l'environnement. Disposer rapidement de la donnée est une condition indispensable pour le développement de stratégies et de politiques efficaces en vue de l'adaptation au changement climatique, de la lutte contre la désertification et de la protection de l'environnement de manière générale [13]. En effet, le contexte de l'information géographique s'est largement développé depuis la fin du XXe siècle grâce à l'évolution des outils informatiques. L'apparition conjointe des technologies de l'information et de la communication et la circulation accrue des données, notamment suite à l'avènement de l'internet, font ainsi de la géomatique (science des données à référence spatiale) une discipline nouvelle et indispensable, utilisée pour répondre à des problématiques très variées à travers une approche multidisciplinaire et multithématique [12]. Elle fait appel à un vocabulaire spécifique et emploie des technologies singulières : les systèmes d'information géographique. Par ailleurs, la dimension spatiale étant au cœur de l'activité de gestion des événements climatiques, cette dernière fait souvent appel à l'information dite

géographique. La localisation des personnes et des activités, l'extension géographique des phénomènes et de leurs manifestations, la détermination des plans d'urgence, etc. Tous ces éléments impliquent une dimension spatiale nécessaire à leur intégration et à leur gestion dans les systèmes d'information. La prise en compte de cette composante est donc nécessaire dans tout système traitant de la gestion des événements climatiques [7].

Les événements hydroclimatiques extrêmes (sécheresses et inondations) dans le bassin béninois de la Pendjari sont de plus en plus récurrents et influencent les activités des populations. Au vu de ces constats, il est opportun de mener une étude sur l'influence des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin béninois de la Pendjari, pour contribuer à la réduction de la vulnérabilité des populations aux risques liés à la variabilité hydroclimatique et de garantir la sécurité alimentaire dans le dit bassin. L'objectif de la présente étude vise à cartographier les zones d'influence des événements hydroclimatiques extrêmes sur l'état de la sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga. Le bassin Béninois de la Pendjari à Porga (figure 1), est situé entre les parallèles 10°21' et 10°46' de latitude nord et les méridiens 1°12' et 1°38' de longitude est.

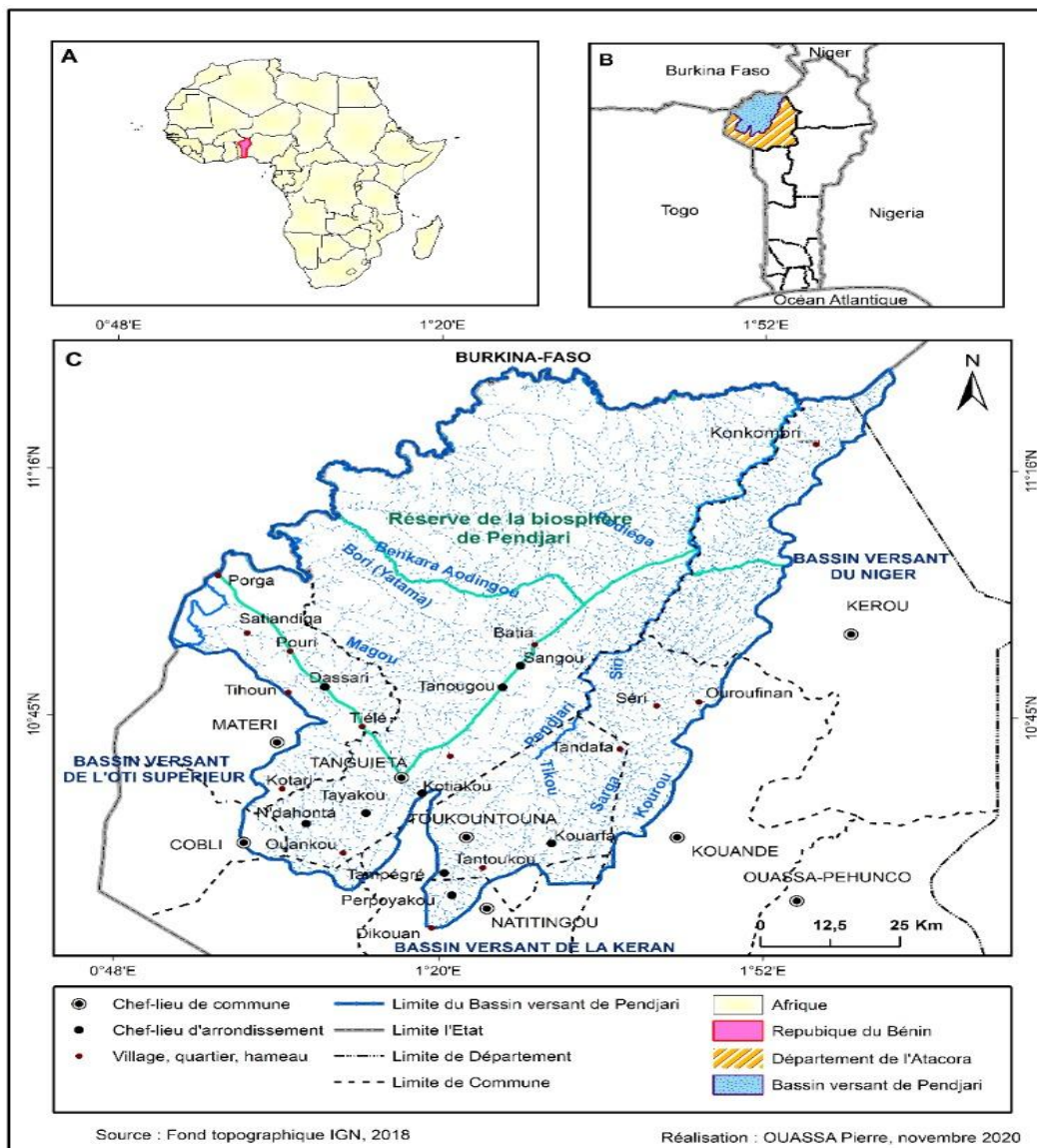


Figure 1 : Situation géographique du bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga

## **I. DONNÉES ET MÉTHODES**

### **1.1 Données utilisées**

**Données planimétriques :** ces données concernent les images Landsat 8, OLI-TIRS, les données du NDVI MODIS et les données du MNT. La résolution de ces données planimétriques est de 30 m de côté. Elles ont été téléchargées du site de la NASA <http://www.earthexplorer.usgs.gov/>

**Données vectorielles :** ces données concernent les limites administratives, les limites du réseau hydrographique et routier, les limites des forêts. Ces données sont produites par l'Institut Géographique National (IGN) du Bénin au 1/50000.

