



HAL
open science

Utilisation d'un MNT pour la construction de la topologie de drainage de l'agglomération de Dakar

Laurent Pascal Malang Dieme, Laurent Pascal, M Dieme, Christophe Bouvier, Ansoumana Bodian, Alpha Sidibe

► To cite this version:

Laurent Pascal Malang Dieme, Laurent Pascal, M Dieme, Christophe Bouvier, Ansoumana Bodian, et al.. Utilisation d'un MNT pour la construction de la topologie de drainage de l'agglomération de Dakar. Colloque SHF - Risque ruissellement : Diagnostic et Solutions, Nov 2020, Lyon, France. hal-03105920

HAL Id: hal-03105920

<https://hal.science/hal-03105920>

Submitted on 29 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Utilisation d'un MNT pour la construction de la topologie de drainage de l'agglomération de Dakar.

Laurent Pascal M. DIEME^{1*}, Christophe BOUVIER²
Ansoumana BODIAN¹ & Alpha SIDIBE³

¹Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal, malspaco4@gmail.com, ansoumana.bodian@ugb.edu.sn

²IRD UMR 5569 CNRS-IRD-UM, HSM, France, christophe.bouvier@ird.fr

³DPGI "Direction de la Prévention et de la Gestion des Inondations au Sénégal", MEA Sénégal, vieuxalpha@gmail.com

A Dakar, les inondations sont récurrentes depuis 2005 avec de lourds impacts sur les actifs sociaux comme économiques. Trois facteurs permettent d'expliquer les causes : (1) le milieu physique (composé de près de 4 800 ha de zones humides) sur lequel s'est opéré (2) un étalement urbain rapide sans aménagements adéquats et (3) la fréquence de fortes intensités pluviométriques. La récurrence de ces inondations dans un contexte de reprise pluviométrique nécessite de développer des outils de monitoring permettant de réduire le risque. Cette étude vise à développer une méthodologie originale et performante, capable de fournir, en temps réel ou différé, une représentation à échelle fine (5m) des flux d'écoulements sur l'ensemble de l'agglomération de Dakar et d'identifier des points de débordement du réseau pluvial lors d'un épisode pluvieux. Deux étapes méthodologiques sont combinées pour atteindre cet objectif : (a) reconstituer les trajectoires des écoulements en tenant compte du terrain et des modifications induites par les objets urbains ; (b) définir et valider les modèles d'écoulement, en procédant au couplage d'un modèle hydrologique de calcul des écoulements à l'exutoire de petits bassins versants urbanisés avec un modèle hydraulique de propagation en réseau. Cet article traite principalement de la première phase de l'étude. Elle est basée sur un MNT de résolution 5m à partir duquel on extrait un premier modèle de drainage qui est ensuite modifié afin d'intégrer les conditions urbaines et ainsi spatialiser les nouvelles directions des flux d'écoulement. La chaîne de traitement a été implémentée dans le logiciel ATHYS.

Mots-clefs : Inondation, drainage urbain, ATHYS, MNT, Dakar

Construction of drainage network topology using Digital Elevation Model: case of Dakar.

In Dakar, floods have been recurring since 2005 with negative social and economic impacts. These flooding are caused by: (1) physical environment (nearly 4,800 ha of wetlands in Dakar) on which (2) increased urbanization without proper management and (3) frequency of heavy rainfall intensities. The recurrence of these floods in the context of rainfall recovery requires monitoring tools to reduce risks. This study aims to develop a methodology, capable of providing, in real or deferred time, a fine-scale representation (5m) of the flow over the entire Dakar metropolitan area and of identifying areas presenting overflow during a rainy episode. Two key steps are followed to achieve this objective: (a) reconstitute the trajectories of the flows by taking into account the terrain and the modifications induced by urban objects; (b) define and validate the flow models, by coupling a hydrological model for calculating flows at the outlet of small urbanized watersheds with a hydraulic network propagation model. This article mainly deals with the first phase of the study. It is based on a 5m resolution DEM from which we extract a first drainage model which is then modified in order to integrate urban conditions and thus spatialize the new directions of flow flux. The processing chain has been implemented in the ATHYS software.

