DYNAMIQUE SPATIALE ET GESTION DES RISQUES D'INONDATION

ABDOU FOLGA Moustapha
Université André Salifou/ Zinder
Mail : abdoufolgamoustapha2@gmail.com

Résumé : Au Niger, les inondations font partie des catastrophes naturelles les plus récurrentes. Elles sont soumises aux divers facteurs aggravant le risque. Ces facteurs s'articulent autour de la dynamique spatiale qui, sous l'effet de la pression démographique, accentue le risque d'inondation. Notre recherche vise à montrer en quoi le SIG peut être utilisé pour améliorer la gestion des risques d'inondation dans la ville de Niamey. Pour ce faire, des images Landsat ont été utilisées pour étudier l'évolution à travers le temps des différentes unités d'occupation des terres. Des enquêtes de terrain ont aussi été menées pour comprendre le mode de gestion des inondations et les degats enregistrés au cours de celle de 2020. Il ressort de l'étude faite, une nette progression de certaines unités au profit des autres. La classification supervisée des images Landsat 2000 à 2020 a permis de distinguer les unités telles que la végétation qui a perdu 60,26 % de sa superficie et les espaces urbanisés qui ont progressé de 151,57 % de sa superficie. Les images Landsat correspondant aux dates clés des inondations de 2020 ont permis de réaliser une carte des zones inondées en faisant ressortir l'impact de l'inondation sur les unités d'occupation des terres. Enfin la simulation prospective avec molusce a permis de faire une projection des unités à l'horizon 2040 et d'en faire ressortir les superficies pour une meilleure prévention des risques d'inondation. De ce fait, selon la prospective les espaces urbanisés occuperont la plus grande superficie en 2040, avec 19108,30 ha.

Les mots-clés **:** inondations, gestion des risques, dynamique spatiale, simulation prospective, Niamey.

Abstract: In Niger, floods are one of the most recurring natural disasters. They are subject to various factors that increase the risk. These factors revolve around spatial dynamics which, under the effect of demographic pressure, increase the risk of flooding. Our research aims to show how GIS can be used to improve flood risk management in the city of Niamey. To do this, Landsat images were

used to study the evolution over time of different land use units. Field surveys were also carried out to understand the way in which the floods were managed and the damage recorded during that of 2020. The study carried out shows a clear increase in some units for the benefit of others. The supervised classification of Landsat 2000 to 2020 images made it possible to distinguish units such as vegetation which lost 60.26% of its area and urbanized spaces which increased by 151.57% of its area. Landsat images corresponding to the key dates of the 2020 floods made it possible to map the flooded areas, highlighting the impact of the flooding on the units of land use. Finally, the prospective simulation with molusce made it possible to project the units to the horizon 2040 and to highlight the areas for better prevention of flood risks. As a result, according to the forecast, urbanized spaces will occupy the largest area in 2040, with 19108.30 ha.

Keywords: floods, risk management, spatial dynamics, prospective simulation, Niamey.

Introduction

L'aléa inondation est dépendant de la variabilité saisonnière ou interannuelle normale du climat et des fluctuations climatiques, qui font qu'un même espace peut être soumis à des périodes durant lesquelles les inondations sont plus fréquentes et violentes que d'autres (Scarwell et Laganier, 2004). De plus, l'aléa inondation, qui est en partie lié à la nature des états de surface génératrice des crues, est aussi dépendant de l'évolution de l'occupation du sol sur les bassins versants (ibid, 2004). De son côté, la vulnérabilité évolue tant dans sa dimension matérielle (l'occupation du sol dans les vallées inondables a fortement changé au cours du temps) que dans sa dimension immatérielle (évolution des représentations mentales que les groupes sociaux se font de l'aléa et de la politique de gestion du risque) (Scarwell et Laganier, 2004) cité par (ISSAKA H et all en 2013).

Au Niger, les inondations font de plus en plus des dégâts, et le pays a fait face à la plus grosse inondation de son histoire en 2020. Le bilan était de 32 900 Habitations détruites et 3 082 hectares de cultures irriguées ont été ensevelis par les eaux. Avant la saison de pluie, les autorités avaient essayé de prévenir le risque en mobilisant près de 464 millions de francs CFA pour rehausser la digue à 650 cm.

Mais malheureusement, le 25 Août, la digue a cédé entrainant les premières inondations (MAH/GC, 11 Septembre 2020).

Cependant malgré les moyens mis par l'Etat et ses partenaires pour la prévention et la gestion des risques à travers la création d'un ministère en 2016 dédié à cela, les stratégies et les formes de préventions utilisées tant au niveau du gouvernement qu'au niveau local demeurent très insuffisantes.

Le choix de Niamey comme chef-lieu du territoire et capitale de la colonie du Niger à cause de la présence du fleuve dans cette partie du Sahel (ISSAKA H., 2010), où la présence d'un cours d'eau permanent est une source de stabilité, peut aussi avoir des conséquences sur les hommes et leurs biens. La présence du fleuve et des vallées peut être source de dangers pour une population très vulnérable. Cette vulnérabilité est accentuée par la pauvreté de la majorité des citadins, l'absence d'aménagement préalable des sites destinés à l'habitat, mais encore et surtout l'occupation des sites inondables par des populations déterminées à avoir un logement (ibid, 2010). La multiplication des acteurs urbains, la violation des textes par les uns et les autres, et le bas niveau de vie, la disparition de la savane au profit des bâtis sont autant des facteurs qui accentuent les risques lors d'une inondation (ibid, 2010). Les inondations semblent cycliques dans certains secteurs de la ville et annuelles dans d'autres. Pourtant en dépit de cette évidence, des moyens tardent à être mis en place afin de diminuer les risques (ISSAKA H et al, 2013).

Dans ce contexte notre thème qui s'intitule « Dynamique spatiale et gestion des risques d'inondations dans la ville de Niamey au Niger » vise à montrer de quelle manière la dynamique spatiale peut être prise en compte dans l'amélioration de la gestion des risques d'inondation de la ville de Niamey.

1. Méthodologie

Pour la réalisation de cette étude, des images satellitaires, des données géographiques, climatiques et démographiques ont été utilisées.

1.1. Images Satellitaires

Les Images satellitaires du capteur Landsat archive ont été utilisées, elles ont été téléchargées gratuitement grâce au programme

américain de télédétection spatiale (NASA et USGS), http://earthexplorer.usgs.gov/ , qui se consacre aux sciences de la Terre.

Pour caractériser la dynamique spatio-temporelle et la gestion du risque d'inondation, les images des capteurs LANDSAT ETM+ et OLI/TIRS ont été téléchargées. Ils ont été choisis grâce à leurs disponibilités et offrent une importante archive d'images.

1.2. Choix des dates des images

Pour toute étude diachronique des unités d'occupation du sol, il est très important de bien choisir la date de prise de vue, car les conditions de terrain varient selon le temps et l'espace. Etant donner que les unités d'occupation des terres choisies pour cette étude inclus la végétation, le sol nu, les champs de culture dunaire et irriguée, nous avons préféré utiliser les images issues des mois de, octobre, novembre et décembre. Durant la saison sèche la saison sèche, le taux de couverture nuageux est le plus faible, rendant ainsi possible l'acquisition d'images sans recouvrement nuageux et les cultures sont dépourvues de toute chlorophylle pouvant entrainer la confusion lors de la photo-interprétation.

Pour la cartographie des inondations des images correspondant à la date avant l'inondation, pendant l'inondation et après l'inondation ont été téléchargées. Ces dates correspondent respectivement aux 12 Juillet, 14 Septembre et 16 Octobre 2020.

Tableau 1 : caractéristiques des images satellitaires

Satellite	Capteur	Date	Row	Path	Format	Résolution
DYNAMIQUE SPATIALE						
Landsat 7	ETM	02/11/2000	51	193	TIFF	30 m
Landsat 7	ETM	29/10/2010	51	193	TIFF	30 m
Landsat 8	OLI/TIRS	17/11/2020	51	193	TIFF	30 m
INONDATION						
Landsat 8	OLI/TIRS	12/07/2020	51	193	TIFF	30 m
Landsat 8	OLI/TIRS	14/09/2020	51	193	TIFF	30

1.3. Données géographiques

Une base de données a été utilisée à des fins cartographiques. Elle a permis l'exploitation des limites administratives des

communes, départements, et des régions ; ainsi que l'extraction des cours et plans d'eau, des voies de communication et des localités du secteur d'étude.

1.4. Données climatiques

Les données climatiques qui ont été utilisées dans cette étude proviennent de la Direction de la Météorologie Nationale du Niger. Elles ont été enregistrées par la station météorologique de Niamey (fleuve Niger). Cette station a été choisie comme référence, car elle représente au mieux la zone d'étude. Les données, sont relatives à la pluviométrie, et seront essentielles pour l'analyse de la crue et des inondations. Ces données concernent les mois d'Août et de Septembre 2020 et portent sur les niveaux d'eau et les débits du fleuve dans cette période.

