

SIG ET TÉLÉDÉTECTION POUR L'OPTIMISATION DE LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION DANS LE BASSIN DE LA SOTA AU BÉNIN

**Dègla Herve KOUMASSI*, A. Eric TCHIBOZO,
Expedit Wilfrid VISSIN et Christophe S. HOUSSOU**

*Laboratoire Pierre Pagney "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement"
(LACEEDE/UAC), BP 922, Abomey-calavi, Bénin*

*Correspondance, e-mail: kherd5@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs décennies, le monde est confronté à un phénomène de variabilité climatique marquée par l'accroissement de la récurrence des phénomènes extrêmes. Le réchauffement climatique est accompagné d'une augmentation des inondations, les records de sécheresse etc. qui devraient à l'avenir se multiplier et gagner en intensité, avec des conséquences qui pourraient se révéler catastrophiques pour les sociétés humaines. La présente étude se propose de cartographier les zones à risque d'inondation dans le bassin de la Sota, au Bénin. L'approche méthodologique utilisée consiste à collecter des données hydro-climatiques, d'occupation du sol et produits dérivés des modèles numériques de terrain.

Le traitement des données est fondé sur l'intégration dans un système d'information géographique (SIG), des données interprétées à partir des images TM de Landsat, des données hydro-climatiques et des produits dérivés d'un modèle numérique de terrain (MNT). L'analyse spatiale multicritère, réalisée a permis d'élaborer les cartes des aléas climatiques et de la vulnérabilité des populations à l'inondation. La combinaison de ces deux cartes a permis la cartographie des zones à risque d'inondation du bassin de la Sota.

Mots-clés : *cartographie, SIG, risque d'inondation, bassin de la Sota, Bénin.*

ABSTRACT**SIG and teledetection for the optimization of the cartography of the risks of flood in the basin of the Sota with the Benin**

For several decades, the world has been confronted with a phenomenon of marked climatic variability increase in the recurrence of the extreme phenomena. The climatic reheating is accompanied by the floods, the records of dryness etc which should in the future multiply and gain in intensity, with consequences which could appear catastrophic for the human societies. Presented the study proposes to chart the zones at the risk of flood in the basin of Sota. The methodological approach used consists in collecting hydroclimatic data, of occupation of the ground and products derived from the digital models of ground. The data processing is founded on integration in a geographical information system SIG, data interpreted starting from the images TM of Landsat, hydroclimatic data and products derived from a digital model of ground (MNT). The multicriterion space analysis, carried out made it possible to work out the charts of the climatic risks and the vulnerability of the populations to the flood. The combination of these two charts allowed the cartography of the zones at the risk of flood of the basin of Sota.

Keywords : *cartography, SIG, risk of flood, basin of Sota, Benin.*

I - INTRODUCTION

La variabilité climatique et ses conséquences sur les systèmes biologiques et les sociétés humaines posent aujourd'hui de sérieux problèmes de sécurité, particulièrement en Afrique, continent le plus vulnérable de la planète aux impacts des changements climatiques [1]. Les variabilités climatiques actuelles signes des changements climatiques se caractérisent par de longues périodes de sécheresse et d'inondation avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques [2]. Le réchauffement climatique que connaît le monde actuellement est à l'origine de l'accroissement des phénomènes extrêmes responsables des risques hydro-climatiques dont les inondations, les glissements de terrains, les records de sécheresse etc. Ces risques devraient à l'avenir se multiplier et gagner en intensité avec des conséquences qui pourraient se révéler catastrophiques pour les sociétés humaines [2]. Parmi ces risques, les inondations représentent un danger pour les biens et les personnes dans la plupart des régions du globe.

L'inondation étant causé par des événements extrêmes par définition rares, il donc difficile de la prévenir et a le modéliser [3]. Ces risques constituent une préoccupation majeure en matière d'aménagement et de gestion du territoire [4]. Le risque d'inondation est défini comme la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité [5]. Les inondations au sens large regroupent plusieurs types de phénomènes. Une typologie classique, consiste à les distinguer selon leur origine, naturelle ou anthropique, puis pour les crues naturelles, selon leur rapidité [6]. Aujourd'hui, les inondations sont au rang de premier risque naturel dans le monde et représentent en France plus de la moitié des risques naturels avec des enjeux humains [7]. En Afrique de l'ouest, les populations sont de plus en plus victimes des conséquences des inondations chaque année. Ces événements entraînent des pertes de vies et la destruction ou l'affaiblissement des moyens d'existence des populations et par conséquent la fragilisation de leur sécurité alimentaire et nutritionnelle. La fréquence et la nature de plus en plus complexe de ces crises nécessite une approche holistique qui intègre des actions visant à renforcer la préparation aux crises, la prévention et l'atténuation des risques par des réponses efficaces et rapides [8].

