

Cartographie et évaluation rapides des dégâts d'une inondation avec des données gratuites et logiciels libres : cas de la zone inondable du Sambirano, Madagascar

Mamisoa RANDRIAMPARANY^{1*}, Justin RATSARAMODY¹, Michel Aimé RANDRIAZANAMPARANY¹ et Hery Tina RAMANAN'HAJA²

¹ Université d'Antsiranana, Ecole Doctorale Thématique, Energies Renouvelables et Environnement (EDT-ENRE), Laboratoire de Fluides pour les Energies Renouvelables, Madagascar

² Université d'Antsiranana, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antsiranana, Madagascar

* Correspondance, courriel : mamsravnd@gmail.com

Résumé

La télédétection a largement contribué à la surveillance des inondations et évaluation des dégâts qui amène les autorités responsables de la gestion des catastrophes à apporter une contribution significative. Cet article propose des techniques de cartographie de l'étendue des inondations et d'évaluation de leurs dommages moyennant des outils et des données libres et gratuits. C'est une technique qui exploite la combinaison d'une télédétection simple et un SIG. L'étude montre deux techniques pour deux types de données différentes (Landsat 8 et Sentinel 1). Les résultats sont les occupations du sol et l'étalement de l'inondation en mars 2018 pendant le passage du cyclone ELIAKIM. L'estimation montre que 26 % des rizières et 67 % d'autres cultures sont inondés. Cet article démontre la fiabilité des images Sentinel 1 pour évaluer rapidement les dégâts d'une inondation.

Mots-clés : *télédétection, inondation, Sentinel 1, Landsat 8, données gratuites, Sambirano.*

Abstract

Rapid mapping and assessment of flood damage with free data and open source software : case of the Sambirano flood zone, Madagascar

Remote sensing has been a major contributor to flood monitoring and damage assessment, which has led disaster management authorities to make a significant contribution. This article proposes techniques for mapping the extent of floods and evaluating their damage using free tools and data. It is a technique that exploits the combination of simple remote sensing and GIS. The study shows two techniques for two different types of data (Landsat 8 and Sentinel 1). The results are the land occupations and the spreading of the flood in March 2018 during ELIAKIM cyclone. The estimate shows that 26 % of rice fields and 67 % of other crops are flooded. This article demonstrates the reliability of Sentinel 1 images to quickly assess the damage of a flood.

Keywords : *remote sensing, flood, Sentinel 1, Landsat 8, free data, Sambirano.*

1. Introduction

Les inondations font partie des catastrophes naturelles les plus dévastatrices qui entraînent des conséquences économiques et sociales considérables et des dommages sociaux qu'aucun autre phénomène naturel dans le monde [1, 2]. Une méga inondation de la période quaternaire (qui s'étend d'environ 1,8 million d'années de nos jours) a eu un débit de pointe de près de 20 millions de m³ / s mais aurait pu rester inconnu s'il n'y avait pas eu de preuves géologiques [3]. Beaucoup de catastrophes anciennes des plus grands bassins fluviaux du monde ont été identifiées de cette façon par des géologues et des hydrologues. Des inondations de cette ampleur peuvent se produire dans le passé sans laisser de trace exploitable [4, 5]. Heureusement les sociétés humaines ont développé des technologies sophistiquées pour collecter, traiter, intégrer et analyser les données liées aux inondations sans procéder aux méthodes intrusives [6, 7]. Ces données c'est-à-dire les mesures sur terrain, les enquêtes, les interviews, les photos aériennes sont des représentations de la réalité. Mais elles sont obtenues avec des inévitables incertitudes et doivent être traitées comme des modèles [8]. Ces observations sont robustes. Ce type de modélisation intéresse beaucoup d'ingénieurs et de chercheurs provoquant une évolution rapide et continue de la chaîne d'acquisition aux traitements [9]. Les résultats de ces modèles sont largement utilisés pour la prise de décision et ont servi d'entrée à d'autres types de méthodes. L'ampleur de l'inondation détectée à distance a été largement utilisée pour leur surveillance, ainsi qu'un point de référence pour l'étalonnage et la validation des modèles hydrodynamiques [4, 10, 11]. Les inondations affectent aussi toutes les régions de Madagascar sans exception et ce de manière récurrente. Les plus remarquables dans la zone d'études sont celles causées par les cyclones Gafilo en 2004, Indlala en 2007 et d'Eliakim en mars 2018. Mais chaque année les cyclones provoquent des débordements des rivières et fleuves causant des inondations dévastatrices. La combinaison du SIG (Système d'Information Géographique) et la télédétection est une méthode efficace pour évaluer et/ou surveiller ces inondations [9, 12, 13]. Cet article avance une méthode qui exploite une base de données SIG et des images satellites téléchargées gratuitement pour caractériser les inondations survenues dans la zone d'Ambanja Madagascar et d'évaluer son efficacité.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'études

