

AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR L'ALÉA TORRENTIEL DANS LES ALPES DU NORD

Guillaume Evin, chargé de recherche INRAE, Univ. Grenoble Alpes, INRAE, UR ETNA, Grenoble
Juliette Blanchet, chargée de recherche CNRS, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble
Catherine Fouchier, ingénieure chercheuse INRAE, Aix-Marseille Univ., INRAE, UMR RECOVER, Aix-en-Provence
Guillaume Piton, chargé de recherche INRAE, Univ. Grenoble Alpes, INRAE, UR ETNA, Grenoble
Caroline Le Bouteiller, ingénieure chercheuse INRAE, Univ. Grenoble Alpes, INRAE, UR ETNA, Grenoble

Le projet HYDRODEMO a eu comme objectif de mieux connaître les risques liés aux crues torrentielles dans les Alpes du Nord et de pouvoir mieux s'en prémunir. Ces phénomènes destructeurs car extrêmement chargés en matériaux solides. HYDRODEMO visait donc à combler un manque critique de connaissance sur ce type d'aléa.

INTRODUCTION

Le projet HYDRODEMO a pour objectif de mieux connaître les aléas et risques liés aux crues torrentielles dans les Alpes du Nord pour pouvoir in fine mieux s'en prémunir. L'occurrence et la concomitance d'épisodes pluvieux intenses sur des sols plus ou moins pré-saturés génèrent, dans les Alpes du Nord comme ailleurs, des crues des cours d'eau. Dans les zones montagneuses, le relief donne aux écoulements l'énergie pour éroder, transporter et déposer des matériaux sédimentaires. Ces processus aggravent régulièrement

les dommages associés aux inondations. Le projet HYDRODEMO, associé à la démarche TAGIRN (Territoires alpins de gestion intégrée des risques naturels) de Grenoble-Alpes Métropole dans le cadre de la programmation conjointe CIMA (Convention interrégionale du massif des Alpes) - POIA (Programme opérationnel interrégional du massif des Alpes), a eu comme objectif principal de combler un manque critique de connaissance sur ce type d'aléa, tout d'abord en caractérisant l'hydrologie et le transport solide de bassins versants instrumentés, puis en définissant une méthodologie de transposition aux autres bassins versants des Alpes du Nord. Les différentes actions (modélisation hydrologique sur des bassins versants instrumentés, caractérisation des événements pluvieux à l'origine des crues, caractérisation du transport solide des torrents en fonction d'une typologie de bassins versants) ont permis de développer une méthodologie de caractérisation de l'hydrologie (débit de pointe, hydrogramme de crue, temps de

réaction, etc.) et du transport solide (volume exporté par événement / annuel) applicable à l'ensemble des bassins versants du territoire. Cette nouvelle connaissance scientifique permettra à l'avenir de mieux comprendre les phénomènes associés aux aléas torrentiels, de mieux les prévenir et d'améliorer à terme l'alerte à la population.

ACTIVITE DE TRANSPORT SOLIDE

En zone de montagne, la connaissance de la capacité de production sédimentaire événementielle et annuelle est essentielle dans le diagnostic des aléas torrentiels et la gestion des bassins versants. Une nouvelle approche de prédiction des volumes transportés a été développée à partir d'un jeu de données original couvrant 120 bassins versants torrentiels dans les Alpes du Nord françaises (voir Figure 1).

Les données sur la production sédimentaire et l'occurrence d'événements torrentiels ont été collectées sur ces bassins versants



grâce aux registres des plages de dépôt et aux archives historiques des gestionnaires des bassins versants. Ces données ont permis d'estimer des volumes de sédiments exportés annuels moyens, des volumes décennaux et de référence ainsi que des fréquences d'occurrences d'événements torrentiels. Sur ces bassins versants, plusieurs caractéristiques morphologiques et hydrométéorologiques ont été calculées (par exemple, la proportion de zones de production sédimentaire dans le bassin versant, la pente du cône de déjection, etc.) afin de les relier à la production sédimentaire et à la fréquence d'occurrence des événements torrentiels. Les analyses statistiques montrent que la proportion de zones de production sédimentaire dans les bassins versants est le paramètre principal pour la prédiction des volumes de sédiments exportés

et de la fréquence d'occurrence d'événements torrentiels.

