



Estimation des niveaux d'eau à partir d'étendues inondées satellitaires et de données topographiques

Vita Ayoub, Carole Delenne, Patrick Matgen, Marco Chini, Ramona-Maria Pelich, Renaud Hostache

► To cite this version:

Vita Ayoub, Carole Delenne, Patrick Matgen, Marco Chini, Ramona-Maria Pelich, et al.. Estimation des niveaux d'eau à partir d'étendues inondées satellitaires et de données topographiques. Contribution du spatial face aux enjeux de l'eau - SHF/CNES, Jan 2021, Online, France. hal-03199580

HAL Id: hal-03199580

<https://hal.science/hal-03199580>

Submitted on 30 Aug 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.

Vita Ayoub
adresse mail: vita.ayoub@list.lu

ESTIMATION DES NIVEAUX D'EAU A PARTIR D'ETENDUES INONDEES SATELLITAIRES ET DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Auteurs : Vita AYOUB^{1,2,3}, Carole DELENNE^{2,3}, Patrick MATGEN¹, Marco CHINI¹, Ramona-Maria PELICH¹, Renaud HOSTACHE¹

¹Luxembourg Institute of Science and Technology, Environmental Research and Innovation Department, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

²HydroSciences Montpellier, Université de Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

³Inria Lemon, CRISAM - Inria Sophia Antipolis - Méditerranée, France

Résumé

Les crues entraînent des dommages humains et matériels importants. Les modèles hydrauliques sont des outils puissants permettant de cartographier l'aléa d'inondations mais leurs prévisions sont affectées d'incertitudes potentiellement importantes. Pour les réduire, des mesures de terrain sont souvent utilisées pour mieux caler les modèles. Malheureusement, les réseaux de mesure connaissent depuis quelques décennies un déclin certain. La télédétection radar satellitaire apparaît ainsi comme une source de données complémentaire pour mieux contraindre les modèles. Dans ce contexte, notre objectif est de développer et automatiser une approche permettant d'extraire des niveaux d'eau en combinant données topographiques et étendues inondées satellitaires. Une méthodologie en quatre étapes est proposée : i) cartographie des étendues d'eau à partir d'images satellitaires, ii) génération d'une carte Height Above Nearest Drainage (HAND) normalisant la topographie par rapport au réseau de drainage, iii) optimisation d'une valeur de seuil sur HAND permettant d'obtenir la carte HAND « seuillée » la plus proche de carte d'étendues inondées satellitaire et iv) création de cartes de hauteurs d'eau par différenciation entre la valeur seuil optimisée et la donnée HAND et déduction de cartes de niveaux d'eau.

Mots-clés : Etendues inondées, niveaux d'eaux, Height Above Nearest Drainage (HAND), cartographie d'aléa, image satellitaire.

1. Introduction

Les inondations représentent près de 43% des catastrophes naturelles répertoriées de 1994 à 2013[1]. Avec le changement climatique, les inondations risquent de devenir plus fréquentes et plus sévères. Ainsi, dans le contexte de gestion des risques d'inondation, et afin d'améliorer les systèmes de prévision de crues, il est essentiel de comprendre les phénomènes de crue et de cartographier l'aléa d'inondation à grande échelle. La modélisation hydrodynamique est un outil pertinent mais nécessite souvent les données d'entrée qui ne sont pas disponibles dans beaucoup de régions du monde. En revanche, la télédétection satellitaire Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO) est un outil puissant qui pourrait être exploité plus avant. Grâce à la disponibilité croissante des observations satellitaires et des données topographiques à échelle globale, l'extraction des limites d'inondations et l'estimation indirecte des niveaux d'eau à travers la combinaison de ces deux types de données est de plus en plus populaire [2]. Une approche hybride a été

proposée par [4-5] pour automatiser l'extraction des étendues inondées à partir d'image satellitaire RSO. La cartographie d'inondation en utilisant l'outil de HAND a été initialement proposée par [6]. Dans ce contexte, notre objectif est de développer et automatiser une approche d'estimation des niveaux d'eau en combinant données topographiques et étendues inondées à travers HAND.