Dans le bassin de la Sota, sujette à une sahélistation marquée par des migrations des isohyètes vers le Sud et aux problèmes environnementaux. Les risques hydro-climatiques extrêmes (sécheresses, vents violents, inondations etc.) sont de plus récurrents et mettre les populations dans une situation de vie précaire. D'où l'importance de développer de nouvelles méthodes pour mieux les cerner. La gestion du risque d'inondation doit en conséquence intervenir à la fois au niveau de l'aléa et de la vulnérabilité. Face à la complexité du phénomène d'inondation, il urge de mettre en place des stratégies pour une réduction optimale de ces conséquences. L'objectif de la présente étude vise à cartographier les zones vulnérables à l'inondation d'une part et de déterminer les zones à risque d'inondation dans le bassin de la Sota d'autres part. En effet, l'élaboration des cartes à risque d'inondation représente un excellent outil d'aide à la décision qui contribuera à l'élaboration des stratégies d'atténuation et d'adaptation des populations aux risques naturels dus aux effets de la variabilité climatique.

II - PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE

Le bassin de Sota est situé au Nord-est du Bénin. Il est localisé entre 9°54' et 11°55' de latitude nord et entre 3°33' et 3°46' de longitude est [9]. Sa superficie est d'environ 13410 km², soit 11 % de celle du Bénin. Il regroupe les sous bassins de Sota à Gbassè (8300 km²) et de Sota à Coubéri (13410 Km²).

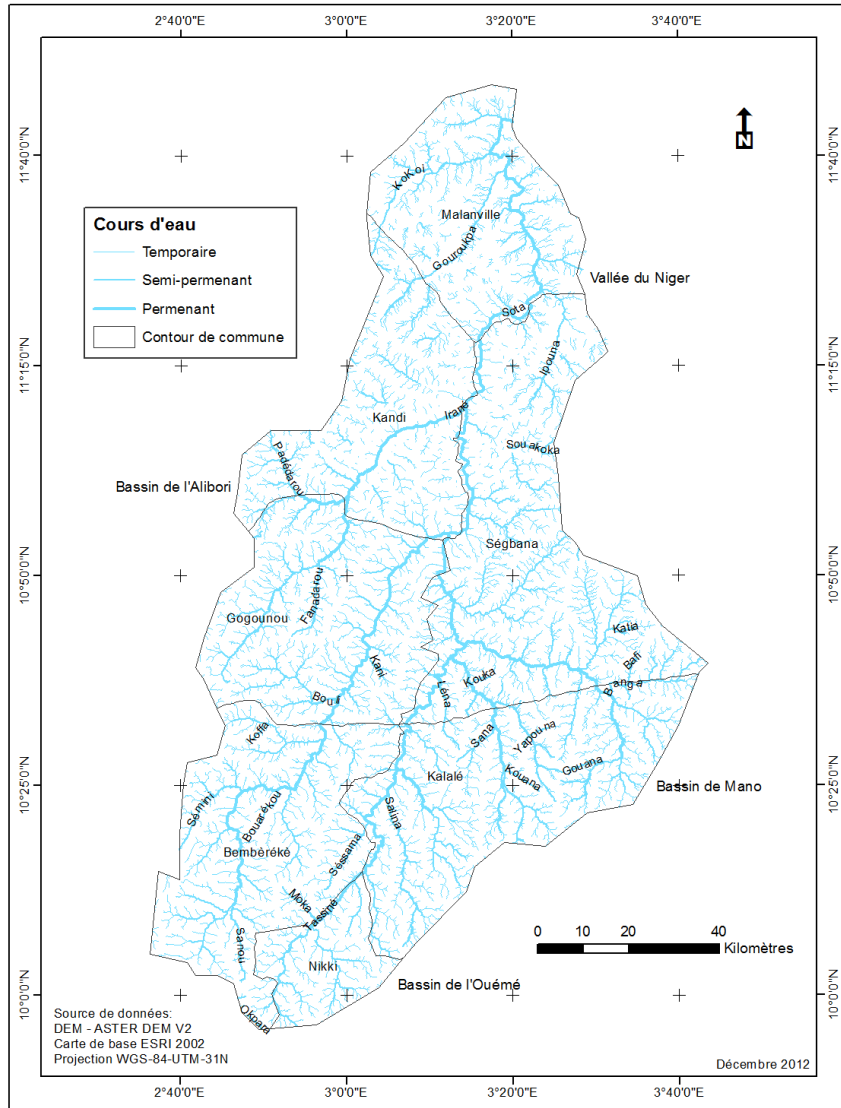


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin de la Sota

III - MÉTHODOLOGIE

III-1. Données

Les données utilisées dans la présente étude sont multiples et proviennent de plusieurs sources:

- les données climatiques constituées des séries pluviométriques sur la période 1965-2008 collectées à l'ASECNA,

- les données relatives à la topographie du bassin notamment le relief issue de la carte topographique de 1/500000 obtenue au LABEE;
- les données liées aux domaines litho-structuraux du bassin issues de la carte géologique du bassin obtenue au CENATEL et LABEE,
- les données provenant de la couverture du sol issues de l'image TM de Landsat-7 obtenues au CENATEL
- les données issues des produits dérivés du model numérique de terrain (MNT) obtenue à l'IITA.

