

# LES FACTEURS D'INONDATIONS DANS LE SOUS-BASSIN VERSANT GRAND-BALE A PÂ AU BURKINA FASO

ILBOUDO Dieudonné <sup>1,2</sup>, AHOUANSOU Djidjoo Mathieu Maurice <sup>1</sup>, IDANI Talaridia Fulgence <sup>2</sup> SINTONDI Luc Ollivier <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université d'Abomey-Calavi. Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME), Institut National de l'Eau. 01 BP 526 Cotonou, Bénin

<sup>2</sup> Université Norbert ZONGO. Laboratoire de recherche en Sciences Humaines (LABOSH), Burkina Faso

Auteur correspondant : E-mail : ilboudodieu23@gmail.com

## RÉSUMÉ

Le sujet des inondations au Burkina Faso est d'une nature multidimensionnelle. Elle résulte d'un mélange de facteurs naturels et anthropiques, dans un cadre de vulnérabilité socio-environnementale accrue. L'objectif de cette étude est d'analyser l'influence combinée des facteurs climatiques et anthropiques dans la survenue des inondations dans le sous-bassin versant de Grand-Balé.

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude est basée sur une revue de littérature, des traitements de données climatiques, analyse diachronique et des enquêtes terrain. Les données climatiques ont été traitées avec Krhonestat 1.01. Les images satellites Landsat 7 de 2001 et Landsat 8 de 2022 ont servi pour l'analyse diachronique. L'enquête terrain a été réalisée auprès de 360 ménages.

Les résultats montrent que les causes des inondations dans le sous-bassin versant Grande-Balé est d'origine naturelle et anthropique. Les facteurs anthropiques se sont accentués, réduisant ainsi la superficie des formations végétales de 97 % en 2001 à 36 % en 2022 en faveur des zones de cultures et des habitations. Alors l'insuffisance d'une couverture végétale favorise l'écoulement des eaux pluviales en surface d'où le phénomène d'inondation. Pour 60 % des enquêtés, les mois d'août et de septembre sont les mois où les inondations sont les plus observées.

**Mots clés** : inondation, changement climatique, anthropisation, Pâ, Burkina Faso.

## ABSTRAT

### FLOODING FACTORS IN THE GRAND-BALE A PÂ SUB-CATCHMENT IN BURKINA FASO

Flooding in Burkina Faso is a multidimensional issue. It results from a mixture of natural and anthropogenic factors, in a context of increased socio-environmental vulnerability. The aim of this study is to analyse the combined influence of climatic and anthropogenic factors in the occurrence of floods in the Grand-Balé sub-catchment.

The methodological approach adopted in this study is based on a literature review, climate data processing, diachronic analysis and field surveys. Climatic data were processed

with Krhonostat 1.01. Landsat 7 satellite images from 2001 and Landsat 8 from 2022 were used for the diachronic analysis. The field survey was carried out in 360 households.

The results show that the causes of flooding in the Grande-Balé sub-catchment are both natural and man-made. Anthropogenic factors have increased, reducing the surface area of vegetation from 97% in 2001 to 36% in 2022 in favour of cultivated areas and housing. The lack of vegetation cover encourages rainwater to run off the surface, leading to flooding. For 60% of respondents, August and September are the months when flooding occurs most frequently.

**Key words:** flood, climate change, anthropisation, Pâ, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

Pendant longtemps, l'homme et tous ses biens ainsi que son environnement sont sous les menaces des phénomènes extrêmes hydroclimatiques. Ces phénomènes naturels catastrophiques tels que les sécheresses, les inondations et les tempêtes sont accentués par les changements et les variabilités climatiques (E. E. Ago et al., 2005, p.2 ; J. C. Bertoni, 2006, p.127 ; M. A. Ould Sidi Cheikh et al., 2007, p. 26 ; I. Demers, 2021, p.6). En effet, le changement climatique intervient dans plusieurs secteurs et affectent les gens de diverses manières. L'Afrique et particulièrement le Burkina Faso fait partie des zones les plus vulnérables aux effets des changements climatiques (Ministère de l'Environnement et du cadre de vie du Burkina Faso, 2007, p.1 ; Q. Lejeune et F. Saeed, 2019, p. 1). En Afrique, la grande majorité des catastrophes sont d'origine hydrométéorologique, marqué primordialement par les sécheresses et secondairement par les inondations qui se manifeste de façons fréquentes dans beaucoup de zones urbaines et sur le long des principaux réseaux fluviaux. Les événements météorologiques et hydrologiques rendent le Bassin de la Volta dans lequel se trouve le sous-bassin versant Grand-Balé très vulnérable suite à sa situation géographique. C'est un bassin qui s'étend de zones semi-arides à subhumides et couvrant ainsi une superficie de 400 000 km<sup>2</sup> environ (Bassin de la volta, 2022, p.6).

Selon l'autorité du bassin de la volta (2022, p.18, 24 et 53), l'accélération de l'écoulement d'eau occasionnée par les effets climatiques et la dégradation du milieu physique rend la recharge des aquifères défavorable et cela augmente les risques d'inondation. Ces facteurs augmentent la vulnérabilité des écosystèmes et des humains, en particulier les couches sociales les plus vulnérables, car l'intensification des pluies conduit à des inondations plus graves. La durée de la précipitation seul n'est toujours pas la cause d'une inondation importante, mais surtout liée à son intensité (D. Provitolo, 2001, p. 4). L'inondation peut être causée par la précipitation d'une pluie de longue durée comme celle du déluge des eaux (B. Thompson, 1986, p. 20) ou de courte durée telle que la pluie du 31 mai 1889 à Johnstown qui n'a duré que 10 minutes, mais celle-ci a été très catastrophique (R. A. Koestler-Grack, 2008, p.57, 61 et 91). Selon le CNEDD du Niger (2022, p.62), plusieurs facteurs sont à l'origine de l'aggravation des risques d'inondation tels que l'occupation anarchique et la dégradation des bassins versants due aux activités humaines en milieu rural, et les insuffisances d'assainissement surtout dans le milieu urbain. Il en est de même sur l'insuffisance de la rigueur à l'interdiction d'occupation anarchique des zones inondables. L'ampleur de l'inondation est relative à l'intensité et de la durée des précipitations ; la forme de la surface et de la pente du bassin-versant ; la couverture végétale et de la capacité d'absorption du sol, elle-même liée à l'état de saturation par les pluies antérieures ; ainsi que la présence d'obstacles à

la circulation des eaux, selon le risque naturel du coté environnement physique naturel (T.B. Danvidé, 2015, p.30).

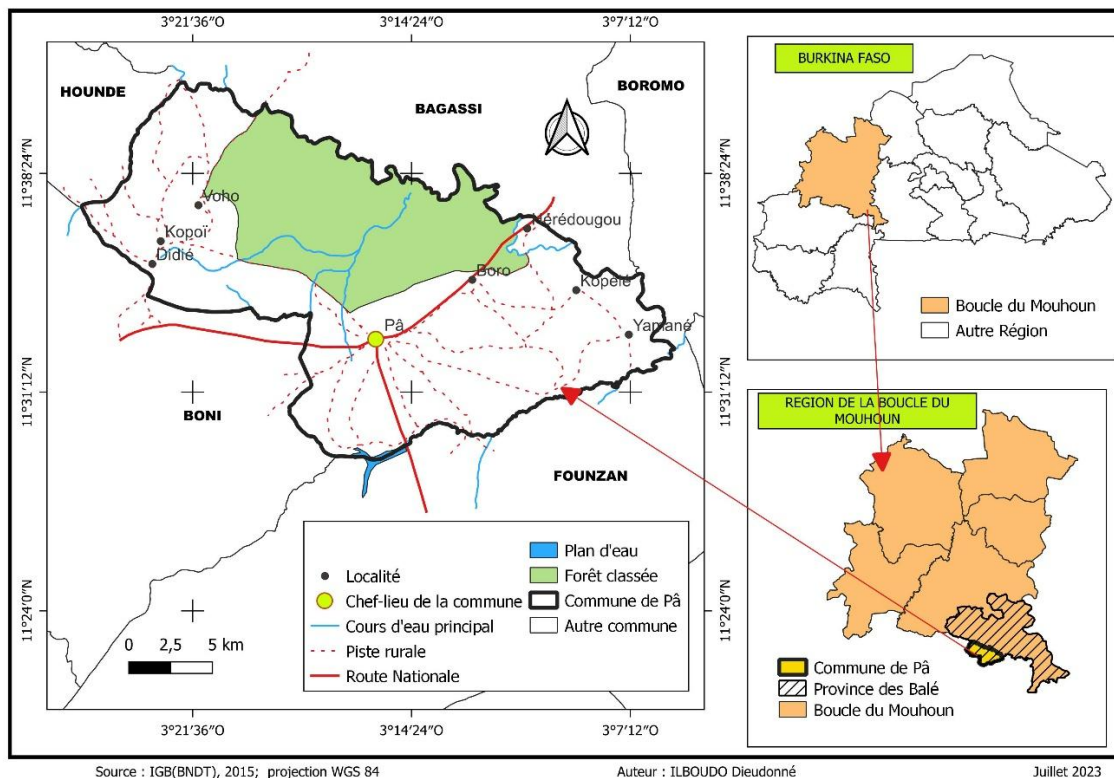
Le Burkina Faso n'est pas en marge lorsqu'on parle des phénomènes d'inondations (Guelbeogo & Ouédraogo, 2022, p. 60). Les inondations sont une catastrophe naturelle récurrente et un risque majeur dans de nombreuses régions du pays et particulièrement dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ, causant des dommages importants aux biens et aux personnes surtout c'est dernières années. Une bonne gestion des inondations du sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ nécessite de prendre en compte la perception de la population locale, car elles sont les premières affectées et peuvent jouer un rôle crucial dans la prévention et la résilience. La compréhension de la perception des facteurs d'inondation dans ce sous-bassin versant permet d'élaborer des stratégies de gestion du risque d'inondation plus adaptées, acceptables et efficaces, qui tiennent compte des spécificités du sous-bassin et des besoins des communautés. De ce fait, le problème de recherche est lié à la compréhension des causes complexes des inondations dans un contexte de changement et de variabilité climatique dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ. Les inondations sont devenues très récurrentes ces dernières années dans ce sous-bassin versant. Pourquoi il y a inondation presque chaque année ? Quelle est la perception des facteurs d'inondation ? L'objectif est de comprendre la perception des différents facteurs d'inondations dans le sous-bassin Grand-Balé. L'hypothèse suggère que cette perception des facteurs d'inondation influence les comportements et l'acceptation des mesures de prévention et de gestion du risque d'inondation. Alors, comment les dynamiques climatiques et les transformations humaines de l'environnement interagissent-elles pour générer et aggraver les phénomènes d'inondation dans les sous-bassins versants au Burkina Faso ?

## 1. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

### 1.1.Présentation de la commune de Pâ

La commune rurale de Pâ est située dans la province des Balé, région de la Boucle du Mouhoun au Burkina Faso. Elle est comprise entre les parallèles 11°25 et 11°45 de latitude nord et les méridiens 3°5'30 et 3°25'30 de longitude ouest avec une superficie de 412 km<sup>2</sup>. Elle est limitée par les Communes rurales de Bagassi au Nord, Founzan au Sud, Boromo à l'Est et Houndé et de Boni à l'Ouest. La commune de Pâ compte 08 villages à savoir Boro, Didié, Hérédougou, Kopoi, Kopélé, Pâ, Voho et Yamané avec le village de Pâ comme chef-lieu de ladite commune. Le chef-lieu de commune de Pâ, est distant de 155 km de Dédougou, chef-lieu de région et de 45 km de Boromo, chef-lieu de province. Il est situé sur la route nationale n°1 (RN1) (la principale voie d'accès) à 230 km de Ouagadougou, la capitale politique et administrative du Burkina Faso, et à 130 km de Bobo Dioulasso, la capitale économique. La commune est aussi traversée par la route nationale n°12 (RN 12). La figure 1 montre la situation géographique de la commune de Pâ.

**Figure 1** : Situation géographique de la commune de Pâ



La situation géographique de la commune de Pâ lui permet de bénéficier d'un ensemble qui jouit d'un climat tropical de type soudano sahélien. La commune est caractérisée par deux types de saisons : une saison sèche et une saison pluvieuse. En effet, elle est composée d'une longue saison sèche allant du mois de novembre à mai, dominée par l'harmatan et une courte saison pluvieuse allant du mois de juin à Octobre, marquée par l'influence de la mousson. Les manifestations pluviométriques sont plus intenses dans les mois de juillet à septembre. Sur la base des données pluviométriques de la station de Boromo la valeur pluviométrique moyenne annuelle est de 1023mm/an et le nombre de jours moyen de pluie est de 93 pour la période de 1983 à 2022. Ce qui constitue un facteur favorable pour les activités agro-sylvo-pastorales, véritable atout pour la promotion de l'économie locale de la commune. Le milieu physique de la commune de Pâ montre que le relief est situé dans une immense pénéplaine, caractérisée par la présence de chaînes de collines issues du complexe volcano-sédimentaire birrimien dans la partie Nord, et de bas-fonds. À l'Ouest, le relief est marqué par des escarpements et des thalys avec des chaînes de collines qui drainent les eaux vers la mare « Yaho ». La compréhension du relief, permet de cartographier les zones susceptibles d'être inondées lors d'événements pluvieux ou de crues dans la commune de Pâ.

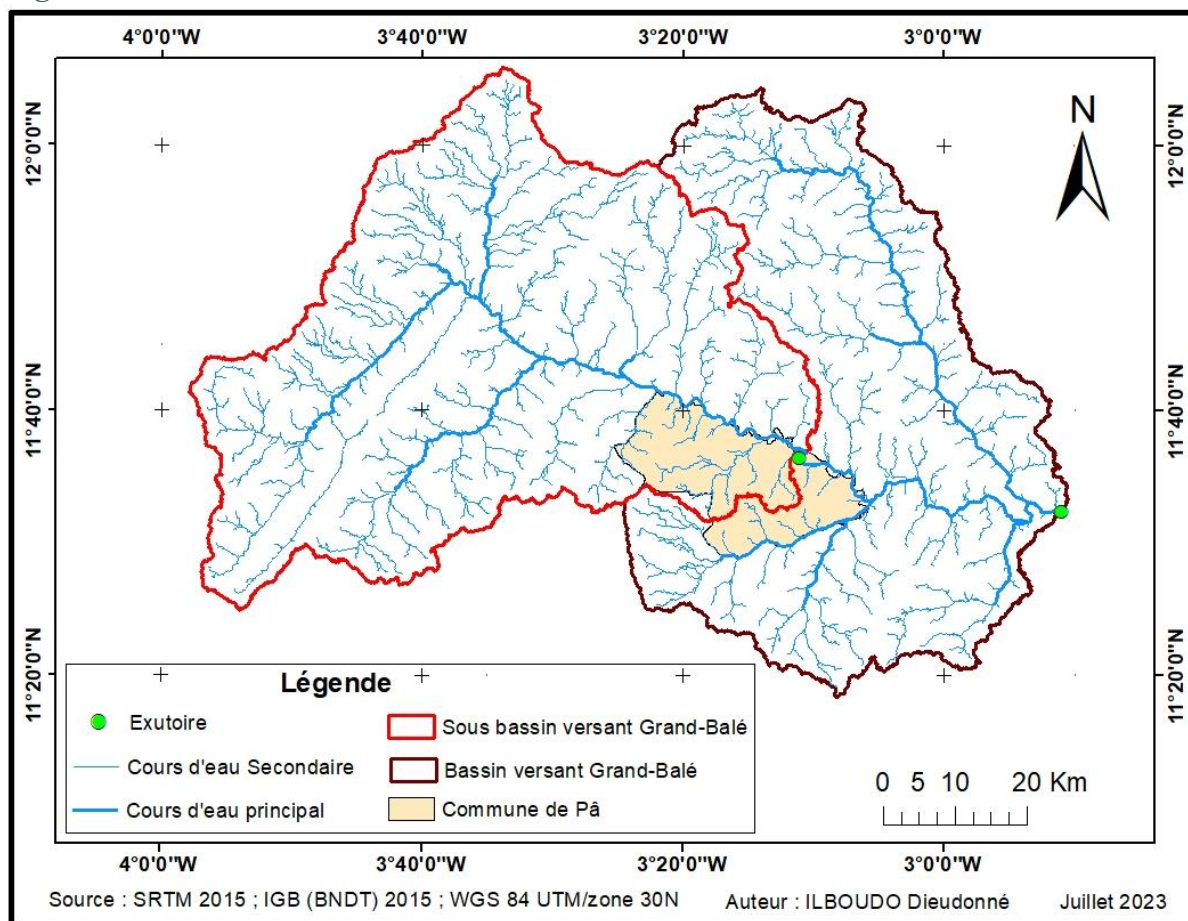
Les espèces végétales que l'on rencontre sont celles de la savane arborée et arbustive, dominée par des espèces ligneuses et des graminées annuelles. En raison de l'ancienneté d'occupation des sols et la densité de la population, le paysage végétal est depuis longtemps largement anthropisé ; c'est la « savane parc » qui se caractérise par une sélection des espèces arborées (seules subsistent celles qui présentent un intérêt particulier pour l'homme), une réduction du tapis herbeux par la mise en culture des sols et le développement des plaques d'érosion. Ce qui est défavorable à l'infiltration des eaux des pluies, contribuant ainsi à l'accélération du ruissellement des eaux de pluie vers l'exutoire, source d'inondation qui se manifeste souvent par des crues éclair dans la commune de Pâ.

La commune de Pâ a enregistré respectivement selon les résultats des différents Recensement Général de la Population par Habitat (RGPH) de 1985, 1996, 2006 et 2019 ; 11829 habitants dont 5664 hommes et 6165 femmes, 12750 habitants avec 5997 hommes et 6753 femmes, 19755 habitants composé de 9506 hommes et 10249 femmes, et 27011 habitants dont 13959 femmes (soit 51,68% de femmes) et 13052 hommes. Avec cette population croissante, la maîtrise des activités anthropiques devient très capitale pour une meilleure gestion des inondations dans cette commune.

## 1.2. Bassin versant et le réseau hydrographique

L'étude du bassin versant est essentielle dans la gestion des inondations, car elle permet de comprendre les caractéristiques hydrologiques et géographiques de la zone de drainage où l'eau s'écoule vers l'exutoire. Cela est crucial pour comprendre comment les précipitations sont redistribuées dans le bassin et comment le ruissellement peut contribuer aux inondations. La figure 2 présente le Bassin versant de Grand-Balé et le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ.

**Figure 2 :** Bassin versant de Grand-Balé et le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ



L'analyse de la figure 2 ci-dessous montre que le bassin versant Grand-Balé regorge d'un immense réseau hydrographique dans son ensemble. La position stratégique de la commune de Pâ dans ce bassin l'expose à la majorité des eaux drainées dans ce bassin versant. Cette exposition occasionne des phénomènes hydro-climatiques extrêmes (inondations) impactant de façon directe ou indirecte dans la commune de Pâ. Pourtant, il ressort que le sous-

bassin versant de Grand-Balé à Pâ a une topographie modérément accidentée avec une altitude minimale d'environ 253m et d'altitude maximale d'environ 561m. Elle regorge une grande densité du réseau hydrographique  $6\text{km}/\text{km}^2$  et une taille relativement grande environ  $3510\text{ km}^2$  (DCRP / MEEEA, 2022, p. 4). Cela favorise l'inondation dans la commune.

### **1.3. Données utilisées**

La recherche documentaire et les investigations en milieu réel ont été les principales étapes de la collecte des données. Dans le cadre de la réalisation de cette étude, les données collectées sont à la fois qualitatives et quantitatives. Elles permettent de comprendre les causes des inondations dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ. Il s'agit des :

- données climatiques qui prennent en compte les hauteurs de pluies journalières et mensuelles, le nombre de jours de pluie, l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) obtenues à l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) sur la période 1983-2022 du sous-bassin Grand-Balé à Pâ.
- données et informations sur les unités d'occupations des terres (images satellites Landsat 7 de 2001 et Landsat 8 de 2022 et MNT, 2015,) collectées à l'Observatoire National pour le Développement Durable (ONDD) de la commune de Pâ ;
- données socioéconomiques et environnementales liées à la question des inondations de la commune fournies par la Conseil National du Secours d'Urgence et de la Réhabilitation (CONASUR) ; la Croix-Rouge Burkinabè, la documentation et la Mairie de Pâ
- données démographiques, issues des résultats des recensements de 1985, 1996, 2006 et 2019 de la commune de Pâ obtenues à l'Institut National de la statistique et de la Démographie (INSD).
- données d'enquête collecté auprès des population de la zone d'étude

### **1.4. Méthodes d'analyse des données**

#### ***1.4.1. Traitement des données***

Les données collectées ont été dépouillées de façon manuelle. Les fiches d'enquête ont été comptées et vérifiées. Les informations issues du dépouillement ont été ajoutées à celles recueillies auprès des institutions et structures pour constituer la base de données qualitatives et quantitatives. Les données acquises du dépouillement ont été traitées à partir de plusieurs logiciels et tabulaires. Le tableur Excel 2016 et la dernière version du programme SPI (SPI\_SL\_6) de même que le logiciel KhronoStat ont été utilisés pour l'exploitation des données pluviométriques et la réalisation de graphiques. Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux de fréquences simples. Ils ont permis de déterminer les années sèche et les années humides tout au long de la série. Cela a permis non seulement de classer les années, mais de comprendre le comportement des pluies et de procéder à une bonne analyse des causes des inondations. La réalisation cartographique a été faite grâce au logiciel ARCGIS.

#### ***1.4.2. Méthodes statistiques de description des paramètres***

Pour bien structurer et représenter l'information contenue dans les données statistiques, la statistique descriptive a été utilisée. Cela a permis de calculer la moyenne arithmétique ; l'écart type et des SPI (indice de précipitation standardisé) du sous-bassin Grand-Balé à Pâ. En effet, la moyenne arithmétique est utilisée pour l'étude des régimes climatiques et hydrologiques sur une série de donnée respectivement de 1983-2022 et de 1983-2020 pour caractériser le climat et l'hydrologie. La formule (2) a été utilisée pour calculer la moyenne arithmétique :

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{N} \quad (2)$$

Avec :  $\bar{X}$  = la moyenne arithmétique ; N = l'effectif total des modalités ;  $X_i$  = modalités du caractère étudié.

L'écart type a permis de faire une étude sur la dispersion des valeurs pluviométriques et hydrologiques annuelles précipitées au niveau des stations ciblées dans la présente étude. Le cumul du nombre de jours de pluie ( $\sum X_i$ ), l'étalement des saisons et les séquences sèches et pluvieuses de la série de 1983-2022 ont été déterminées. Alors, une analyse des indices pluviométriques sur la série choisie et par station est déterminée à partir de la formule (3) :

$$\frac{X_i - X_{moy}}{\sigma} \quad (3)$$

Où  $X_i$  = la variable étudiée pour une année,  $X_{moy}$  = la pluviométrie moyenne et  $\sigma$  = l'écart type de la série.

Ensuite, le calcul des SPI (indice de précipitation standardisé) a permis la détermination et la bonne analyse des années humides grâce au tableau de valeurs de l'indice de précipitations.

Tableau I: valeurs de l'indice SPI

2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et mois	Extrêmement sec

Source : *Organisation météorologique mondiale (2012, p.5)*

La Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN, le Test de BUISSAND et ellipse de BOIS, la Méthode non paramétrique de PETTITT et la Segmentation de HUBERT sont utilisés dans cette étude pour rechercher la tendance et les ruptures dans les séries climatiques. Ils permettent de déterminer une éventuelle rupture dans la série chronologique à une date a priori inconnue (en cas de rupture, il permet de connaître l'année d'intervention de cette rupture). Ces différents tests de rupture permettent d'identifier les années charnières du changement climatique. Les tests de ruptures sont faits par l'approche non paramétrique. Cette approche est basée sur deux hypothèses à savoir  $H_0$  : absence de rupture dans la série ou série stationnaire contre  $H_a$  : présence de rupture dans la séquence ou série non stationnaire. L'application des tests de rupture dans cette étude est effectuée à l'aide du logiciel KhronoStat développé par l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD). La variation des précipitations moyennes mensuelles de 1983 à 2022 du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ a permis de comprendre le comportement mensuel des pluies de la série. En effet, le diagramme climatique de Franklin a été utilisé pour le classement des mois ou des périodes à savoir les périodes sèches ( $\text{Pluie} < \text{ETP}/2 < \text{ETP}$ ), pré-humides ( $\text{Pluie} > \text{ETP}/2 < \text{ETP}$ ), humides ( $\text{Pluie} > \text{ETP}/2 > \text{ETP}$ ) et post-humides ( $\text{Pluie} < \text{ETP} > \text{ETP}/2$ ) en fonction de l'ETP et de l'ETP/2.

Toutes ces formules ont été utilisées pour caractériser le rythme des excédents ou des déficits en eau dans la commune de Pâ.

### 1.4.3. Calcul d'échantillonnage

La formule (1) de Krejcie and Morgan, 1970 a été utilisée. Elle permet d'avoir un taux de sondage plus ou moins représentatif :

$$n = \frac{tp^2 \times P(1 - P) \times N}{tp^2 \times P(1 - P) + (N - 1) \times y^2} \quad (1) \text{ Avec :}$$

- n : taille de l'échantillon.
- N : taille de la population cible (nombre de ménages), réelle.
- P : proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle (50 %). Elle est fixée à 0,5 pour permettre d'avoir le plus grand échantillon possible.
- tp : intervalle de confiance d'échantillonnage est de 95 % (1,96).
- y : marge d'erreur d'échantillonnage que l'on se donne pour la grandeur que l'on veut estimer (0,05).

La commune de Pâ compte 27011 habitants avec 5512 ménages. En appliquant la formule on obtient :

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5(1 - 0,5) \times 5512}{1,96^2 \times 0,5(1 - 0,5) + (5512 - 1) \times 0,05^2} \approx 359,19 = 360 \text{ ménages}$$

L'objectif de ce calcul est d'obtenir une population échantillonnée pour les enquêtes de terrain. L'approche hypothético-déductive a été utilisée. De même, Un échantillonnage aléatoire simple a été fait. Au total 360 ménages ont été enquêtées lors des travaux de terrain.

## 2. RÉSULTATS

Les inondations sont naturellement causées par une accumulation excessive d'eau dans une zone donnée. Elles peuvent être soit d'origine naturelle soit d'origine anthropique. Selon les enquêtes effectuées sur le terrain, 70 % trouvent que la cause des inondations dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ est d'origine naturelle.

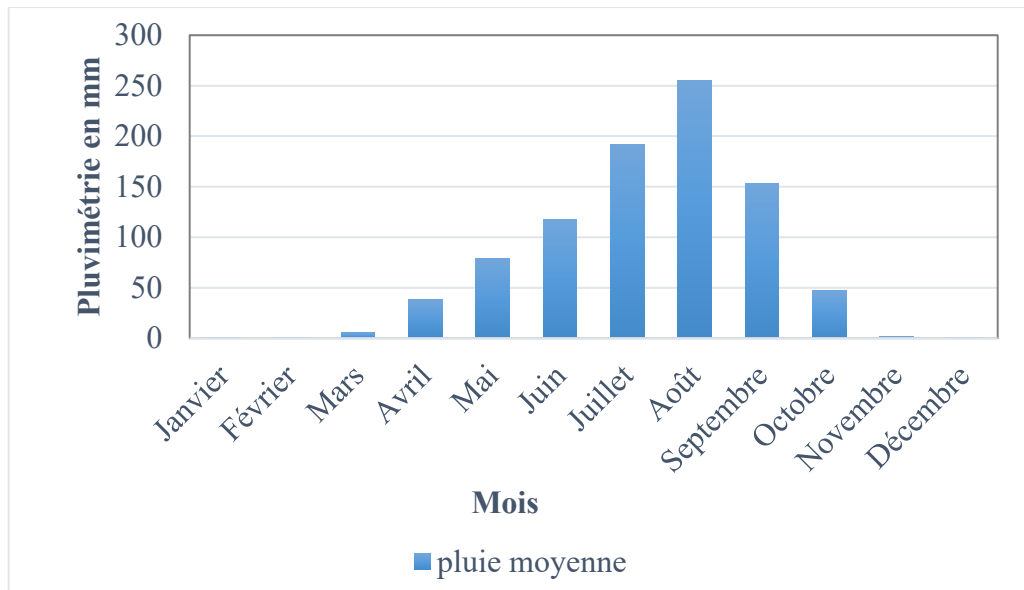
### 2.1. Facteurs climatiques

Les facteurs naturels des inondations dans une zone donnée sont principalement liés à des phénomènes naturels qui entraînent une quantité importante d'eau qui ne peut pas être correctement absorbée ou évacuée.

#### 2.1.1. Le régime pluviométrique de la zone d'étude

Des pluies intenses sur une courte durée peuvent entraîner une saturation des sols et une augmentation rapide du niveau des rivières, des ruisseaux, des lacs et des retenues d'eau de surface provoquant ainsi des inondations. La figure 3 présente la variation des pluies moyennes mensuelles de 1983 à 2022 du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ.

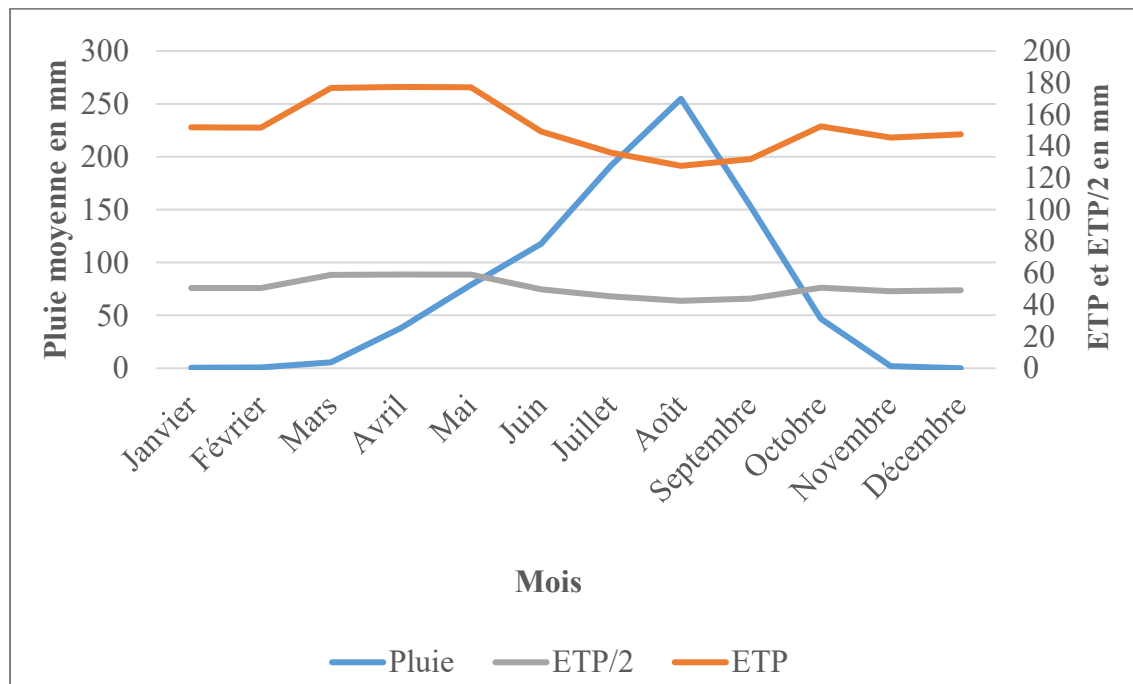
**Figure 3** : Variation de précipitations mensuelles moyennes de 1983 à 2022



Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la figure 3 montre que le régime pluviométrique dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ est de type unimodal avec un pic moyen mensuel de 254,02 mm en août. Le mois de décembre est le mois le moins arrosé avec une hauteur moyenne mensuelle de pluie de 0,04 mm. Le mois d'août est l'un des mois où les pluies diluviennes et des séquences de pluies sont observées dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ. En effet, il constitue le mois où les sols sont saturés et les inondations sont les plus observées dans le sous-bassin versant de Grand-Balé, selon 60 % des enquêtés.

Figure 4 : Classification des périodes pluviométrie selon le diagramme de Franklin de 1983-2022



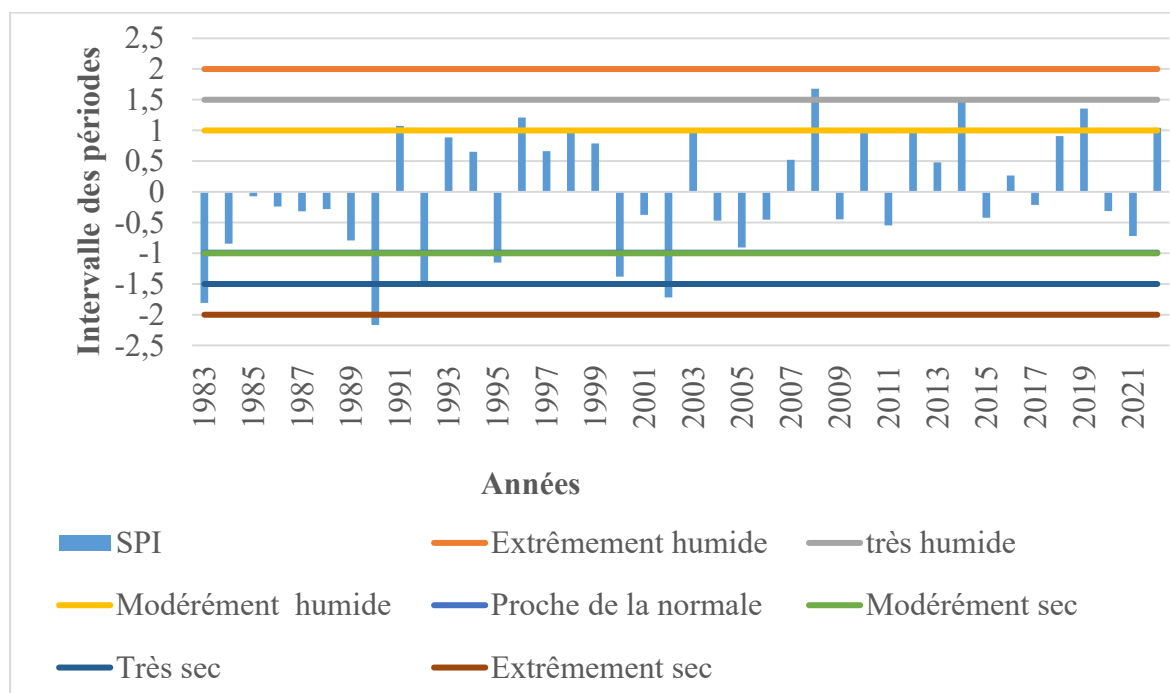
Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la figure 4 vient confirmer celle de la précédente (figure 3). Elle permet de comprendre qu'effectivement :

- les mois de janvier, février, mars, avril, mai, novembre et de décembre constituent la période sèche ;
- la période de la mi-juin à mi-juillet correspond à celle dite pré-humide ;
- les mois de juillet (à partir du milieu du mois), d'août et septembre constituent les mois ou la période humide.
- le mois d'octobre constitue la période post-humide.

Les investigations de terrain ont permis de montrer que les inondations dans la commune de Pâ sont généralement enregistrées pendant les mois de juillet, août et septembre. Mais le plus récurrent se manifeste entre le mois août et septembre suite à la saturation du sol en eau en août. La plus grande récente inondation enregistrée dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ est celle de la nuit du 20 au 21 août 2022. La figure 5 présente l'indice de précipitation annuelle du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ de 1983 à 2022. Elle permet de classer les années en fonction de leur humidité pour faciliter la compréhension des inondations qu'a connues le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ

**Figure 5 :** Indice de Précipitation Standardisée annuelle de 1983 à 2022



**Source de données :** ANAM, 2023

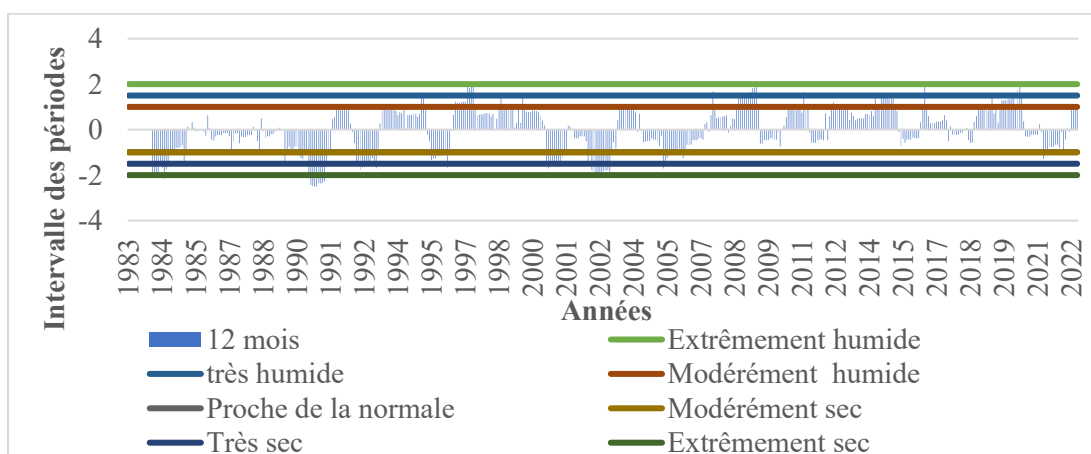
L'analyse de la figure 5 a permis de déterminer et de catégoriser les comportements des années en fonction des valeurs des SPI pour la période allant de 1983 à 2022 du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ. L'examen de la figure 5 montre les résultats suivants dans le tableau I :

**Tableau II :** Classement des années en fonction des intervalles des périodes

Intervalle des périodes	extrême ment sèche	très sèches	modéré ment sèches	proches de la normale	modérément humides	très humide
Année(s)	1990	1983, 1992, 2000 et 2002	1995	1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1993, 1994, 1997, 1998, 1999, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020, 2021	1991, 1996, 2003, 2012, 2019 et 2022	2008, 2014

Le classement des années en fonction de leur humidité du tableau I a permis de comprendre que les plus grandes inondations (de 1978, de 1988 et de 2022) qu'a enregistré le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ n'ont pas été pendant les années extrêmement humides ou très humides. A l'exception de l'année 2022 qui a été une année modérément humide. L'année précédente (1988) s'est manifestée pendant la période proche de la normale ; ce qui pourrait justifier l'exception de celle de 2022 qui a été l'objet critique. La figure 6 présente les SPI de 12 mois du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ de 1983 à 2022.

**Figure 6 :** Indice de Précipitation Standardisé de 12 mois de 1983 à 2022



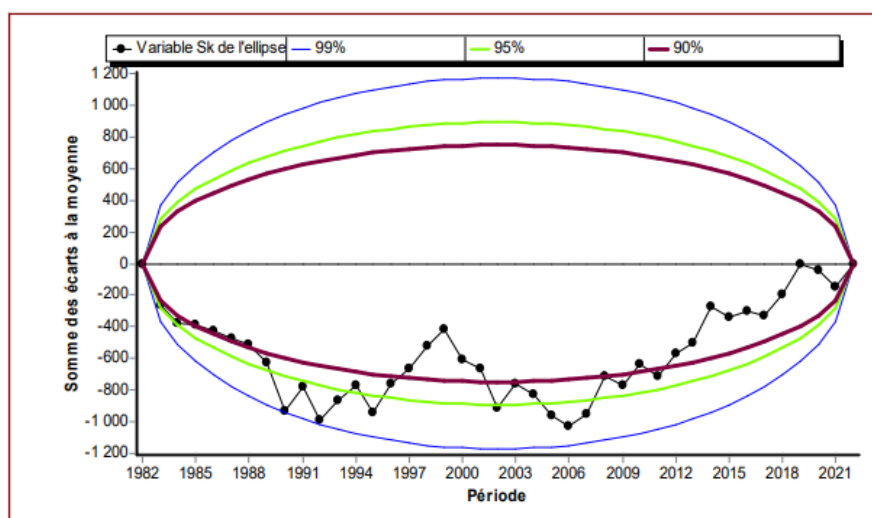
Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la figure 6 a permis d'appréhender les différentes séquences de pluie qui se sont manifestées tout au long de la période écoulée. Cela a permis de comprendre que les inondations qui se sont manifestées dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ pendant les périodes proches de la normale est due aux effets des différentes séquences de pluie.

### 2.1.2. Ruptures de la chronique pluviométrique de 1983 à 2022.

Le changement climatique peut entraîner des conditions météorologiques plus extrêmes, y compris des précipitations plus intenses, ce qui peut augmenter la fréquence et l'intensité des inondations. La Figure 7 présente le graphique du Test de BUIHAND et ellipse de BOIS.

**Figure 7 :** Graphique du Test de BUIHAND et ellipse de BOIS



Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la Figure 7 du graphique du Test de BUIHAND et ellipse de BOIS a permis de détecter une rupture en 1990. Cela signifie que la série temporelle pluviométrique du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ de 1983 à 2022 a subi un changement significatif à cette date, et l'hypothèse d'absence de rupture est rejetée. Le tableau I présente la Segmentation de HUBERT.

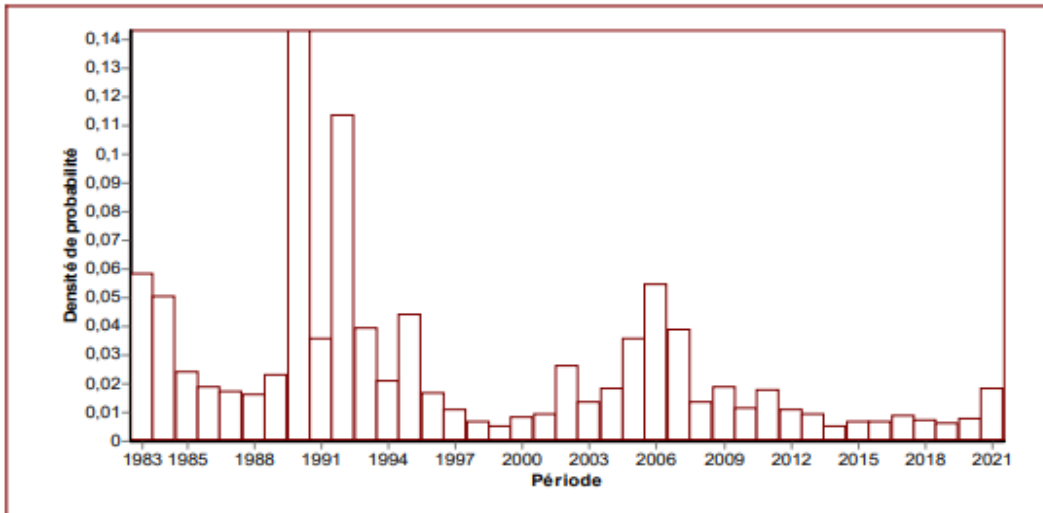
**Tableau III :** Segmentation de HUBERT

Début	Fin	Moyenne	E art type
1983	1990	777,038	111,296
1991	2022	922,859	136,555

Source de données : ANAM, 2023

L'analyse du tableau II permet de comprendre qu'il y a eu une seule rupture dans la série de 1983-2022, segmentant ainsi la série en deux période. La première période début de 1983 et prend fin en 1990 avec une moyenne pluviométrique de 777,038 et un écart type de 111,296 et la deuxième commence en 1991 et prend fin en 2022 avec 922,859 comme moyenne à un écart type de 136,555. Cette rupture dans la série selon la Segmentation de HUBERT vient confirmer celle donnée par le Test de BUIHAND et ellipse de BOIS. La Figure 8 présente le graphique de la Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN.

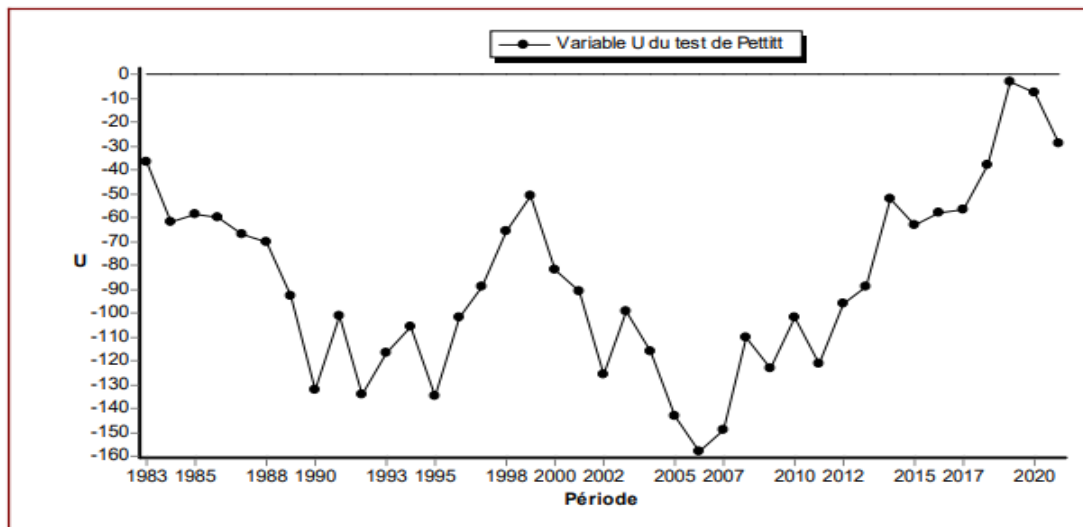
**Figure 8:** Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN



Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la figure 8 montre que le mode de la fonction densité de probabilité à *posteriori* de la position du point de rupture est 0,1429 en 1990 de la série de 1983-2022. La Figure 9 présente le graphique de la Méthode non paramétrique de PETTITT.

Figure9: Graphique de la Méthode non paramétrique de PETTITT



Source de données : ANAM, 2023

L'analyse de la Figure 9 du graphique de la Méthode non paramétrique de PETTITT a permis de détecter une rupture en 2006 tout le long de la chronique pluviométrique du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ de 1983 à 2022. Le seuil de confiance détermine le niveau de certitude associé à cette détection de rupture. Plus le seuil de confiance est élevé, plus la preuve statistique requise pour détecter une rupture est élevée. Dans ce cas, la rupture en 2006 est statistiquement significative, même au seuil de confiance de 99%. Cette rupture enregistrée en 2006 marque un changement environnemental dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ. Ce changement résulte d'une combinaison de l'intervention humaine dans le sous-bassin versant et l'augmentation des gaz à effets de sers de la planète.

### 2.1.3. Accumulation des sédiments

Le phénomène d'érosion hydrique peut envaser ou ensabler le cours d'eau. Le cours d'eau Grand-Balé est sujet de ce phénomène d'accumulation des sédiments, diminuant ainsi son encaissement. Selon les enquêtes menées sur le terrain 80 % des enquêtés trouvent que le cours d'eau Grand-Balé est ensablé. Ces accumulations de sédiment au fond du cours d'eau forment une grande barrière pour retenir l'eau. Sous l'effet de la pression et de la quantité de l'eau qui augmente, elle finit par déborder et laissant s'écouler une grande quantité d'eau mélangée à de la boue, ou du sable. De ce fait, les populations enquêtés trouvent que l'ensablement du cours d'eau constitue une des causes de l'inondation dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ.

#### **2.1.4. Crue ou débordement de cours d'eau**

Les crues peuvent être causés par des précipitations importantes en amont, la fonte de neige ou rupture de barrages. Les cours d'eau, tels que les rivières, les ruisseaux et les fleuves peuvent déborder de leurs rives en raison d'une combinaison d'une pluie abondante ou d'autres facteurs, entraînant ainsi des inondations dans les zones environnantes. En ce qui concerne le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ, les enquêtes de terrain ont permis de comprendre que la commune de Pâ est sujette de l'objet de la crue du cours d'eau Grand-Balé qui longe toute la partie nord de la commune (82 % des enquêtés). Cette crue engendre le débordement de tous ces affluents surtout au niveau de la commune de Pâ du sous-bassin versant de Grand-Balé.

## **2.2. Facteurs anthropiques**

Les causes anthropiques des inondations font référence aux facteurs liés aux activités humaines qui contribuent à l'augmentation de la fréquence, de l'intensité ou de l'ampleur des inondations.

#### **2.2.1. Gestion inadéquate des bassins versants**

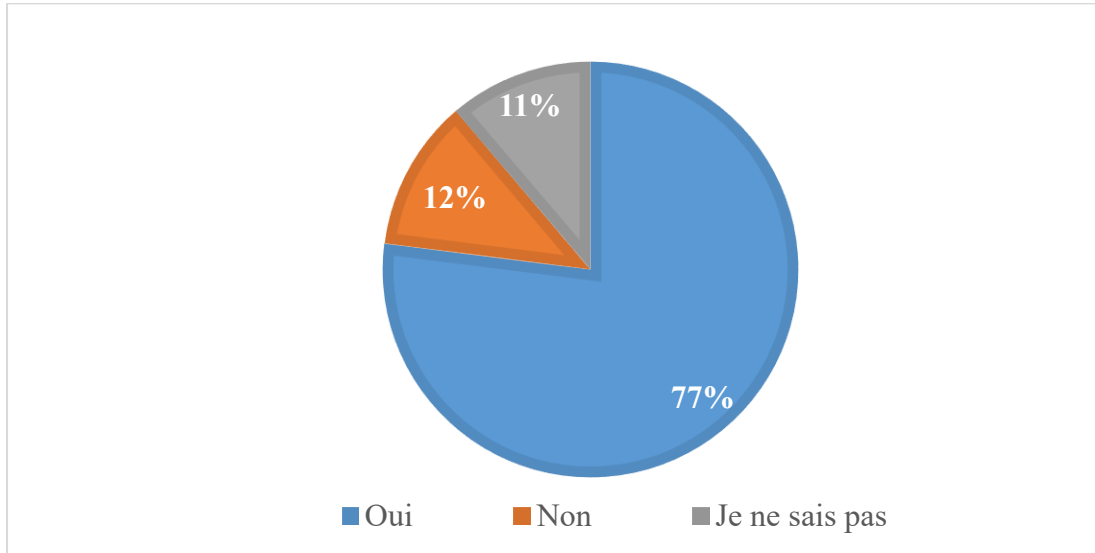
Une mauvaise gestion des bassins versants, tels que le drainage inefficace, la modification des cours d'eau ou la suppression des zones humides, l'insuffisance ou manque d'aménagement dans le bassin augmenter le risque d'inondation. Etant donné que l'exutoire du sous-bassin versant Grand-Balé se trouve dans la commune de Pâ, l'ampleur du phénomène d'inondation est si grandiose dans cette zone.

#### **2.2.2. Occupation des zones inondables**

La construction de bâtiments, d'infrastructures et d'autres développements dans les zones inondables augmentent directement le risque d'inondation pour les habitants et les biens. L'occupation de l'espace inondable joue un rôle capital sur l'imperméabilisation des sols. En effet, les résultats de l'enquête ont permis de comprendre que les crues qu'enregistre la commune de Pâ sont liées au mauvais dimensionnement dans la réalisation du pont, qui constituent l'exutoire du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ. A cet effet, 77 % de la population enquêtée trouve que le dimensionnement du pont à Hérédogou (l'exutoire du sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ) dans la commune de Pâ constitue une des causes des inondations. De plus, il ressort de la même proportion que la RN1 présente une faible hauteur de Hérédogou jusqu'à Pâ chef-lieu de la commune. Selon la population enquêtée, le renforcement du pont en termes de hauteur et de largeur et le rehaussement de la hauteur de la

RN1 de Héré Dougou jusqu'à Pâ chef-lieu de la commune sont importants dans cette zone pour lutter contre les inondations dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ.

**Figure 10:** Dimensionnement du pont, une des causes des inondations dans la commune de Pâ ?

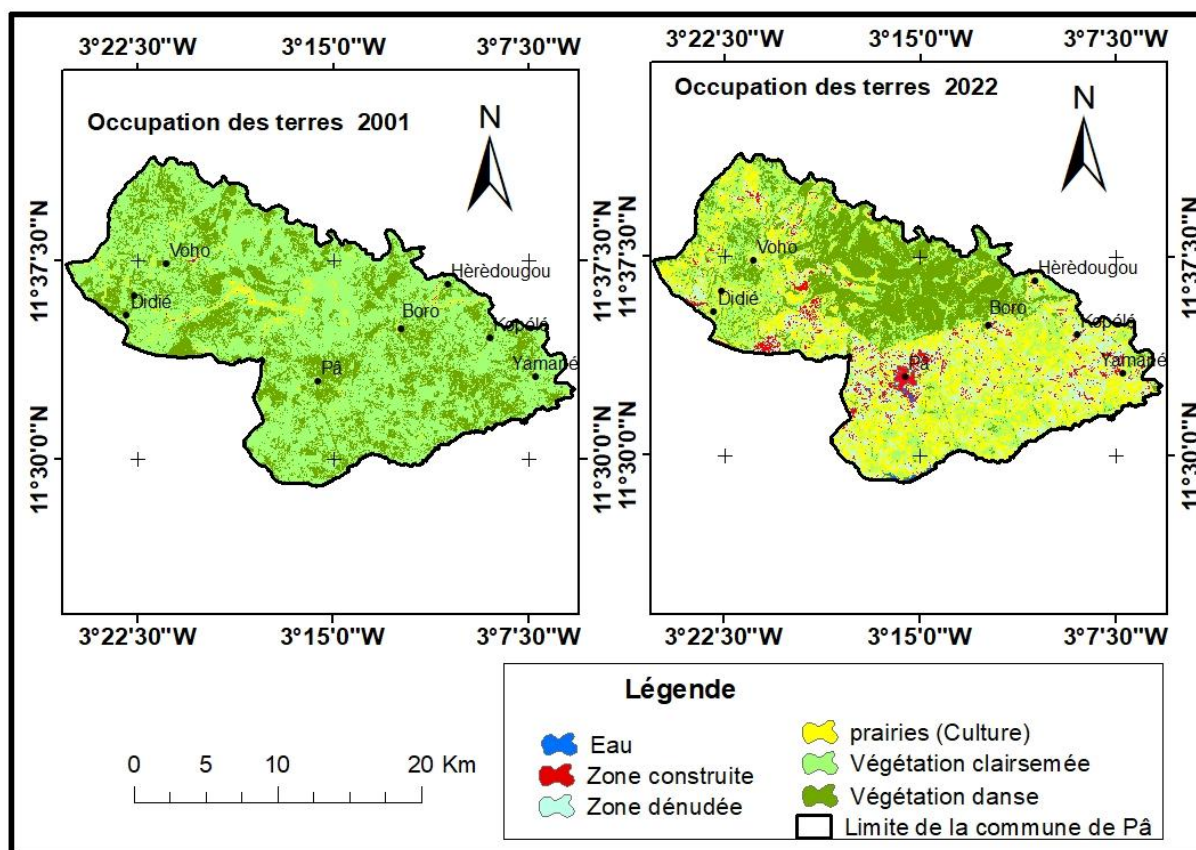


*Source : ILBOUDO Dieudonné ; terrain Juin 2023*

### 2.2.3. Déforestation

La végétation retient une grande quantité d'eau qu'elle libère par l'action de l'évapotranspiration même pendant la saison sèche. Ainsi, l'évolution régressive de la végétation dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ (figure 11) est un facteur qui explique les inondations dans la zone d'étude.

**Figure 11 :** Evolution des unités d'occupations des terres de la commune de Pâ en 2001 et en 2022 dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ



Source: ONDD/SP; image Landsat 7, 2001 ; image Landsat 8, 2022 ; IGB (BNDT) 2015 ; Projection WGS 84 UTM/zone 30N Auteur : ILBOUDO Dieudonné Juillet 2023

Le traitement des images Landsat 7 de 2001 et Landsat 8 de 2022 (figure 11) ont permis de déterminer les pourcentages des différentes unités d’occupation des terres (surtout les superficies occupées par la végétation) en 2001 et en 2022. Le tableau III présente le pourcentage des unités d’occupation des terres de la commune de Pâ en 2001 et en 2022 dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ

Tableau III : Pourcentage des unités d’occupation des terres de la commune de Pâ en 2001 et en 2022 dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ

Unités d’occupation des terres	Pourcentage des unités d’occupation des terres en 2001	Pourcentage des unités d’occupation des terres en 2022
Zone construite	0 %	4 %
Zone dénudée	0 %	5 %
Prairies (Culture)	3 %	55 %
Végétation clairsemée	66 %	30 %
Végétation dense	31 %	3 %

Source de données : ILBOUDO Dieudonné ; 2023

L’analyse des résultats du tableau III permet de comprendre qu’en 2001 le pourcentage de la végétation claire plus celle de la végétation dense donne au total 97 % de la superficie de la commune de Pâ soit 399,64 km<sup>2</sup>. Par contre en 2022, les résultats issus du traitement révèlent que la végétation claire occupe 30% et la végétation dense 6 % forment au total 36 % soit 142,32 km<sup>2</sup> de la superficie de la commune de Pâ.

Cette étude de la végétation a permis de comprendre la problématique des inondations dans la commune de Pâ de façon particulière et de façon globale dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ. Cela se comprend par le fait que le couvert végétal est détruit, suite à l'anthropisation qui ne favorise pas l'infiltration des eaux pluviales. La végétation réduit le choc des gouttes d'eau avec ses feuilles et permet une infiltration des eaux à travers ses racines. Alors l'insuffisance d'une couverture végétale favorise l'écoulement des eaux pluviales en surface d'où le phénomène d'inondation. Pour 78 % de la population enquêtée, la déforestation constitue une des causes des inondations dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ.

#### **2.2.4. Activités socioéconomiques**

Les investigations sur le terrain ont permis de savoir que suite aux différents événements d'inondations, 54 % des cultures (le maïs et le riz) sont des variétés utilisées dans les zones inondables. Ces cultures sont des variétés à cycle court. Ces variétés sont plus utilisées dans les zones inondables. L'avantage des variétés à cycle court est qu'elles arrivent au terme de leur cycle de développement avant les crues. Ces variétés à cycle court adoptées par la population a pour objectif de réduire les pertes liées aux inondations. La conversion des cultures vivrières de maïs en riz est une stratégie adoptée par certains paysans dans les zones inondables. Cette stratégie utilisée dans ces zones est liée à la capacité de résistance du riz en période d'inondation si toutefois la durée de submersion n'est pas de longue période. C'est une stratégie d'adaptation qui permet de minimiser les dommages agricoles dans la zone inondable face à l'aléa d'inondation.

Le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ n'a pas encore bénéficié des infrastructures d'assainissement tels que les caniveaux pour l'évacuation des eaux de pluie. Mais, ayant vécu pendant longtemps, la population intègre des techniques de protection dans la construction des maisons afin de réduire l'impact des inondations. Cette technique de construction traduit la prise de conscience du risque d'inondation par la population. L'entretien avec les populations a permis de comprendre que lors des grandes inondations presque toutes les maisons se trouvant dans les zones inondables s'inondées. En effet, la hauteur d'eau s'élève au-delà du niveau prévu par la population locale causant beaucoup de dégâts (perte de batailles et de volailles, ainsi que des stocks de vivres et de matériels), affectant ainsi bon nombre de population. Dans les concessions, la mise en place des diguettes a été développée pour réorienter la direction de l'écoulement des eaux. Elles sont faites soit par la mise en place des fils de sacs de sable ou de terre, souvent appuyés par un faux fossé ou soit par des diguettes de terre simples. En plus, dans le sous-bassin versant de Grand-Balé à Pâ, la mise en place des cordons pierreux est une stratégie utilisée non seulement pour lutter contre l'érosion hydrique mais aussi pour lutter contre les inondations. La population ayant pris conscience de la dégradation de la végétation et le rôle que joue la végétation dans la commune, met des cordons pierreux pour ralentir ou freiner la vitesse de l'écoulement de l'eau vers les cours d'eau et amortir le recul de l'eau lors des crues. Cela favorise l'infiltration et lutte contre l'ensablement ou envasement des cours d'eaux en freinant la boue et certaines particules des sédiments flottants.

### **3. DISCUSSION**

Les résultats issus de cette étude ont montré que les causes des inondations dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ sont beaucoup plus liées au dynamisme d'occupation des sols que celui du changement climatique. Dans la mesure où la déforestation, l'occupation des zones inondables et l'insuffisance des infrastructures de drainage compromettent fortement la capacité naturelle d'infiltration et de régulation hydrologique dans le sous-bassin versant, les

inondations trouvent davantage leur origine dans le dynamisme d'occupation des sols que dans le changement climatique. Cela fait engendrer des crues dévastatrices par des simples précipitations ordinaires dans un espace mal aménagé, alors que des territoires bénéficiant d'une gestion foncière et d'équipements adaptés résistent mieux à des pluies plus intenses. Les études de E.E. Ago et al. (2005, p.10), de S. Baggio & M-L. Rouquette (2006, p.104), de H. Issaka & D. Badariotti (2013, p.297), de A. Paquier (2015, p.5) confirment que les inondations sont le résultat d'une coïncidence d'évènement naturelle et anthropiques. Cependant, les études de J. C. Bertoni (2006, p.128) ont révélé que les causes des inondations en Amérique Latine et Caraïbe sont majoritairement dominées par les phénomènes météorologiques sévères. Les cyclones, les ouragans, et les variations climatiques comme El Niño/La Niña provoquent des pluies extrêmes et des crues rapides suite à la forte exposition géographique et climatique de la région. Alors que la pluviométrie n'a pas connu de grande variation dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ sauf quelques exceptions dans la série de 1983-2022 (figure 5 et 6). En effet, la rupture observée en 1990 par le Test de BUIHAND et ellipse de BOIS (1971) et en 2006 par la Méthode non paramétrique de PETTITT (1979) tout le long de la chronique pluviométrique du sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ de 1983 à 2022 atteste que cela marque un changement environnemental dû au changement climatique. De plus, les différents paramètres tels que la précipitation (des pluies diluviennes ou séquence des pluies), l'occupation des sols, et la variabilité hydroclimatique sont des facteurs aggravateurs des inondations qui résultent des causes naturelles dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ.

Cependant, les facteurs anthropiques constituent les principales causes des inondations dans sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ. Ils se manifestent par la déforestation, l'occupation anarchique des terres, la démographie et le développement des zones inondables (construction des bâtis et des infrastructures). Cela a contribué à une réduction de la superficie de la végétation (claire et dense) de 97 % à 36 % soit respectivement de 399,64 Km<sup>2</sup> à 142,32 Km<sup>2</sup> au détriment des sols dénudés, des cultures et des habitations dans la commune de Pâ situé dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ. Cette anthropisation favorise une concentration rapide des eaux au niveau de l'exutoire de faible dimension, causant ainsi le débordement des cours d'eau et la submersion du pont et de la route (marquée par une faible hauteur). Selon 30 % des enquêtés, ils soutiennent fermement que des inondations dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ et particulièrement dans la commune de Pâ sont dues aux causes anthropiques. De même, M. R. I. Kafando (1991, p.97) a montré que les causes des inondations sont dues à l'incertitude des variations climatiques, l'exclusion du sol et la végétation dans les prévisions et un mauvais dimensionnement du pont de Hérédogou.

## CONCLUSION

Le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ est sujette des inondations. Elles résultent des facteurs naturels (Changement climatique) et des facteurs anthropiques (occupation des sols). Il est bien de noté que les causes naturelles des inondations sont composées de plusieurs facteurs tels que la précipitation et le changement et la variabilité climatique dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ. La connaissance de ces facteurs climatique, l'une des causes des inondations dans le sous-bassin versant constitue une base solide pour lutter contre les phénomènes d'inondations. La gravité des inondations dans le sous-bassin versant résulte moins du climat que de la manière dont les sociétés aménagent et gèrent leur territoire. L'analyse de la perception des facteurs d'inondation dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ montre clairement que si les pluies intenses liées au changement climatique constituent un élément déclencheur, ce sont surtout l'occupation des zones inondables, de déforestation,

l'imperméabilisation croissante des sols, et l'insuffisance d'ouvrages de drainage qui transforment ces pluies en crise ou catastrophes d'inondation. Ainsi, les aménagements des infrastructures et la maîtrise de l'anthropisation s'avère nécessaire pour limiter ou atténuer les causes des inondations dans le sous-bassin versant Grand-Balé à Pâ.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGO Expédit 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*, pp. 1-14

Autorité du bassin de la volta, 2022. *Evaluation des plans, des politiques et directives lies à la gestion à long terme des inondations et de la sécheresse dans le bassin de la volta existants au niveau des six (6) pays*. Burkina Faso, 85 p.

BAGGIO Stéphanie et ROUQUETTE Michel-Louis, 2006. « La représentation sociale de l'inondation : influence croisée de la proximité au risque et de l'importance de l'enjeu ». *Bulletin de psychologie*, pp. 103-117.

BERTONI Juan Carlos, 2006. « Inondations urbaines en Amérique Latine : réflexions sur le rôle des facteurs de risque ». *Frontiers in Flood Research / Universidad Nacional de Cordoba*, pp.123-142

Bassin de la Volta, 2022. *Volta Flood and Drought Risk Profile (Profil de risque d'inondation et de sécheresse de la Volta)*. CIMA Research Foundation International Centre on Environmental Monitoring ; 126p.

Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable (CNEDD) du Niger, 2022. *Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Niger*. 275 p.

PROVITOLO Damienne, 2001. « Modélisation et simulation du risque d'inondation en milieu urbain méditerranéen ». Analyse et modélisation des dynamiques, Besançon, France. pp.1-12

DANVIDÉ Taméon Benoît, 2015. *Gouvernance des politiques de planification urbaine et gestion des inondations à Cotonou (Bénin)*. Université d'Abomey-Calavi et Université Paris, 262 p.

Direction de la Communication et des Relations Presse /Ministère de l'Environnement de l'Energie, de l'Eau et de l'Assainissement (DCRP / MEEEA), 2022. *Analyse de la situation des inondations du tronçon de la route nationale N°1 à Pâ*. 5p. <https://burkina24.com/2022/08/24/analyse-de-la-situation-des-inondations-du-troncon-de-la-rn1-a-pa/> , consulté 03/01/2023 à 15h00mn.

DEMERS Isabelle, 2021. *Les causes des inondations du printemps 2019 dans le bassin versant de l'Outaouais : évaluation et comparaison des données hydrométéorologiques simulées avec les observations disponibles*. Université du Québec à Montréal. 68 P.

GUELBEOGO Sidiki et OUEDRAOGO, Lucien, 2022. *Cartographie des risques d'inondation dans le bassin versant du Kou au Burkina Faso*. p.60-75.

ISSAKA Hamadou et BADARIOTTI Dominique, 2013. « Les inondations à Niamey, enjeux autour d'un phénomène complexe ». *Les Cahiers d'Outre-Mer*, pp. 289-392

KAFANDO Marie Rita Ignadin, 1991. *Monographie hydrologique du grand Balé à Pâ : Crue de septembre 1998*. Université de Ouagadougou, 121 p.

KOESTLER-GRACK A. Rachel (dirs.), 2008. *Johnstown flood of 1889*. Chelsea House, 101p.

Ministère de l'Environnement et du cadre de Vie du Burkina Faso, 2007. *Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso)*. 84p.

NDOUR Salemond, 2021. *Problématique de la gestion des inondations dans la ville de kaolack : Cas du quartier de Sam en 2020*. Université ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR, 105 p.

Organisation Météorologique Mondiale, 2012. *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. OMM-N° 1090*, p. 19.

OULD SIDI CHEIKH Mohamed Ahmed, OZER Pierre et OZER André, 2007. « Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie) ». *Geo-Eco-Trop*, pp. 19-42

PAQUIER André, 2015. « Causes des inondations de l'automne 2014 dans le Sud Est de la France ». *La Houille Blanche*, pp. 5-6

LEJEUNE Quentin et SAEED Fahad, 2019. « Étude de l'impact des changements climatiques futurs sur les ressources en eau au burkina faso ». *Climate Analytics*. 4p.

THOMPSON Bert, 1986. *Global flood of Noah*. Apologetics Press, *Montgomery*, 31 p.