**Données agricoles :** elles concernent les statistiques agricoles notamment les rendements des cultures étudiées qui ont été extraites des compendiums de l'Agence Territoriale pour le Développement Agricole de l'Atacora (ATDA 3) concernant les campagnes agricoles de 2007 à 2020.

**Normes de consommation des produits vivriers :** elles sont utilisées pour l'analyse de l'état de la sécurité alimentaire. A cet effet, les données agro-alimentaires de la FAO et du MAEP sont utilisées, notamment les normes de consommation par produit alimentaire, par personne et par an.

**Statistiques démographiques :** Elles ont été collectées dans les bases statistiques de l'INSAE en considérant les données du RGPH<sub>2</sub> ; RGPH<sub>3</sub> ; RGPH<sub>4</sub> et les estimations réalisées pour 2020 et 2025.

**Données socioéconomiques :** Il s'agit de données issues des entretiens avec les populations et les personnes ressources du secteur d'étude.

### **1.2 Méthodes utilisées**

#### **1.2.1 Cartographie des zones à risques d'inondation et de sécheresse**

Pour déterminer les zones à risques d'inondation et de sécheresse dans le bassin béninois de la Pendjari, la méthode d'analyse multicritères a été utilisée. Divers types de traitement ont été nécessaires avec les logiciels surfer 11 et Arcgis 10.2.1, pour le traitement des données planimétriques.

L'approche méthodologique, sur laquelle s'est fondée la cartographie des zones à risques d'inondation et de sécheresse du bassin de la Pendjari au Bénin, présente l'avantage d'exploiter en synergie des données multi sources. En effet, l'imagerie satellitaire, couplée aux données climatologiques a permis de définir des descripteurs de vulnérabilité et d'aléas, dont la combinaison donne la carte des zones à risques.

#### **1.2.2 Evaluation de la sécurité alimentaire**

##### **➤ Systèmes de notation utilisés**

L'objectif du système d'indicateurs créé est de pouvoir facilement faire état de la sécurité alimentaire du système étudié en obtenant une note finale de la sécurité alimentaire issue de la moyenne des notes de chaque indicateur.

Deux systèmes de notation sont utilisés :

- l'attribution d'une note (0 ; 1 ; 2) pour chaque paramètre en fonction de seuils qualitatifs définis à l'avance ;
- l'attribution d'une note en fonction d'un calcul de données quantitatives.

Le premier système de notation reprend le même principe qui est utilisé lors de la création de la typologie des systèmes agricoles. Chaque paramètre qui compose un indicateur reçoit une note (0 ; 1 ; 2) en fonction de seuils, issus des informations obtenues lors des entretiens. Pour obtenir la note de l'indicateur, la somme des notes des paramètres est effectuée, donnant un total sur 8 (le 0 est considéré comme une véritable note). Pour certains indicateurs, la somme des notes des paramètres ne donnant pas un résultat égal à 8, une pondération est appliquée.

Le deuxième système de notation est utilisé pour trois indicateurs : les disponibilités des aliments, la part de l'alimentation dans le revenu et le Score de la Consommation Alimentaire des ménages. Les résultats, quantitatifs, sont comparés à des seuils issus des entretiens pour les disponibilités en produits alimentaires, et la part de l'alimentation dans le revenu et le SCA [15].

➤ **Moyenne en guide de résultat reportée dans une échelle de notation en neuf points**

L'objectif du système d'indicateurs proposé est de regrouper les résultats de chaque indicateur pour en faire une note globale. Cette note est grandement influencée par la subjectivité de l'évaluateur et ne permet pas d'établir des vérités précises. Cependant, elle permet facilement de donner une idée de l'état de sécurité alimentaire dans lequel se trouve l'individu étudié, en prenant particulièrement en compte les piliers de la disponibilité et de l'accès aux denrées alimentaires [4].

La note finale est obtenue par la moyenne des notes de 0 à 8 de tous les indicateurs du système d'indicateurs. Aucune pondération complémentaire n'est apportée car il est considéré que tous les indicateurs ont la même importance. Cependant, une pondération se fait automatiquement à l'échelle des critères, qui ne sont pas tous composés d'un même nombre d'indicateurs. Les critères portant sur les disponibilités et l'accès des denrées alimentaires comportent chacun trois indicateurs, alors que celui sur la consommation alimentaire en comporte un seul. La consommation alimentaire n'est pas l'objet principal de cette étude et n'est représentée que par le SCA. La note finale est reportée dans une échelle discrète graduée de 0 à 8 (Tableau I).

Tableau I : Echelle de notation évaluant la sécurité alimentaire de 0 à 8

Classe	Note	Evaluation
Insécurité alimentaire	0	Insécurité alimentaire très critique.
	1	Insécurité alimentaire critique.
	2	Début d'insécurité alimentaire
Sensibilité à la sécurité alimentaire	3	Tendance à l'insécurité alimentaire
	4	Neutralité
	5	Tendance à la sécurité alimentaire
Sécurité alimentaire solide	6	Début de sécurité alimentaire
	7	Sécurité alimentaire avérée
	8	Sécurité alimentaire solide

Source : [4], modifié par P. Ouassa, (2020)

L'échelle choisie, de type numérique, est composée de 9 points. Cette échelle, en comparaison aux échelles contenant moins de points (5 ou 7) permet une plus grande précision dans l'évaluation et possède l'avantage de diviser l'évaluation en trois classes équilibrées : insécurité alimentaire, sécurité alimentaire sensible (requiert une vigilance particulière) et sécurité alimentaire solide. 0 signifie une insécurité alimentaire sévère et 8 une sécurité alimentaire solide [4].

En étant sous la forme impaire, cette échelle de mesure, permet de positionner l'état de sécurité alimentaire de manière neutre sur la mesure médiane de l'échelle. Une couleur est associée à chaque numéro, avec un dégradé rouge de 0 à 3 et un dégradé bleu de 5 à 8, permettant une division visuelle et simplifiant la compréhension de l'échelle de valeurs.

Les principales étapes de la détermination des risques d'inondation et de sécheresse et leur influence sur l'état de la sécurité alimentaire sont résumées respectivement par les figures 2, 3 et 4.