La zone d'études est située dans la partie Nord-Ouest de Madagascar qui s'étend sur une superficie de 86,7 km² (**Figure 1**). Les calculs qui vont découler se réfèrent toujours à cette surface. Cette zone couvre ce qui est zone inondable du Sambirano qui fait l'objet de cet article. C'est une zone bordant le fleuve Sambirano qui draine un bassin versant de 2 830 km² avec une pluviométrie moyenne interannuelle, évaluée à 2 500 mm [14]. Dans cette zone la pente du fleuve est très faible ce qui augmente considérablement la durée de décrue.

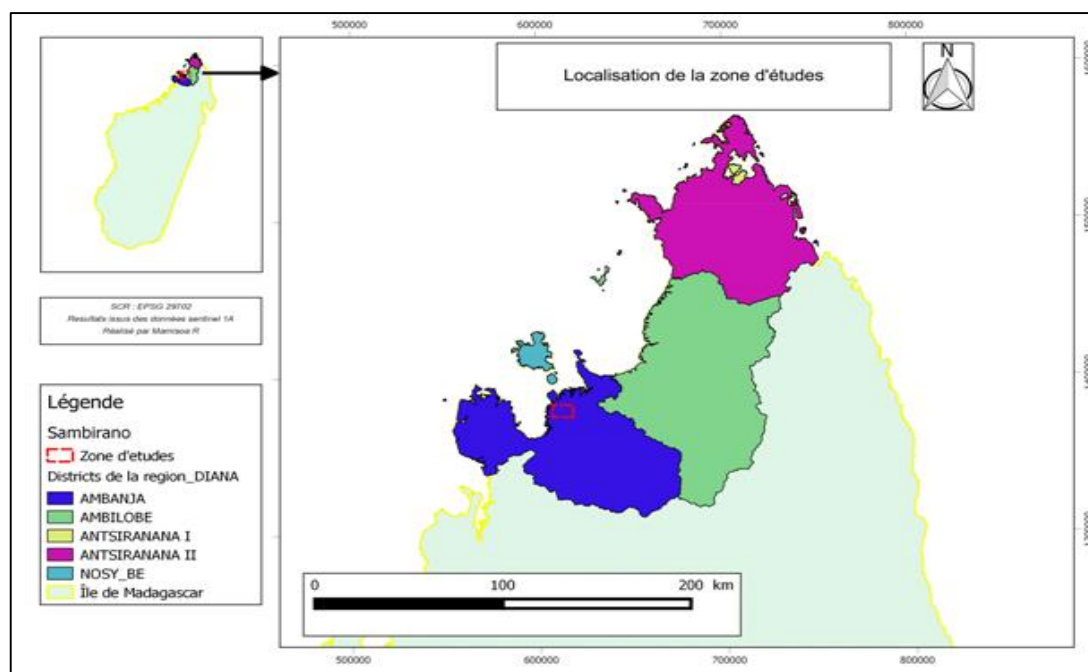


Figure 1 : Localisation de la zone d'études (zone inondable du Sambirano)

2-2. Données et logiciels utilisés

Des bases de données ont été utilisées pour extraire différents types des couches d'information : limites administratives, rivières, lacs, routes. La principale utilisée durant cette étude est celle de SESAM élaborée en 2016 par le ministère de l'eau (<https://mineau.gov.mg/>). Au niveau des données satellites, nous disposons premièrement des données Sentinel-1 (radar C-SAR, 12 bandes). Ces images satellites sont obtenues avec des capteurs radar (Sentinel-1A et Sentinel-1B). Les données Sentinel-1A et 1B ont été fournis par la plate-forme française de distribution des données Sentinel du programme Copernicus avec une politique d'accès aux données libre et ouvert à tout le monde avec une garantie de continuité à long terme (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Nous avons utilisé deux images :