III-2. Traitement des données

Pour déterminer les zones à risque d'inondation dans le bassin, la méthode d'analyse multicritères a été utilisée. Divers type de traitement ont été nécessaire avec plusieurs logiciels. Envi 4.5 et Idrisi Andes (15) ont servi au prétraitement et au traitement des images satellitaires. Le logiciel surfer 11 et Arcgis 9.3, pour l'analyse géostatistique pour l'analyse multicritère. Plusieurs paramètres sont pris en compte dans la détermination du risque d'inondation. Ces paramètres sont constitués des variables environnementales et naturelles dont la susceptibilité à produire une inondation est effective. Il s'agit de l'intensité pluviométrique, la lithologie, le domaine structural, la pente, le type d'occupation du sol, et la densité de drainage

Une analyse de ces facteurs conduit à définir deux descripteurs de l'inondation : la vulnérabilité du terrain à l'inondation et l'aléa hydroclimatique. Pour déterminer la vulnérabilité du bassin à l'inondation ; plusieurs cartes thématiques ont été préalablement établies. Il s'agit des cartes des pentes, de la densité de drainage, des aires d'influences et des principaux cours d'eau réalisées sur la base du MNT ASTER V2, et la carte géologique. La combinaison de ces différentes cartes dans l'outil Raster calculator sous Arc-Gis a permis d'élaborer la carte de vulnérabilité du bassin de la Sota à l'inondation. La carte des aléas résulte de la combinaison de la distribution de l'intensité pluviométrique et de celle de l'occupation du sol.

Pour ce faire trois niveaux sont retenus (faible, moyen et fort). A partir des données de précipitations (1965 - 2008), la carte de l'intensité pluviométrique est établie. Trois classes de pluviosité sont définies : faible (< 900 mm), moyen (900 – 1000 mm) et forte (> 1000 mm). Le deuxième paramètre est la couverture végétale. En prenant en compte le rôle des différentes classes d'occupation de sol [12] dans la production des écoulements de surface, une classification est réalisée et a permis de retenir trois classes : faible (forêt dense semi-décidue et plantation), moyen (champs et jachères), fort (agglomérations, formations marécageuses et plan d'eau).

Le croisement de ces deux facteurs (pluviosité et couverture du sol) a permis de cartographier l'étendue spatiale et les zones potentiellement exposées aux aléas pouvant engendrer des inondations dans le bassin. Pour obtenir la carte des risques d'inondations, la combinaison par codification des cartes de vulnérabilité et des aléas a été faite. Les risques d'inondation sont définis comme le croisement de l'aléa préalablement défini et à la vulnérabilité. Un aléa d'inondation fort dans une zone faiblement vulnérable est fortement risqué. Les principales étapes de la détermination du risque d'inondation par les crues des cours d'eau sont résumées par *la Figure 3*. L'approche méthodologique adoptée a permis d'une part de déterminer les zones du bassin vulnérables à l'inondation et d'autres le niveau de risque d'inondation dans le bassin.