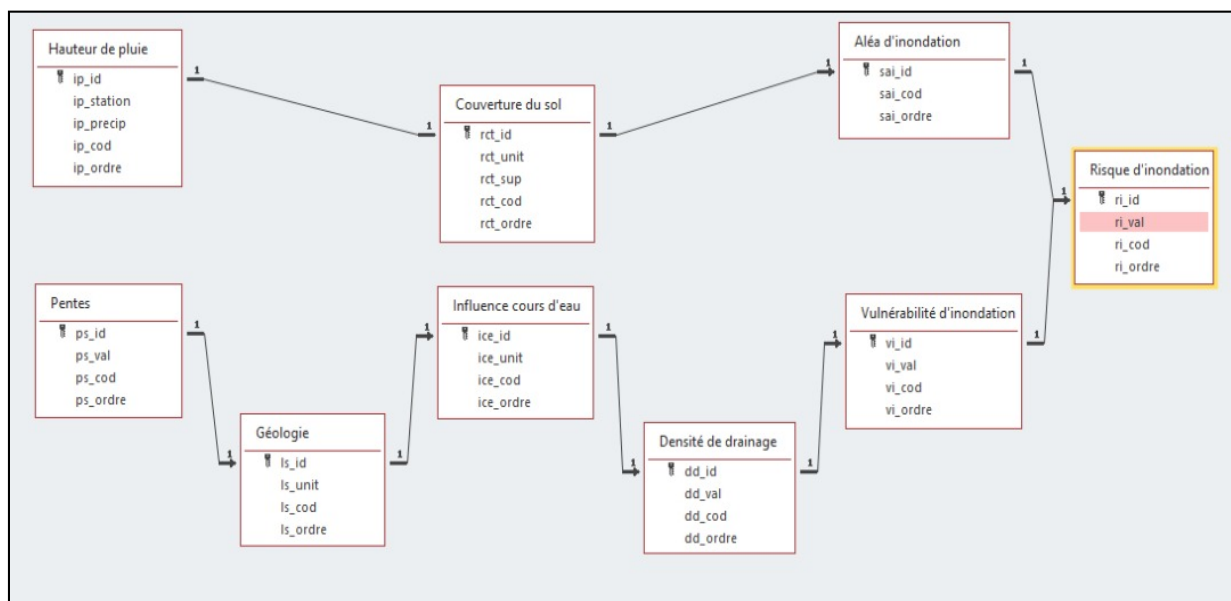


Figure 2 : Schéma entité-association du MCD relatif au risque d'inondation

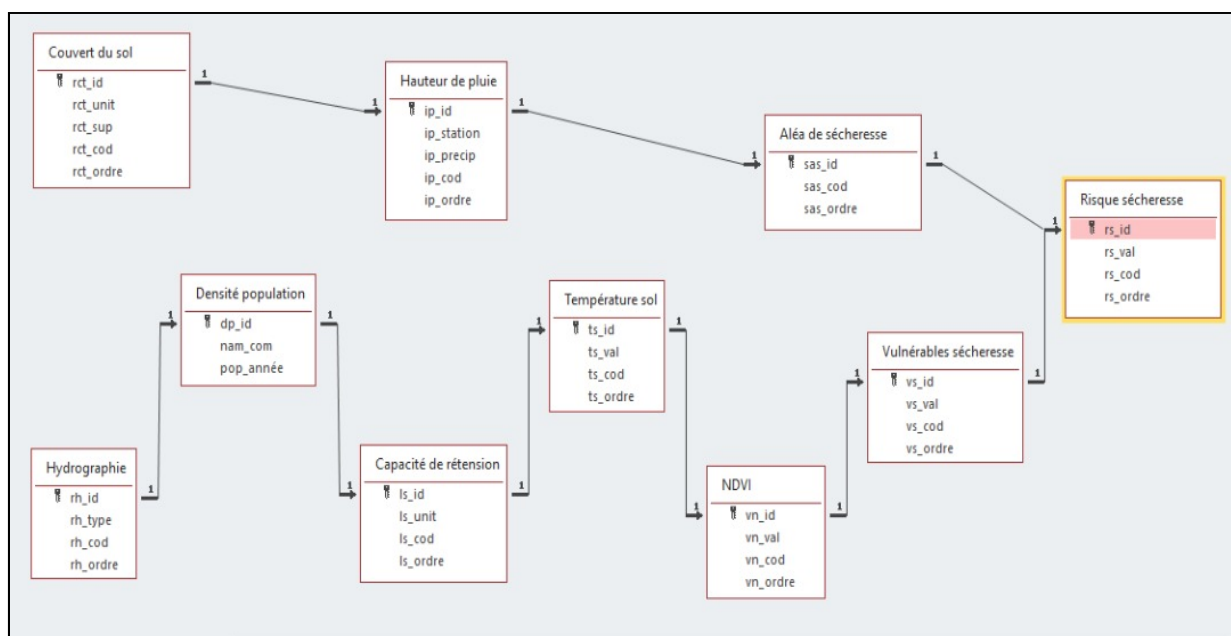


Figure 3 : Schéma entité-association du MCD relatif au risque de sécheresse

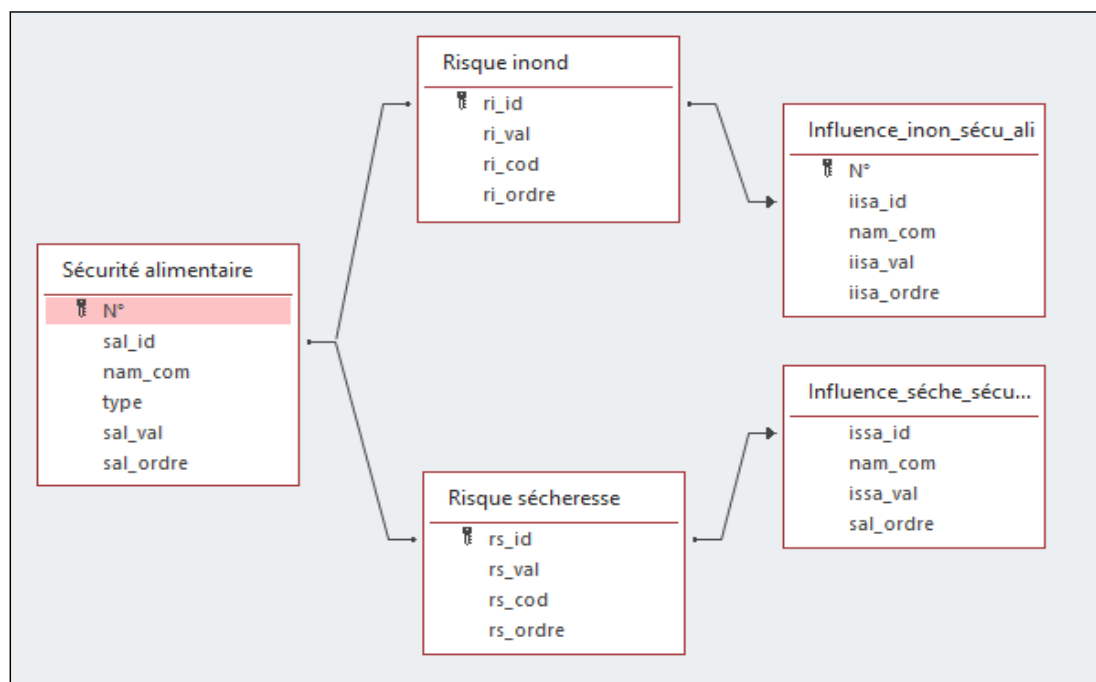


Figure 4 : Schéma entité-association du MCD à l'influence des risques hydroclimatiques sur la sécurité alimentaire

## II. RÉSULTATS

### 2.1. Etat de la sécurité alimentaire du bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga

Le tableau II, présente la note attribuée par commune selon le critère d'analyse de la sécurité alimentaire.

Tableau II : Notes de la sécurité alimentaire par Commune du bassin de la Pendjari à l'exutoire de Porga

	Communes du bassin Béninois de la Pendjari à Porga					
Variables	Boukoubé	Cobly	Matéri	Natitingou	Tanguiéta	Toucountouna
<b>Critère 1 : Disponibilité alimentaire</b>						
Disponibilité en produits vivriers	8	4	4	2	8	8
<b>Critère 2 : Accès aux denrées alimentaires</b>						
Part de l'alimentation dans le revenu	4	4	4	4	4	4
<b>Critère 3 : Utilisation des denrées alimentaires</b>						
SCA	4	4	4	4	4	4
<b>Score total</b>	<b>5,33</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2,66</b>	<b>5,33</b>	<b>5,33</b>