INTRODUCTION

Les espaces urbains sont vulnérables aux inondations en raison du type d'occupation du sol mais aussi de la concentration des actifs sociaux et économiques [Hammond et al., 2015 ; Israel, 2017 ; Azzam et Ali, 2019]. Dans les pays sous-développés, notamment en Afrique subsaharienne, plusieurs auteurs [Bull-Kamanga et al., 2003 ; Dodman et al., 2017 ; Fraser et al., 2017] indiquent qu'il existe des liens directs et indirects entre le processus d'urbanisation et l'accumulation de l'exposition au risque d'inondation. Cette situation s'observe bien à Dakar, capitale du Sénégal. En effet, Dakar concentre sur 0,3% du territoire national plus de la moitié des infrastructures du pays et près de 25% de la population totale [ANSD, 2013]. L'agglomération est marquée par une urbanisation rapide, irrégulière et non encadrée [Mbow et al., 2008] atteignant les zones marécageuses [Diop et al., 2018, Sène et al., 2018] ; cela sans infrastructures de drainage pluviale fonctionnelles [Diouf, 2011]. Avec le retour des conditions humides ces deux dernières décennies [Sène et Ozer, 2002 ; Bodian, 2014 ; Panthou et al., 2014 ; Diop et al., 2016], elle est sujette à des inondations pluviales notamment en 2005, 2009, 2012 ou 2019 [Hungerford et 2019 ; Sy, 2019 ; Nouaceur 2020]. Ces inondations ont occasionné des pertes en vies humaines (26 morts en 2012 et 2 morts en 2019) (Sané et al., 2016), englouti des maisons et quartiers entiers (29 640 concessions en 2009, plus de 12 km² sous les eaux), et affecté l'économie [GRS, 2010], l'environnement et la santé des populations [De Magny et al., 2012]. En 2009 les dommages et pertes liés aux inondations ont été évalués à 35,5 milliards de FCFA [GRS, 2010]. L'inondation de 2009 figure parmi les plus dévastatrices [Bottazzi et al., 2018] et le manque d'expertise en matière de lutte contre les inondations a fragilisé l'efficacité des actions [Diop, 2019]. La reprise des pluies et leur intensification (figure 1) est à l'origine des inondations à Dakar même si elles sont aggravées par la déficience des ouvrages de drainage, les implantations humaines anarchiques et l'affleurement du niveau de la nappe [Mbow et al., 2008 ; Hungerford, 2019].

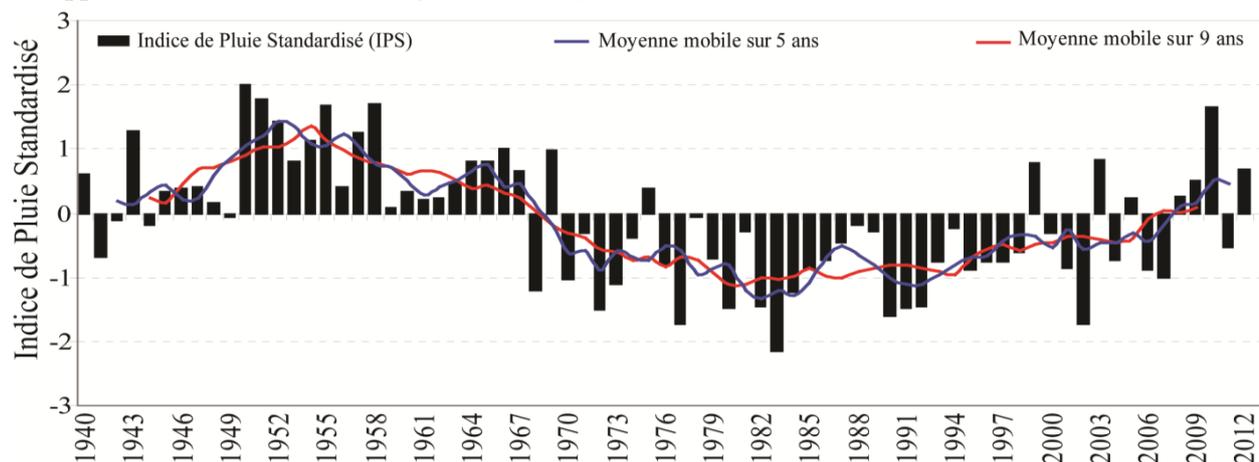


Figure 1 : Variation temporelle des indices de pluie standardisée au Sénégal sur la période 1940-2013 [Bodian, 2014]

La gestion des inondations représente un enjeu fort de développement durable de la ville. De ce fait, diverses actions sont menées par l'Etat du Sénégal et ses partenaires visant à minimiser les impacts négatifs des inondations et à renforcer la résilience des populations au moyen d'actions de réduction du risque [Sy et al., 2016]. Des mesures structurelles de construction d'infrastructures (150 km de canaux et 190 bassins) comme non structurelles (comités locaux de lutte contre les inondations exemple du COLIGEP, communication sur le risque, intercommunalité dans la gestion des inondations) sont dès lors mises en avant [ADM, 2019]. En cas de grave inondation, un plan de contingence dénommé Plan ORSEC (Plan National d'Organisation des Secours) est actionné par le gouvernement. Il s'agit d'un dispositif d'urgence destiné à faire face à tout événement calamiteux d'ordre exceptionnel dépassant les possibilités opérationnelles de secours locaux [Diop, 2019]. Il a été déclenché lors des inondations de 2005, 2009, 2012 et 2019. Cependant, en pratique, sa mise en œuvre est principalement réduite au pompage des eaux par les sapeurs-pompiers, à l'évacuation et la prise en charge temporaire des sinistrés [Schaer et al., 2018].