2. Méthodologie

2.1. Cartographie des étendues inondées à partir d'image satellitaire

La première étape utilise la méthode proposée par [7] pour cartographier les étendues inondées à partir d'une image satellitaire radar. L'algorithme découpe l'image entière en sous-tuiles de tailles variables et identifie les sous-tuiles dans lesquelles la proportion de pixels secs et en eau est relativement équilibrée, caractérisées par des histogrammes de rétrodiffusion bi-modaux. Le principe est basé sur la paramétrisation des distributions statistiques de deux classes présentes: les surfaces inondées aux faibles valeurs de rétrodiffusion et les surfaces non inondées (représentant d'autres types d'occupation du sol) aux plus hautes valeurs de rétrodiffusion. La paramétrisation automatique de ces deux distributions permet d'appliquer ensuite un seuillage de l'image pour une classification préliminaire eau/ non-eau. Cette étape est suivie d'une étape "grossissement de région" et de "détection de changement" afin de cartographier plus précisément les étendues inondées dans toute l'image [5-6].

2.2. Estimation des niveaux d'eau à partir de données topographiques

La génération de la carte HAND nécessite un modèle numérique de terrain (MNT) et le shapefile de la rivière. Cet outil calcule l'altitude de chaque pixel par rapport à celle du pixel du réseau hydrographique qui le draine [8], permettant ainsi de normaliser les altitudes du terrain par rapport à celle du réseau de drainage. La carte HAND est ensuite seuillée et, la valeur de seuil étant optimisée de sorte à reproduire le plus précisément possible la carte des étendues inondées satellitaire. Afin d'optimiser la valeur du seuil, trois critères de performance sont évalués: le Critical Success Index (CSI), l'Overall Accuracy (OA) et l'indice Kappa (K). Le seuil optimal $HAND_{water}$ obtenu renseigne sur l'élévation de la surface de l'eau par rapport au réseau de drainage (cf fig.1). Comme l'utilisation d'un seuil unique de HAND paraît peu réaliste sur de grande zone car elle repose en particulier sur une hypothèse d'écoulement permanent, une approche globale et une approche locale sont comparées. Dans l'approche globale, un seuil unique est optimisé. Dans l'approche locale le seuil HAND est optimisé localement (au sein d'une fenêtre glissante). Une fois le(s) seuil(s) optimal(x) obtenu(s), une carte de hauteurs d'eau est calculée suivant la formule: $h_{x,y} = HAND_{water} - HAND_{x,y}$ où h est la hauteur sur le pixel considéré (de coordonnées x,y) et $HAND_{x,y}$ correspond à la valeur de la carte HAND correspondante. Finalement, la carte de niveaux d'eau est obtenue en sommant les hauteurs d'eau avec les altitudes du terrain fournies par le MNT.

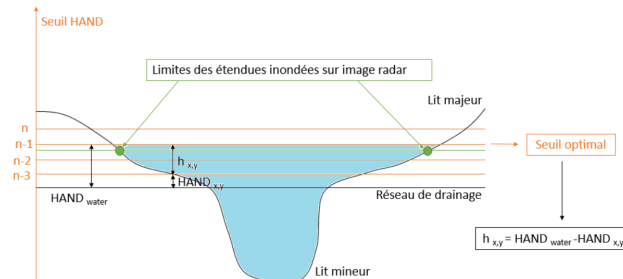


Figure 1: Carte HAND "seuillée" à partir d'image radar.