1. S1A_IW_GRDH_1SDV_20180313T021754_20180313T021819_020990_024098_94D0.SAFE : pour l'image Sentinel-1A
2. S1B_EW_GRDM_1SDV_20180106T021641_20180106T021746_009044_010298_F338.SAFE : pour l'image Sentinel-1B

Des images LC08 c'est-à-dire LANDSAT 8 ont été téléchargées gratuitement à partir de l'URL : <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Ces images nous ont servis pour les vérifications et les références pour les étalements de l'inondation.

Les propriétés du dispositif informatique de traitement sont résumées comme suit :

1. Ordinateur portable : ram 8,00 Go (7,89 utilisable) et processeur 4*1,60 GHz
2. Logiciels utilisés : SNAP (pour les données Sentinel), Q-GIS, Google Earth et Landsat tools (pour les données Landsat).

2-3. Organigrammes de traitement

2-3-1. Pour les images Sentinel 1

La démarche illustrée par la **Figure 2** nous sert pour partir des images brutes aux classifications de l'inondation. Nous avons utilisé la méthode classique : le maximum de vraisemblance. Etant donné que les

images Sentinel couvre une grande étendue (250 x 250 km) et donc nécessitant une grande ressource informatique. De ce fait nous avons utilisé un masque (subset). Les images sont prises dans des conditions différentes alors que l'on doit calculer des valeurs dépendant simplement de ce qui est au sol, nous avons calibré les images. L'application du chatoiement (spek-le-filter) consiste à filtrer les images selon une fenêtre caractérisée par le nombre de pixel. Le filtre utilisé sur notre étude est celle de Lee avec une fenêtre de taille 5 x 5. Selon la position du satellite lors de l'acquisition, les images doivent subir une correction géométrique afin de pouvoir les superposées avec d'autres images. C'est le géoreférencement des résultats.

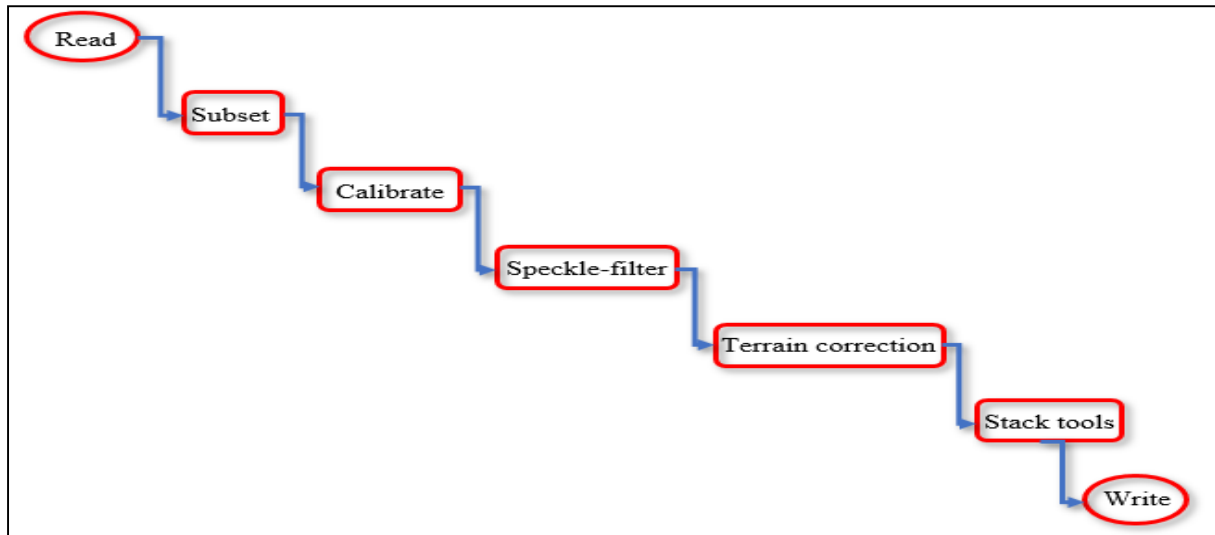


Figure 2 : Organigramme pour le traitement des images Sentinel 1 avec SNAP

2-3-2. Pour les images LANDSAT 8

Pour partir de l'image Landsat 8 brute aux images classifiées plusieurs traitements sont nécessaires. Cette démarche est résumée par l'organigramme illustré par la **Figure 2**.