HYDROLOGIE DES PETITS BASSINS VERSANTS TORRENTIELS

Le manque criant d'observations hydrométéorologiques dans les Alpes du Nord et en particulier dans la région grenobloise, que ce soit en termes de mesures de précipitations ou de débits, limite fortement les applications de modèles hydrologiques dans cette région qui sont limitées à peu de bassins versants. Cependant, certaines avancées scientifiques récentes peuvent être exploitées, par exemple concernant la caractérisation des données météorologiques de précipitation et de température utilisées comme intrants des modèles hydrologiques. Les réanalyses SPAZM (Gottardi et al., 2012) et COMEPHORE (Champeaux et al., 2009) sont disponibles à une résolution spatiale fine (1 km x 1 km) et sont adaptées au contexte torrentiel. Par ailleurs, les modèles hydrologiques actuels intègrent des modules de représentation des stocks de neige et

de glace disponibles indispensables pour le territoire d'étude. Le modèle hydrologique MORDOR-SD, appliqué de manière opérationnelle par EDF-DTG et adapté aux zones de montagne, appliqué habituellement à une échelle journalière et pour de plus grands bassins (>200 km²), montre des performances très satisfaisantes sur 79 petits bassins versants torrentiels (voir Figure 2). D'autre part, le modèle hydrologique distribué SMASH, développé à INRAE et utilisé dans le dispositif d'alerte aux crues soudaines Vigicrues Flash du SCHAPI, a été adapté dans le cadre du projet HYDRODEMO afin d'intégrer la représentation des stocks de neige ainsi que les pertes et les apports souterrains et donc de mieux caractériser l'hydrologie de ces petits bassins alpins. Ces adaptations ont conduit à une amélioration des performances du modèle en reconstitution de crues. Ces améliorations constatées sur les bassins versants du projet HYDRODEMO demandent à être confirmées sur un plus large échantillon de bassins avant d'envisager des perspectives en termes d'évolution du dispositif Vigicrues Flash.

CONCOMITANCE DES CRUES AUX ECHELLES INTERMÉDIAIRES

A l'échelle d'un territoire, divers types de crues peuvent se réaliser :

- de manière concomitante ou non ;
- à différentes échelles spatiales et temporelles.

A grande échelle (plusieurs milliers de km²), les grands cours d'eau réagissent à des situations de perturbation météorologique capables de produire des cumuls pluri-journaliers de pluie extrêmes sur un vaste domaine. A petite échelle (moins de 10 km²), les têtes de bassins torrentiels réagissent à des situations orageuses très locales produisant des intensités pluviométriques localement extrêmes sur quelques heures au plus. Aux échelles intermédiaires (100 à 1000 km²), les affluents des grands axes peuvent réagir de manière coordonnée à des systèmes convectifs de méso-échelle associés par exemple à des retours d'est. Dans tous les cas, les crues catastrophiques paraissent précédées par un cumul pluviométrique mensuel extraordinaire et, éventuellement, par la fonte du manteau neigeux.

Afin d'étudier l'occurrence des crues aux échelles intermédiaires et leur coordination, pour une gamme importante de périodes de retour (1 à 100 ans), un modèle pluie-débit journalier distribué couvrant les