3. Site d'étude et données disponibles

La zone d'étude fait se situe à la confluence des bassins de la Severn et de l'Avon au Royaume-Uni et couvre approximativement $22 \times 64 \text{ km}^2$. Les données topographiques proviennent du Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) disponible à échelle globale à 30m de résolution et ayant une incertitude altimétrique 6 à 9 m. L'épisode de crue de Juillet 2007 à la Severn est considéré dans ce cas-test pour évaluer la méthodologie proposée. La carte d'inondation satellitaire est dérivée d'une image ENVISAT (de résolution 150m) acquise le 23 juillet 2007 à 10:27 proche du moment du pic de crue. La campagne de photographies aériennes menée le 24 Juillet 2007 a été utilisée pour détecter manuellement des points constituant des limites des surfaces inondées. A l'emplacement de ces points, des niveaux d'eau sont extraits à partir d'un MNT LiDAR à 2m et sont utilisés pour évaluer les niveaux d'eau en sortie de notre méthode.

4. Résultats

Dans cette partie, nous évaluons la similitude entre la carte d'inondation issue de la photographie aérienne et chacune des trois cartes d'inondations issues de : l'image satellitaire, l'approche HAND global, l'approche HAND local. La carte d'inondation satellitaire sous-estime l'extension des limites en eau, notamment en amont des rivières de la Severn et de l'Avon. Cette sous-estimation est également présente au niveau de la confluence de Tewkesbury (cf. fig.2. gauche). Ceci peut être expliqué par le fait que la zone est urbaine ; l'image satellitaire seule ne suffit pas pour la détection des eaux lorsqu'il y a des phénomènes de « double rebond » du signal en ville. En appliquant l'approche du seuil unique de HAND sur tout le domaine d'intérêt, le seuil optimal obtenu est égal à 4m selon les trois critères de performance utilisés. La carte d'inondation (cf. fig.2 centre) issue de l'approche HAND (global) accentue la surestimation, notamment dans les zones de confluence. En appliquant l'approche optimisant le seuil de HAND sur une fenêtre glissante de 300m, nous obtenons des scores améliorés par rapport aux deux autres cartes d'inondation (cf. fig.2 droite). Afin d'évaluer les niveaux d'eau issues de HAND, nous calculons les erreurs moyennes quadratiques pour les approches globale et locale (cf. fig.3 gauche). Nous observons notamment une tendance à la surestimation des niveaux calculés à partir de HAND, par rapport aux niveaux extraits par le MNT lidar (vérité de terrain). La RMSE entre les valeurs de niveaux d'eau estimés avec l'approche HAND et la vérité terrain est de l'ordre de 2.5m. Cette incertitude est très probablement corrélée à l'incertitude du MNT SRTM. Pour évaluer ceci, nous avons calculé la RMSE entre le MNT Lidar et le MNT SRTM (cf. fig. 3 droite) et obtenu une valeur RMSE du même ordre de grandeur que précédemment.

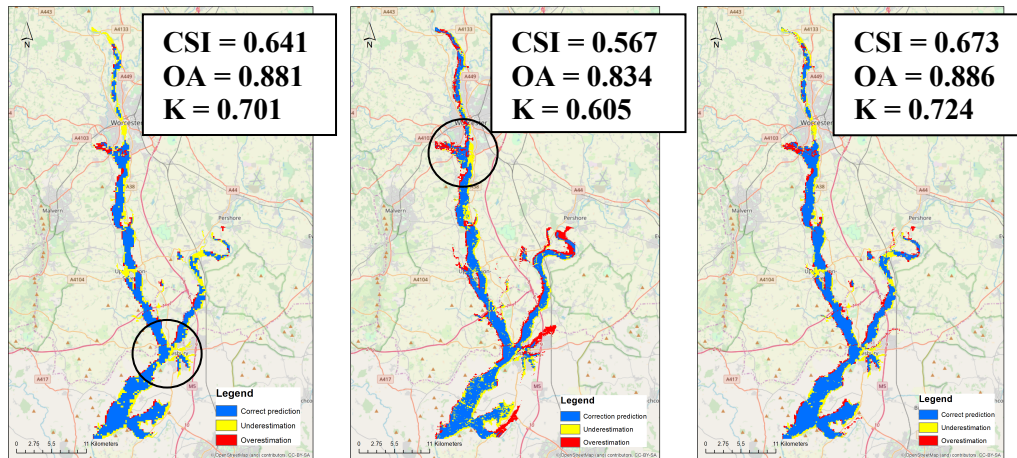


Fig. 2: Cartes de contingences entre la carte d'inondation issue de la photographie aérienne et les cartes d'inondation : satellitaire (gauche), issue de l'approche HAND global (centre) et issue de l'approche HAND local (droite).