A l'échelle de toute l'agglomération dakaroise, peu d'études portent sur la mise en place d'un système d'alerte précoce aux inondations qui aiderait à identifier les mesures de réduction lors des situations de crises [Kama et al., 2018]. Pour la mise en place de ces outils, il convient de caractériser le fonctionnement

hydrologique des bassins urbains, d'évaluer l'impact de l'imperméabilisation du sol ou de l'artificialisation du réseau sur les écoulements. Toutefois, l'inondation en milieu urbain est particulièrement difficile à modéliser du fait de la présence d'objets urbains : modification des directions liés au bâti et de l'hydraulique des axes drainants aux ouvrages de stockage ou de relèvement etc. [Bouvier et al., 2017]. L'objectif de ce travail est de construire une topologie du drainage intégrant les conditions urbaines de l'agglomération de Dakar avec comme perspective de mettre en place un modèle de simulation des débits d'écoulements à l'exutoire des bassins versants urbains et du comportement du réseau en temps quasi-réel. Cette construction s'est faite en utilisant le logiciel ATHYS qui réunit un ensemble de modèles hydrologiques associés à des traitements de données hydro-climatiques et géographiques. Son module de traitement des données géographiques (VICAIR) intègre certaines fonctions originales en mode raster : représentation fléchée et correction interactive des directions de drainage, drainage forcé selon un réseau squelettisé, correction des directions de drainage dans les ouvrages de stockage.

I- LE SITE

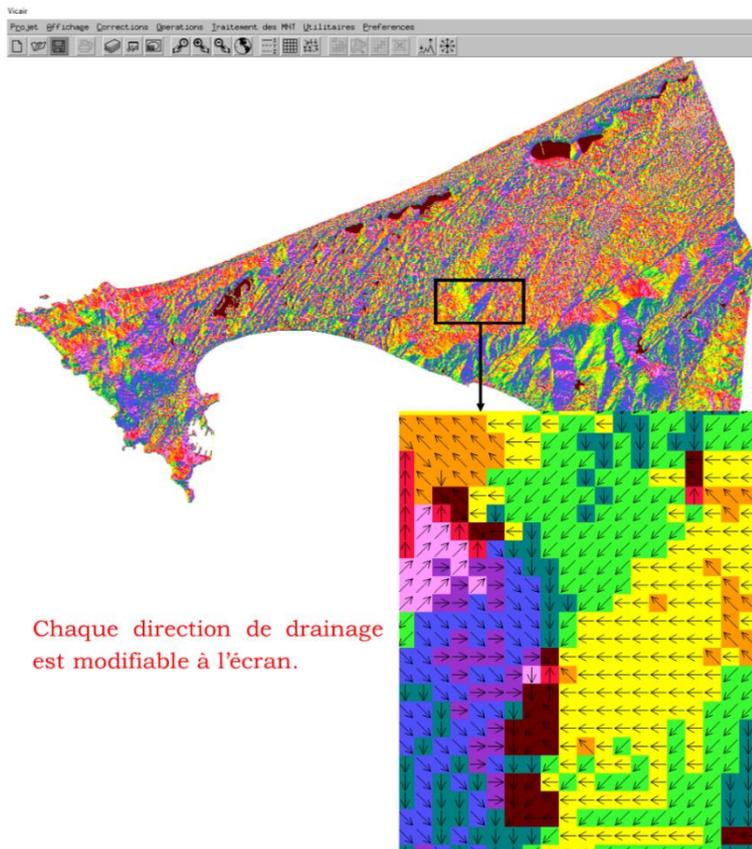
L'espace géographique sur lequel est appliquée cette méthode est l'agglomération de Dakar (figure 2). Étendue sur une superficie de 550 km², elle comptait 3 732 282 d'habitants en 2019 [ANSD, 2020] et comptera selon les projections de l'ANSD 4 356 697 d'habitants en 2025, avec une plus grande concentration de la population dans la banlieue et les nouvelles zones d'extension de la ville. Sur le plan géomorphologique, Dakar est en grande partie constituée de Niayes qui sont des cuvettes naturellement humides [Wade et al., 2009]. La prédominance des faibles altitudes, dont près de 40% est constitué de terrains situés à moins de 7 m d'altitude [Diop, 2019], renseigne sur le caractère dépressionnaire du site. Le fonctionnement hydrologique de ces zones marécageuses a grandement été perturbé par la sécheresse des années 1970 [Sircoulon et Olivry, 1986 ; Bodian, 2014 ; Diop et al., 2016 ; Bodian et al., 2016] qui a conduit à leur assèchement. L'urbanisation de la région à près de 96,4 % [Diop et al., 2017], entamée depuis 1857 s'est accélérée vers les années 1990 [Sané, 2013 ; Ndiaye, 2015]. Aujourd'hui elle a largement recouvert ces espaces anciennement humides, réduisant ainsi leurs capacités d'infiltration, cela en l'absence d'ouvrages d'assainissement pluvial [Mbow et al., 2008]. De plus, les implantations humaines (principalement de populations issues de l'exode rural), des services et du réseau routier se sont faits sans prendre en compte le sens de l'orientation du réseau hydrographique et de la topographie [Ndao, 2012 ; Bodian et al., 2016]. Ce type d'occupation a entraîné une modification du sens naturel de l'écoulement aggravant et déplaçant ainsi la vulnérabilité vers d'autres zones qui l'étaient moins. L'affleurement de la nappe phréatique, du fait à la fois de l'arrêt des pompages à cause d'un taux élevé de nitrate (600 mg/l pour une norme OMS de 50 mg/l) et du retour à des conditions humides, a accentué l'exposition de plusieurs quartiers de la banlieue aux inondations [Cissé et Faye, 2004]. Désormais une simple pluie peut entraîner la stagnation des eaux voir créer des situations d'inondations [Ndiaye et al., 2018]. A Pikine, environ 75% de l'espace du bassin de la grande Niaye est vulnérable aux inondations. Aussi, 50% des maisons et services occupent la surface vulnérable du bassin [Diop et al., 2017]. Un nouveau réseau de drainage, mis en place grâce au PROGEP, a permis de libérer plusieurs zones des difficultés liées aux inondations. D'autres réalisations d'ouvrages prévues par le PDGI (2012-2022 pour un coût de 720 milliards de FCFA) et du PGIIS (2019-2023 pour environ 10 milliards de FCFA) viendront en appoint à celles déjà construites enfin de continuer l'élan de réduction de la susceptibilité aux inondations des populations.