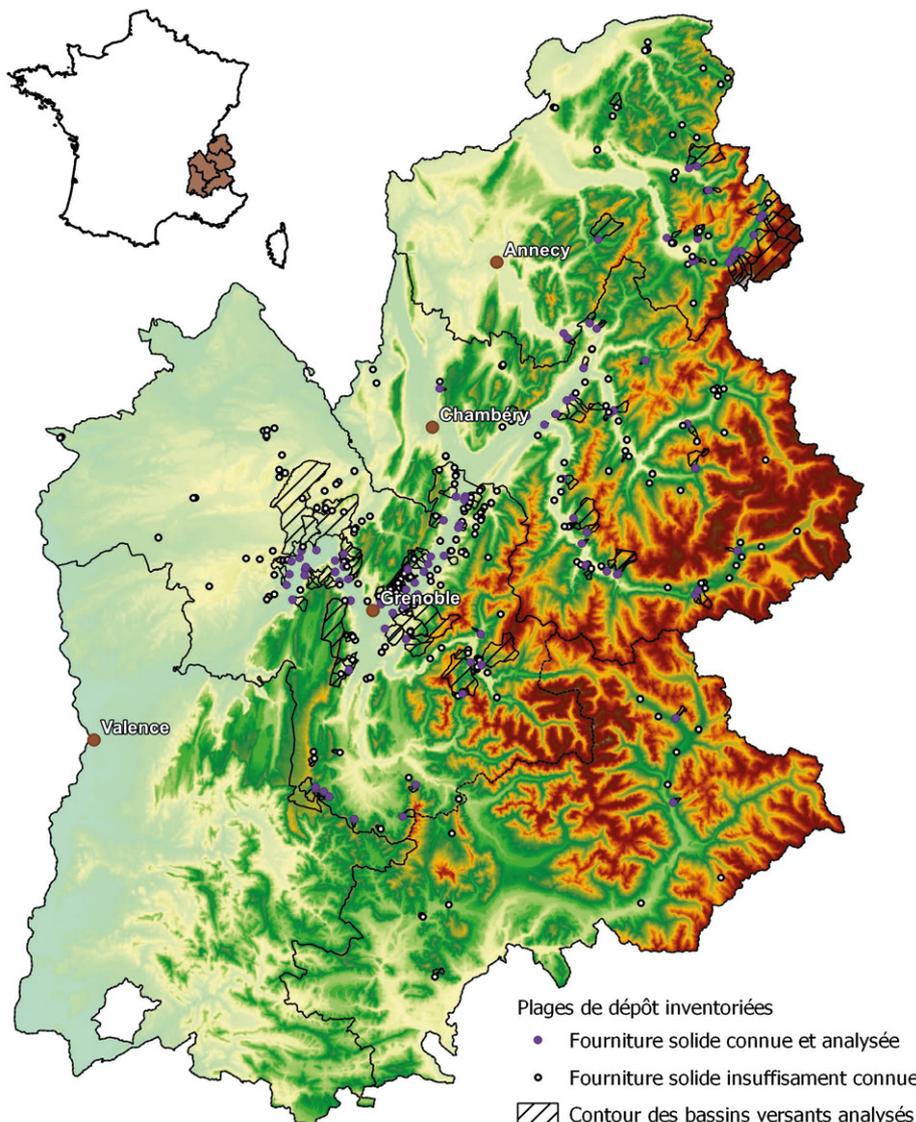


Figure 1 – Distribution spatiale des plages de dépôts. ©INRAE

« L'analyse des conditions atmosphériques à l'origine des crues torrentielles dommageables du "Y" Grenoblois depuis les années 1850 et jusqu'en 2019 a permis d'isoler les scénarios météorologiques les plus générateurs de crues. »

SCENARIOS ATMOSPHERIQUES GOUVERNANT LES CRUES TORRENTIELLES

L'estimation de l'aléa dû aux phénomènes torrentiels nécessite de comprendre les facteurs conduisant à leur déclenchement. A partir d'une certaine intensité ou emprise, on peut supposer que les événements torrentiels ont une signature atmosphérique grande échelle. L'analyse des conditions atmosphériques à l'origine des crues torrentielles dommageables du "Y" Grenoblois (voir Figure 4) depuis