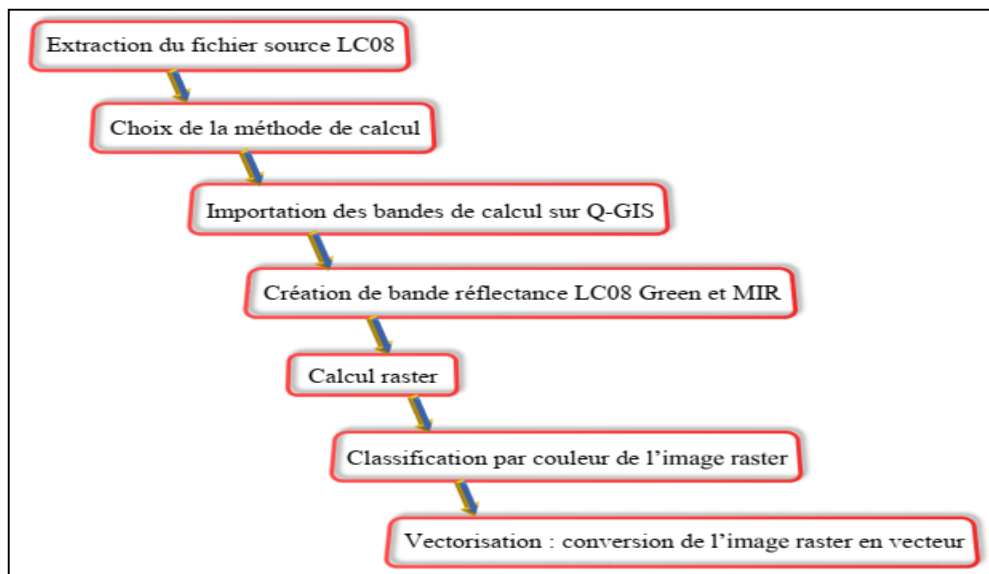


Figure 3 : Organigramme de traitement de l'image Landsat 8 avec QGIS

Le premier avantage avec les images Landsat 8 est leur simplicité c'est-à-dire que les 12 bandes sont séparées. Ce qui facilite leurs traitements en fonction de ce que l'on veut avoir. Tous ces traitements se font avec QGIS. La méthode retenue pour cette étude est une méthode indiciaire qui nécessite une combinaison de deux bandes B3 (GREEN) et B6 (MIR). L'indice calculé est dénommé MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*)[15] :

$$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR} \quad (1)$$

GREEN et MIR désignent les reflectances des deux bandes qui sont obtenues avec l'outil Landsat tool.

3. Résultats et discussion

3-1. Répartition de l'occupation du sol avant inondation

La méthode de maximum de vraisemblance nous a permis d'évaluer les surfaces inondées et de connaître la répartition de l'occupation du sol. Une classification a été obtenue que nous montrons à la **Figure 4**. Notre nouvelle méthode de classification d'une image Landsat 8 consiste à combiner les bandes pour avoir une image multi spectrale. L'algorithme cité précédemment est appliquée sur les couches parvenant à définir les différents types d'occupation. Sur cette étude, quatre classes sont utilisées pour présenter les majeures parties de la zone d'étude dont le cacao, la rizière, la savane élaborée et les zones des autres cultures.