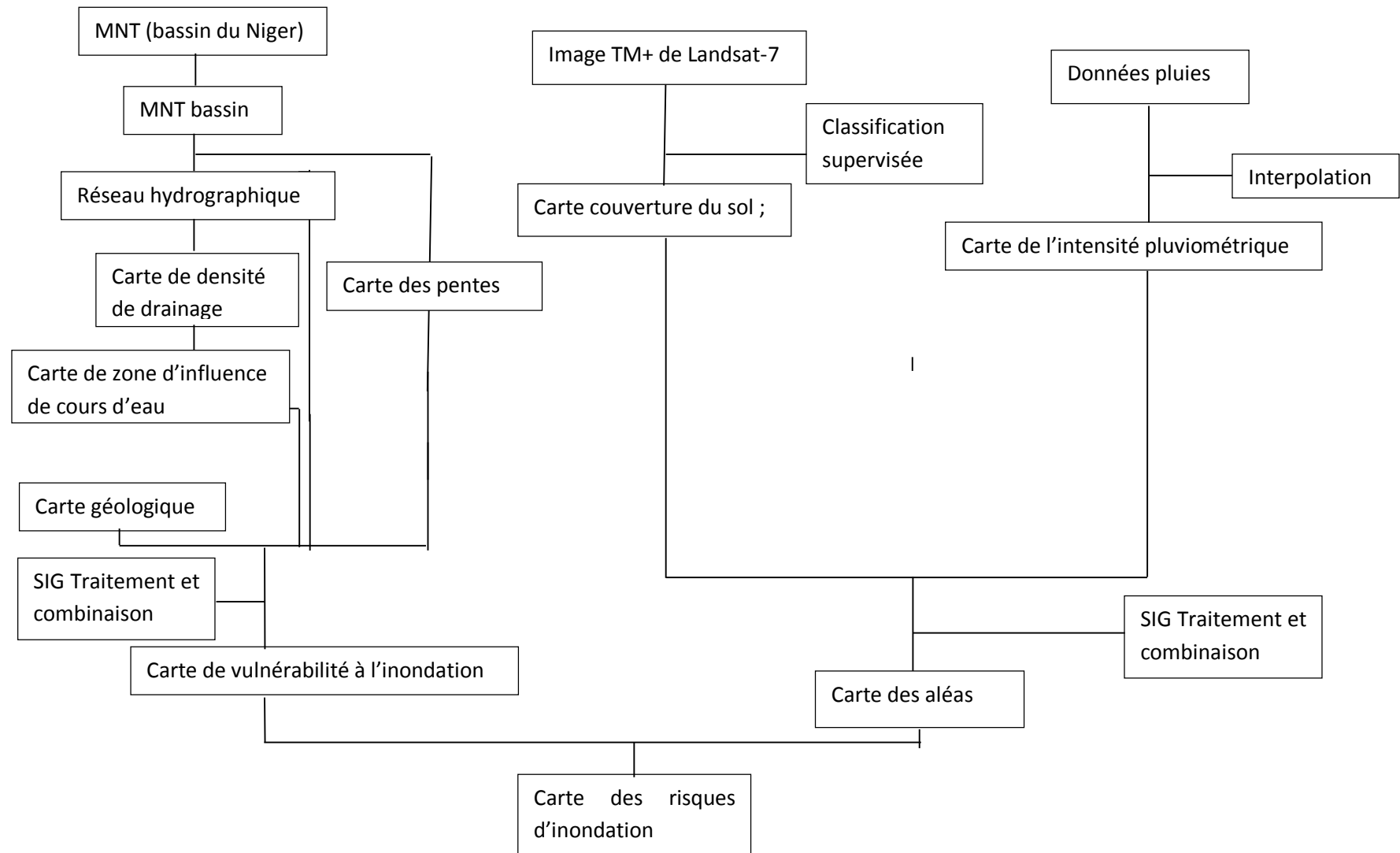


Figure 3 : Organigramme de réalisation de la carte des risques d'inondation liée aux crues des cours d'eau

IV - RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV-1. Vulnérabilité à l'inondation

Plusieurs méthodes permettent de déterminer la vulnérabilité d'un espace à l'inondation. Compte tenu des données existantes, la méthode cartographique a été utilisée pour déterminer la vulnérabilité à l'inondation dans le bassin de la Sota. Pour cartographier les niveaux de vulnérabilité dans le bassin, plusieurs cartes thématiques ont été préalablement établies. **La Figure 4**, montre les différentes cartes qui ont permis de déterminer la vulnérabilité à l'inondation dans le bassin de la Sota.

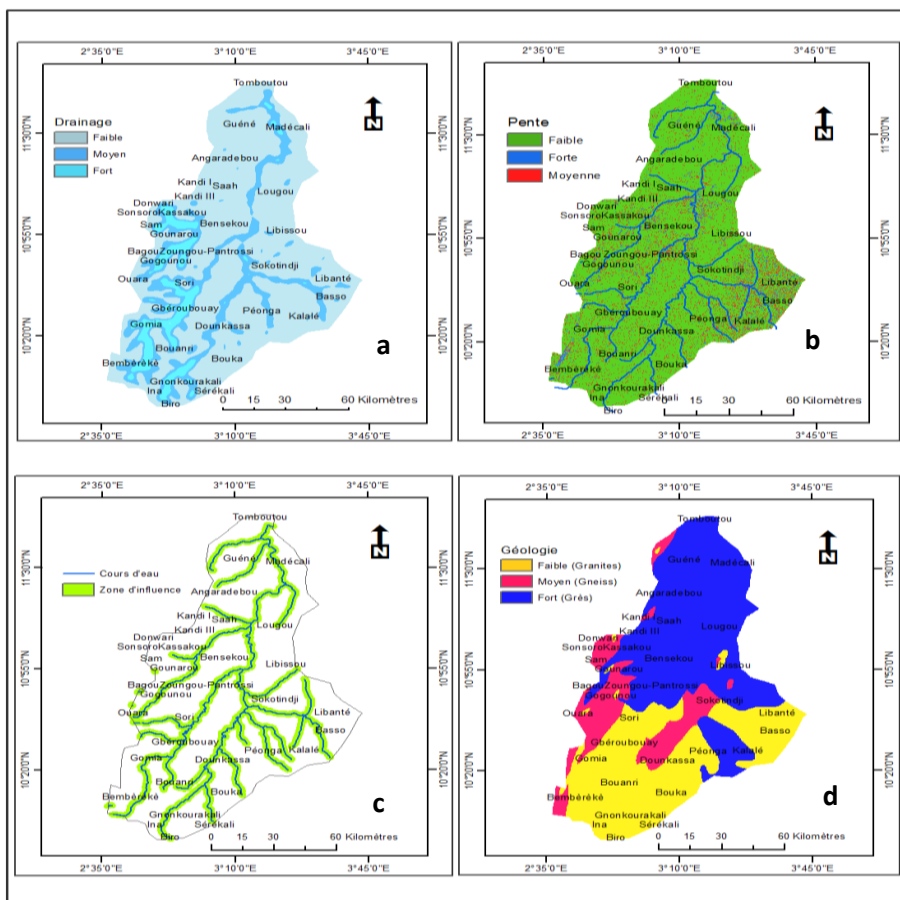


Figure 4 : Différentes cartes thématiques pour l'établissement de la vulnérabilité à l'inondation : a) Distribution de la densité de drainage; b) Distribution des pentes; c) Distribution des zones d'influence des cours d'eau ; d) Distribution des domaines lithologiques