1.5. Model numérique de terrain

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de résolution 30m a été téléchargé depuis la plate-forme d'USGS (http://earthexplorer.usgs.gov/). Il a permis de voir les variations topographiques du secteur d'étude, de déterminer le réseau hydrographique, et d'extraire les courbes de niveau ainsi que les pentes.

1.6. Méthodes et outils de collecte des données

Pour mener à bien notre recherche, des informations sur la base des données primaires et secondaires ont été obtenues auprès de services, institutions, ménages et personnes ressources. Les outils qui ont été utilisés dans ce cadre sont des questionnaires et guides d'entretien, observations directes sur le terrain, un récepteur GPS et un appareil photographique.

1.7. Recherche documentaire

La revue documentaire permet de capitaliser les informations existantes sur les études diachroniques et les inondations, de faire le point sur les données nécessaires à la réalisation de l'étude. Elle nous a conduit à consulter plusieurs documents ayant en lien avec la

thématique de notre étude, des thèses, des mémoires, articles scientifiques et des rapports.

Elle se fait dans les bibliothèques de l'IPD AOS, de l'Université de Zinder, de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et les directions régionales (Environnement, urbanisme, à la Direction de la Météorologie Nationale du Niger, centre AGRHYMET, mairie centrale, l'institut national de la statistique) et surtout sur internet.

1.8. Enquête socio-économique

L'enquête socio-économique a consisté à administrer des questionnaires aux ménages qui ont fait l'objet de notre échantillonnage, elle a permis de collecter un ensemble de données quantitatives sur les ménages.

Concernant les ménages enquêtés, ils ont été retenus sur la base du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2012 (données réactualisées par l'INS). Le tableau n°3 donne des chiffres qui représentent 5% des ménages.

Tableau 2 : échantillons des ménages selon les quartiers d'enquête

Quartiers inondés	Nombre de ménages	% de menage a enquetés	menage a enquetés
Lamordé	1004	5	50
Kirkissoye	1510	5	76
Nordiré	528	5	26
Gamkalley	1253	5	63
Zarmagandey	78	5	4
Saga fondobon	843	5	42
TOTAL			261

Source : INS 2012, enquêtes terrain, entretiens, 2021

1.9. Entretiens

Des questions ont été administrées à l'autorité municipale des différentes communes touchées par l'inondation. Ces questions ont permis de comprendre comment étaient gérées les inondations passées, les conséquences sur les populations victimes, les difficultés rencontrées ainsi que les stratégies d'amélioration préconisées.

1.10. Outils de collecte des données

Les outils de collecte des données sont composés :

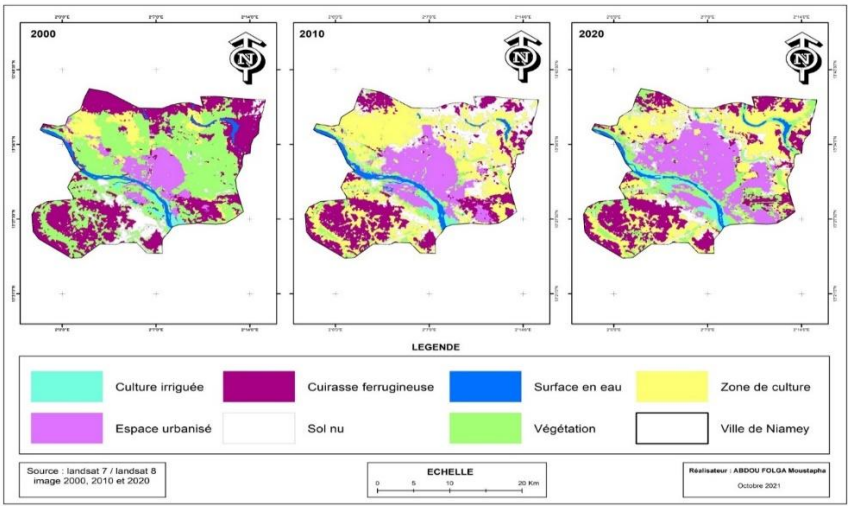
- d'un GPS de type GARMIN Etrex 10 pour la prise de coordonnées géographiques des objets, la vérification terrain des entités d'intérêt ainsi que la prise des points pour la validation. Ces données ont aussi servi au traitement des images satellites notamment leur classification. En tout 100 points ont été collectés, 10 pour chacune des classes. Ainsi 10 points ont été collectées pour la validation de la classification ;
  - de Kobo Collect pour l'élaboration et l'administration des questionnaires de l'enquête socio-économique ;
  - de guides d'entretien ;
  - d'un appareil photographique numérique pour les prises de vue des différentes réalités observées sur le terrain

2. Résultats obtenus

2.1. Evolution spatio-temporelle de la ville de Niamey de 2000 à 2020

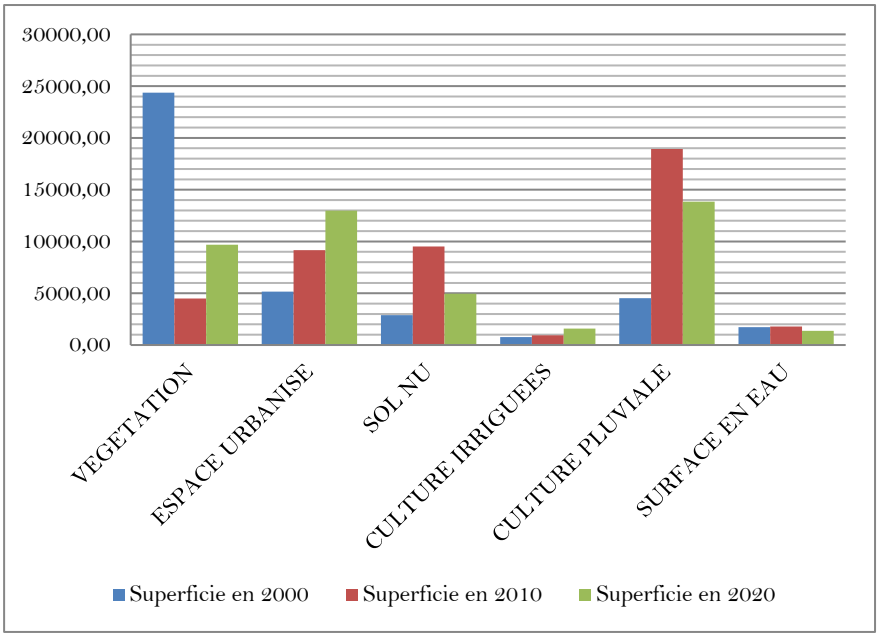
La cartographie des unités d'occupation des terres a été réalisée dans le but d'évaluer les évolutions spatiales et temporelles des différentes unités dans la ville de Niamey. Ces différentes unités sont la végétation, les espaces urbanisés, le sol nu, les cultures irriguées, les zones de culture pluviale et la surface en eau. La carte suivante présente la répartition spatiale des différentes unités d'occupations précitées.

Carte 1 : *unités d'occupation des terres de 2000 à 2020*



De cette carte, ressort un graphique synthétique (graphique n°) de toutes les unités d'occupation des terres de 2000 à 2020 pour mieux apprécier les tendances évolutives de chaque unité d'occupation sur les deux (2) dates.

***Graphique 1** : Graphique synthétique d'évolution des unités d'occupation des terres de 2000 à 2020*



Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

La plupart des unités ont connu une régression de 2000 à 2020, c'est le cas de la végétation, du sol nu, de la surface en eau, et des cultures pluviales. Cela est dû à la pression démographique et à la croissance urbaine. Seulement deux unités ont connu une progression, il s'agit des espaces urbanisés et des cultures irriguées. Ceci illustre le rôle important de l'expansion urbaine par étalement accéléré de la ville au dépend de certaines unités d'occupation des terres.

2.2. Les facteurs aggravants le risque d'inondation

2.2.1. Étalement urbain

L'accroissement démographique a profondément transformé l'organisation spatiale de la ville de Niamey. Dans un contexte

d'urbanisation rapide et de progression de la pauvreté urbaine en Afrique, une grande partie de la population connaît des difficultés pour satisfaire ses besoins de mobilité, en services urbains, en système des gestions des eaux pluviales. La dynamique du développement urbain de Niamey se traduit par un rapide étalement urbain (YAYE S, 2014). La mobilité résidentielle intra-urbaine des ménages participe aussi à l'étalement de la ville du fait des couts exorbitant en zone centrale. Elle se fait surtout selon un modèle de mouvement centrifuge, c'est-à-dire des déplacements des zones plus centraux vers la périphérie où l'on voit naître de nouveaux quartiers sans cesse (Adamou A. 2012). L'évolution spatiale de la ville de Niamey peut être résumée en quatre étapes, allant de la période coloniale à nos jours :

- la première étape présente Niamey comme une ville coloniale marquée par une dualité de l'habitat ;
- la deuxième présente le développement de la ville de 1960 à 1980 ;
- la troisième comprise entre 1990 et 2000, est présentée comme la période de dilapidation des ressources foncières ;
- A partir des années 2000 qui marquent la quatrième étape, on assiste à l'épuisement des ressources foncières de la ville.