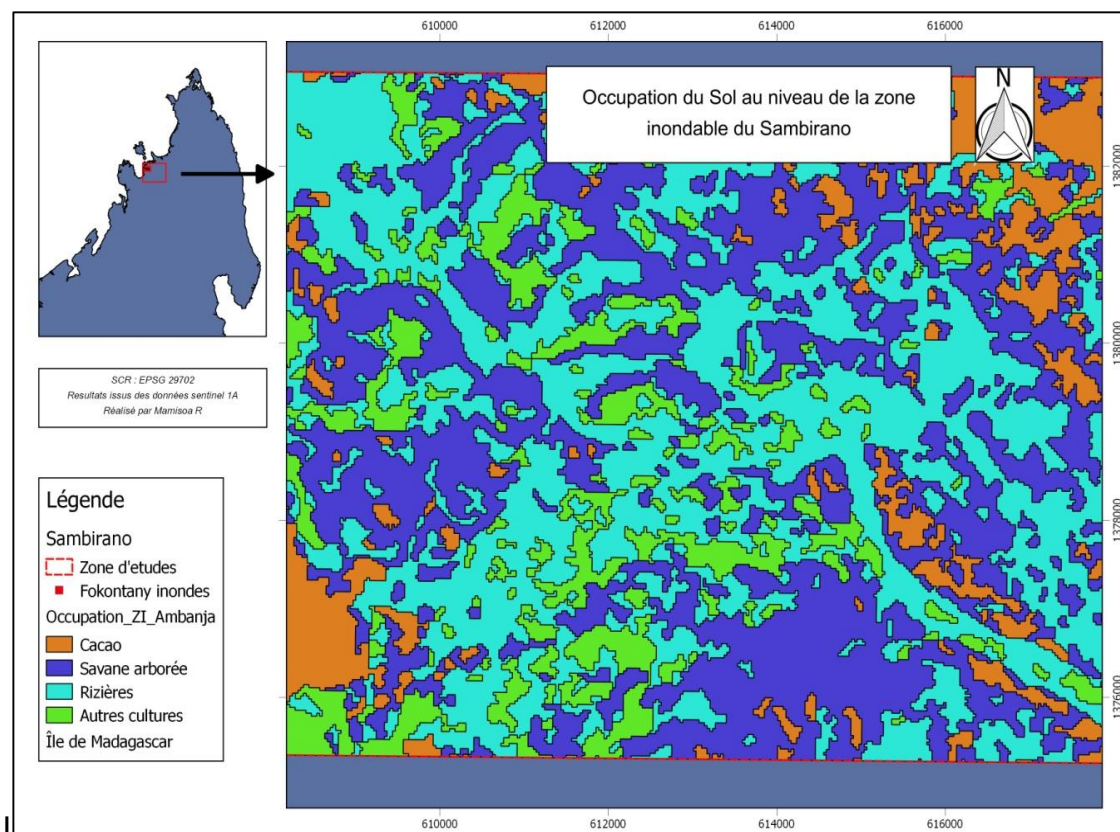


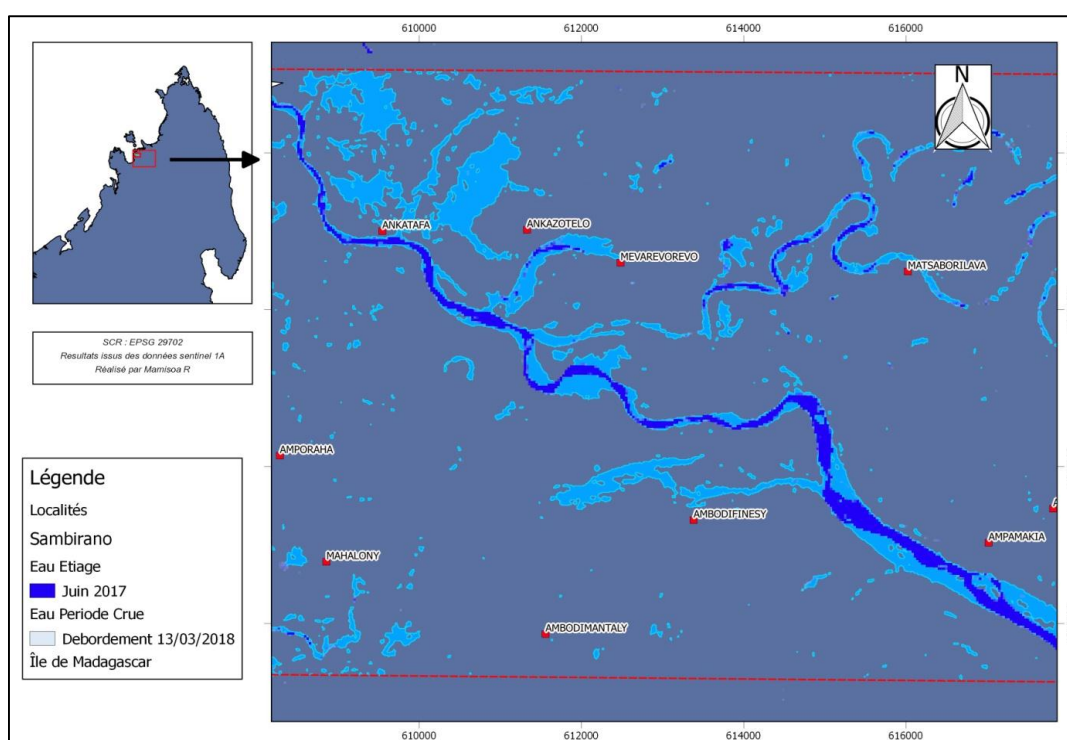
Figure 3 : Occupation du sol dans la zone d'études