Figure 2 : Carte de situation de l'agglomération de Dakar

II- DONNEES ET METHODE

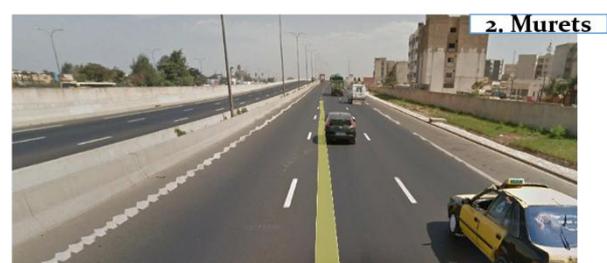
Plusieurs données géographiques sont nécessaires pour la construction de la topologie de drainage. Il s'agit du (1) MNT, (2) de la couche des bâtiments, (3) du tracé des canaux pluviaux et d'autres objets urbains tels que les bassins de rétention, les murets, les talus etc. Le MNT constitue l'information de base. Plus précise est sa résolution, meilleurs seront les résultats des traitements. Dans cette étude nous disposons d'un MNT couvrant l'ensemble de l'agglomération avec une résolution spatiale de 10m reprojeté à 5m. Il nous a été fourni par la DPGI. Sa réalisation, en 2010, s'est faite par restitution photogrammétrique, dans le cadre du Projet de mise en place d'un système d'information géographique appliqué aux zones inondées et inondables de la périphérie de Dakar. De ce MNT on a extrait un premier modèle de drainage (figure 3). Il s'agit d'une matrice de valeurs codées de 0 à 8, représentant la direction du flux sortant de chaque maille, correspondant à des multiples de 45° (1=nord, 2 = nord-est, etc... ; 0 = dépression endoréique). La direction est choisie selon l'altitude de la maille voisine la plus faible. Cependant, le calcul des directions de drainage peut générer des anomalies : fausses dépressions (point bas codé 0), boucles de drainage. Les dépressions et les boucles sont fréquemment dues à un défaut de précision du MNT et elles doivent nécessairement être éliminées. Les directions ainsi obtenues ont ensuite été modifiées pour prendre en compte les obstacles à l'écoulement (bâti, talus, murets), les axes drainants (réseau de canalisation) et les ouvrages de retenue (bassins de rétentions, dépressions naturelles) (figure 4). L'intégration des limites des îlots urbains dans la méthode consiste à forcer les directions de drainage en fonction du bâti. Pour cela, après avoir rastérisé la couche, on surélève artificiellement de 10m les altitudes de chaque maille du bâti dans le MNT, et on extrait à nouveau le modèle de drainage. Les modifications en fonction des axes drainants sont intégrées à partir du plan des canaux disponible dans la base de données urbaine de Dakar. Le programme utilisé consiste à détecter les nœuds du réseau (mailles possédant plus de 2 voisins, après squelettisation du réseau, ou maille extrémité ne possédant qu'un voisin) et les tronçons correspondants. Les directions de drainage de chaque tronçon sont déterminées en fonction des altitudes des extrémités du tronçon, en partant de l'altitude la plus élevée vers l'altitude la plus faible. L'intégration des bassins de retenue est réalisée à partir du plan rastérisé de ces bassins, l'exutoire de chaque bassin est déterminé par l'altitude minimale de la crête du bassin, et les directions de drainage des mailles du bassin sont dirigées vers cet exutoire, avec introduction d'une pente minimum.



Les directions de drainage sont visualisées pour chaque maille dans le module Vicair d'ATHYS, soit avec un code couleur, soit sous formes de petites flèches.

Chaque direction de drainage est modifiable à l'écran.

Figure 3 : Modèle de drainage naturel issu des altitudes du MNT de Dakar.



Bassins de rétention
 Réseau de canalisation

Figure 4 : Aperçu de quelques objets urbains à intégrer dans la construction de la topologie du drainage

III- RESULTATS

La figure 5 compare les directions de drainage naturelles et celles modifiées par le bâti. Entre les interstices des blocs bâtis, les flux d'écoulement (ici les flèches en noir) opèrent une déviation à chaque rencontre d'un bloc (en gris). Les directions de drainage ne sont pas modifiées au sein (ou à l'intérieur) des blocs.