L'analyse se poursuit par des projections montrant une aggravation possible de l'étalement de ville dans la logique de développement actuelle.

Ainsi l'étalement urbain doit être perçu comme un enjeu environnemental majeur, du fait de sa conséquence sur la consommation de l'espace et d'énergie. Il est d'autant plus difficile à vivre pour les ménages Niaméens que le développement des réseaux (eau, électricité, transport, voirie) et des infrastructures qu'il nécessite dans les quartiers récents, ne suivent pas.

La ville s'est beaucoup développée durant la période allant de 2000 à 2020 avec 5158,00 ha à 12993,03 ha d'espaces urbanisés (voir graphique n°8) au profit de plusieurs unités d'occupation des terres.

2.2.2. Occupation des terres

L'étude sur la dynamique de l'occupation terres ont montré une dynamique forte des unités d'occupation des terres d'abord à travers la matrice de transition des unités de 2000 à 2020 qui montre une très forte disparition de la végétation au profit des espaces urbanisés avec 6433,74 hectares de perte. Il y a aussi une très grosse

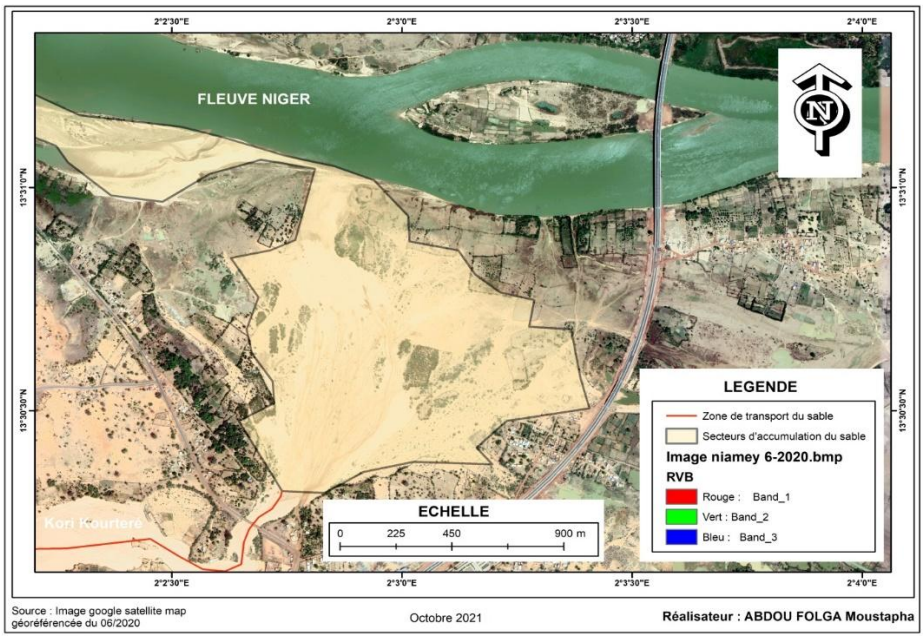
perte de la végétation protectrice face aux risques d'inondation, au profit des cultures pluviales (Tableau 10).

La ville ne fait que s'accroitre. Les arbres fixent les sols et réduisent le taux de ruissellement. Cependant, la dégradation des sols et à l'encroûtement, influent sur les écoulements du fleuve et de son ensablement, autant de conditions favorables aux inondations.

2.2.3. L'ensablement du fleuve Niger : facteur de l'explication du débordement du fleuve Niger

L'ensablement est un facteur qui, aujourd'hui, constitue une menace pour les riverains du fleuve. Ce facteur rend les crues plus brutales et leur donne une extension importante dans l'espace, car le sable occupe la majeure partie du lit du fleuve. Le processus de l'ensablement du fleuve Niger s'effectue à travers les koris qui s'y jettent, pendant l'hivernage. Ces derniers transportent une quantité importante de sable et le déposent sur le lit du fleuve. Ce phénomène est visible en période d'étiage[1]. Le transport est tellement important que les koris présentent des zones d'épandage sableux (carte n°4). Ce processus est aujourd'hui un danger pour le fleuve.

Carte 2 : *ensablement du fleuve*



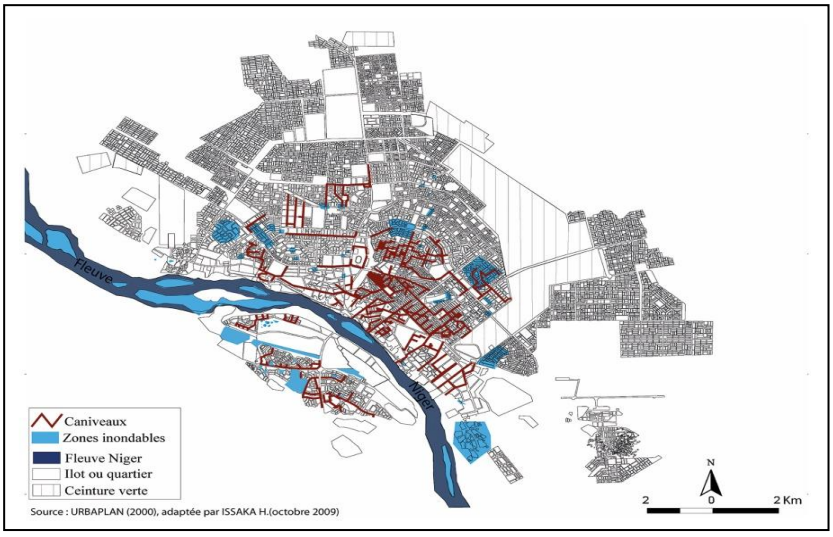
[1] Niveau le plus bas d'un cours d'eau (Larousse)

2.2.4. Système inadéquat de gestion des eaux de pluie

La ville de Niamey est en pleine construction et on voit du jour au lendemain de nouveaux quartiers naitre. En effet, ces quartiers ne sont dotés d'aucun équipement d'assainissement urbain (voirie, caniveaux…), ce qui fait qu'ils sont toujours confrontés à des problèmes d'évacuation des eaux pluviales surtout. Par conséquent, on constate une stagnation des eaux sur les voies latéritiques et sableuses rendant la circulation difficile. En plus, le comportement de la population peut aussi avoir un impact sur le ruissellement urbain. Les caniveaux existants qui sont conçus pour l'évacuation des eaux sont transformés en dépotoirs servant à déverser toutes sortes d'ordures ménagères. Cela empêche aux caniveaux de jouer à bien leur rôle notamment en causant leur débordement d'où l'inondation des rues et autres infrastructures qui s'y trouvent à coté de ce dernier (BABALE C, 2015).

Le réseau de collecteurs existant date du premier Schéma Directeur d'Assainissement (SDA) de 1981 pour un horizon de 15 ans (1981-1996). Les recommandations du schéma n'étaient pas à terme quand sa réactualisation s'est imposée en 2001. Le Niger en générale est très en retard sur les questions liées à la gestion des eaux pluviales et particulièrement la ville de Niamey qui fait face à un étalement urbain sans égale et dont les équipements à cet effet n'existent point ou tardent à être réalisés.