Source : Résultats d'enquête de terrain, 2021

Légende :

	Insécurité alimentaire			Sécurité alimentaire sensible			Sécurité alimentaire solide		
Note	0	1	2	3	4	5	6	7	8

A partir des notes obtenues au niveau de chaque critère d'analyse de la sécurité alimentaire, une moyenne des notes a été déterminée et a permis d'obtenir une note définitive pour chaque Commune. Ces notes ont permis une évaluation en trois classes équilibrées : insécurité alimentaire, sécurité alimentaire sensible et sécurité alimentaire solide. L'intégration de ces différentes données dans le SIG a permis de spatialiser l'état de la sécurité alimentaire au niveau de chaque Commune du bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga (figure 5).

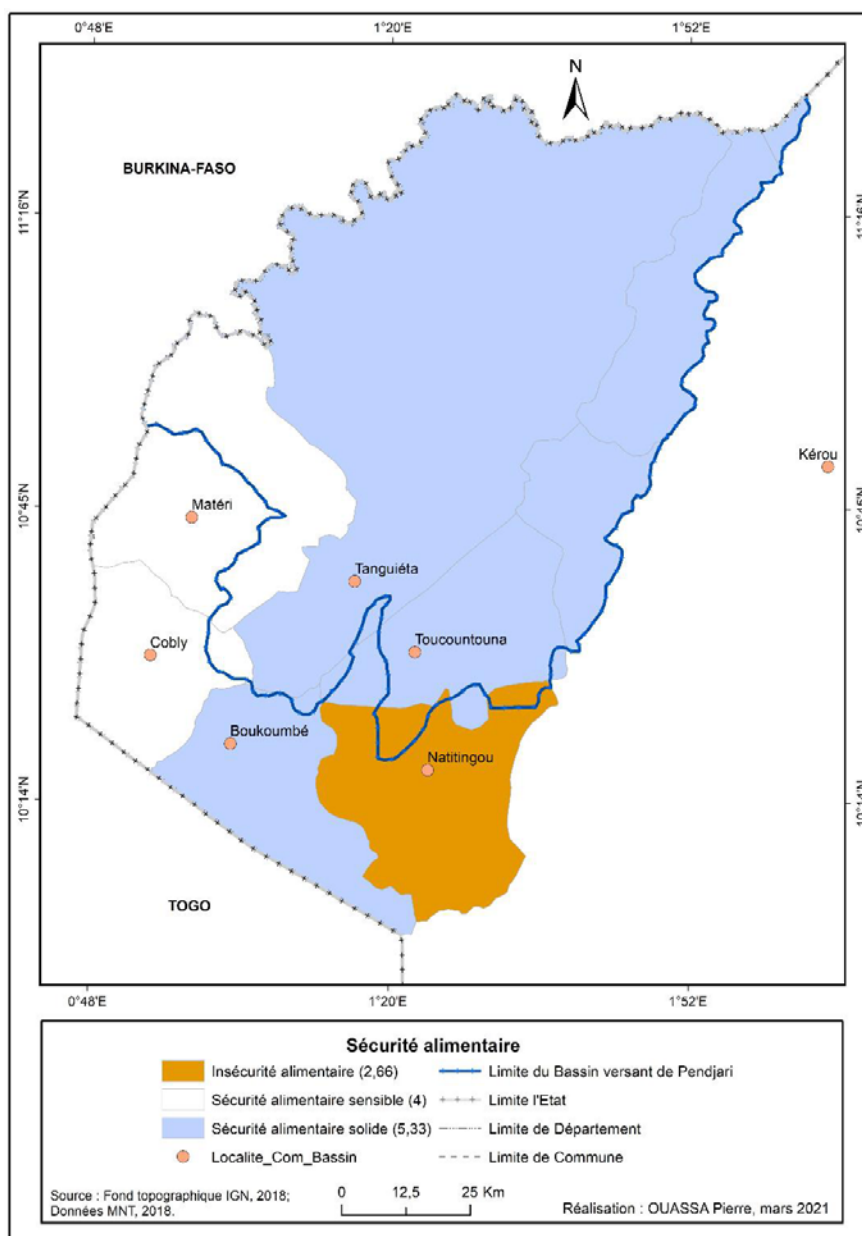


Figure 5 : Etat de la sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga



De l'analyse de la figure 5, il ressort que, les Communes de Boukombé, de Tanguiéta et de Toucountouna ont obtenu une note de 5,33 et présentent donc une sécurité alimentaire solide. Avec une note de 4, les Communes de Cobly et de Matéri, présentent quant à elles une sécurité alimentaire sensible. Seule la Commune de Natitingou obtient une faible note (2,66), et se retrouve donc, en insécurité alimentaire.