Tableau 1 : Répartitions de l'occupation du sol dans la zone d'études

Désignations	Cacao	Rizières	Savane arborée	Autres cultures
Surface [Ha]	1198,8	3332,9	3132,5	1039,8
% par rapport zone d'étude	14 %	38 %	36 %	12 %

3-2. Délimitation de l'étalement de l'inondation

Etant donné qu'une inondation est limitée dans le temps, le choix de la date d'acquisition des données est donc une des critères les plus dominantes. En faisant les recherches et des documentations, le choix s'est arrêté à la date relative au cyclone ELIAKIM qui a ravagé la zone Nord-Ouest le mois de mars dernier. Le 13 mars 2018 une superficie de 10,3 km² qui représente 12 % de la surface totale de la zone d'étude est inondée.

**Figure 5 : Étalement de l'inondation dans la zone inondable du Sambirano le 13 mars 2018**

3-3. Évaluation des dégâts

En partant de la répartition de l'occupation du sol, combinée avec les résultats de modélisation des eaux, les dommages ont pu être évalués. L'évaluation illustrée dans cet article est délimitée sur la zone nord-ouest que nous avons choisie comme zone test. Cette zone concerne une population de 30 600 habitants.

Tableau 2 : Quantification des surfaces inondées selon les occupations du sol

Désignations	Cacao	Rizières	Savane arborée	Autres cultures
Surface [Ha]	507,4	877,6	473,6	692,6
Surface inondée	42 %	26 %	15 %	67 %

Sur le **Tableau 1** ci-dessus on voit que 26 % des rizières et 67 % de zone d'autres cultures sont inondées. En plus 42 % des cacaos qui sont les premières sources de revenus des habitants dans cette zone. La méthode habituellement utilisée pour l'évaluation des dégâts est une méthode intrusive c'est-à-dire des mesures directes pendant les crues. Les agents sont exposés aux dangers élevés de l'eau en période de crue. Il est possible d'éviter cela en adoptant la méthode proposée dans cet article. Le principal avantage de la méthode proposée repose surtout sur la rapidité de l'obtention des résultats et de la faiblesse des moyens nécessaires, notamment les moyens en ressources humaines.

4. Conclusion

La surveillance des inondations à l'aide de données satellitaires s'est avérée efficace pour obtenir un aperçu rapide et précis des zones inondées. Dans l'étude, une analyse a été réalisée en combinant la télédétection et le SIG pour caractériser et identifier une inondation qui a touché la zone inondable du Sambirano pendant le passage du cyclone ELIAKIM en mars 2018. En combinant la cartographie de l'occupation du sol avec l'étalement de l'eau nous avons évalué les parcelles inondées. Les cartes traitées qui ont ensuite été superposées avec des données de densité de population et de l'utilisation des terres pour l'estimation des dommages. La méthode proposée dans cet article a la capacité d'effectuer une évaluation rapide des dommages mais cela reste néanmoins dépendant de la disponibilité de l'image Sentinel relative à la date de l'inondation. Les résultats de ce modèle sont aussi des outils de calage et de validation pour les modèles hydrodynamique d'une inondation.