Figure 1 : *les caniveaux d'évacuation des eaux pluviales*



Source : ISSAKA H et al., 2012

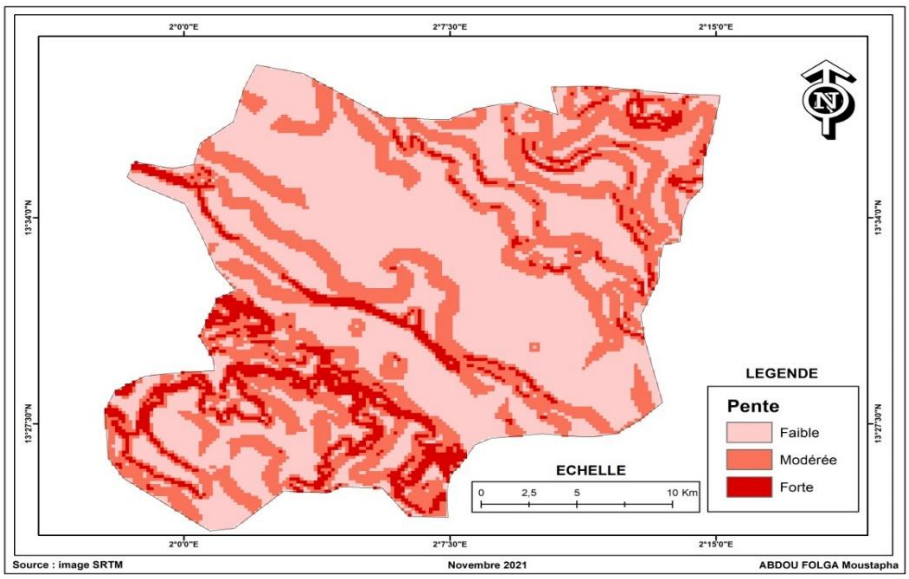
2.2.5. La topographie

La topographie de Niamey joue un rôle très prépondérant dans la récurrence des inondations. La plaine rive droite est naturellement très vulnérable, précisément la zone située en dessous de la cote 182m. Dans cette zone, toute pluie supérieure à 35 mm entraine une inondation, notamment à Zarmagandey et dans les marges des quartiers comme Kirkissoye, Banga bana et Karadjé. (CEREVE/KRB, 2000).

Des travaux anciens : Western et al (1999), Chaplot et Walter (2003) ont montré que la topographie et parfois la géologie des couches profondes du sol jouent un rôle important dans le contrôle des processus hydrologiques au niveau des bassins versants et que la topographie est un facteur déterminant qui entre directement dans le comportement du système hydrique du sol. Ces études ont été d'une grande utilité dans le domaine hydrologique vu que les informations sur la topographie du bassin et la connaissance géomorphologique des sols sont indispensables à la compréhension des écoulements et par la suite à une modélisation plus réaliste.

Dans la carte n°5, ressort trois (3) classes de pentes (faible, modérée et forte). Ces classes montrent les différents niveaux de risque. Ainsi les zones à forte pente se trouvant dans la partie du fleuve qui caractérise le risque d'inondation élevé. La pente faible est plus dominante et se trouve dans la partie centrale de la ville.

Carte 3 : *la carte des pentes de la ville de Niamey*

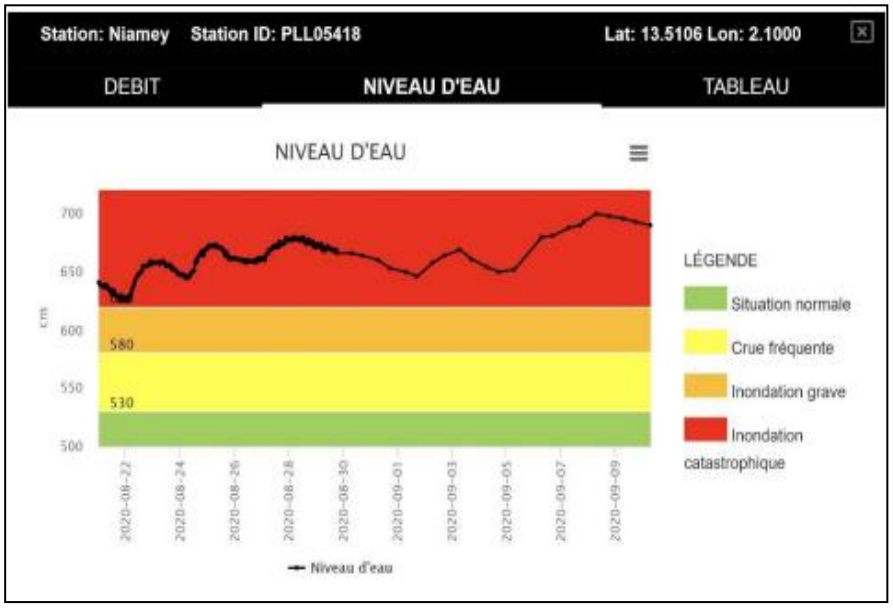


2.2.6. Les fortes précipitations (crue)

L'aspect majeur qui favorise les inondations est les fortes pluies. Les inondations résultent d'une crue provoquée par des fortes précipitations exceptionnelles (crue locale ou crue rouge) observée d'août à septembre et une crue guinéenne (crue soudanienne) due à un apport important des eaux de l'amont (Mali, Guinée) observée de décembre à janvier. L'inondation fluviale concerne quasiment les quartiers en bordure du fleuve, ceux qui sont installés dans la plaine inondable du fleuve. L'écoulement s'effectue dans le lit mineur en temps normal, lors des crues exceptionnelles les eaux s'étalent jusqu'au lit majeur d'où le débordement du fleuve. En effet, le lit majeur du fleuve se trouve souvent occupé par les cultures et la population riveraine qui fait semblant d'ignorer un éventuel retour des eaux sur son ancien lit.

Il faut signaler que le Fleuve Niger, le 8 septembre 2020 à 7h a atteint le plus haut niveau jamais égalé depuis la création de la station de mesure de Niamey en 1929, soit 699 cm, 61 cm de plus que le record de l'année passée du 01 septembre 2019 qui était de 638 cm.
La figure ci-dessous nous présente l'hydrogramme de la station de Niamey et seuils d'alerte du 22 Août au 09 Septembre 2020.

Figure 2 : *Hydrogramme de la station de Niamey et seuils d'alerte*



Source : SLAPIS

La crue rouge de 2020 est largement la plus intense jamais vue. Elle est aussi précoce qu'exceptionnelle en termes de hauteurs enregistrées à cause des précipitations très intenses observées cette année et à l'ensablement progressif du lit du Fleuve.

Tous ces facteurs expliquent le mauvais drainage des eaux de ruissèlement conduisant à l'inondation.

2.3. Enquêtes socio-économiques

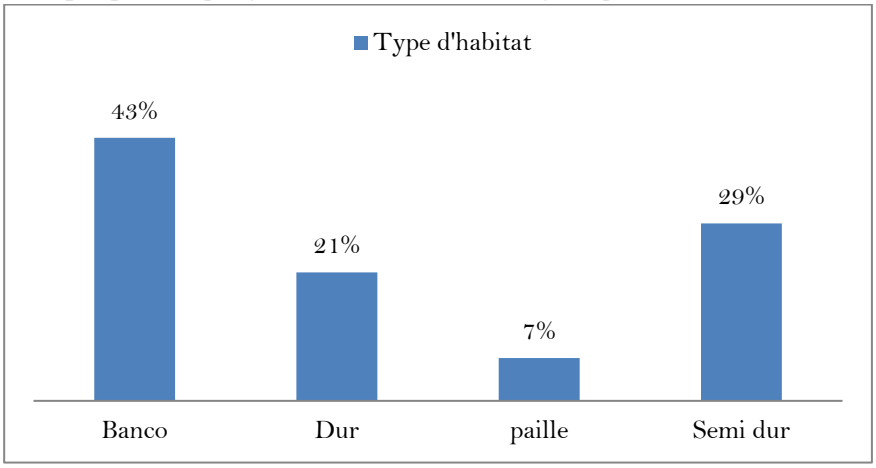
2.3.1. Typologie de l'habitat et l'accès au sol

L'accès au sol a toujours fait l'objet des différents litiges entre le droit foncier coutumier et le droit officiel. Jusque-là le pays n'arrive pas à s'imposer et éviter ces dérives, ce qui pousse les moins nantie à se procurer des parcelles dans des zones non constructible à moindre coût.

Quatre types d'habitats se distinguent à Niamey : les habitats en dur, en semi dur, en banco et en paillotes. Si l'habitat en dur est réservé aux couches aisées, les moins nantis se retrouve dans l'habitat en banco et en paillote moins résistant.

Selon les ménages enquêtés 43 % vivent dans l'habitat en banco, 29 % dans le semi dur, 21 % dans le dur et 7 % dans les paillottes. Cela explique bien le degré de vulnérabilité de la population (voir graphique n°9).