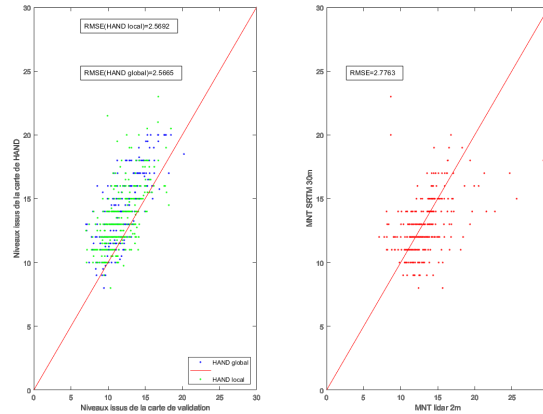


Figure 3: Les erreurs moyennes quadratiques (RMSE) sur les niveaux d'eau (gauche) et les modèles numériques de terrain (droite).

5. Conclusion

En conclusion, il apparaît que l'utilisation d'un indice basé sur la topographie (HAND) rapporte d'information supplémentaire aux cartes satellitaires dans le contexte de la cartographie des étendues inondées, notamment dans la détection des eaux dans des zones souvent affectées dans la télédétection radar RSO, tels que les zones arborées ou urbaines. D'autre part, même si l'incertitude des niveaux d'eau estimés reste relativement élevée, les résultats obtenus en utilisant le SRTM à 30m sont encourageants et des futurs tests méritent d'être appliqués avec des MNT à plus haute résolution.

6. Références

- [1] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2015.
- [2] P. Matgen, G. Schumann, J.-B. Henry, L. Hofmann, and L. Pfister, "Integration of SAR-derived inundation areas, high precision topographic data and a river flow model toward real-time food management," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, pp. 247-263, 2007.
- [3] L. Giustarini, P. Matgen, R. Hostache, M. Montanari, D. Plaza, V.R.N. Pauwels, G.J.M. De Lannoy, R. De Keyser, L. Pfister, L. Hoffmann, and H.H.G. Savenije, "Assimilating SAR-derived water level data into a flood model: a case study," *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 2349–2365, 2011.
- [4] P. Matgen, R. Hostache, G. Schumann, L. Pfister, L. Hoffmann, and H. H. G. Savenije, "Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies," *Phys. Chem. Earth*, vol. 36, nos. 7–8, pp. 241–252, 2011.
- [5] L. Giustarini, R. Hostache, P. Matgen, G. J.-P. Schumann, P. D. Bates, and D. C. Mason, "A change detection approach to flood mapping in urban areas using TerraSAR-X," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 51, no. 4, pp. 2417–2430, Apr. 2013.
- [6] S. Schlaffer, P. Matgen, M. Hollaus, and W. Wagner, "Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection," *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, vol. 38, pp. 15–24, Jun. 2015.
- [7] Chini, M., Hostache, R., Giustarini, L., & Matgen, P. (2017). A Hierarchical Split-Based Approach (HSBA) for parametric thresholding of SAR images: Flood inundation as a test case. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(12), 6975–6988.
- [8] A.D. Nobre, L.A. Cuartas, M. Hodnett, C.D. Rennó, G. Rodrigues, A. Silveira, M. Waterloo, and S. Saleska, "Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model," *Journal of Hydrology*, 404(1), pp. 13-29, 2011.