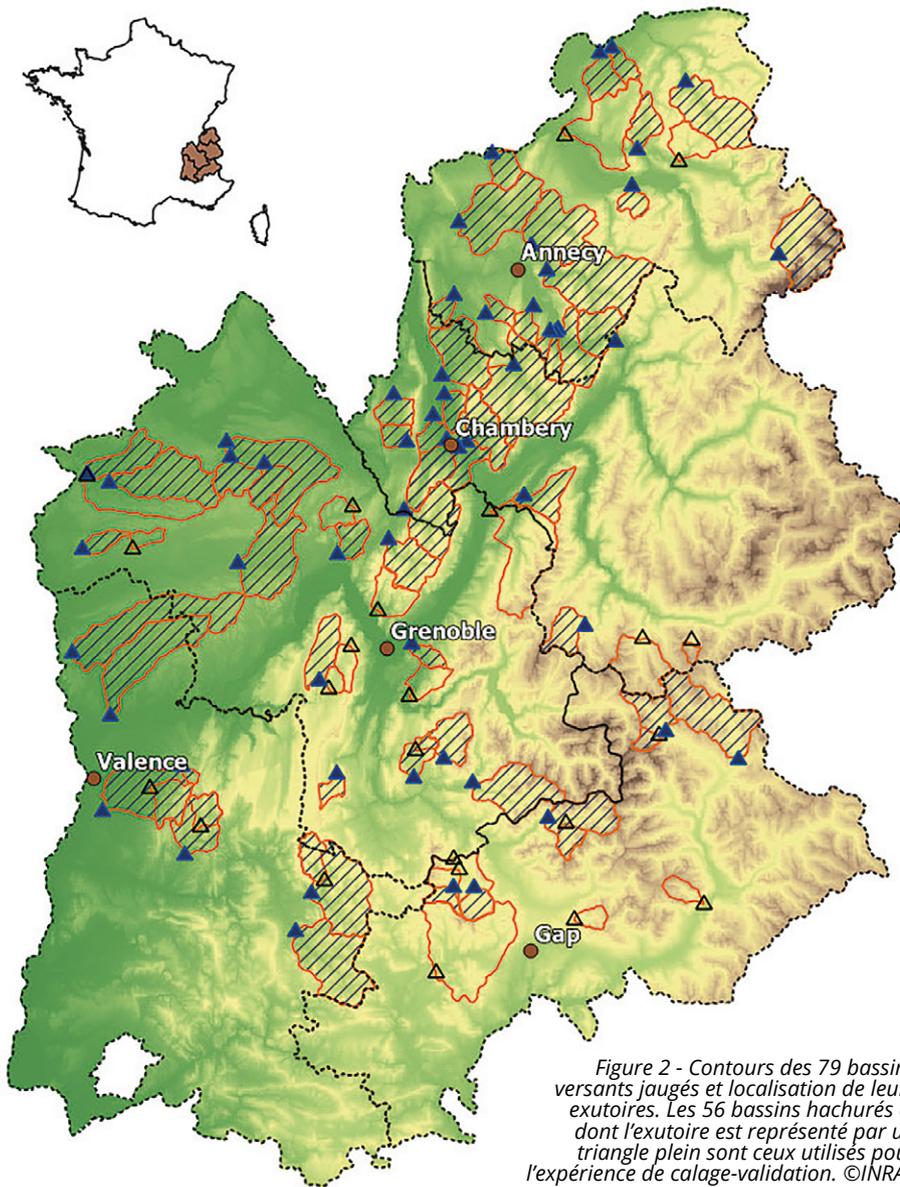


Figure 2 - Contours des 79 bassins versants jaugés et localisation de leurs exutoires. Les 56 bassins hachurés et dont l'exutoire est représenté par un triangle plein sont ceux utilisés pour l'expérience de calage-validation. ©INRAE

bassins versants de l'Isère et du Drac à Grenoble a été appliqué. L'étude se base sur le modèle hydrologique distribué MORDOR-TS, développé par EDF-DTG (Rouhier, 2018). Selon les résultats de ces simulations hydrologiques, les concomitances des forts débits produits se font préférentiellement parallèlement au relief de manière très nette au niveau de la Chartreuse et des Bauges (voir exemple en Figure 3), mais également dans le Dévoluy et dans la Haute-Maurienne. Les fortes concomitances ont lieu surtout sur les premiers grands massifs exposés aux flux : dans les Bauges, la Chartreuse et le Vercors pour les flux d'Ouest, dans le Dévoluy pour les flux d'Ouest et de Sud, dans la Haute-Maurienne et à l'Est de la Haute-Tarentaise pour les flux d'Est. Les massifs intérieurs voient des concomitances bien plus faibles. Les concomitances en débit produit se font principalement dans la direction Nord-Est/Sud-Ouest pour le bassin versant de l'Isère, et des orientations Nord-Ouest/Sud-Est pour le bassin versant du Drac.

