Soutenance de thèse

Arnaud CERBELAUD soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA PSI et intitulée «*Télédétection des inondations pluviales à l'aide d'imagerie satellite et d'apprentissage statistique pour l'évaluation de modèles de susceptibilité au ruissellement intense pluvial*»

Le 13 juin 2023 à 09h00, salle des thèses de l'ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Xavier BRIOTTET	Directeur de recherche ONERA	Directeur de thèse
Mme Laurence MOY	Professeure Université de Rennes	Rapporteure
M. Andreas ZISCHG	Associate Professor University of Bern	Rapporteur
Mme Dominique COURAULT	Directrice de recherche EMMAH INRAE	Examinatrice
M. Hervé YESOU	Ingénieur de recherche Icube-SERTIT Université de Strasbourg	Examinateur

Résumé : Les inondations pluviales se produisent typiquement lors de précipitations de courte durée et de forte intensité et se caractérisent par un ruissellement intense des eaux pluviales, provoquant divers types de dégâts. À l'instar des inondations fluviales (i.e. le débordement des rivières), les inondations pluviales sont estimées responsables de la moitié des sinistres dus chaque année aux inondations. Les écoulements intenses peuvent se produire potentiellement n'importe où, en particulier en dehors de la proximité des cours d'eau, et sur des laps de temps très courts. Par conséquent, les données in situ sont difficiles à recueillir et souvent incomplètes. Cette thèse vise à tirer parti de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour identifier les empreintes des inondations pluviales au sol dans les jours qui suivent un événement météorologique extrême, et non les surfaces en eau inondées à proprement parler. En premier lieu, des jeux de vérité terrain à grande échelle ont été générés sur trois événements dans le sud de la France après géo-référencement et labellisation de parcelles affectées. Puis, les produits optiques Sentinel-2 (S-2) ont été considérés pour leur résolution spatiale fine, leur fréquence de revisite globale élevée et leur gamme spectrale fournie. Des images de changement ont été produites à partir des données sans nuage les plus proches avant et après chaque événement afin de mettre en évidence des profils statistiques spécifiques dans les évolutions temporelles d'indices spectraux au sein des zones affectées. Des premiers travaux ont permis d'identifier les combinaisons optimales à exploiter dans un classifieur gaussien transférable orienté objet appelée SPCD, pour Sentinel Plot-based Change Detection. Des taux de détection ≥ 70% et des faux positifs ≤ 12% ont été obtenus sur les trois événements à l'aide d'indices spectraux VNIR comme le NDVI ou le NDWI. Ensuite, les cartes d'impact SPCD ont été mises en regard des mesures radar de précipitation des événements pour évaluer de manière approfondie la méthode de diagnostic IRIP©. Le modèle IRIP s'est avéré très performant, avec des proportions de parcelles endommagées d'autant plus importantes que les niveaux de susceptibilité étaient élevés, et encore plus importantes dans les zones les plus arrosées. Des améliorations structurelles pour IRIP ont été proposées dans une version dénommée IRIP++. Les principaux facteurs d'IRIP expliquant la localisation des dégâts pluviaux se sont avérés être le topographic wetness index et l'indicateur de susceptibilité à la production de ruissellement en amont. Ensuite, une deuxième méthode appelée FuSVIPR, pour Fusion of Sentinel-2 and Very high resolution Imagery for Pluvial Runoff, a été développée. L'objectif a été d'enrichir les images de changement S-2 par des images optiques post

évènement à très haute résolution spatiale provenant des satellites Pléiades ou de capteurs aéroportés pour identifier les changements plus précisément et à l'échelle du pixel, à l'aide d'algorithmes tels que les forêts aléatoires ou les réseaux U-net. Les cartes d'impact finales apportent une résolution submétrique et présentent sur les trois sites de validation contrastés de bons taux de détection (≥ 75%) avec moins de faux positifs (≤ 2%) comparés à SPCD. Cette méthode a également été éprouvée avec des performances de classification similaires (77%) sur un événement supplémentaire récent en Afrique du Sud à l'aide de vérités terrain externes et dans des zones péri-urbaines. Ensuite, les cartes issues d'IRIP ainsi que de sa version potentiellement améliorée IRIP++ ont été à nouveau évaluées, cette fois-ci grâce aux données d'impact FuSVIPR. En parallèle, une méthodologie originale a été développée pour guider la désagrégation de précipitations extrêmes à l'aide d'un simulateur stochastique afin de produire des scénarios de pluie cohérents avec la répartition spatiale des inondations pluviales telle qu'identifiée dans les cartes FuSVIPR.

Mots-clés : télédétection, hydrologie, ruissellement intense, optique, très haute résolution, classification

Summary: According to the natural disasters database, flooding by intense rainfall runoff accounts for half of the overall damage caused by floods in France. However, unlike river overflow, there is little data to assess the quality of predictive mapping where runoff is most likely to occur. The predictive mapping of hazards linked to intense rainfall runoff has been developed by IRSTEA since 2010 using the IRIP method. Since there is no direct measurements of intense rainfall runoff and its consequences, it is difficult to validate this method from observations. However this issue has become affordable in recent years thanks to the availability of satellite data with high spatial and temporal resolutions, offering interesting perspectives to estimate different variables such as soil moisture, biomass, land texture, land use, etc. The objective of this PhD is therefore to develop a method allowing to detect and characterize hazards induced by intense rainfall runoff thanks to multitemporal remote sensing with high spatial resolution (Sentinel-2, Sentinel-1) as well as very high spatial resolution (Pléiades) in order to validate the maps produced by the IRIP method. The latter will then allow to assess the vulnerability of a given territory and to identify the most sensitive areas known as "hazard-prone", in order to implement prevention strategies and take measures to anticipate potential incidents.

Keywords: remote sensing, hydrology, intense rainwater runoff, optical, very high resolution, classification