MNT prenant en compte le bâti.

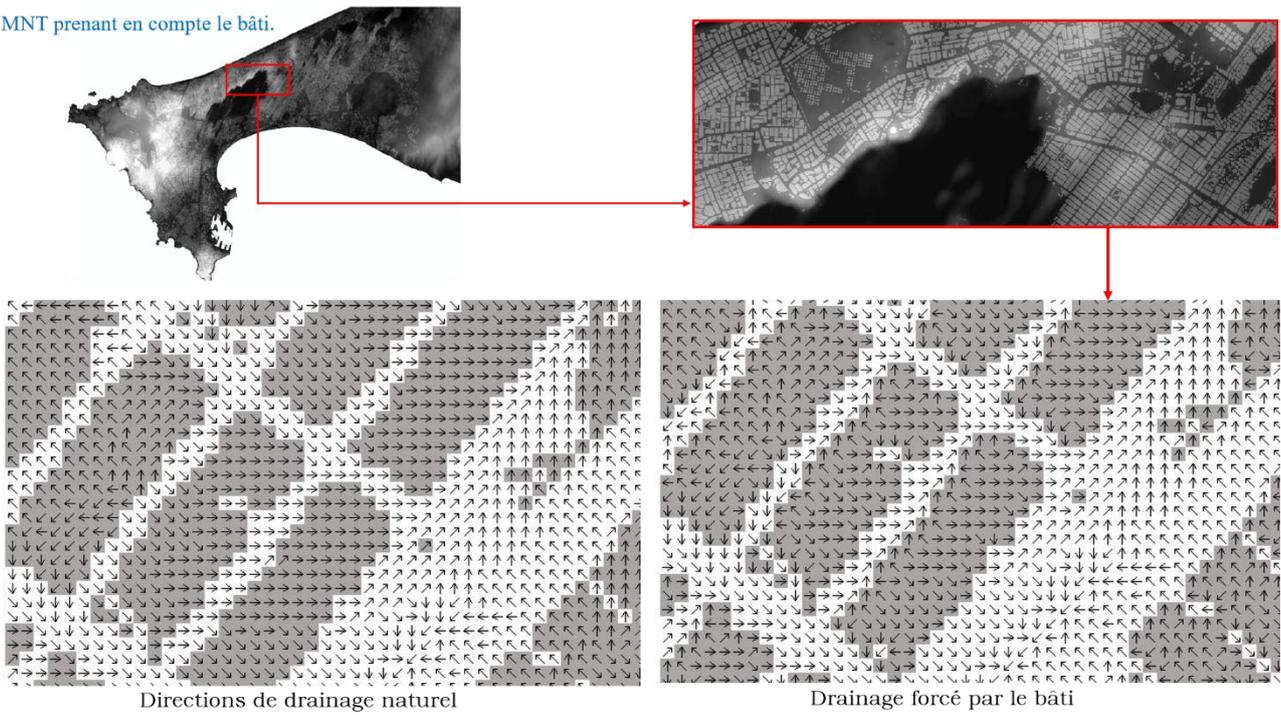


Figure 5 : Forçage des directions de drainage en fonction du bâti

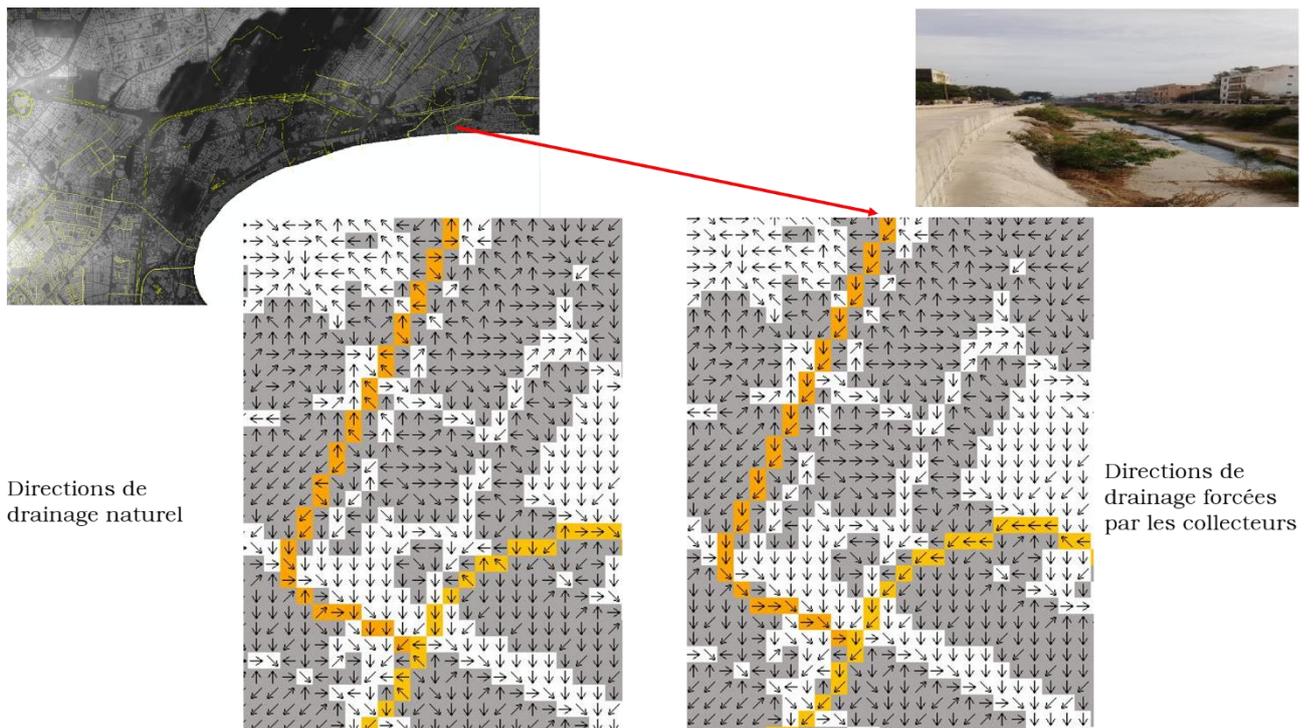


Figure 6 : Forçage du sens de l'écoulement des eaux en fonction des axes drainants

A l'issue du traitement, l'algorithme prend en compte les modifications du drainage causées par le bâti (en gris) puis intègre les directions de drainage modifiées par axes drainants (en jaune), dont les flux suivent les collecteurs dans le sens de la pente, tels qu'ils ont été cartographiés à la figure 6.

IV- PERSPECTIVES

Après la construction de la topologie de drainage, la suite des traitements va consister à délimiter sur l'ensemble de l'agglomération de Dakar de petits bassins urbains d'égale superficie (basée sur des rapports de superficies entre mailles amont et aval) à