Par ailleurs, les informations recueillies auprès des populations retenues pour l'enquête montrent que, la durée de la période de soudure alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari est en moyenne de 16 semaines dans l'année et concerne généralement les mois de d'avril, mai, juin et juillet. Cette période s'étend parfois jusqu'aux mois d'août et de septembre dans les zones à faibles productions comme Matéri et Boukombé. La raison évoquée par 68,55 % des populations retenues pour l'enquête pour expliquer cette situation est le fait que les Commune de Boukombé et Matéri ne produisent pas assez l'igname. Or, d'après les populations, l'apparition de l'igname est l'aliment qui vient atténuer considérablement à partir du mois d'août, la situation de manque de produits vivriers dans les ménages du bassin.

Aussi, il existe des villages dans les Communes de Tanguiéta et Toucountouna où les stocks sont rarement vides. Cela peut être attribué à la fertilité relative des sols, la disponibilité de terre et la diversification des productions. Dans ces villages, les stocks d'igname ne sont jamais totalement vides. Dès août, les ignames sortent puis le maïs et le niébé, puis le riz (dont le stock s'épuise rapidement par vente) et enfin le sorgho dont le stock se raréfie le dernier. Par contre dans les localités des Commune de Boukombé, Cobly, Matéri et Natitingou, la sévérité des soudures est plus grande, les stocks sont à leur plus bas niveau pour tous les vivres entre avril et octobre. Cela peut s'expliquer par le faible rendement et la vente incontrôlée des vivres pendant les périodes d'abondances (novembre, décembre, janvier et février).

La situation des villages en zones densément exploitées à Natitingou, Matéri, Boukombé et Cobly est moins favorable puisque les stocks d'igname et de céréales s'épuisent totalement entre juillet et septembre. Ainsi, l'igname s'épuise en avril, ensuite le maïs en mai et le sorgho en juin. Les ménages sont obligés de changer de régime alimentaire en achetant la cossette de manioc qui devient la plus accessible financièrement ou d'acheter le maïs pour le repas d'un soir. La photo 1 illustre la vente du maïs en période de soudure dans le village de Babori.



**Photo 1** : Vente du maïs en période de soudure dans le village de Babori (Commune de Boukombé)

**Prise de vue** : P. Ouassa, septembre 2020

La vente en de petites quantités du maïs permet à certains ménages de s'approvisionner en vivre de façon occasionnelle. Les coûts de vente varient entre 175 F CFA et 500 F CFA. Dans cette Commune comme dans les autres Communes du bassin béninois de la Pendjari, les populations vendent leurs volailles, bovins ou ovins afin de pouvoir s'acheter les produits vivriers.

## 2.2. Influence des événements hydroclimatiques extrêmes sur l'état de la sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga

Pour mieux apprécier l'impact des événements hydroclimatiques sur la situation de la sécurité alimentaire du bassin, un croisement des cartes de risques avec celle de l'état de la sécurité alimentaire a été faite.

### 2.2.1. Influence du risque d'inondation sur l'état de la sécurité alimentaire

La figure 6 présente l'influence du risque d'inondation sur la sécurité alimentaire.