La distribution des pentes est réalisée par le classement des différentes pentes en trois classes. Les pentes faibles regroupent les zones dont les valeurs des pentes se situent entre 0 et 5 % ; les moyennes sont situées entre 5 et 10 % et enfin les pentes fortes sont les pentes dont les valeurs sont supérieures à 10 %. Cette même approche a été adoptée au niveau de l'influence des cours d'eau et de la densité de drainage. Quant à la distribution des domaines lithologiques, elle est classée en tenant compte de la capacité d'absorption des roches en place (faibles pour les roches éruptives, moyen pour les roches métamorphiques et fort pour les roches sédimentaires). La carte de vulnérabilité à l'inondation (**Figure 5**) est obtenue par la combinaison, des diverses cartes: la carte de densité de drainage (**Figure 4a**), la carte des pentes (**Figure 4b**), la carte des zones d'influence des cours d'eau (**Figure 4c**) et celle lithologique (**Figure 4d**). L'analyse de la vulnérabilité à l'inondation dans le bassin de Sota a permis de déterminer les secteurs où les caractéristiques intrinsèques de l'environnement (caractéristiques géologiques et géomorphologiques) sont susceptibles de favoriser une inondation. La **Figure 5**, présente la vulnérabilité du bassin à l'inondation

L'analyse de la **Figure 5**, permet d'identifier quatre zones dont la vulnérabilité à l'inondation varie du faible au très fort. Les zones de faible vulnérabilité à l'inondation couvrent 23 % du bassin et sont disséminés surtout dans la partir sud-est du bassin dans les localités de Bouka, Dunkassa, Sérékali, Ina Péonnga Bassa et Kandi I au nord-est. Les zones de vulnérabilité moyenne à l'inondation correspondent aux zones à pente moyenne où le ruissellement sur les versants ne permet pas à l'eau de stagner. Ces zones occupent 38 % de la surface du bassin. Il s'agit notamment des localités comme Guéné, Malanville, Sokotindji, Saah, Lougou Bensekou au nord et au centre et Bemberekè, Gamia, Bouari, Gberoubouay dans le sud-ouest du bassin. Les zones de forte vulnérabilité à l'inondation occupent 23 % bassin. Ces zones concernent les plaines sujettes à la submersion, et sont situées aux abords des cours d'eau. Les agglomérations de Gogounou, Zoungou-Pantroussi, Gagou et Oura à l'ouest du bassin et Angaradébou au nord sont quelques-unes des localités concernées du centre et au sud du bassin. Les zones de très forte vulnérabilité à l'inondation occupent 9 % du territoire et sont situées aux abords du lit mineur et aux points les plus bas du lit majeur de la rivière Sota au nord et du bassin dans les localités de Madécali, Tombouctou, et Kassakou et Kandi II à l'ouest.