l'exutoire desquels seront déterminés, à l'aide d'un modèle hydrologique distribué (SCS-LR), les débits en fonction des épisodes pluvieux. Ces débits seront ensuite

injectés dans le réseau de drainage des eaux pluviales grâce à un modèle hydraulique (onde cinématique). La combinaison de ces deux modèles fournira les débits à l'exutoire de chaque bassin et sur tout le réseau (figure 7), ce qui permettra de déterminer, par différence entre la capacité du réseau et les débits simulés, les points de débordement sur l'ensemble du réseau de drainage. L'application de ce modèle a été faite dans des villes africaines tels que Ouagadougou (Burkina -Fasso) et Bamako (Mali) (Bouvier et al., 2017, 2018).

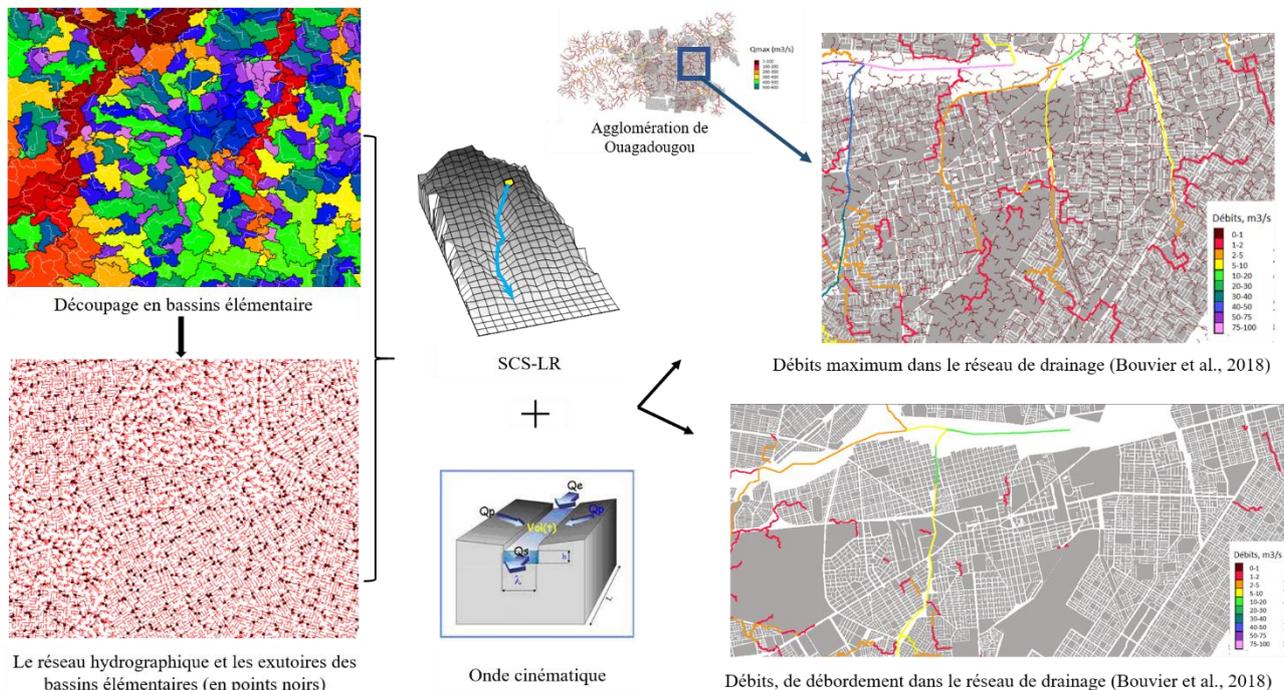


Figure 7 : Application de la méthode pour la modélisation des inondations à Ouagadougou (Bouvier et al., 2018)