Graphique 2 : *typologie de l'habitat selon les ménages enquêtes*



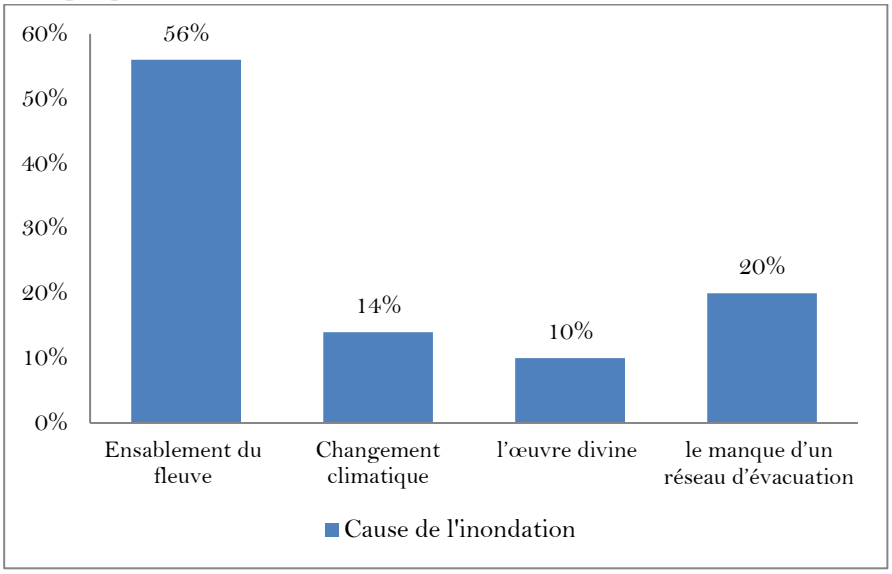
Source : enquête terrain, 2021

2.3.2. Perception du risque d'inondation

Un adage nigérien dit « un cours d'eau suit toujours sa trajectoire », cela veut dire que tôt ou tard, un bras mort du fleuve ou une rivière déviée sont des menaces potentielles car ils pourront un jour être actifs. Dans la pratique cet adage est malheureusement ignoré par beaucoup d'habitants de la rive droite à en croire les personnes enquêtées.

C'est ainsi que la plupart des répondants perçoivent que les inondations sont dues à l'ensablement du fleuve Niger 56 % parmi l'échantillon des personnes interrogées. De même que 14 % parmi l'échantillon des personnes perçoivent qu'elles sont dues aux changements climatiques. S'ajoutent, 10 % qui estiment que les inondations sont l'œuvre divine et 20 % pensent que c'est le manque de réseau d'évacuation des eaux de pluie.

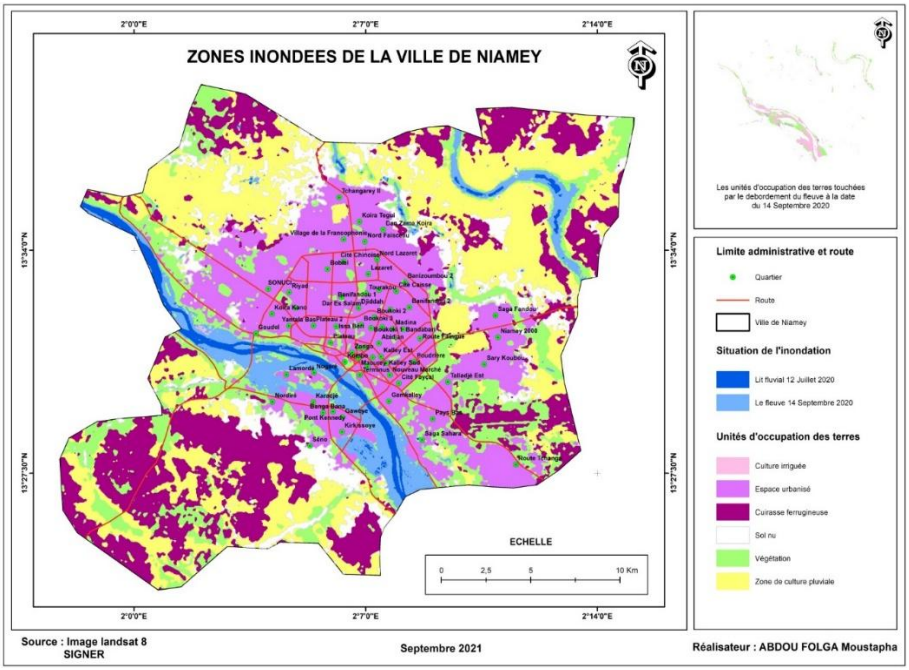
Graphique 3 : *Les causes des inondations*



Source : enquête terrain, 2021

2.4. Cartographie des zones inondées de Niamey en 2020 : la crue du Fleuve Niger d'aout-septembre 2020

Carte 4 : zones inondées de Niamey en 2020



2.4.1. Superficies des zones inondées

Le débordement du fleuve a fait des dégâts sur les unités d'occupation des terres. Le fleuve a envahi 3848,33 hectares de Culture irriguée, presque aucune rizière n'a été épargnée. Ensuite 3013,92 ha de végétation a ont été inondés, puis vient les espaces urbanisés avec 245,75 ha de maisons inondées et à la fin viennent les sols nus et les zones de cultures avec respectivement 96,09 et 64,94 hectares inondés.

Tableau 3 : *unités d'occupation des terres submergées par l'eau*

Unités d'occupation des terres	Id	Superficie en ha
Végétation	1	3013,92
Espace urbanise	2	245,75
Sol nu	3	96,09
Culture irriguées	4	3848,33
Zone de culture pluviale	5	64,94

Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

2.5. Analyse multicritère à référence spatiale pour la détection des zones à risque d'inondation

L'Analyse Multicritère (AMC) repose sur un ensemble de procédures permettant d'appréhender un problème décisionnel portant sur des situations complexes (PREVIL C. et al. 2003).

2.5.1. Choix des critères

Les critères suivants sont considérés : distance au fleuve, capacité du sol à l'infiltration ou non, pente, MNT.

2.5.1.1. Distance au fleuve

La proximité au fleuve est un facteur très important à prendre en compte dans l'identification des zones à risque d'inondation. Après l'élaboration de la carte des zones inondées en 2020 nous avons constaté que 95% des zones sont aux alentours du pleuve ou les différents koris. Alors nous avons décidé de donner une distance euclidienne de 200 m autour du fleuve. Les zones d'influence du fleuve et des affluents ont été d'une aide capitale pour l'identification des zones inondables.

2.5.1.2. Capacité du sol à l'infiltration ou non

Les caractéristiques du sol permettent au mieux de distinguer les sols qui sont perméables ou imperméables à l'infiltration. Dans le PUR les différents sols et leurs caractéristiques ont été décrits et aussi dans la carte n°6. Alors choix s'est porté sur les sols qui sont quasi-imperméables, car sans infiltration le risque est élevé à l'inondation avec des écoulements qui feront des ravages.

2.5.1.3. Pente

La pente du terrain est un paramètre important à prendre en compte pour la modélisation des zones à risque. Les pentes traduisent les ondulations de terrain et donnent une meilleure indication sur la rapidité d'écoulement des eaux de ruissèlement. Elles sont des indicatrices très importantes dans la détermination des zones inondables. La variable « pente » est une donnée endogène qui est dérivée directement à partir du MNT (modèle numérique du terrain).

Ce dernier a été obtenu par téléchargement de l'image SRTM de la zone d'étude sur le site Earth Explorer USGS.

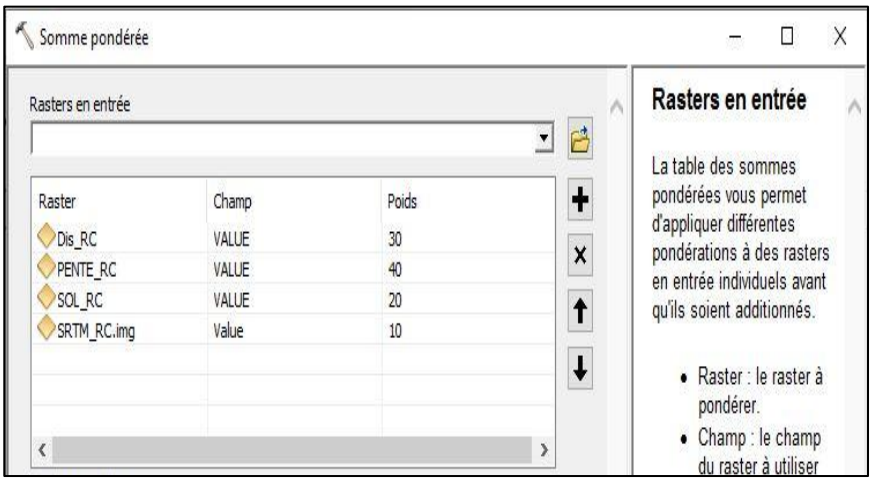
2.5.1.4. MNT

La précision du MNT permet de mettre en évidence la topographie de la zone d'étude. Dans la mesure où les eaux de ruissellement passent toujours par les points les plus bas du relief, le MNT s'avère être l'outil idéal d'identification et de détermination des différents axes de drainage (vallées). Le couplage du MNT et des données d'occupation des terres a été primordial dans la détermination des zones à risque d'inondation.