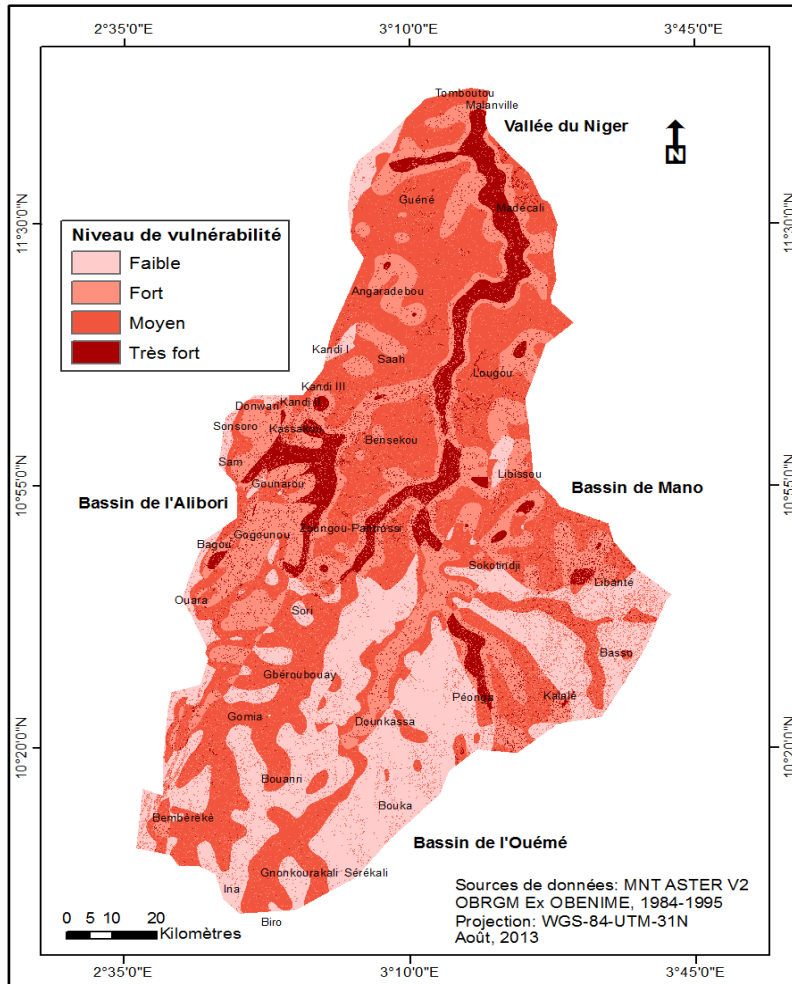


Figure 5 : Vulnérabilité à l'inondation dans le bassin de la Sota

IV-2. Détermination cartographique des aléas de l'inondation

La carte de l'aléa (*Figure 5*) est obtenue par la combinaison de la carte des isohyètes (*Figure 6a*) et la carte de couverture végétal ou type d'occupation de sol (*Figure 6b*). La carte de l'intensité pluviométrique montre les zones ayant une intensité pluviométrique homogène. En effet, l'occurrence et l'intensité des pluies, paramètres naturels qui ne sont pas maîtrisables, quelles que soient les dispositions de prévention, sont les paramètres prépondérants de l'inondabilité [5]. Ainsi la zone faible représente les parties du bassin ayant une intensité pluviométrique inférieure à 900 mm, les zones moyennes intensité (900 – 1000 mm) et la zone de forte intensité pluviométrique (> 1000 mm).

Le deuxième paramètre est le couvert végétal qui intercepte une proportion variable de l'eau au cours d'une adverse. La forêt, par exemple, intercepte une partie de la pluie par sa frondaison et exerce une action limitatrice importante sur le ruissellement superficiel. Elle régularise le débit des cours d'eau et amortit les crues de faible et moyenne amplitudes. Par contre, son action sur les débits extrêmes causés par des crues catastrophiques peut être réduite [5].

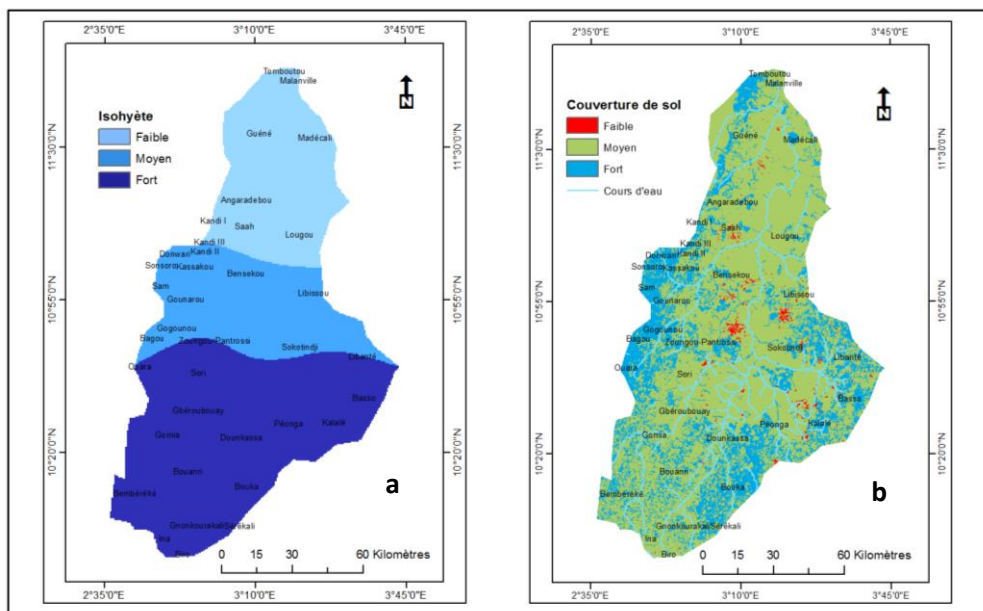


Figure 6 : (a) *Distribution de l'intensité pluviométrique; b) Distribution de la couverture du sol*

En prenant en compte le rôle des différentes classes d'occupation de sol de la carte du couvert végétal [12] dans la production des écoulements de surface, une classification est réalisée et a permis d'obtenir trois classes. Ainsi le rôle est faible pour les zones de forêts denses semi-décidues et plantation, moyens pour les champs et jachères, et fort pour les agglomérations, formations marécageuses et plan d'eau. Ainsi, pour cartographier les aléas responsables des crues et des inondations (**Figure 7**), la carte de l'intensité pluviométrique (**Figure 7a**) et la carte de la couverture végétale du sol (**Figure 7b**) ont été préalablement établies. La combinaison à l'intérieur d'un SIG de ces deux cartes thématiques a permis d'obtenir la carte de des aléas d'inondation (**Figure 7**)