CONCLUSIONS

Dans ce travail, nous avons développé une méthodologie de construction de la topologie du drainage de l'ensemble de l'agglomération de Dakar. Elle est basée sur le MNT à partir duquel est extrait un premier modèle de drainage. Ce modèle est ensuite modifié pour intégrer les spécificités du milieu urbain qui agissent sur la formation des écoulements. Les algorithmes développés pour intégrer les informations spatiales relatives à l'hydrosystème urbain reproduisent parfaitement les modifications des directions de drainage induites. Les modifications des directions de drainage liées à la présence de dépressions naturelles ou de bassins de stockage sont en cours d'intégration dans le logiciel.

La méthode, qui est automatique, peut fournir une représentation spatiale détaillée de la trajectoire des flux lors d'un épisode pluvieux. Elle constitue le début d'une chaîne de modélisation visant à estimer en temps quasi-réel les débits découlement à l'exutoire de bassins versants urbanisés et d'identifier les points de débordement du réseau de drainage pluvial à l'échelle de toute l'agglomération de Dakar. Un tel résultat permet d'orienter le déploiement des secours sur le terrain.

NOMENCLATURE

- ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
- DPGI : Direction de la Prévention et de la Gestion des Inondations au Sénégal
- MNT : Modèle Numérique de Terrain
- PDGI : Programme Décennal de Gestion des Inondations
- PGIIS : Projet de Gestion Intégrée des Inondations au Sénégal
- PROGEP : Projet de gestion des eaux pluviales et d'adaptation au changement climatique

REFERENCES

- ADM (Agence de Développement Municipal) (2019). Eradiquer durablement les inondations par la mise en place d'un système de drainage innovant, Notes, 12p.
- ANSD, (2013) : Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage (RGPHAE), rapport définitif, 418 p.
- ANSD, (2020). Population du Sénégal 2019, 21p.
- Azzam A., et Ali A. B., (2019). Urban sprawl in Wadi Goss Watershed (Jeddah City/Western Saudi Arabia) and its impact on vulnerability and flood hazards. *Journal of Geographic Information System*, vol 1, n° 03 : 371.
- Bodian A., (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Revue Physio-Géo*, vol. 8 : 297-312.
- Bodian A., Dacosta H., Diouf R.N., Ndiaye E.O., et Mendy A., (2016). Contribution à la connaissance de l'aléa pluvial au Sénégal grâce à la valorisation des données pluviographiques historiques. *Climatologie*, vol. 13 (2016)
- Bouvier C., Chahinian N., Adamovic M., Crespy A., Cres A., Cassé C., Alcoba M., (2017). Large-scale GIS-based urban flood modelling: A Case study in the city of Ouagadougou ». In. *Advances in Hydroinformatics - SimHydro 2017: Choosing the right model in applied hydraulics*, 14-16 June 2017, Springer Water, 703-718.
- Bouvier C., Alcoba M., Cazenave F., Chahinian N., Coulibaly G., Crès A., Crespy A., Fowe T., Gosset M., Miller J., Turko M., Sawadogo L., Modélisation à fine résolution spatiale des inondations dans une agglomération urbaine, par couplage d'un modèle hydrologique et d'un modèle de transfert en réseau. SHF, Novembre 2018, Avignon (France)
- Bottazzi P., Winkler M. S., & Speranza C. I., (2019). Flood governance for resilience in cities: The historical policy transformations in Dakar's suburbs. *Environmental Science and Policy* n° 93: 172–180.
- Bull-Kamanga L., Diagne K., Lavell A., Leon E., Lerise F., MacGregor H., ... et Satterthwaite D., (2003). From everyday hazards to disasters: the accumulation of risk in urban areas. *Environment and Urbanization*, vol 15, n°1: 193-204.
- Cissé Faye S., C., Faye S., Wohnlich S., et Gaye C. B., (2004). An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). *Environmental Geology*, vol 45, n°3: 312-322.
- De Magny G. C., Thiaw W., Kumar V., Manga, N. M., ... & Colwell R. R., (2012). Cholera outbreak in Senegal in 2005: was climate a factor? *PLoS One*, vol. 7, n°8: e44577.
- Diop L., Bodian A., Diallo D., (2016). Spatiotemporal trend analysis of the mean annual rainfall in Senegal. *European Scientific Journal*, vol. 12, n°12 : 231-245.
- Diop M. S., (2019) : Les capacités adaptatives des communautés de la périphérie de Dakar face aux inondations, thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay, 354p.
- Diop A., Ndiaye M. L., Sambou Y, Dacosta H. & Sabou B, (2017). Integrated a GIS and Multicriteria Evaluation approach for Mapping Flood Vulnerability of Buildings in the Grande Niaye Watershed of Dakar, Senegal. *American Journal of Geographic Information System* 2017, 6(2): 41-53.
- Diouf R. Nd., (2011) : Etude hydro-pluviométrique des bassins versants urbains de la presqu'île du Cap Vert, thèse de doctorat de 3ème cycle, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 248 p.
- Dodman D., Leck H., Rusca M., et Colenbrander S., (2017). African urbanisation and urbanism: Implications for risk accumulation and reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol 26: 7-15.

