

	Arnaud CERBELAUD (2020 - 2023)
	éledétection des inondations pluviales à l'aide d'imagerie satellite et d'apprentissage statistique pour l'évaluation de modèles de susceptibilité au ruissellement intense pluvial
	Encadrants : Xavier BRIOTTET (ONERA), Etienne LEBLOIS (Riverly, INRAE)
	École doctorale : Surfaces et interfaces continentale (ED SDU2E), Toulouse

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 $\geq 70\%$ et des faux positifs $\leq 12\%$ 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 événement 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 ($\geq 75\%$) avec moins de faux positifs ($\leq 2\%$) 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.

Publications

- Pascal Breil, **Arnaud Cerbelaud**, Jonathan Conteras Cobos, Noémie Sagnimorte, Christine Poulard. CARTO ALEA (Zones inondables) action 4.1.4 : IRIP Valid. [Rapport de recherche] INRAE RiverLy; CNES – Centre national d'études spatiales; ONERA — The French Aerospace Lab. 2022. (hal-03634311)
- **Arnaud Cerbelaud**, Laure Roupioz, Gwendoline Blanchet, Pascal Breil, Xavier Briottet. Detection maps for pluvial flood deteriorations at plot level using the SPCD method for three Mediterranean events in France. 2023, (10.5281/zenodo.8004718). (hal-04118187)
- **Arnaud Cerbelaud**, Axelle Favro, Laure Roupioz, Gwendoline Blanchet, Xavier Briottet, et al.. Potentiel de l'imagerie optique satellitaire à haute résolution pour détecter les dommages engendrés par des épisodes pluvieux extrêmes. La Houille Blanche – Revue internationale de l'eau, 2020, 6, pp.66–74. (10.1051/lhb/2020059). (hal-03197980)
- **Arnaud Cerbelaud**, Gwendoline Blanchet, Laure Roupioz, Pascal Breil, Xavier Briottet. Mapping pluvial flood-induced damages with multi-sensor optical remote sensing: a transferable approach. Remote Sensing, 2023, 15 (9), (10.3390/rs15092361). (hal-04091997)
- **Arnaud Cerbelaud**, Pascal Breil, Gwendoline Blanchet, Laure Roupioz, Xavier Briottet. Proxy Data of Surface Water Floods in Rural Areas: Application to the Evaluation of the IRIP Intense Runoff Mapping Method Based on Satellite Remote Sensing and Rainfall Radar. Water, 2022, 14 (3), pp.393. (10.3390/w14030393). (hal-03549056)
- Pascal Breil, **Arnaud Cerbelaud**, Gwendoline Blanchet, Xavier Briottet, Laure Roupioz. Proxy data of surface water floods in rural areas: application to the evaluation of the IRIP intense runoff mapping method based on rainfall radar, satellite remote sensing and machine learning techniques. Living Planet Symposium 2022 ESA, May 2022, Bonn, Germany. (hal-03793929)
- Pascal Breil, **Arnaud Cerbelaud**, Wejdane Ben-Salem. Role of agricultural terraces in regulating soil damage during intense overland runoff. International Ecohydrology Workshop in Tunisia ECOTUN 2022, Oct 2022, Carthage, Tunisia. (hal-03804927)
- **Arnaud Cerbelaud**, Axelle Favro, Laure Roupioz, Gwendoline Blanchet, Xavier Briottet, et al.. Potentiel de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour évaluer et cartographier les dommages causés par le ruissellement intense. Risque Ruissellement : Diagnostic et Solutions – co-organisation SHF-ANEB, Nov 2020, Lyon, France. (hal-03793156)
- Pascal Breil, **Arnaud Cerbelaud**, Noémie Sagnimorte, Jonathan E. Contreras Cobos, Nadjima Bouamara. Intérêt de l'approche écohydrologique pour simuler l'effet des terrasses agricoles afin d'adapter les sols en relief aux effets du changement climatique. Conférence Intensification Durable 2021, Nov 2021, Dakar, Sénégal. (hal-03804922)
- Xavier Briottet, Laure Roupioz, Romain Barda-Chatain, Auline Rodler, Sihem Guernouti, et al.. CAMCATT trial over Toulouse (France): a multisensory experiment to validate TRISHNA urban products. 6th International Symposium: Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, University of Valencia; ESA; NASA; EOLAB, Sep 2022, Torrent, Spain. pp.114. (hal-03819097)
- Xavier Briottet, Laure Roupioz, Romain Barda-Chatain, Auline Rodler, Sihem Guernouti, et al.. CAMCATT: a multisensor experiment over Toulouse to validate TRISHNA urban products. TRISHNA Days, CNES; ISRO, Mar 2022, Toulouse, France. (hal-03622174)
- Xavier Briottet, Laure Roupioz, Auline Rodler, Sihem Guernouti, Marjorie Musy, et al.. CAMCATT: A multisensory experiment over Toulouse, France, to validate TRISHNA urban products. ESA THERMAL 2023, European Space Agency, May 2023, Frascati, Italy. (hal-04829051)