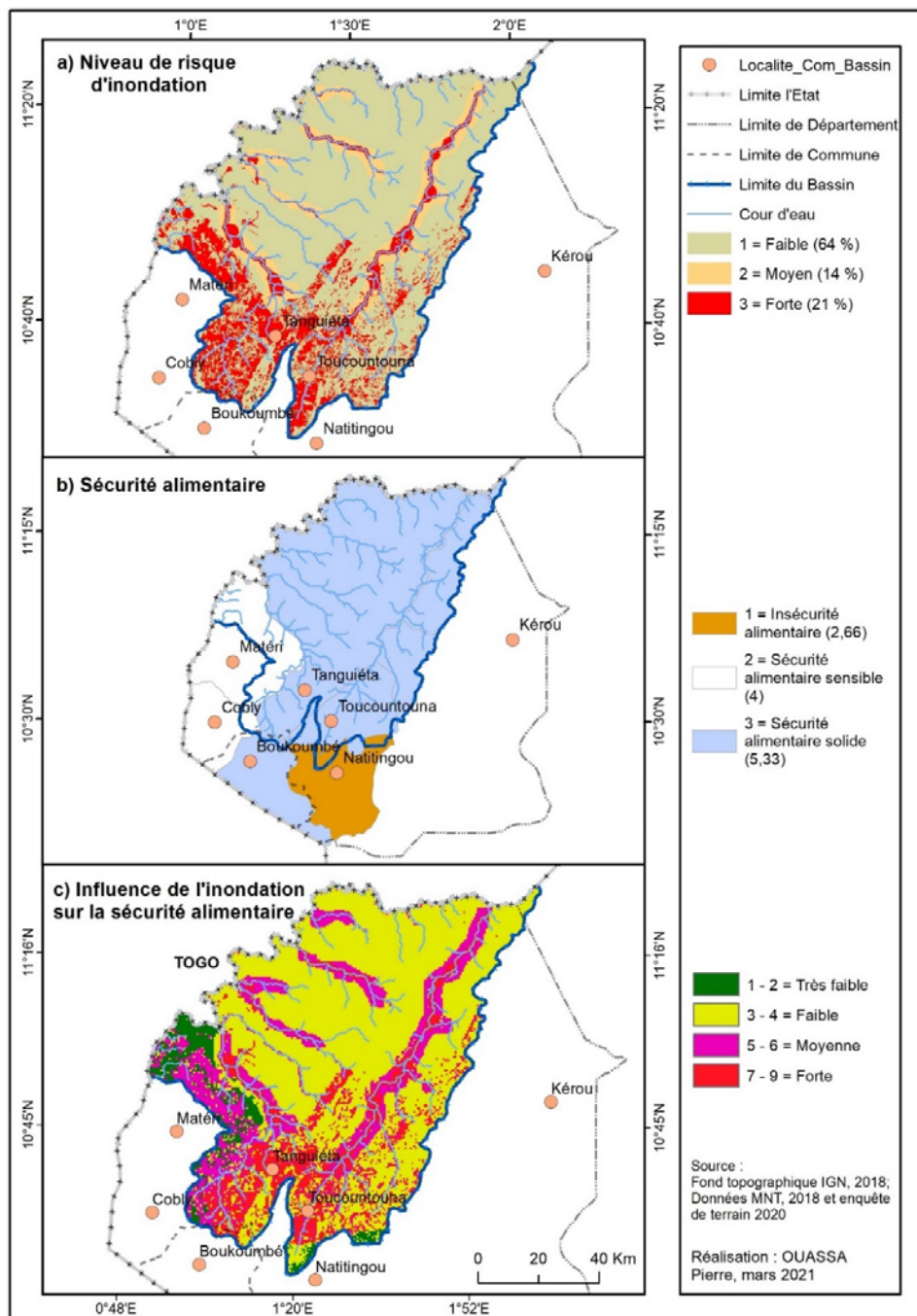


Figure 6 : a) Niveau du risque d'inondation, b) état de la sécurité alimentaire : influence du risque d'inondation sur l'état de la sécurité alimentaire (c)

La figure 6 montre le croisement de la carte du niveau du risque d'inondation à celle de l'état de la sécurité alimentaire. Ce croisement a permis d'obtenir la carte de l'influence du risque d'inondation sur la sécurité alimentaire avec quatre niveaux d'influence qui varient du très faible au fort. Ainsi, il ressort que l'influence du risque d'inondation sur la sécurité alimentaire est forte (indice allant de 7 à 9) et moyenne (indice allant de 5 à 6) au niveau des zones à risque d'inondation forte. Elles sont situées dans les plaines le long des cours d'eau et au pied des montagnes. Les zones à risque d'inondation sont celles situées dans les secteurs de faible perméabilité et à pente nulle ou faible (Manta, Tabota, Cobly, Taïacou, Matéri, Dassari, Porga, Tampègré, Cocota etc.), en contrebas des reliefs, (Cotiakou, Pèporiyakou, etc) où le réseau de drainage est dense (infiltration faible, concentration rapide des eaux) et où il y a concentration des activités agricoles. Les zones de faibles influences de l'inondation sur l'état de la sécurité alimentaire correspondent aux zones de faibles risques d'inondation. Il s'agit notamment des zones occupées par le Parc National de la Pendjari où la végétation est dense et la zone correspondant à la chaîne de l'Atacora avec un indice variant de 1 à 4.

**2.2.2. Influence du risque de sécheresse sur l'état de la sécurité alimentaire**

L'analyse de l'influence du risque de sécheresse sur l'état de la sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à Porga est présentée par la figure 7.

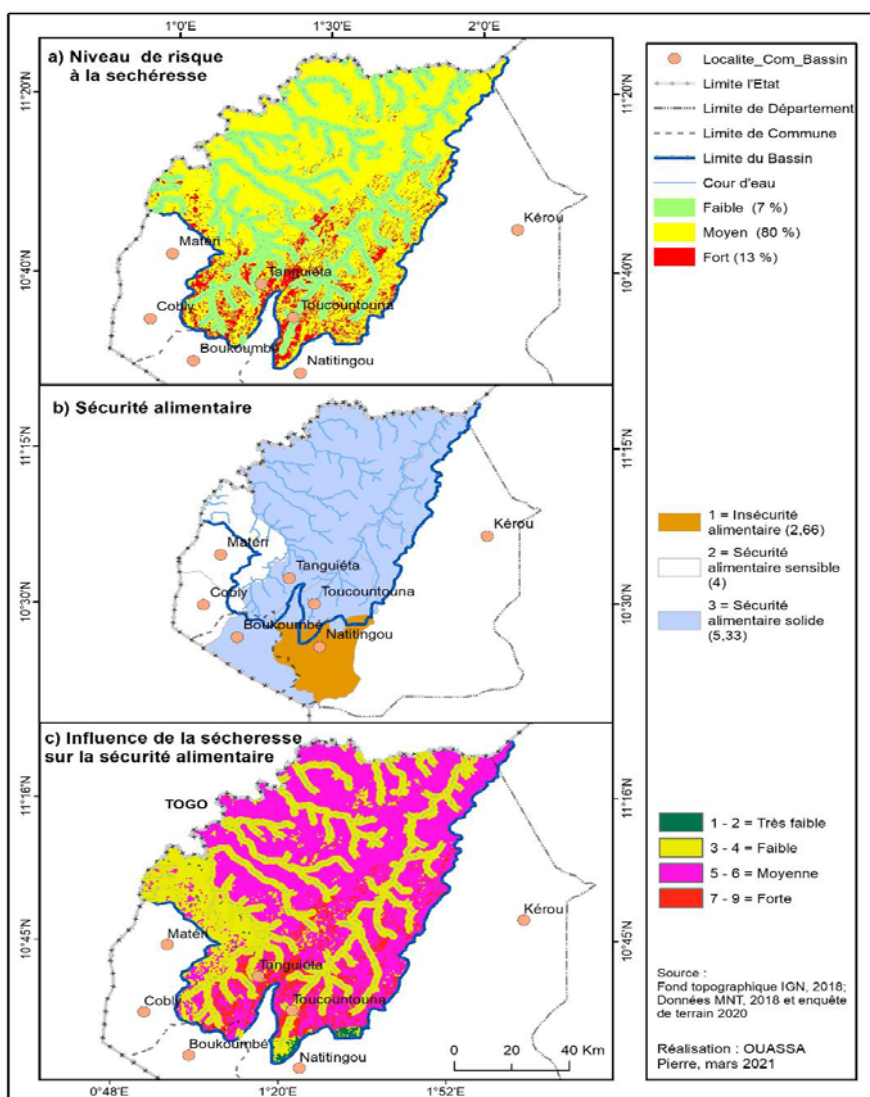


Figure 7 : a) Niveau du risque de sécheresse, b) état de la sécurité alimentaire : influence du risque de sécheresse sur l'état de la sécurité alimentaire (c)

La figure 7 montre le croisement de la carte du niveau du risque de sécheresse et celle de l'état de la sécurité alimentaire. Ce croisement a permis d'obtenir la carte de l'influence du risque de sécheresse sur la sécurité alimentaire avec quatre niveaux d'influence qui varient du très faible au fort. De l'analyse de cette figure 48, il ressort que l'influence du risque de sécheresse est forte (indice variant entre 7 et 9) essentiellement dans les zones à forte concentration humaine et où les activités sont développées. Les zones humides et les zones de végétation dense sont les zones où le risque de sécheresse influence faiblement et moyennement l'état de la sécurité alimentaire avec un indice allant de 1 à 6.