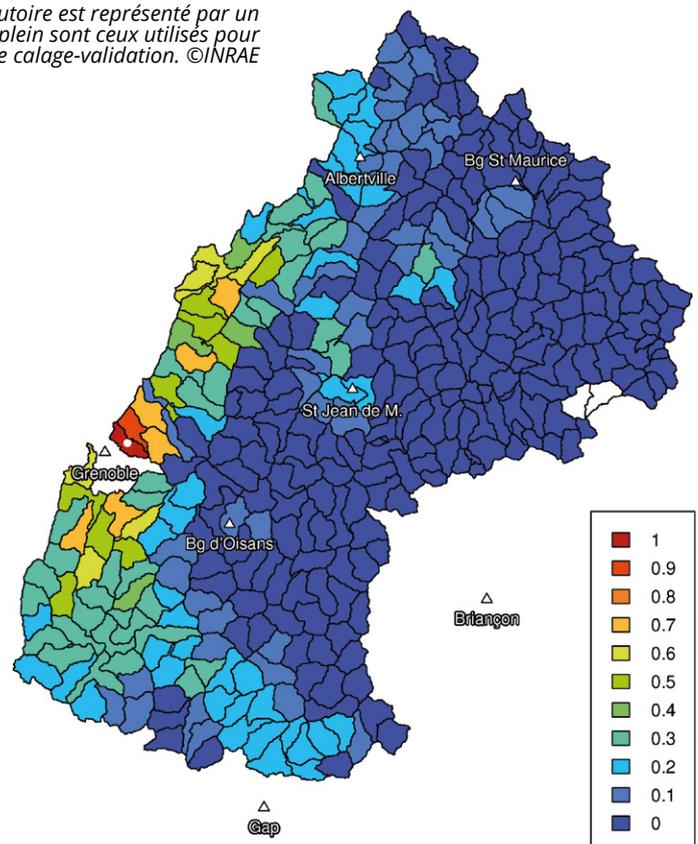


Figure 3 - Bassins de l'Isère à Grenoble et du Drac à Fontaine. Probabilité que le débit produit par une entité quelconque soit fort (excède son quantile 99) lorsque le débit de l'Isère à l'entrée de Grenoble (signalée par un point blanc) est fort (excède son quantile 99). Ces probabilités sont nettement plus élevées pour les entités hydrologiques des massifs de la Chartreuse et des Bauges - © IGE



SCIENCE

les années 1850 et jusqu'en 2019 (Creutin et al., 2022) a permis d'isoler les scénarios météorologiques les plus générateurs de crues.

Globalement on a deux grandes saisons marquées de crues torrentielles : l'hiver avec 20% des crues et l'été avec 53% des crues. Les crues hivernales se produisent sous des flux d'altitude zonaux marqués entraînant des vents et un transport important de vapeur d'eau vers les Alpes, régulièrement sous forme de rivières atmosphériques. Ces situations de rivière atmosphérique sont caractérisées par de forts flux de vapeur d'eau dans la troposphère, le long d'une bande restreinte. Cette forme lui donne son nom et concerne dans notre cas les situations de rivière atmosphérique touchant l'Europe de l'Ouest, avec un transport d'Ouest en Est. Les crues estivales, se produisent sous une variété d'influences : locales, zonales ou méridionales. A partir d'une classification des flux d'altitude selon leur direction, on observe, à part pour les situations de marais barométrique (situation avec une faible variabilité de la pression), que les conditions favorables à la génération de crues sont localement humides et instables, avec dans une moindre mesure de forts vents, relativement à la saison et au type flux en altitude. L'influence semble donc globale, avec des déclencheurs plus locaux. Cela pointe vers des systèmes comme les fronts, les tempêtes ou les rivières atmosphériques. Dans les situations de marais barométrique aucun flux dominant n'est observé et les crues torrentielles générées se trouvent dans des conditions avec des vents faibles et une instabilité et une humidité encore plus locales, sous forme de cellules orageuses organisées.

FINANCEMENT

Projet financé avec le concours de l'Union européenne. L'Europe s'engage sur le le massif alpin avec le Fonds européen de développement régional. Opération soutenue par l'Etat - Fonds national d'aménagement et de développement du territoire.