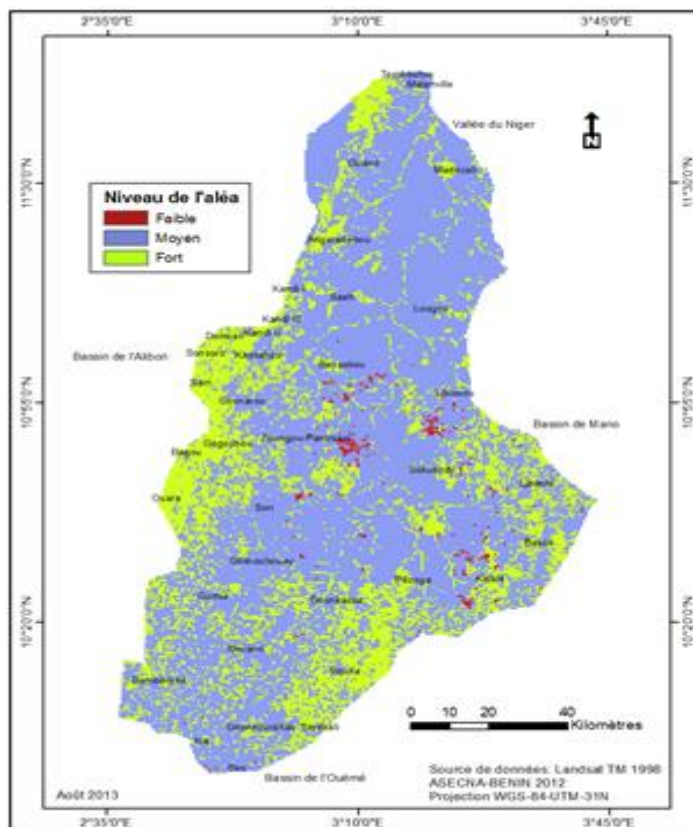


Figure 7 : *Distribution des aléas d'inondation*

De l'analyse de la **Figure 7**, les aléas d'inondation dans le bassin sont classés en trois niveaux ; c'est dire du faible au fort en passant par le moyen. Il ressort que la zone des faibles aléas occupe 0,7 % de la superficie du bassin et se situe principalement dans le secteur, à couvert végétal dense (forêt classée des trois rivières) et à pente forte. Les zones des aléas moyens sont dispersées sur l'ensemble du bassin. Elles représentent 72 % de la superficie du bassin et correspondent aux secteurs à couverture végétale moyennement dense (mosaïque forêt-culture, savane) et à altitude élevée. L'aléa est fort occupe le reste du bassin, soit 26 % de la superficie du bassin et correspond aux forêts galeries et aux sols recouverts d'une végétation peu dense.

IV-3. Risque d'inondation dans le bassin de la Sota

Les risques d'inondation a été déterminé par la superposition des cartes de vulnérabilité à l'inondation et celle de l'aléa qui est le facteur déclencheur de l'inondation. **La Figure 8** montre les secteurs a risque d'inondation dans bassin de la Sota.