### III. DISCUSSION

Ce travail a eu le mérite d'utiliser les possibilités qu'offrent les Systèmes d'Information Géographique pour cartographier et quantifier les zones à risques d'inondation et de sécheresse.

D'après les résultats obtenus, 21 % de la superficie du bassin béninois de la Pendjari est potentiellement inondable. En 2016 le Rapport thématique sur l'Evaluation des besoins de renforcement des capacités pour la gestion intégrée des inondations dans le bassin versant de la Volta [1] a obtenu une superficie de 32 % des zones à fort risque d'inondation dans la partie béninoise dudit bassin et sont situées au nord-ouest du sous bassin notamment sur les formations sédimentaires ayant une densité de drainage élevée. [10] utilise également les SIG pour cartographier le risque d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou. Les résultats obtenus montrent que les zones à fort risque (20 %) sont situées tout comme ceux de la présente étude, dans les secteurs à pente moyenne ou faible, avec un couvert végétal plus ou moins dense. [6], montre l'importance des SIG pour la gestion des inondations à Cotonou, en affirmant qu'un Système d'Information Géographique permet de repérer chaque îlot avec son niveau de risque. Des techniques de délimitation automatique de bassins et sous-bassins avec fixation de seuil de surfaces élémentaires amont drainées sont utilisées. Au Cameroun, [18], utilise les SIG pour cartographier les zones à risque d'inondation et montre que, 9,23 km<sup>2</sup> soit 26 % de la superficie du bassin versant du Mfoundi est potentiellement inondable d'après les modélisations du relief et de l'hydrographie. En Côte d'Ivoire, [9], utilisent le MNT pour évaluer les risques d'inondations dans la commune de Cocody. Ils obtiennent une surface très inondable de 232 ha et procèdent à la quantification des enjeux menacés. Toujours en Côte d'Ivoire [12] montrent l'importance des MNT et de l'imagerie satellitaire dans la cartographie des zones à risques d'inondation dans la région montagneuse de Man.

La spatialisation du risque de sécheresse a également fait objet de cette étude. Les résultats obtenus à cet effet révèlent que 13 % de la superficie du bassin sont sujettes au risque de sécheresse fort. Ces zones à fort risque se retrouvent principalement au niveau des territoires exploités avec une forte concentration de la population. Bien que plusieurs études aient abordé la question de la sécheresse, aucune n'a opté pour sa spatialisation. Dans cette étude, la spatialisation de la sécheresse a permis de caractériser l'étendue de la sécheresse au niveau des communes du bassin béninois de la Pendjari. Dans ce sens [10], après avoir cartographié le risque de sécheresse dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou, conclut que les stratégies d'adaptation à la sécheresse peuvent compenser le déficit alimentaire. Pour lui, la sécheresse pourrait donc avoir des conséquences sévères sur la sécurité alimentaire. De même, la présence de sécheresse dans le milieu rural qui produit les cultures pour les villes peut significativement changer l'accès de ces populations citadines à la nourriture. Au Maroc, [11] procèdent également à la cartographie de la sécheresse dans les hauts plateaux de l'oriental. Ils obtiennent les résultats similaires que ceux de la présente étude et indiquent que la spatialisation des indices de sécheresse a permis de caractériser l'étendue de la sécheresse au niveau des communes territoriales de la zone d'étude. En outre, selon ces auteurs, elle est considérée comme un outil d'aide à la décision en matière de distribution d'orge subventionné par l'Etat lors des périodes de sécheresse.

Une analyse de l'état de la sécurité alimentaire a permis de distinguer trois classes : insécurité alimentaire, sécurité alimentaire sensible et sécurité alimentaire solide. Ainsi, il ressort que les Communes de Boukombé, de Tanguiéta et de Toucountouna présentent une sécurité alimentaire solide. Les Communes de Cobly et de Matéri, présentent quant à elles, une sécurité alimentaire sensible. Seule la Commune de Natitingou est en insécurité alimentaire. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par [8] dans les communes de Glazoué et de Dassa-Zoumè, où il a été identifié l'insécurité alimentaire modérée et l'insécurité alimentaire grave. Les résultats obtenus par [2] dans le département de l'atlantique se rapprochent également de ceux obtenus dans la présente étude, où trois niveaux de sécurité alimentaire prévalent. Il s'agit de la vulnérabilité alimentaire faible, vulnérabilité alimentaire moyenne et la vulnérabilité forte.



Le croisement entre les cartes des risques d'inondation et de sécheresse et celle de l'état de la sécurité alimentaire a permis d'obtenir la carte de l'influence de chaque risque sur la sécurité alimentaire avec quatre niveaux d'influence qui varient du très faible au fort. Ainsi, il ressort que l'influence du risque d'inondation sur la sécurité alimentaire est forte (indice allant de 7 à 9) et moyenne (indice allant de 5 à 6) au niveau des zones à risque d'inondation forte. L'influence du risque de sécheresse quant à elle, est forte (indice variant entre 7 et 9) essentiellement dans les zones à forte concentration humaine et où les activités sont développées. Les zones de faible influence de l'inondation sur l'état de la sécurité alimentaire correspondent aux zones de faibles risques d'inondation, alors que, les zones humides et les zones de végétation dense sont les zones où le risque de sécheresse influence faiblement et moyennement l'état de la sécurité alimentaire. [4] obtient des résultats similaires dans le bassin Amazonien en observant une diminution des notes de la sécurité alimentaire lorsque surviennent des événements extrêmes qui perturbent les systèmes agricoles et alimentaires des habitants de la zone d'étude.