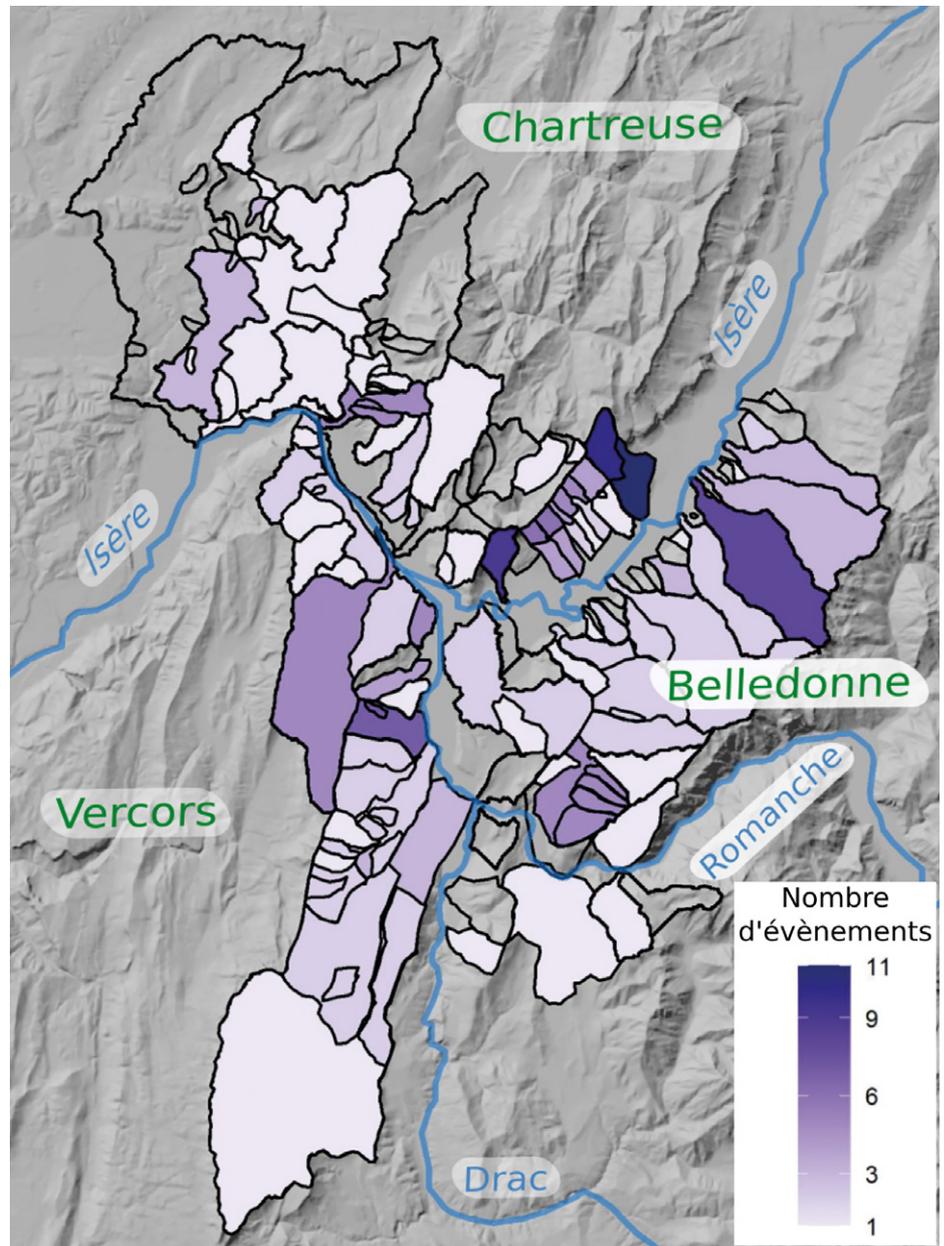


Figure 4 - Contexte géographique de la zone d'étude et nombres d'évènements référencés dans la BD RTM-IGE par unité torrentielle (1850-2019) - © IGE

REFERENCES

Champeaux, J.-L., Dupuy, P., Laurantin, O., Soulan, I., Tabary, P. et Soubeyrou, J.-M. (2009). "Les mesures de précipitations et l'estimation des lames d'eau à météo-france : état de l'art et perspectives". La Houille Blanche, 5 :28-34.

Creutin, J.-D., Blanchet, J., Reverdy, A., Brochet, A., Lutoff, C. et Robert, Y. (2022). "Reported Occurrence of Multiscale Flooding in an Alpine Conurbation over the Long Run (1850-2019)". Water 14 (4): 548.

Gottardi, F., Obled, C., Gailhard, J. et Paquet, E. (2012). "Statistical reanalysis of precipitation fields based on ground network data and weather patterns : Application over French mountains". Journal of Hydrology, 432-433 :154-167.

Rouhier, L. (2018) "Régionalisation d'un modèle hydrologique distribué pour la modélisation de bassins non jaugés. Application aux vallées de la Loire et de la Durance". Thèse de doctorat, Sorbonne Université - Ecole doctorale Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement.