

Research Article

VULNERABILITE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS AUX RISQUES HYDROCLIMATIQUES DANS LES COMMUNES DE KARIMAMA ET DE MALANVILLE AU NORD DU BENIN

¹Adam N'djai Arzouma AROUNA, ³Victorin Vidjannagni GBENOU, ¹*Pierre OUASSA, ¹Olivier KOUDAMILORO, ^{1,2}Expédit Wilfrid VISSIN

¹Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin.

²Enseignant Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire, DGAT, FASHS, UAC, Rép. du Bénin.

³Département de Sociologie-Anthropologie, FASHS, UAC, Rép. du Bénin.

Received 12th June 2024; Accepted 13th July 2024; Published online 30th August 2024

RÉSUMÉ

Les infrastructures de transport et les services liés à ces dernières constituent un principal vecteur d'intégration économique et le préalable à la facilitation des échanges et à la circulation des biens et des personnes. La présente recherche contribue à une meilleure connaissance de la vulnérabilité des infrastructures routières face aux risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et Malanville. L'approche méthodologique adoptée est basée essentiellement sur la recherche documentaire et les travaux de terrain réalisés essentiellement auprès de 102 acteurs du secteur des transports. Les hauteurs maximales de pluies et débits maximaux de la période 1971-2020 sont extraites respectivement des fichiers de Météo-Bénin de la DG-Eau à Cotonou. L'étude de la vulnérabilité a consisté à l'identification des risques climatiques, l'élaboration des matrices de sensibilité et de vulnérabilité sur la base des informations obtenues par les enquêtes de terrain. Le modèle SWOT a permis l'analyse des résultats obtenus. L'analyse de la matrice de sensibilité a permis de comprendre que les infrastructures sont menacées par les risques hydroclimatiques, dont les majeurs sont les inondations et l'érosion avec les indices respectifs de 92% et 84%. Viennent ensuite la sécheresse et les vents violents avec un indice d'impact de 56%. De l'exposition des infrastructures de transports, les moyens roulants utilisés par les usagers sont diversement exposés aux risques hydroclimatiques. En conséquence, selon la quasi-totalité (99%) des conducteurs d'engin à deux roues, les différentes parties de motos telles que les dents de chaîne, les roulements, les chaînes, les bougies sont souvent abimées. Les pneus et les chambres à air sont régulièrement percés à cause du désensablement, surtout sur les voies non bitumées qui laissent à découvert des objets ou déchets pointus ou coupants. Pour faire face à ces difficultés, beaucoup d'efforts se font dans la construction des infrastructures routières, par l'Etat et les autorités des Communes de Karimama et Malanville.

Mots clés: Communes de Karimama et Malanville; risques hydroclimatiques; vulnérabilité; infrastructures routières.

INTRODUCTION

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement climatique et des extrêmes pluviométriques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde (GIEC, 2020, p. 2). La fréquence et l'intensité accrues des phénomènes liés aux changements climatiques menacent de perturber et d'endommager les réseaux de transport, y compris des liens essentiels avec les possibilités ou services dans les domaines de l'économie, de l'éducation, de la santé ou autres. Ces répercussions peuvent toucher plus durement les populations vulnérables, notamment les femmes et les filles, en particulier dans les zones où peu d'itinéraires secondaires ou d'autres possibilités de transport sont disponibles (S. Thacker *et al.*, 2021, p. 22). En effet, comme ailleurs dans le monde, les populations africaines dépendent des transports pour emmener leurs enfants à l'école, vendre leurs produits sur les marchés locaux, accéder à des opportunités d'emploi et d'autres services sociaux et économiques. Le transport est également essentiel aux économies rurales africaines : une meilleure connectivité des transports est nécessaire pour acheminer des récoltes plus abondantes vers les marchés, faciliter une répartition efficace des intrants agricoles et une bonne circulation des produits alimentaires (A. Thiaw, 2012, p. 83).

Le secteur des transports au Bénin, participe de façon considérable à la croissance économique du pays et à la réduction de la pauvreté. Ce secteur en offrant un réseau d'infrastructures développées et des services de transport performants et dynamiques, contribue à la compétitivité de l'économie du Bénin. Il l'intègre dans le concert des nations à travers le système de mobilité (MTPT, 2015, p. 9). En effet, les infrastructures de transport facilitent le transport rapide des matières premières et des produits finis des sites de prélèvement et de fabrication vers les zones de transformation. Elles favorisent l'utilisation de même que le déplacement, tout aussi rapide, des hommes des lieux de résidences vers ceux de production et d'échange. Comme telles, elles constituent des facteurs générateurs de richesses et, au-delà, de développement : « Là où la route passe, le développement suit » (A. Ouensavi, 2020, p. 10).

Or, la gamme de variabilité climatique allant de l'échelle intra-saisonnière (>10 jours) aux échelles décanale et pluri-décanale impacte les écosystèmes et les activités humaines, particulièrement sur le continent africain où la dépendance des sociétés aux aléas naturels, en premier pluviométriques, est forte (B. Fontaine *et al.*, 2012, p. 08). De ce fait, l'Afrique de l'ouest, qui est considérée comme l'une des régions la plus vulnérable aux extrêmes, n'est pas épargnée par ces événements. C'est ainsi qu'une hausse exponentielle du nombre d'inondations consécutives à des fortes pluies a été observée (D. J. Kodja (2018, p. 27).

En conséquence la vulnérabilité des routes béninoise à l'évolution du climat n'est pas du reste. En effet, les modifications que connaît ce dernier au cours de ces dernières années et leurs effets constituent

*Corresponding Author: Pierre OUASSA,

¹Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin.

de nos jours un problème majeur pour les scientifiques à divers niveaux. Le domaine tropical connaît depuis quelques décennies une variabilité pluviométrique qui se caractérise par des phases successives ou alternatives d'excédents (Doukpolo, cité par C. K. Sambieni Kérékoua, 2013, p. 06).

La population de Karimama et Malanville est constituée d'une part d'une population majoritairement agricole dans les zones rurales et d'autre part d'une population exerçant le commerce. Ce qui justifie l'envie des habitants de ces Communes d'avoir les moyens de transports pour assurer l'acheminement de leurs produits agricoles du milieu rural vers les marchés pour leur approvisionnement et leur commercialisation, d'où l'utilité d'infrastructures de transport. De ce fait, conscient du rôle des infrastructures de transports dans le développement des Communes de Karimama et Malanville, il s'avère utile qu'une attention particulière soit accordée à l'analyse la vulnérabilité des infrastructures de transports face aux risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et Malanville.

Secteur d'étude

Le milieu d'étude représenté par les Communes Karimama et de Malanville est situé dans le département de l'Alibori (figure 1) entre les parallèles 11°50' et 12°30' de latitude nord d'une part et les méridiens 2°43' et 3°20' de longitude est. Il est limité au nord par le fleuve Niger et le Burkina-Faso, au sud par les communes de Banikoara, de Kandi et de Ségbana, à l'est par la république fédérale du Nigeria et à l'ouest par le Burkina-Faso.

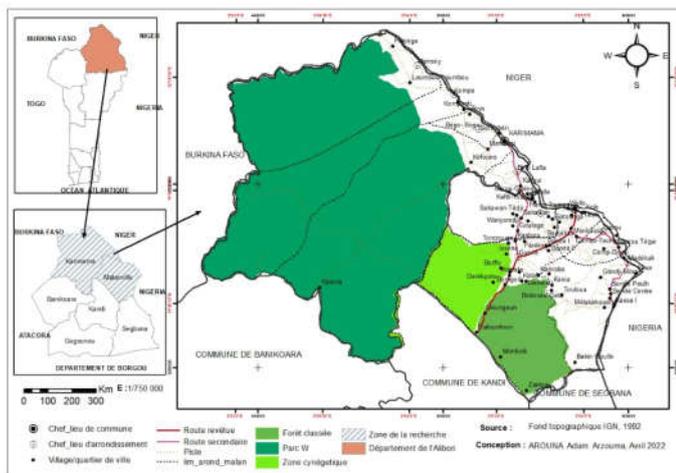


Figure 1 : Situation géographique des Communes de Karimama et Malanville

DONNÉES ET MÉTHODES

Données utilisées

Plusieurs données ont été utilisées dans le cadre de cette recherche. Il s'agit : des séries climatologiques relatives aux chroniques de pluie (journalière, mensuelle et annuelle), température Moyenne, maximale et minimale sur la période 1971 à 2020 issues de la station synoptique de Kandi ; des données qualitatives liées à l'état du réseau routier, à l'évolution du trafic routier, à l'état des infrastructures de transport, à la qualité des infrastructures routières, aux différentes infrastructures de transport, aux différents axes de transport, à l'impact des activités de transport sur les acteurs de la filière puis sur l'économie des Communes de Karimama et de Malanville ; des données quantitatives et qualitatives relatives aux flux de transports, aux infrastructures et les moyens de transports des personnes et biens, et de l'impact des risques hydroclimatiques.

Méthodes utilisées

L'échantillonnage est basé sur un choix raisonné dont les critères sont pour ce qui concerne les arrondissements choisis, un poids démographique important et des activités socioéconomiques. S'agissant des personnes interviewées (membres du conseil communal, Chefs de village et de quartier de ville, les DST, personnel de la Mairie, acteurs du transport et membres d'organisations socioprofessionnelles (OSC)), les critères du choix sont :

- être un élu communal ou local actif dans la gestion des affaires locales, quelle que soit l'échelle. Ce critère a permis de comprendre le mécanisme de gestion des infrastructures de transports, des risques hydroclimatiques et l'implication des diverses autorités locales;
- être agents de compagnie de transport (ATT, Baobab Express, Confort Lines etc) ; de conducteurs de taxi-ville ; taxi interurbain et de taxi-moto ;
- être agents et cadre de la Direction Départementale des Infrastructures de Transports (DDIT), du MIT ;
- être usager de la route. Il s'agit : de particuliers ; de clients de taxis auto et moto ; de conducteurs de véhicules administratifs ; de conducteurs de camions d'entreprises publiques, parapubliques et privées ; de piétons et pousse-pousseurs ; de commerçants et commerçantes de produits agricoles.
- être dans le dispositif de mobilisation et de gestion de ressources locales. Ce critère est défini afin de prendre de fiables informations sur le mécanisme de mobilisation des ressources liées au transport, les obstacles rencontrés, leur mode de gestion à travers les infrastructures réalisées et les villages bénéficiaires ;
- être membre d'associations de développement, de groupements ou de structures organisées pour la défense des intérêts de leur corporation. Il est attendu de ces acteurs, leurs appréciations de la gestion des infrastructures de transports.

Le tableau I indique la structure de l'échantillon utilisé.

Tableau I : Catégorie des personnes enquêtées

Catégorie d'enquêtés	Effectif
Les responsables en charge de transport	10
Les chauffeurs de gros-porteur	36
Les transporteurs	20
Les grossistes (commerçants et commerçantes)	23
Les garagistes de camions	13
Total :	102

Source : Enquête de terrain, 2021-2023

L'analyse du tableau I montre les différentes catégories des acteurs interrogés dans le secteur de transport routier dans les Communes de Karimama et Malanville.

Pour mener à bien cette recherche, plusieurs techniques sont utilisées pour collecter les données. Il s'agit notamment de l'entretien individuel, l'entretien de groupe et l'observation directe du terrain ont été réalisés.

Analyse de la variabilité hydro-pluviométrique

La variabilité pluviométrique a été déterminée à partir des anomalies centrées réduites. Le calcul des indices pluviométriques a permis d'identifier les années humides (excédentaires) au seuil de 1 et les années sèches (déficitaires) au seuil de -1. Ces indices sont obtenus

par la formule suivante : $x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$ avec x représentant le

total pluviométrique de l'année i , \bar{x} la moyenne de la série et σ représentant l'écart-type. Les tendances ont été mises en évidence par une droite de régression de type : $y = a x + b$; elle est obtenue par le calcul de la pente a qui est un coefficient directeur.

Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle permet de caractériser l'ampleur des événements pluvio-hydrologique extrêmes enregistrés afin d'en définir les probabilités d'occurrence (Meylan et Musy, 1999). Cette méthode repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'une série d'événements. Ce modèle décrit la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Ainsi, dans le but d'estimer les pluies et débits de pointes (valeurs maximales) correspondants à une certaine durée de retour, c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition donnée, dans les Communes de Karimama et de Malanville, la série des hauteurs maximales de pluie a été constituée. Dans le cadre de cette recherche, la série des hauteurs maximales annuelles représente les hauteurs de pluie les plus élevées, enregistrées dans une journée et pour chaque année de la période 1971-2020.

Choix du modèle fréquentiel

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Ce choix dépend de la vitesse à laquelle la probabilité des grandes valeurs évolue. Si elle est exponentielle, le choix porte sur la loi de Gumbel (Meylan et Musy, 1999). Les séries des hauteurs maximales annuelles et débits maximaux rangées par ordre décroissant montrent que ces valeurs décroissent rapidement. Cette décroissance étant de type exponentiel, le modèle de Gumbel est retenu comme modèle fréquentiel.

La loi de Gumbel est l'exemple le plus courant de modèle fréquentiel utilisé en hydrologie. C'est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de valeurs (Meylan et Musy, 1999). Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières. La distribution de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 - c \frac{x - a}{b}\right)^{1/c}\right)$$

Où a est le paramètre de position, b le paramètre d'échelle c le paramètre de forme et x la variable, correspondant aux hauteurs de pluie et aux débits dans la présente étude.

La durée de retour T d'un événement est définie comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Evaluation de la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques hydroclimatiques

Pour analyser la vulnérabilité des modes et moyens d'existences, la matrice de sensibilité aux risques climatiques est dans la pratique utilisée (Badolo, 2009). C'est une approche méthodologique plus

simple qui permet d'établir la sensibilité aux risques climatiques. La mise en œuvre recouvre plusieurs étapes à savoir :

Etape 1 : elle consiste à établir la liste des unités d'exposition dans le secteur considéré qui vont être prise en compte dans l'exercice de l'analyse de la vulnérabilité. Ces secteurs ou unités d'exposition font former les lignes de la matrice de sensibilité ;

Etape 2 : la deuxième étape consiste à établir un inventaire des risques climatiques les plus significatifs pour les secteurs ou unités d'exposition dans la région considérée.

Etape 3 : la troisième étape est celle de l'évaluation du degré de sensibilité de chaque secteur ou unité d'exposition à chacun des risques climatiques retenus. Pour ce faire, cinq niveaux de sensibilité sont considérés comme l'illustre le tableau II.

Tableau I : Barème d'évaluation des risques climatiques

Echelle de grandeur du degré de vulnérabilité	Ampleur du risque
1	Faible
2	Assez faible
3	Moyen
4	Assez fort
5	Fort

Source : Badolo, (2009)

L'application de la matrice produit trois indicateurs :

- l'indice d'exposition ;
- le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques climatiques ;
- l'indice d'impact des risques climatiques.

Selon Badolo (2009), la valeur de l'indice d'exposition pour une unité d'exposition est donnée par la somme des colonnes pour chaque ligne de la matrice. La valeur de l'indice d'impact pour un risque donné est la somme des lignes pour chaque risque. Les indices déterminés sont aussi utilisés pour établir une hiérarchisation des risques dans le secteur d'étude par rapport aux unités d'exposition considérées. Le tableau III présente le cadre conceptuel de la matrice de sensibilité.

Tableau II : Présentation formelle d'une matrice de sensibilité

Unités d'exposition	Risques climatiques	Indice d'exposition
Unité d'exposition 1	Sécheresse Inondation	
Unité d'exposition 2		
Unité d'exposition 3		
Unité d'exposition 4		
Indice d'impact		

Source : Badolo, (2009)

Le modèle d'analyse SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (Forces, Faiblesses, Opportunités, et Menaces) a été utilisé pour l'analyse des résultats obtenus.

RÉSULTATS

Caractérisation de l'aléa hydro-pluviométrique

Analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales

Pour l'aléa pluviométrique, les précipitations maximales représentent le premier facteur déclenchant les mécanismes de crue et d'inondation.

Après l'application des lois d'ajustement sur les hauteurs de pluies maximales, seule la loi de Gumbel s'adapte le mieux aux pluies maximales journalières. Plusieurs méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. La méthode maximum de vraisemblance a été utilisée dans la présente étude pour ajuster les séries aux lois retenues. La figure 2, illustre un ajustement des séries pluviométriques par la loi de Gumbel sur la période 1971-2020.

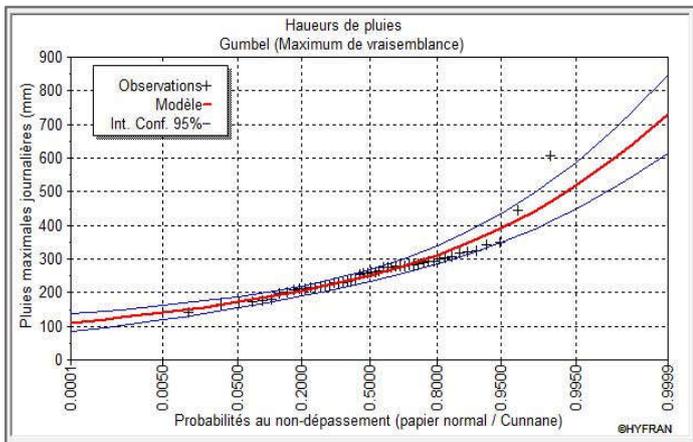


Figure 2 : Ajustement de la loi de Gumbel au niveau de la station de Kandi

De l'analyse de la figure 2, il ressort que la série pluviométrique s'ajuste bien aux lois de Gumbel avec une marge d'erreur de 5 %. En somme, on retient que les durées de retour des crues et des inondations obtenues grâce à l'application du modèle fréquentiel de Gumbel au cours de la période de 1971-2020 sont de 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ans. Le tableau IV présente les hauteurs maximales de pluie estimée à partir de la droite d'équation de Gumbel.

Tableau IV : Hauteurs maximales de pluie et débits de pointe correspondant à chaque durée de retour

Réurrences	2	3	5	10	20	50	100	200
Hauteur de pluie maximale	251	280	312	353	392	443	480	518

De l'analyse du tableau IV, il ressort que les durées de retour au niveau des hauteurs maximales de pluie varient de 2 à 200 ans selon la quantité des hauteurs de pluie maximales journalières. Il ressort que les inondations pluviales les plus fréquentes et pouvant survenir chaque 2 ans et 3 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière respectif de 251 mm et 280 mm au niveau des Communes de Karimama et de Malanville. Ainsi donc, dans le secteur d'étude les événements pluvieux extrêmes sont à l'origine des crues et inondations observées. Selon les populations rencontrées, l'avènement des événements pluvieux extrêmes sur une courte période est beaucoup plus dévastateur dans le secteur d'étude.

Analyse fréquentielle des débits maximaux

La fréquence d'occurrence des débits maximaux journaliers dans le secteur d'étude est représentée par la figure 3.

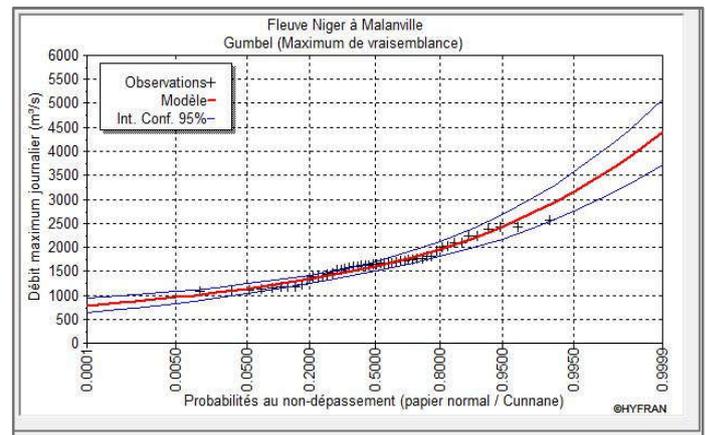


Figure 3 : Ajustement de la loi de Gumbel au débit maximal à Malanville

L'analyse de la figure 3 montre que pour la probabilité au non-dépassement, les débits maximaux journaliers suivent non seulement le modèle, mais aussi ils sont bien ajustés avec la loi de Gumbel et le maximum de vraisemblance dans l'intervalle de confiance de 95 %. Les récurrences des débits extrêmes sont également de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans et permettent de dire que le secteur d'étude peut être en proie à des crues exceptionnelles susceptibles d'occasionner des inondations qui ne seront pas sans conséquence sur le développement des activités des populations. Ainsi, à partir de l'équation de la droite de Gumbel, les quantiles des débits maximaux ont été calculés pour différentes périodes de retour et leurs intervalles de confiance (Tableau V).

Tableau V: Estimation des débits caractéristiques et les intervalles de confiance par la loi de Gumbel à Malanville

Réurrences	2	3	5	10	20	50	100	200
Débits maximaux	1600	1770	1960	2200	2430	2720	2940	3160

De l'analyse du tableau V, il ressort que les débits journaliers maximums annuels qui permettent d'estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans les Communes de Karimama et de Malanville. Les débits maximaux compris entre 1600 et 1770 m³/s ont la possibilité de subvenir respectivement chaque deux ans et trois ans. De même, les débits journaliers maximums de 1960 m³/s peuvent subvenir chaque cinq ans et les crues décennales sont d'environ 2200 m³/s. Enfin les inondations fluviales rares sont causées par les débits dont les périodes de retour sont situées entre 50 et 100 ans avec des valeurs allant de 2720 à 2940 m³/s. De l'analyse de ces estimations, les inondations récurrentes dans les Communes de Karimama et de Malanville sont causées par les crues dont les débits sont situés entre 1600 et 1770 m³/s.

En somme, l'analyse pluvio-hydrologique a permis de caractériser les modifications induites par la variabilité climatique sur le comportement hydrologique du secteur d'étude. Elle a par ailleurs permis de caractériser les aléas et les éventuelles périodes de retour des événements hydro-pluviométrique extrêmes susceptibles d'induire des inondations.

Identification des risques hydroclimatiques majeurs dans les Communes de Karimama et de Malanville

Les résultats issus des entretiens avec les acteurs du secteur de transport dans les Communes de Karimama et de Malanville indiquent que les risques hydroclimatiques majeurs sont par ordre d'importance (figure 4).

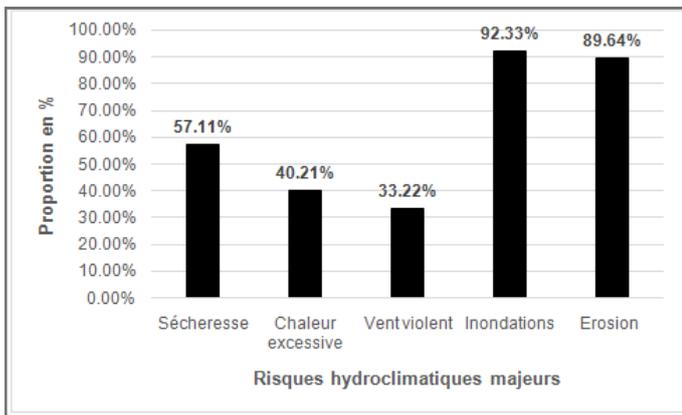


Figure 4 : Risques climatiques majeurs dans les Communes de Karimama et de Malanville

Source : Travaux de terrain, septembre 2022

L'analyse de la figure 4 montre que dans les Communes de Karimama et de Malanville, les risques hydroclimatiques majeurs auxquels font face les populations sont les inondations (92,33%), l'érosion (89,64%), la sécheresse (57,11%), la chaleur excessive (40,21%) et les vents violents (33,22%). Ces risques sont diversement perçus par les populations du secteur d'étude (tableau VI).

Tableau VI:Caractérisation des risques climatiques dans le secteur d'étude

Risques climatiques majeurs	Fréquence	Étendue (Zones touchées)	Intensité	Durée ou période d'occurrence
Inondations	Fréquente	Zone longeant les cours d'eau	Très Forte	Mi-août à mi-septembre
Erosion	Fréquente	Toute la Commune	Forte	Mi-août à mi-septembre
Sécheresse	Très fréquente	Toute la Commune	Très Forte	novembre - juin
Vents violents	Fréquente	Toute la Commune	Forte	Avril-Mai et novembre
Chaleur excessive	Très fréquente	Toute la Commune	Forte	Février à mai

Source des données : Enquêtes de terrain, septembre 2022

Les inondations perçues par 92,33 % des populations, se caractérisent par des pluies régulières et abondantes sur plusieurs jours à travers tout le secteur d'étude. Selon ces populations, ces inondations se manifestent par le débordement des eaux de cours d'eau (Sota, fleuve Niger). Les populations assistent à l'impraticabilité des infrastructures suite à l'envahissement des routes par les eaux. Ce phénomène entraîne très souvent la destruction des infrastructures routières.

Quant à l'érosion perçue par 89,64%, se manifeste par la dégradation des routes et pistes. Ainsi, il est souvent observé après le retrait des eaux des trous voir le rétrécissement de la chaussée empêchant de ce fait la circulation normale des usagers de la route.

Pendant la sécheresse (57,11%) les routes sont comblées de sable qui rend difficile la fluidité de déplacement. Les vents violents accompagnés parfois d'orages sont observés en début de saison pluvieuse (avril-mai) et également vers le mois de novembre. Ces vents sont à l'origine de la destruction de la végétation, du décoiffement et de l'effondrement des habitations mais aussi de la

dégradation des pistes de dessertes rurales. Ce risque demeure important au regard de sa fréquence qui est quasi-annuelle.

La chaleur devient davantage éprouvante en raison de la hausse sensible des températures observées par les populations locales qui se sont exprimées en ces termes : « Aujourd'hui il fait très chaud. La chaleur est très accablante, les nuits sont de plus en plus chaudes. Nous les passons à la belle étoile. Nous ne parlons même pas des jours où nous sommes obligés de nous réfugier sous les arbres afin de protéger les pneus de nos voitures. Là encore, l'air qui nous parvient est toujours chargé de chaleur. Cette chaleur à des conséquences néfastes sur notre santé et nos activités agricoles ».

Vulnérabilité des infrastructures de transports dans les Communes de Karimama et de Malanville

Cette rubrique, présente les principaux facteurs de vulnérabilité des principales infrastructures de transports dans les Communes de Karimama et de Malanville.

Matrice de sensibilité des infrastructures de transports

Le tableau VII présente la matrice de sensibilité des infrastructures de transports aux risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et de Malanville.

Tableau VII: Matrice de sensibilité des infrastructures de transports aux risques hydroclimatiques majeurs

	Risques hydroclimatiques					Indices d'exposition
	Inondation	Sécheresse	Chaleur excessive	Vent violent	Erosion	
Infrastructures exposées						
Voie bitumée	4	3	2	2	4	60 %
Voie pavée	4	2	1	3	3	52 %
Voie en terre	5	4	2	3	5	76 %
Piste rurale	5	3	1	3	5	68 %
Ouvrages de franchissement	5	2	1	3	4	60 %
Indice d'impact	92 %	56 %	28 %	56 %	84 %	

Source : Traitement des données, Octobre 2022

L'analyse du tableau VII révèle que les indices d'exposition des infrastructures de transports varient de 52% à 76%. Les voies en terre et les pistes rurales sont les plus exposés avec un indice respectif de 76% et de 68%, contrairement aux voies pavées (52%), aux voies bitumées et les ouvrages de franchissements (60%) et les voies qui sont les moins exposés. Ces différentes infrastructures sont indispensables pour les activités liées au transport, et contribuent à garantir la mobilité des personnes et des biens dans le secteur d'étude. L'analyse de la matrice de sensibilité a permis de comprendre que ces infrastructures sont menacées par les risques hydroclimatiques, dont les majeurs sont les inondations et l'érosion

avec les indices respectifs de 92% et 84%. Viennent ensuite la sécheresse et les vents violents avec un indice d'impact de 56 %. De l'exposition des infrastructures de transports, les moyens roulants utilisés par les usagers sont diversement exposés aux risques hydroclimatiques.

Tableau VIII: Matrice de sensibilité des moyens de déplacement aux risques hydroclimatiques majeurs

	Risques climatiques					Indices d'exposition
	Inondation	Sécheresse	Chaleur excessive	Vent violent	Erosion	
Moyens roulants exposés						
Camions	5	3	2	2	5	68 %
Mini-bus	4	2	1	3	5	60 %
Véhicules légers	5	3	1	2	5	64 %
Tricycles	5	3	2	3	3	64 %
Engins à deux roues	4	3	2	2	3	56 %
Vélo	2	1	3	2	3	44 %
Indice d'impact	83,33 %	50 %	36,66 %	46,66 %	80 %	

Source: Traitement des données, Octobre 2022

De l'analyse du tableau VIII, il ressort que les risques hydroclimatiques majeurs sont les inondations (83,33 %), l'érosion (80 %), et la sécheresse (50 %) et que les camions (68 %), les tricycles et les véhicules légers (64 %) et les mini-bus (60 %) sont les plus exposés (planche 1).



Planche 1 : Vue de véhicules taxis emportés par les eaux et d'un camion tombé suite à la rupture de la route

Prise de vues : Arouna, juillet 2022

De l'observation de cette planche 1, il ressort que les différents moyens de déplacements sont vulnérables aux risques hydroclimatiques et constituent un handicap pour le développement local des Communes de Karimama et de Malanville. La différence se trouve donc au niveau de l'ordre attribué aux risques hydroclimatiques suivant leur fréquence et leurs impacts.

Manifestation des effets risques hydroclimatiques

Sur la mobilité des populations

Dans le secteur d'étude, et pendant la saison pluvieuse, les précipitations se succédant sans interruption pendant quelques jours, laissent les eaux de ruissellement stagnantes dans la plupart des localités bloquant ainsi la mobilité des personnes et des biens. La planche 2 montre la rupture des voies d'accès dans le milieu d'étude.



Planche 2 : Rupture des voies Kandi-Malanville (1.1) et du pont de Karimama (1.2) suite à de fortes pluies

Prise de vues : Arouna, juillet 2022 et Août 2023

L'observation de la photo montre que le secteur du transport subit les effets des pluies diluviennes dans le secteur d'étude. En effet, l'eau a totalement envahi la route comme la plupart des routes des Communes de Karimama et Malanville, rendant du coup plus difficile la mobilité des personnes et des biens durant la saison pluvieuse. D'après les populations rencontrées, les moyens de transport utilisés en cette période de crise sont : les motos, les vélos et surtout les barques et pirogues. Les marchés sont inaccessibles compte tenu de l'état des voies. Cette situation enclave les localités du secteur d'étude du reste du pays durant plusieurs jours. Seul l'intervention en urgence du gouvernement à travers le Ministère en charge des infrastructures parvient à rétablir la circulation (planche 3).

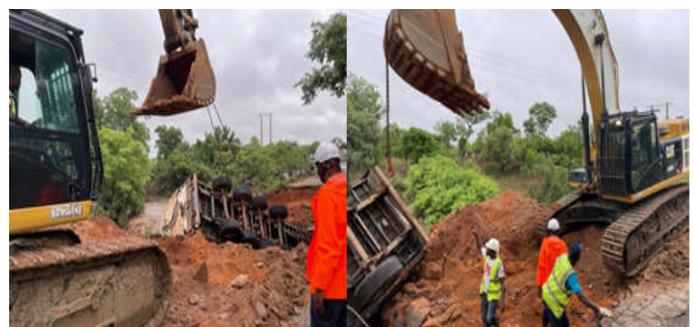


Planche 3 : Route Inter-Etat Kandi-Malanville en cours de rétablissement après la rupture du pont de Malanville

Prise de vues : Arouna, juillet, 2022

On assiste à la perte de temps en raison des complications, des contournements et des pannes diverses. En cette période, les services administratifs (publics et privés) fonctionnent au ralenti à cause de l'absence et du retard des travailleurs selon 78 % des usagers rencontrés. Aussi, les piétons ont du mal à se déplacer pendant et après chaque pluies (photo 1).



Photo 1 : Habitats difficiles d'accès à Malanville

Prise de vue : Arouna, septembre 2022

On retient de l'observation de cette photo 1, que se déplacer d'une concession à une autre devient un parcours de combattant dès que la saison des pluies s'installe. En effet, les inondations entravent sérieusement la mobilité des populations. 48% des populations interviewées, disent ne plus sortir de leur maison après le passage des pluies. Et s'ils sont contraints de sortir, ils sont obligés de plonger leurs pieds dans l'eau. Ce qui est d'après eux, sources de maladies diverses. De même, les routes restent impraticables pendant des semaines voire des mois, et oblige les usagers à emprunter d'autres passages plus moins dangereux.

Actions des risques hydroclimatiques sur les moyens de déplacement

Les populations rencontrées, ont estimés que la saison des pluies est la période pendant laquelle, les moyens de déplacement tombent fréquemment en panne. En effet, 83,52% des conducteurs affirment que les eaux des inondations rouillent les roues des motos. De même, le moteur et la peinture des véhicules sont très souvent dégradé en cette période. Selon la quasi-totalité (99 %) des conducteurs d'engin à deux roues, les différentes parties de motos telles que les dents de chaîne, les roulements, les chaînes, les bougies sont souvent abimées. Les pneus et les chambres à air sont régulièrement percés à cause du désensablement, surtout sur les voies non bitumées qui laissent à découvert des objets ou déchets pointus ou coupants. Par ailleurs, les conducteurs de véhicules sont obligés de changer les pneus à l'approche des saisons pluvieuses, car selon eux il est très dangereux de rouler sous la pluie avec des pneus en mauvais état. Certaines motos qui ne résistent pas à l'eau comme les motos "mate" s'éteignent dans l'eau. La figure 5 présente les différentes parties des moyens de déplacement souvent en panne.

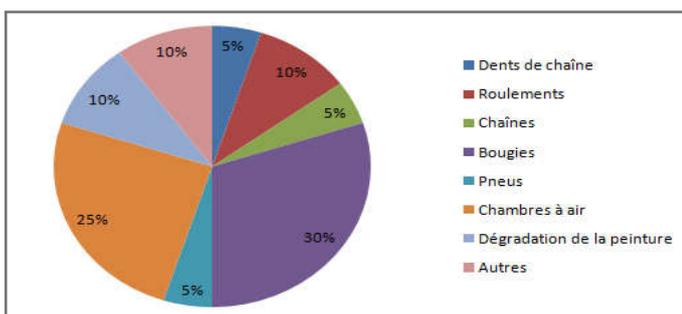


Figure 5 : Différentes parties des moyens de déplacement souvent en panne

Source : Travaux de terrain, septembre 2022

Il ressort de l'analyse de la figure 5 que, les bougies, les chambres à air, la peinture et les roulements sont les plus touchés en période d'inondation. En effet, à force de rouler dans les nids de poules ou sur les morceaux de brique, les véhicules et les motos s'amortissent, ce qui est parfois source d'accidents. De même les accidents surviennent quand la moto s'éteint en plein milieu de la circulation ou que les pneus des camions se retrouvent ne plus être en contact avec la chaussée (photo 2).



Photo 2 : Vue d'un camion déséquilibré en circulation

Prise de vue : Arouna, juillet 2023

Cette photo 2 montre un camion en circulation et dont tous les pneus ne sont pas en contact avec la chaussée. Cette situation est à l'origine de plusieurs accidents de circulation où les camions sont impliqués d'après les usagers rencontrés. Par ailleurs, les usagers sont confrontés à diverses pannes à cause de l'état de la route. Ce qui ne permet pas d'arriver à temps à sa destination.

Analyse diagnostic de la vulnérabilité des infrastructures de transports dans les Communes de Karimama et de Malanville

La figure 6 présente les résultats de l'application du modèle SWOT en ce qui concerne l'impact des risques hydroclimatiques sur les infrastructures routières des Communes de Karimama et Malanville.

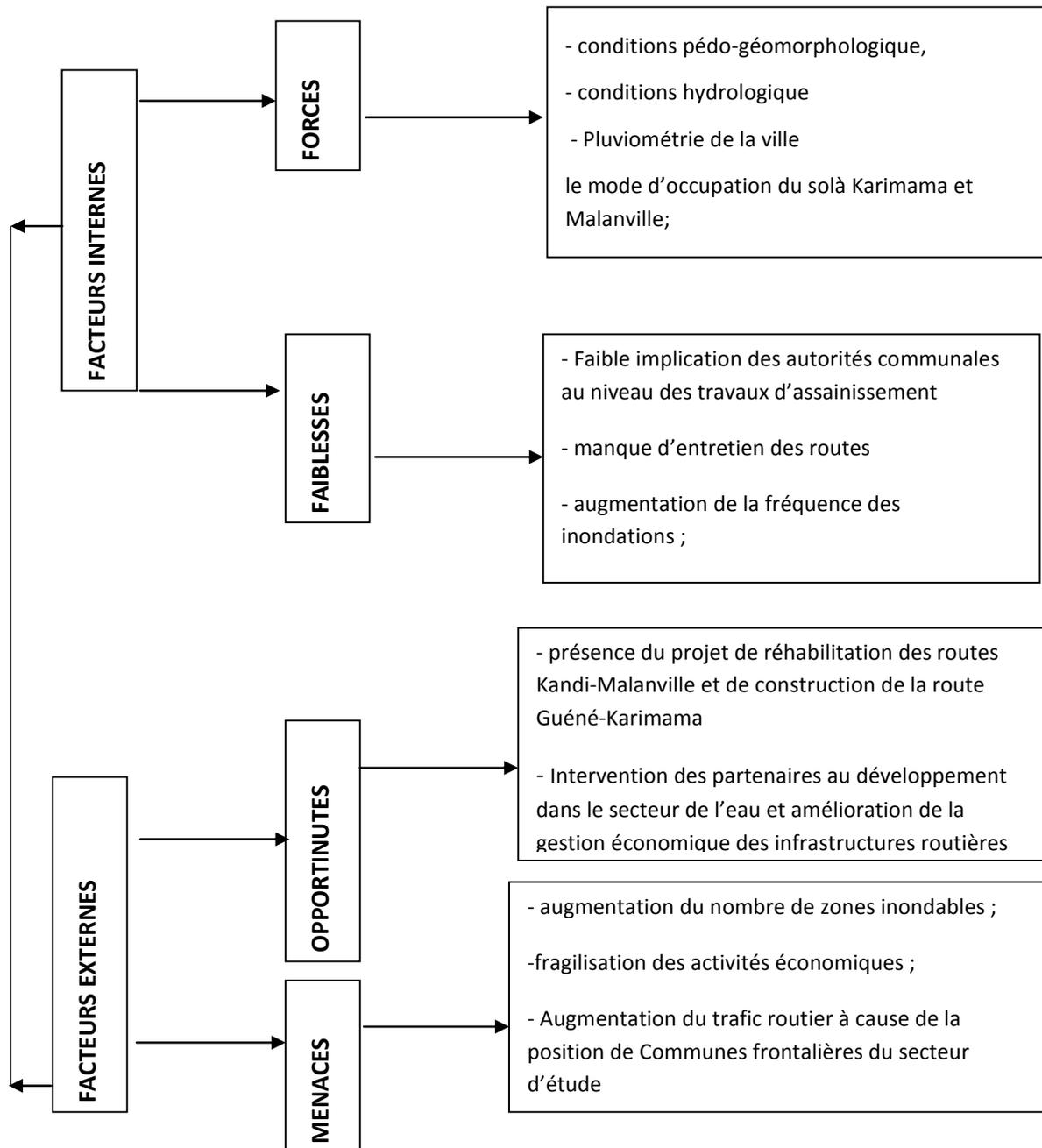


Figure 6: Modèle d'analyse de la vulnérabilité des infrastructures de transports dans les Communes de Karimama et de Malanville

De l'analyse de la figure 6, il ressort que les facteurs internes tels que le climat, les conditions pédo-géomorphologique et hydrologique, le mode d'occupation du sol dans les Communes de Karimama et Malanville constituent les forces des difficultés de mobilité. La faible implication des autorités communales au niveau des travaux d'assainissement, le manque d'entretien des routes, l'augmentation de l'occupation anarchique des marécages, la non efficacité du système de transport, sont à la base des difficultés de circulation à Karimama et Malanville.

Les facteurs externes tels que, l'exécution du projet de réhabilitation des routes Kandi-Malanville et de construction de la route Guéné-Karimama, l'intervention des partenaires au développement dans le secteur de l'eau et amélioration de la gestion économique des infrastructures routières pourrait contribuer au développement du secteur des transports dans les Communes de Karimama et Malanville. Les menaces de la mobilité se résument à l'augmentation du nombre de zones inondables ; à la fragilisation des activités économiques ; à l'augmentation du trafic routier à cause de la position de Communes frontalières du secteur d'étude, à l'augmentation des cas d'accidents ainsi qu'à la forte probabilité du risque d'inondation et autres risques. En somme, des contraintes de divers ordres amplifient la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques hydroclimatiques à Karimama et Malanville. Mais ces dernières déploient des stratégies qu'il faut évaluer et améliorer en vue d'une réduction des effets des extrêmes pluviométriques sur la mobilité des populations.

DISCUSSION

Les résultats obtenus révèlent que, les indices d'exposition des infrastructures de transports varient de 52% à 76%. Les voies en terre et les pistes rurales sont les plus exposés avec un indice respectif de 76% et de 68%, contrairement aux voies pavées (52%), aux voies bitumées et les ouvrages de franchissements (60%) et les voies qui sont les moins exposés. L'analyse faite de la matrice de sensibilité a permis de comprendre que ces infrastructures sont menacées par les risques hydroclimatiques, dont les majeurs sont les inondations et l'érosion avec les indices respectifs de 92% et 84%. Viennent ensuite la sécheresse et les vents violent avec un indice d'impact de 56%. La BM, (2016, p. 5) confirme les résultats obtenus en précisant dans son rapport que, les réseaux de transport africains sont vulnérables à plusieurs types d'impacts : élévation du niveau de la mer et ondes de tempête, hausse de la fréquence et de l'intensité des orages et vents extrêmes, et de l'intensité des précipitations, chaleur extrême et risques d'incendie, réchauffement global et évolution des régimes de précipitations moyens.

Les résultats de cette thèse montrent également que le secteur du transport subit les effets des pluies diluviennes dans le secteur d'étude. En effet, l'eau envahi la route comme la plupart des routes des Communes de Karimama et Malanville, rendant du coup plus difficile la mobilité des personnes et des biens durant la saison pluvieuse. En effet, pendant la saison pluvieuse, les précipitations se succédant sans interruption pendant quelques jours, laissent les eaux de ruissellement stagnantes dans la plupart des localités bloquant ainsi la mobilité des personnes et des biens. Ainsi, comme effets négatifs, les bougies, les chambres à air, la peinture et les roulements sont les plus touchés en période d'inondation. En effet, à force de rouler dans les nids de poules ou sur les morceaux de brique, les véhicules et les motos s'amortissent, ce qui est parfois source d'accidents. De même les accidents surviennent quand la moto s'éteint en plein milieu de la circulation ou que les pneus des camions se retrouvent ne plus être en contact avec la chaussée. Ayant constaté cela, la BM, (2016, p. 6), affirme que Le coût du renforcement de la résilience des infrastructures de transport n'est généralement pas neutre. Selon les estimations mondiales, l'adaptation au changement climatique dans un monde plus chaud de 2 degrés peut coûter de 70 à 100 milliards USD par an d'ici 2050. Particulièrement au Bénin et à Cotonou, S. B. Agbossaga, (2020, p. 52), renchérit et affirme que, sur le plan économique, on retient que les infrastructures routières, s'altèrent très rapidement sous l'action des inondations. Il y a des trous un peu partout sur les voies en terre, des flaques d'eau au bon milieu des routes avec des affaissements sur les voies pavées et les trottoirs. Il s'en suit une accélération du cycle de pauvreté et une plus grande vulnérabilité aux catastrophes.

CONCLUSION

La présente recherche contribue à une meilleure connaissance de la vulnérabilité des infrastructures routières face aux risques hydroclimatiques dans les Communes de Karimama et Malanville. L'analyse fréquentielle des hauteurs maximales de pluies révèle que les inondations pluviales les plus fréquentes et pouvant survenir chaque 2 ans et 3 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière respectif de 251 mm et 280 mm au niveau des Communes de Karimama et de Malanville. De même, les débits maximaux compris entre 1600 et 1770 m³/s ont la possibilité de subvenir respectivement chaque deux ans et trois ans. De même, les débits journaliers maximums de 1960 m³/s peuvent subvenir chaque cinq ans et les crues décennales sont d'environ 2200 m³/s. Ainsi, les risques hydroclimatiques majeurs auxquels font face les populations sont les

inondations (92,33%), l'érosion (89,64%), la sécheresse (57,11%), la chaleur excessive (40,21%) et les vents violents (33,22%).

De l'analyse de la vulnérabilité des infrastructures routières, il ressort que, les voies en terre et les pistes rurales sont les plus exposés avec un indice respectif de 76% et de 68%, contrairement aux voies pavées (52%), aux voies bitumées et les ouvrages de franchissements (60%) et les voies qui sont les moins exposés. De ce fait, les bougies, les chambres à air, la peinture et les roulements sont les plus touchés en période d'inondation. Les menaces de la mobilité se résument à l'augmentation du nombre de zones inondables; à la fragilisation des activités économiques; l'augmentation du trafic routier à cause de la position de Communes frontalières du secteur d'étude, à l'augmentation des cas d'accidents ainsi qu'à la forte probabilité du risque d'inondation et autres risques. En somme, des contraintes de divers ordres amplifient la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques hydroclimatiques à Karimama et Malanville. Face à ces difficultés, beaucoup d'efforts se font dans la construction des infrastructures routières, par l'Etat et les autorités du secteur d'étude.

RÉFÉRENCES

- ASSOGBA H. Marcellin, 2011, facteur naturel des inondations à Cotonou : approche cartographique. Mémoire de maîtrise de géographie, FLASH/DGAT/UAC, 88 p.
- FONTAINE Bernard., ROUCOU P., CAMARA M., VIGAUD N., KONARE A., SANDA S.I., DIEDHIOU A., JANICOT S., (2012) : Variabilité pluviométrique, changement climatique et régionalisation en région de mousson africaine. La Météorologie, (Spécial AMMA), p. 41-48. ISSN 0026-1181
- GIEC 2020, Le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées : Quels impacts pour l'Afrique ? 40p.
- KODJA Domiho Japhet, 2018, Indicateurs des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Géographie. Thèse de Doctorat Unique, Université de Montpellier, 288p.
- MTPT, 2015, Document de programmation pluriannuelle des dépenses (dppd) 2016-2018, Document de Prévision Financière, Cotonou, 44p.
- OUENSAVI Antelme, 2020, Analyse de la gestion du fret par les transporteurs interurbains sur l'axe Cotonou-Parakou. Mémoire de master en Economie des Transports et Assurances, MIRD/IGATE/UAC, 64p.
- SAMBIENI KEREKOUA K. Castro, 2013, Episodes météorologiques en 2009 et la problématique de la sécurité routière dans la ville de Cotonou. Mémoire de maîtrise de géographie, FLASH/DGAT/UAC, 67p.
- THACKER Scott, ADSHEAD Daniel, FANTINI C, PALMER R, GHOSAL R, ADEOTI T, MORGAN G, STRATTON-SHORT S, 2021. Les infrastructures et la lutte contre les changements climatiques, UNOPS, Copenhague, Danemark, 2021. DOI : https://content.unops.org/publications/Infrastructure-for-climate-action_FR.pdf
- THIAW Adiouma, 2012, Analyse du transport routier de marchandises dans l'espace CEDEAO l'exemple du corridor Dakar-Bamako, Mémoire de Master en Transport et Logistique Université Cheikh Anta Diop, 100 p.