2.5.2. Mise en place du modèle

Le processus d'analyse hiérarchique de Saaty par exemple est un cas de méthode par fonction qui fait partie de la famille des méthodes d'agrégation complètes. Selon cette méthode nous avons une échelle numérique qui est définie et c'est par rapport à cette échelle que le poids de chaque variable a été évalué. Ces variables ont été pris deux à deux pour voir laquelle des variables interviennent plus dans le phénomène par rapport à l'autre (Figure n°6).

Figure 3 : *Poids de chaque variable*



Vient ensuite l'attribution des valeurs de pondération à chaque critère (Tableau n°12). Enfin, la combinaison linéaire pondérée des critères a permis d'aboutir à leur agrégation.

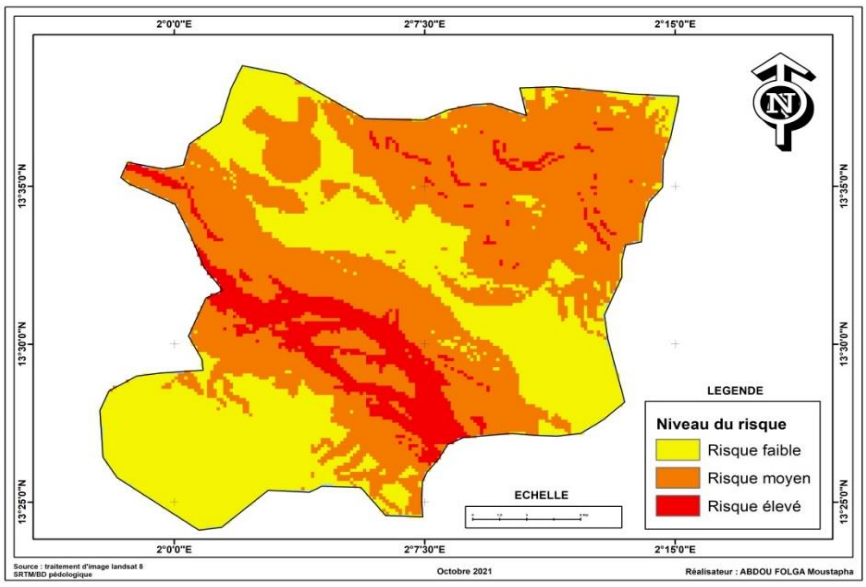
Tableau 4 : *poids des variables*

Variables	**Poids en %**
Distance au fleuve	30 %
Capacité du sol à l'infiltration ou non	20 %
Pente	40 %
MNT	10 %

Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

Le résultat est une représentation cartographique des combinaisons de critère (Carte n°7) avec une possibilité de hiérarchisation, permettant les meilleurs choix à mêmes d'orienter la prise de décision, il est alors une grille de valeurs avec pour chaque cellule, la combinaison pondérée de l'ensemble des critères. (Arctoolbox/Spatial analyst Tools/Overlay/Weighted sum).

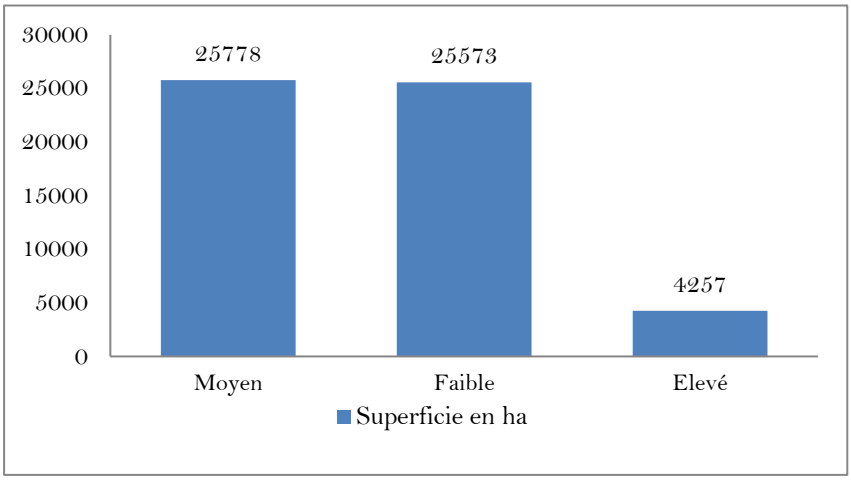
Carte 5 : *Zones à risque d'inondation*



Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

Les zones à risque d'inondation ont été déterminées par la superposition des différentes variables de vulnérabilité à l'inondation. La carte n°7 montre les zones à risque d'inondation dans la ville de Niamey. Les zones à faible risque couvrent une superficie de 25573 hectares et sont situées sur le plateau central et sur les cuirasses ferrugineuses. Les zones à risque moyen occupent quant à elles une superficie de 25778 ha et situées dans les zones un peu éloignées du fleuve et des différents affluents et présentant une pente moyenne. Les zones à risque élevé se situent sur les abords et les bras morts du fleuve Niger ainsi que sur les zones à forte pente et ont une superficie de 4257 ha (graphique n°14). Ces zones présentent un danger évident lors des crues. Cette synthèse des données a été rendue possible grâce au SIG dont l'efficacité n'est plus à démontrer dans l'analyse spatiale comme le dit ROBIN (2002) : « l'utilisation des outils de la géomatique devient rapidement nécessaire pour l'appréhension globale du risque vu sous l'angle spatial (localisation de la zone à risque) »

Graphique 4 : *Superficies des zones à risque d'inondation*



Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

2.6. Simulation ou modélisation prospective

Un des défis actuels de la recherche en géomatique est celui de la modélisation prospective de données géographiques. Depuis quelques années, la demande sociale en outils d'aide à la décision et de modélisation dans la gestion environnementale et d'aménagement des territoires s'est fortement accrue (Paegelow M., 2004). En effet,

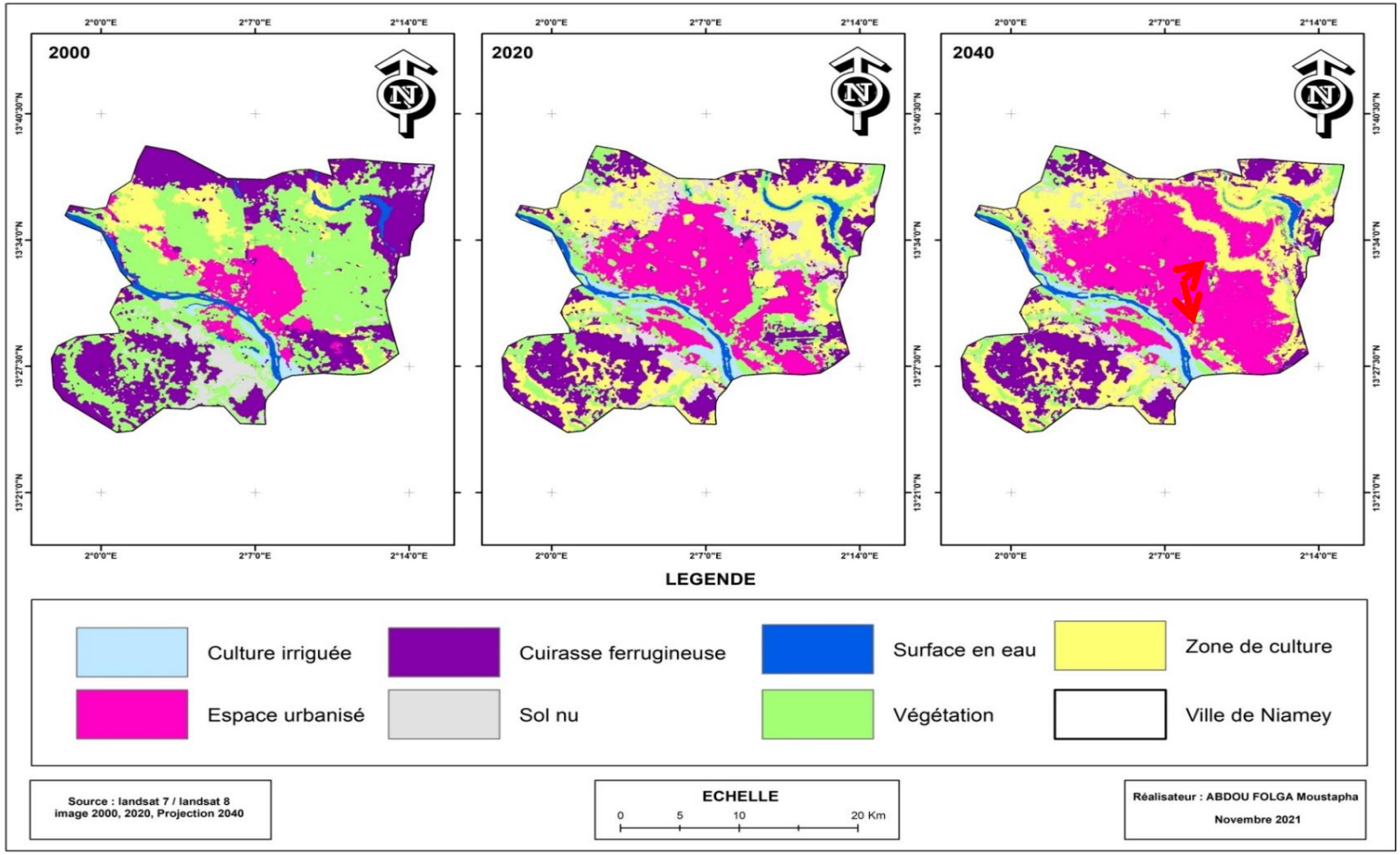
l'observation et le suivi de l'occupation des terres permettent de définir les plans d'aménagement des territoires et de planifier la gestion durable des ressources naturelles. L'occupation du sol est un indicateur pertinent de la combinaison des activités humaines que les sociétés déploient dans l'espace et auxquelles l'occupation du sol réagit avec une certaine inertie et de facteurs naturels.[2]

Pour l'étude prospective spatiale, le modèle MOLUSCE qui est un programme de QGIS pour l'évaluation des changements dans l'utilisation des terres a été utilisé. L'abréviation MOLUSCE signifie « Methods Of Land Use Change Evaluation ». Il permet d'évaluer la surface totale de changement au niveau de la classe de couverture terrestre, de modéliser la probabilité de changement, de simuler le changement à l'aide d'automates cellulaires et d'effectuer la validation du modèle. L'une de ses caractéristiques les plus intéressantes est qu'il permet de modéliser le potentiel de transition à l'aide de quatre techniques différentes : réseaux neuronaux, régression logistique, évaluations multicritères.

Cinq variables ont été employées dans le modèle Molusce, il s'agit du réseau routier (distance aux routes), des communes (densité de population), du MNT, des unités d'occupation des terres en 2000 et 2020 (voir capture ci-dessous).

[2] Modélisation prédictive des changements d'occupation des terres de la zone pastorale de la Nouaho avec le plugin molusce, (OUEDRAOGO Blaise, 2020)

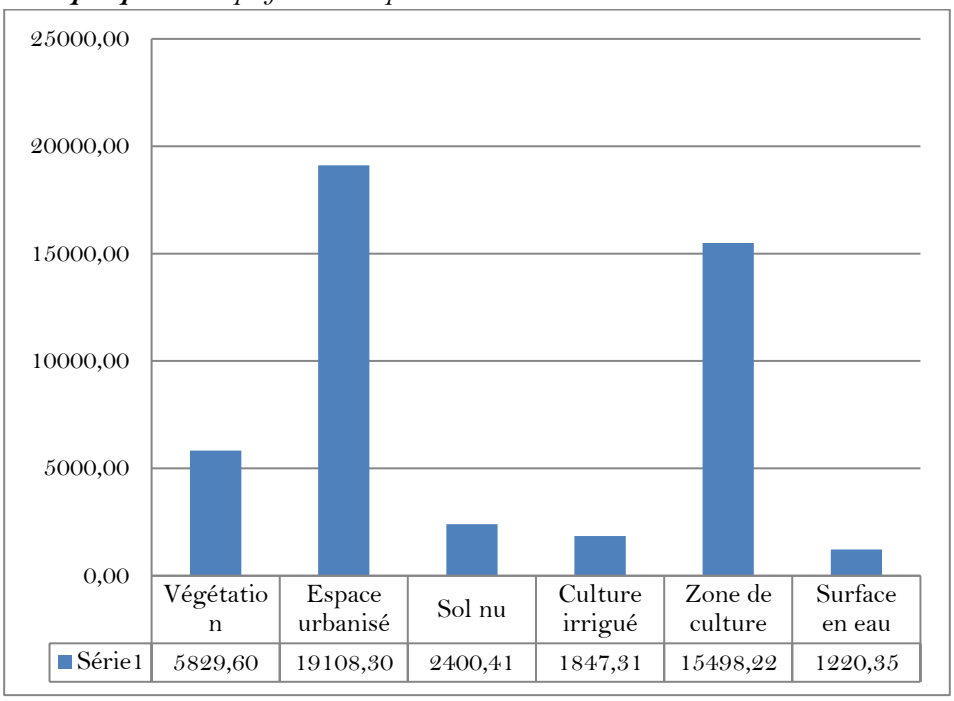
Carte 6 : *résultat de la modélisation prospective*



Après la simulation prospective il a été constaté une disparition plus ou moins complète de la végétation et un étalement urbain progressive qui entraine plusieurs changements d'occupation des terres ainsi que l'occupation des zones inondables par les habitations. D'ici 2040 le défi environnemental sera de taille pour le pays. Nous recommandons à l'Etat et aux collectivités de songer à mettre en place un plan d'occupation des sols (POS) et que le réseau des drainages des eaux de pluie doit être repensé. En effet, après nos entretiens avec les personnes ressources, nous avons conclu qu'il n'existe aucun plan en vigueur permettant une exploitation rationnelle des ressources foncières.

Les espaces urbanisés occuperont la plus grande superficie en 2040, avec 19108,30 hectares, suivis de près par les zones de culture avec 15498,22 ha, ensuite vient la végétation avec 5829,6O ha et enfin viennent respectivement les unités qui ont le moins de superficie, notamment les sols nus, la culture irriguée, et la surface en eau avec respectivement 2400,41 ; 1847,31 et 1220,35 ha (Graphique n°5).

Graphique 5 : *Superficie d'occupation des terres en 2040*



Source : Traitement des données dans le SIG, 2021

3. Discussion

L'étude sur la dynamique de l'occupation du sol de la ville de Niamey par GONDA H. (2010) en comparant les unités de l'occupation de 1989 et 2009, fait ressortir qu'en espace de vingt (20) ans l'espace occupé par les jachères (934,1 ha) en 1989 est passé à zéro hectare (0 ha) en 2009, ceci se traduit par une augmentation de l'espace occupé par les cultures pluviales (41665,5 ha en 1989 à 44868,2 ha en 2009). Les résultats ont montré une dynamique forte des unités d'occupation des terres d'abord à travers la matrice de transition des unités de 2000 à 2020 qui montre une très forte disparition de la végétation au profit des espaces urbanisés avec 6433,74 hectares de perte. Il y a aussi une très grosse perte de la végétation protectrice face aux risques d'inondation, au profit des cultures pluviales.

Le bilan était de 32 900 Habitations détruites et 3 082 hectares de cultures irriguées ont été ensevelis par les eaux selon le Ministère de l'Action Humanitaire/Gestion des Catastrophes (2020). Nos résultats viennent confirmés cette étude avec 3848,33 hectares de Culture irriguée envahi, presque aucune rizière n'a été épargnée. Ensuite 3013,92 ha de végétation ont été inondés, puis vient les espaces urbanisés avec 245,75 ha de maisons inondées et à la fin viennent les sols nus et les zones de cultures avec respectivement 96,09 et 64,94 hectares inondés.

Conclusion

Au terme de cette étude qui a porté sur la dynamique spatiale et gestion des inondations au Niger, il ressort que les différentes unités d'occupations en présence ont toutes connu une évolution. Les espaces urbanisés ont connu une constante croissance du fait de l'étalement anarchique de la Ville. Il n'occupait que 5158,00 ha en 2000 passant à 12976,3 ha en 2020. Il est noté aussi une régression de la superficie de la végétation qui passent de 24374,44 ha 2000 à 9684,79 ha en 2020 soit une diminution de 14690,44 ha. Cette régression demeure toutefois en faveur des espaces urbanisés. En effet, suivant la méthodologie de classification des unités d'occupation des terres basée sur l'imagerie satellitaire Landsat, les résultats obtenus sur l'évolution des différentes unités d'occupation sol, justifient ainsi la première hypothèse qui stipule la dynamique

spatiale est marquée par une extension urbaine de la ville de Niamey de 2000 et 2020.

De cette étude, il ressort également que l'urbanisation, l'étalement urbain, l'occupation des terres, les crues, l'ensablement du fleuve, l'absence de système adéquat de gestion des eaux de pluie, la topographie dans la ville de Niamey amplifient tous le risque d'inondation avec pour point commun le mauvais drainage des eaux de pluie. Au moment où la ville s'étant le système de drainage des eaux de pluie n'a presque pas changé. Au regard de cette situation, la deuxième hypothèse qui stipule que l'extension urbaine de la ville a pour conséquences le mauvais drainage des eaux de ruissellement est vérifiée.