- Fraser A., Leck H., Parnell S., Pelling M., Brown, D., et Lwasa S., (2017). Meeting the challenge of risk-sensitive and resilient urban development in sub-Saharan Africa: Directions for future research and practice. *International journal of disaster risk reduction*, vol 26 : 106-109.
- GRS (Gouvernement De La République Du Sénégal), 2010 : Rapport d'évaluation des besoins post-catastrophe, inondation urbaine à Dakar 2009, Gouvernement du Sénégal, Banque Mondiale, Nations Unies, Commission Européenne, 184p.
- Gulyani S., Bassett E. M., et Talukdar D., (2014). A tale of two cities: A multi-dimensional portrait of poverty and living conditions in the slums of Dakar and Nairobi. *Habitat International*, vol 43 : 98-107.
- Hungerford H., Smiley S. L., Blair T., Beutler S., Bowers N., & Cadet E. (2019). Coping with Floods in Pikine, Senegal: An Exploration of Household Impacts and Prevention Efforts. *Urban Science*, vol 3 (2): 54.
- Israel A. O., (2017). Nature, the built environment and perennial flooding in Lagos, Nigeria: The 2012 flood as a case study. *Urban Climate*, vol 21 : 218-231.
- Kama A., Diallo M., & Drame M. S. (2018). Low cost connected and autonomous rain gauge for real time rainfall monitoring in Dakar. In 2018 25th International Conference on Telecommunications (ICT) (pp. 660-664). IEEE, June 2018.
- Mbow C., Diop A., Diaw A. T., Niang C. I., (2008). Urban sprawl development and flooding at Yeumbeul suburb (Dakar-Senegal). *African Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 2 (n°4): 075-088.
- Ndao M., (2012) : Dynamiques et gestion environnementale de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès) et Saint-Louis, thèse de Doctorat de Géographie et aménagement de l'université de Toulouse, 373 p. et annexes.
- Ndiaye C. H. C., Ngom N. F., Niang O., et Fall A., (2018). Web based GIS for multicriteria vulnerability classification and prediction in urban area : the case of Yeumbeul (Dakar). In 2018 1st International Conference on Smart Cities and Communities (SCCIC), July, IEEE.: 1-10.
- Ndiaye I., (2015). Étalement urbain et différenciation sociospatiale à Dakar (Sénégal). *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 59, n°166 : 47- 69.
- Nouaceur Z., (2020). La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, vol 15 : 89-109.
- Panthou G., Vischel T., et Lebel T., (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, vol 34, n°15 : 3998 - 4006.
- Sané Y., (2013). La politique de l'habitat au Sénégal : une mutation permanente. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, vol. 66, n°263 : 311-334.
- Sané O.D., Gaye A.T., Diakhaté M., et Aziadekey M., (2016). Critical Factors of Vulnerability That Enable Medina Gounass (Dakar/Senegal) to Adapt against Seasonal Flood Events. *Journal of Geographic Information System*, vol 8, n°4 : 457- 469. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.84038>
- Schaer C., Thiam M. D., et Nygaard I., (2018). Flood management in urban Senegal: an actor-oriented perspective on national and transnational adaptation interventions. *Climate and Development*, vol. 10, n° 3 : 243-258.
- Sène & Ozer, (2002). Évolution pluviométrique et Relation inondations – événements pluvieux Au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, n°42 : 27-33.
- Sène A., Sarr M. A., Kane A. et al., (2018). L'assèchement des lacs littoraux de la grande côte du Sénégal : mythe ou réalité ? Cas des lacs Thiourour Warouwaye et Wouye de la banlieue de Dakar. *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol 35, n° 2 : 5623-5638.

- Sy B., Frischknecht C., Dao H., Giuliani G., Consuegra D., Wade S., & Kédowidé C., (2016). Participatory approach for flood risk assessment: the case of Yeumbeul Nord (YN), Dakar, Senegal. WIT Transactions on the built environment, vol. 165 : 331-342.
- Sircoulon J., et Olivry J. C., (1986). Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'Ouest et centrale (considération sur les stations pluviométriques de longue durée et les débits des rivières) : communication n°6. In Compte rendu du colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. Ouagadougou (BKF), 1986/05/20-24.
- Wade S., Faye S., Dieng M., Kaba M., Kane N. R., (2009). Télédétection des catastrophes d'inondation urbaine : le cas de la région de Dakar (Sénégal). In : Journées d'Animation Scientifique (JSA09) de l'AUF, Alger, Novembre 2009, 7p.