Références

- [1] - DMSG, The Use of Earth Observing Satellites for Hazard Support: Assessments & Scenarios. Committee on Earth Observation Disaster Management Support Group, Final Report, NOAA, USA : Dept. Commerce, (2001)
- [2] - R. SCHWARZE, B. MERZ, H. KREIBICH and A. THIEKEN, Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System*, (2010)
- [3] - J. TENG, Flood inundation modelling : A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling and Software*, (2017)
- [4] - SMITH, C. LAURENCE, Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge : A review. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, (1997)
- [5] - FAZLUL KARIM, CUAN PETHERAM, JUAN PABLO GUERSCHMAN, CATHERINE TICEHURST, DUSHMANTA DUTTA. Improving the accuracy of daily modis owl flood inundation mapping using hydrodynamic modelling. *Nat Hazards*, (2015)
- [6] - SMITH P. D. BATES, M. S. HORRITT and D. MASON, Integrating remote sensing observations of flood hydrology and hydraulic modelling. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, (1997)
- [7] - LU., JOY SANYAL and X. Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon asia : A review. *Natural Hazards*, (2004)
- [8] - J. E. FREER, D. C. MASON, E. M. STEPHENS, P. D. BATES, The impact of uncertainty in satellite data on the assessment of flood inundation models. *Journal of Hydrology*, (2012)
- [9] - B. PRADHAN, S. PIRASTEH, M. SHAFIE, Maximum flood prone area mapping using RADARSAT images and GIS: Kelantan river basin. *International Journal of Geoinformatics*, (2009)

- [10] - G. SCHUMANN, L. PFISTER, L. HOFFMANN, H. H. G. SAVENIJE, P. MATGEN, R. HOSTACHE, Towards an automated sar-based flood monitoring system : Lessons learned from two case studies. *Physics and Chemistry of the earth*, (2001)
- [11] - N. PIERDICCA, L. GUERRIERO, P. FERRAZZOLI, L. PULVIRENTI, M. CHINI, Flood monitoring using multi-temporal cosmo-skymed data : Image segmentation and signature interpretation. *Remote Sensing of Environment*, (2011)
- [12] - B. PRADHAN, M. SHAFIE, Flood hazard assessment for cloud prone rainy areas in a typical tropical environment. *Disaster Advances 2*, (2009)
- [13] - D. DUTTA S. MARVANEK, J. TENG, J. VAZE, Rapid inundation modelling in large floodplains using lidar dem. *Water Resource Manage*, (2015)
- [14] - PIERRE CHAPERON, JOEL DANLOUX, LUC FERRY, *Fleuve et rivière de Madagascar*. Paris : ORSTOM, DMH CNRE, (1993) 1
- [15] - GAO, BO-CAI. NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Elsevier Science*, (1996)
- [16] - R. SCHWARZE, B. MERZ, H. KREIBICH and A. THIEKEN, Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (2010)
- [17] - SMITH, C. LAURENCE, Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge : A review. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, (1997)
- [18] - ALCRUDO, state of the art review on mathematical modelling of flood propagation. *IMPACT Project*, (2004)
- [19] - PENDER, Briefing : Introducing the flood risk management research consortium. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, (2006)
- [20] - SAYERS, P. GOULDBY, B. SAMUELS, P. WILLS, M. MULET-MARTI, J. L'HOMME, Recent development and application of a rapid flood spreading method. *Flood Risk Management : Research and Practice*, (2008)
- [21] - TODINI, G. DI BALDASSARRE, F. DOTTORI, Detailed data is welcome, but with a pinch of salt : Accuracy, precision, and uncertainty in flood inundation modeling. *WATER RESOURCES RESEARCH*, (2013)
- [22] - JIM FREER, JEFFREY NEAL, JAMES THOMAS, STEVEN SAVAGE, PAUL BATES and GIUSEPPE ARONICA, When does spatial resolution become spurious in probabilistic flood inundation predictions ? *HYDROLOGICAL PROCESSES*, (2016)
- [23] - PAUL BATES, KEITH BEVEN, JEFFREY NEAL, CAROLINE KEEF and DAVID LEEDAL, Probabilistic flood risk mapping including spatial dependence. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, (2013)
- [24] - JUAN PABLO, GUERSCHMAN CATHERINE, TICEHURST and YUN CHEN, The strengths and limitations in using the daily modis open water likelihood algorithm for identifying flood events. *remote sensing*, (2014)