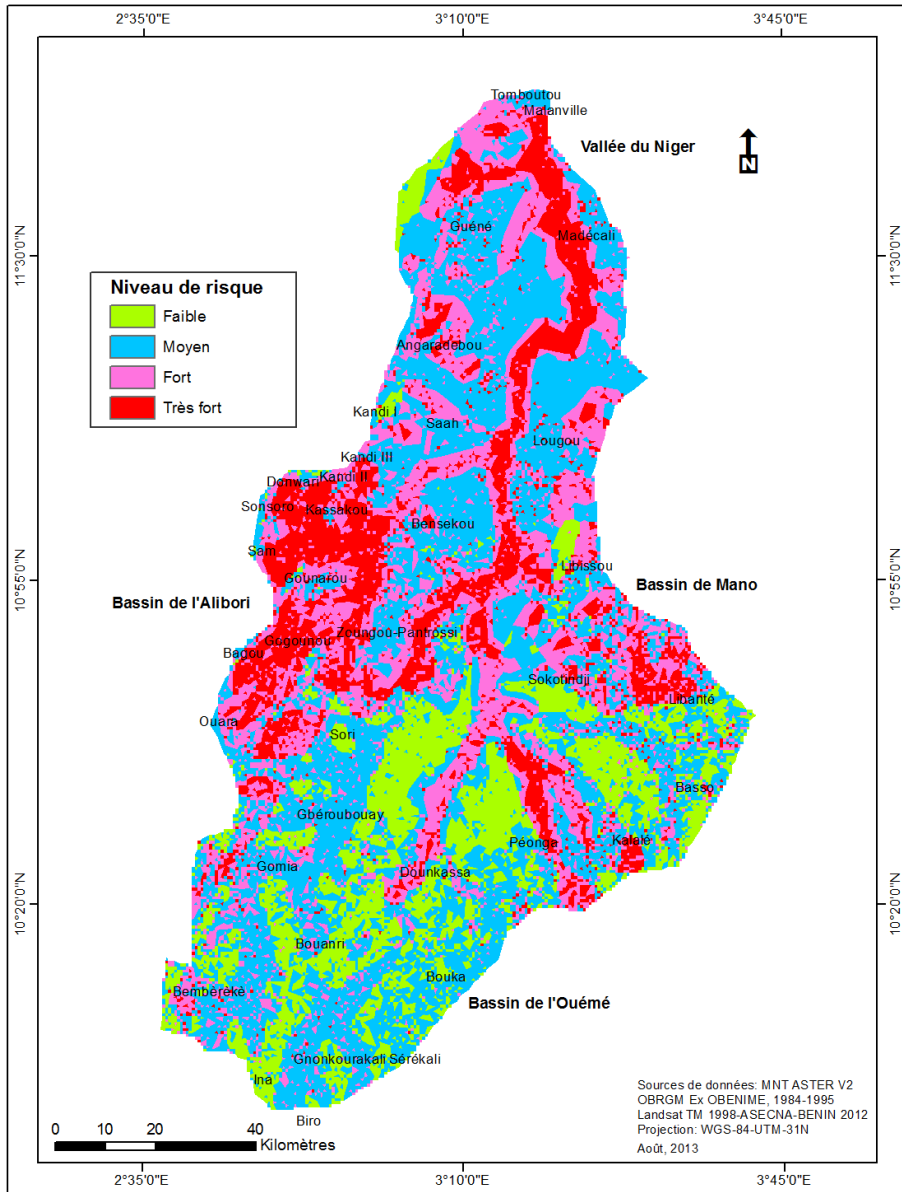


Figure 8: Zones à risques d'inondation

Les zones à risque d'inondation dans le bassin de la Sota, d'après l'analyse de la figure 8, varient de faible au très fort. Les zones à risque faible couvrent 15 % de la surface et se situent principalement dans le sud du bassin. Les localités de Bouka, Gnonkourakali, Sérékalé, Ina Sori Basso sont les plus concernées. Les zones à risque moyen couvrent 38 % et sont dispersées sur l'ensemble du bassin. Elles se rencontrent dans les secteurs à pente moyenne. Les zones à fort risque sont situées dans les plaines le long des cours d'eau.

Elles occupent 25 % du bassin et s'étendent principalement dans le nord et l'ouest du bassin. Ces zones présentent un danger évident lors des crues. Les zones à très fort risque sont situées aux abords immédiats des cours d'eau et occupent 16 % du bassin. Les localités de Madécali, Tombouctou, Donwari, Kassakou et Gogounou sont les plus concernées. Ces zones correspondent aux plaines alluviales et aux lits majeurs des rivières.

V - CONCLUSION

L'étude de cartographie des zones à risque d'inondation dans le bassin de la Sota a été réalisée en combinant les données satellitaires et d'un MNT. Ainsi, la carte des risques à l'inondation obtenue constitue un important outil d'aide à la décision qui contribuera à l'élaboration des stratégies d'atténuation et d'adaptation des populations aux risques d'inondation dans le bassin de la Sota. Le niveau du risque d'inondation varie de faible à très fort. Les zones à très fort risque sont situées aux abords immédiats des cours d'eau et occupent 16 % du bassin. Les localités de Madécali, Tombouctou, Donwari, Kassakou et Gogounou sont les plus concernées. Les populations dans ces localités sont constamment exposées aux conséquences de ces inondations. Face à ces risques, les populations ont élaborées diverses stratégies afin de réduire les dégâts nés de ces inondations.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. POMERLEAU, "*Changements climatiques et sécurité en Afrique*" ; centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke, (2009), 99p
- [2] - GIEC, "*Changements climatiques (Rapport de synthèse)* ", (2007),103 p.
- [3] - FAO, "*Climate change and Food Security: a Framework for Action*", Rome, 2007. (Document publié pour la conférence de Bali).
- [4] - J-M. KRILL, "*les risques climatiques*", (2007) Horizon, 19p
- [5] - M.B SALEY, F. K. KOUAMÉ, M. J. PENVEN, J. BIÉMI., H, B KOUADIO, "*Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la cote d'ivoire : apports des MNA et de l'imagerie satellitaire*", Télédétection, Vol. 5, n° (1-2-3), (2005) p 53-67
- [6] - H. RENAUD, "*Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique*", Thèse de Doctorat ; Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts ; Cemagref ; (2006) ,256 pages ?

- [7] - C. FOUCHIER, "*Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues*". Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2, Cemagref, (2010) 266 p
- [8] - G.BERZ, "*Flood disasters: lessons from the past - worries for the future*", (2000) Actes de colloque, Water and Maritime Engineering, Proceedings of the institution of Civil Engineers, Vol. 142.
- [9] - FAO, "*Stratégie de gestion des risques de catastrophe en Afrique de l'Ouest et au Sahel*" (2011-2013), Rome ,2013
- [10] - E. W. VISSIN, "*Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger*", Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie CNRS-UMR 5210, (2007) ,286 pages
- [11] - A.J.VODOUNNON," *Impacts des systèmes cultureux sur la biodiversité, les états de surface et les écoulements dans le bassin-versant de la sota* ", (2009), Mémoire de master 2, CIFRED/ UAC, ,94 pages
- [12] - K. S. ADAM and M. BOKO, "*Le Bénin*" EDICEF, Paris, (1993), 96 pages
- [13] - CCT "*Carte du bilan forestier de la région de Man (1/200 000), réalisée par le Centre de Cartographie et de Télédétection à partir de l'interprétation d'images TM de Landsat*", (1993). Projet sectoriel forestier, Abidjan.