#### IV. CONCLUSION

La présente recherche sur la cartographie des zones d'influence des événements hydroclimatiques extrêmes sur l'état de la sécurité alimentaire dans le bassin beninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga, a été réalisée en combinant les données satellitaires, d'un MNT et de l'état de la sécurité alimentaire du secteur d'étude. De ce fait, les résultats obtenus, montrent que 21 % de la superficie du bassin béninois de la Pendjari est potentiellement inondable. Par ailleurs, il ressort que 13 % de la superficie du bassin est sujet au risque de sécheresse fort. Le croisement entre les cartes des risques d'inondation et de sécheresse et celle de l'état de la sécurité alimentaire a permis d'obtenir la carte de l'influence de chaque risque sur la sécurité alimentaire avec quatre niveaux d'influence qui varient du très faible au fort. Ainsi, il ressort que l'influence du risque d'inondation sur la sécurité alimentaire est forte au niveau des zones à risque d'inondation forte. Quant à l'influence du risque de sécheresse, elle est forte essentiellement dans les zones à forte concentration humaine et où les activités sont développées. Les populations, pour réduire les effets néfastes des risques hydroclimatiques sur le système agroalimentaire, doivent s'adapter en utilisant les modèles de simulation et de prédiction des rendements.

#### RÉFÉRENCES

- [1] ABV-OMM-GWP Initiative Volta GIC, 2016, Rapport thématique sur l'Evaluation des besoins de renforcement des capacités pour la gestion intégrée des inondations dans le bassin versant de la Volta. ABV-OMM-GWP. Initiative Volta GIC/RT.1/2016
- [2] AHOMADIKPOHOU Louis Dèdègbè, 2015, Production agricole et sécurité alimentaire dans le département de l'Atlantique au sud du Bénin : diagnostic et perspectives. Thèse de Doctorat, FLASH/EDP/GEN/ESD/UAC, 225p.
- [3] DIMON Rodrigue, 2008, Adaptation aux Changements Climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara, au Nord du Bénin. Département D'économie, de Socio-Anthropologie et de Communication (DESAC). Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 209p.
- [4] DOYEN Marie Flore, 2016, Evaluation de l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire dans un bassin d'inondation amazonien. Mémoire d'Ingénieur, DOI: 10.13140/RG.2.2.15140.07044, 126p.
- [5] FAO, 2014, Base de données FAO/INFOODS sur la composition des aliments pour la biodiversité – Version 2.1 – BioFoodComp2.1. FAO, Rome.
- [6] GBAGUIDI Thomas Brice, 2011, Système d'informations et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou. Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2ie, 108 p.
- [7] HAJJI Hicham, ASTE Jean Pierre, BADJI Nouridine, HACID Samira, 2002, Nouvelles perspectives pour la gestion du sol, du sous-sol et des risques en site urbain. JNGG 2002, 8 et 9 Octobre 2002, Nancy, 14p.
- [8] KADJEBIN T. Roméo Ghyslain, 2014, Production agricole et sécurité alimentaire dans les communes de Dassa-Zoumè et de Glazoué au Bénin. Thèse de Doctorat, FLASH/EDP/GEN/ESD/UAC, 329p
- [9] KANGAH Armand et ALLA DELLA André, 2015, Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG) : Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeriaie (commune de Cocody, Côte d'ivoire). Geo-Eco-Trop., 2015, 39, 2 : 297-308

- [10] KOUDAMILORO Olivier, 2017, Vulnérabilité aux risques hydroclimatiques et stratégies d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou (Benin). Thèse de Doctorat unique de géographie. Université Ouaga 1 PR Joseph Ki-Zerbo, 274p.
- [11] MELHAOUI Mohammed, MEZRHAB Ahmed , MIMOUNI Jamel. 2018, Evaluation et cartographie de la sécheresse météorologique dans les hauts plateaux de l'oriental du maroc (ZONE DU PROJET PDPEO)/. Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 12, N°1, p : 71 -92. DOI :<https://laboratoire.ump.ma/uploadedResume/FLSHO/I2prZTcjueX5Y2pRAIz46fs0HIWJ4SPMfCDWEZdM.pdf>
- [12] N'GUESSAN BI Vami Herman, SALEY Bachir, WADE Soulèye, DJAGOUE Eric Valère, KOUAME Fernand, AFFIAN Kouadio, 2014, Cartographie du risque d'inondation par une approche couplée de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques (SIG) dans le département de Sinfra (centre-ouest de la Cote d'Ivoire), European Scientific Journal, édition vol.10, No.2 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN pp 1857- 7431
- [13] OCCELLI Florent, 2014, Systèmes d'Information Géographique et Lien Environnement-Santé (SIGLES) : Contribution au développement d'outils cartographiques d'aide à la décision face aux risques sanitaires liés à l'environnement. Thèse de doctorat, Université Droit et Santé de Lille 2. 268p.
- Oxfam, 2014, Place à l'action. Propositions d'Oxfam pour le cadre post-2015, 48p. DOI : <https://www.inter-reseaux.org/ressource/rapport-place-a-laction-propositions-doxfam-pour-le-cadre-post-2015>
- [14] OSS (Observatoire du Sahara et du ahel), 2017, Cartographie de la vulnérabilité des écosystèmes et des populations aux changements climatiques en Afrique de l'ouest: approche opérationnelle pour l'élaboration des cartes de vulnérabilités. 19p.
- [15] PAM, 2014, Enquête de mise à jour des indicateurs de la sécurité alimentaire au Mali. Rome : PAM Editions, 49p.
- [16] ZIDOUEMBA Patrice R, 2014, Sécurité alimentaire, productivité agricole et investissements publics au Burkina Faso: une analyse à l'aide d'un modèle d'Équilibre Général Calculable dynamique et stochastique. Thèse de doctorat, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier. 280p.
- [17] ZINZINDOHOUE Edmond, 2012, Etat des lieux de la sécurité alimentaire dans le département de l'Atacora (au Nord-Ouest du Bénin) et analyse des politiques publiques. Master of Advanced Studies en Action Humanitaire, Université de Genève, 50p.
- [18] ZOGNING MOFFO Maurice Olivier, 2017, Contribution des systèmes d'information géographique pour la cartographie des zones à risques d'inondation a Yaoundé : application au bassin versant du Mfoundi. Mémoire de Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes. Université de Liège, 71p. DOI : <https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/3209/4/TFEGRC%20ZOGNING%20MOFFO%20Maurice%20Olivier.pdf>