Ayant identifié les différents facteurs qui aggravent le risque d'inondation, l'étude s'est axée sur la contribution des outils de traitement, de cartographie et de diffusion de l'information géographique dans l'amélioration de la gestion des inondations dans la ville de Niamey. Pour ce faire, le travail s'est orienté vers quatre (4) aspects dont le premier est la cartographie des zones inondées en 2020. Celle-ci a permis sur la base de la crue de septembre 2020 de caractériser les zones touchées ainsi que les unités d'occupations des terres submergées. Il ressort de cette cartographie 3848,33 hectares de Culture irriguée submergées par l'eau, presque aucune rizière n'en est épargnée ainsi que 245,75 ha des espaces urbanisés inondées. Le deuxième aspect est l'AMC.RS, il a permis sur la base des différents facteurs à choisir les critères et leurs poids respectifs afin de mettre en place un modèle présentant les zones inondables. Ce modèle a une échelle des valeurs qui permet de voir la variation qui s'étend de 1000 à 6500, plus on descend vers 1000 plus on identifie les zones à risque. Les zones les plus exposées s'étendent naturellement au niveau des cours d'eau et du fleuve. La troisième étape était la simulation projective des unités d'occupation des terres en 2040. Elle a été mise en place à l'aide des variables telles que la distance aux routes, densité de population et MNT. Le résultat révèle une extension progressive à venir dans les années 40.

Les inondations sont gérées de façons hâtive et aléatoire alors il faut que les autorités puissent se projeter dans le temps et agir avant qu'il ne soit tard. Avec les outils comme molusce qui est open source il serait plus entreprenant de mettre l'accent sur la modélisation prospective dans les études de la dynamique spatiale.

Référence bibliographique

- **Mémoire et thèse**

ADAMOU Abdoulaye., 2012, Mobilité résidentielle et processus de l'étalement de la ville de Niamey (Niger), Thèse de Doctorat de Géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey

BACHI M. ; problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de sidi bel abbes thèse de Magister en Hydraulique de l'Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen, 2010 – 2011.

BEUCHER S., 2008, Risque d'inondation et dynamiques territoriales des espaces de renouvellement urbain : les cas de SEINE-AMONT et de L'EST LONDONIEN, Thèse de Doctorat en Géographie Université Paris X-NANTERRE, 547 p.

CHAKHAR S., 2006, Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique, Thèse de Doctorat de Informatique, UNIVERSITÉ PARIS DAUPHINE.

DEMAZE et TREBOUET (2008) Cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'images Spot XS : Exemple du Mans (Ouest-France)

ISSAKA Hamadou., 2010, Mise en carte et gestion territoriale des risques en milieu urbain sahélien à travers l'exemple de Niamey (Niger), Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Strasbourg, 346 p.

J. Faure, A. Tran, A. Gardel, and L. Polidori, Elaboration d'un indice de densité de population et analyse de sa distribution spatiale à Belem (Bresil) et Cayenne (Guyane Française) Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, pp.135-144, 2004.

KABORE Oumar., 2013. Dynamique de l'utilisation des terres dans les écosystèmes de savane et systèmes agraires du bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso). Thèse de doctorat unique de géographie, Université de Ouagadougou.

MAMADOU Ibrahim., 2012, Dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger, Thèse de Doctorat en Géographie physique, Université Abdou Moumouni et Université Paris 1, 290 p.

MAMANE I., 2010, Application du SIG pour la cartographie des risques d'inondation à Maradi (Niger) par débordement du Goulbi, Mémoire de Master en GIRE, AGRHYMET, 64 p.

MAMANE MOUSSA, Abdoul Aziz., 2020. Dynamique et stratégies de gestion durable de la forêt classée de Takeita au Niger. Mémoire de Master, IPD-AOS. 100 p.

OSZWALD, J., 2005, Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) : Suivi par télédétection et développement d'une approche 75 cartographique. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, France. 304 p

OUMAR DIOP (2020) Dynamique spatiale et restructuration du noyau traditionnel de la commune de Keur Massar, Dakar, Sénégal DESS

Sall A. et al. (2011), Résilience et innovation locale face aux changements climatiques : Capitalisation des résultats du programme Fonds de soutien aux stratégies locales d'adaptation (FSSA). Sénégal : IED Afrique

SANDA GONDA H., 2010, Cartographie de la dynamique de l'occupation des sols et de l'érosion dans la ville de Niamey et sa périphérie, Mémoire de Maitrise en Géographie, UAM, 74 p.

SOULEYMANE D (2009) Analyse de la situation de l'assainissement dans les quartiers défavorisés d'Abidjan : Cas du quartier Sagbé dans la commune d'Abobo. Université d'Abidjan Cocody - DEA de Géographie option Environnement

YAYE SEIDOU H., 2008. Impact du transport terrestre dans le développement urbain à Niamey : étude bibliographique. Mémoire de DEA géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni de Niamey, 69p

- **Articles scientifiques**

BECHLER-CARMAUX N., MICHEL MIETTON, MAXIME LAMOTTE., 2000, Le risque d'inondation fluviale à Niamey (Niger). Aléa, vulnérabilité et cartographie Annales de Géographie, pp. 176-187.

BESEME, J.L, 1995, Influence de l'occupation des sols sur les inondations. Agence de l'eau, spéciale risques naturels p. 17 à 24

CARLO Prévil, MARIUS Thériault et JOËL Rouffignat (2003) Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : Vers une amélioration du processus décisionnel ? Cahiers de géographie du Québec 47(130) : 35-61p.

COLLET C. (1992) : Systèmes d'information géographique en mode image. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Col. Gérer l'environnement, n°7, 186 p.

Dègla Herve KOUMASSI, A. Eric TCHIBOZO, Expedit Wilfrid VISSIN et Christophe S. HOUSSOU 2014, SIG et télédétection pour l'optimisation de la cartographie des risques d'inondation dans le bassin de la Sota au bénin. Laboratoire Pierre Pagney, 16 p.

GIRARD M. C., GIRARD C.M., 1999. Traitement des données de télédétection, Dunod, France, 529 p.

ISSAKA Hamadou & BADARIOTTI Dominique, 2013, Les inondations à Niamey, enjeu autour d'un phénomène complexe. OpenEdition, p. 295-310

LEVY (J.), LUSSAULT (M.) (DIR.), 2003. – Dictionnaire de la géographie, Paris, Belin, 1 034 p.

Mamane Barkawi MANSOUR BADAMASSI, Ahmed EL ABOUDI, Driss TAHIRI, Abdelali TAOUSS, Paul Gérard GBETKOM, 2018, étude par télédétection de la dynamique urbaine de la ville de Niamey (Niger) de 1985 à 2016 et variations concomitantes de la pluviométrie. PHOTO INTERPRÉTATION EUROPEAN JOURNAL OF APPLIED REMOTE SENSING 2018/3-4

SCHLAEPFER, R., 2002, Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, 10 pages.

SOULEY Wade et al, 2009, Télédétection des catastrophes d'inondations urbaines : le cas de la région de Dakar (Sénégal), Institut des sciences de la terre, faculté des sciences techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 7 p.

- **Internet**

SCARAMUZZA ET AL., 2004 P. SCARAMUZZA, E. MICIJEVIC, G. ChanderSLC gap-filled products phase one methodology http://landsat.usgs.gov/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf (2004)

USGS, 2004a USGSSLC-off gap-filled products gap-fill algorithm methodology http://landsat.usgs.gov/documents/L7SLCGapFilledMethod.pdf (2004)

- **Rapports**

ABN, 2012, prévision de la crue Guinéenne 2012, 2 p.

BALLA A., 2013, Elaboration de la stratégie nationale de réductions des catastrophes au Niger (version finale), 39p ;

Blaise OUEDRAOGO et al. 2019. Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso) / Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3): 1638-1653 p.

CUN, Plan Urbain de Référence de Niamey, 2009, 225p.

HAMANI Oumarou et ABDOURAHAMANE Oumarou 2017. La gestion humanitaire des inondations dans une commune de Niamey. IIED Rapport. IIED, London

INS, 2012 : Résultats préliminaire du Recensement Général de la Population et de l'habitat, Institut National de la Statistique du Niger

IRD, 2012, Inondations au Sahel, 3 p.

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL, REPSAHEL Amélioration de la Résilience des Populations Sahéliennes aux Mutations Environnementales : Cartographie de l'occupation du sol Guide Pratique, 28 p.

OCHA, 2012, La saison Hivernale au Niger : Les pluies et les inondations, 4 p.

REPUBLIQUE DU NIGER, CABINET DU PREMIER MINISTRE, Cadre de politique de réinstallation des populations (CPRP). PGRC-DU 2019, 139p.

REPUBLIQUE DU NIGER, CABINET DU PREMIER MINISTRE, Dispositif National de Prévention et de Gestion des Crises Alimentaires, Plan de Soutien aux Populations vulnérables du Niger 2021, 116 p.