



HAL
open science

Améliorer la prévision immédiate des crues soudaines et de leurs impacts: le projet de recherche ANR PICS (France)

Olivier Payrastre, Vazken Andréassian, Sandrine Anquetin, Patrick Arnaud, Xavier Beaufiles, Laurent Bonnifait, Brice Boudevillain, François Bourgin, Olivier Caumont, Jean-Dominique Creutin, et al.

► To cite this version:

Olivier Payrastre, Vazken Andréassian, Sandrine Anquetin, Patrick Arnaud, Xavier Beaufiles, et al.. Améliorer la prévision immédiate des crues soudaines et de leurs impacts: le projet de recherche ANR PICS (France). De la prévision des crues à la gestion de crise, Société Hydrotechnique de France, Nov 2018, Avignon, France. 7p. hal-02608805

HAL Id: hal-02608805

<https://hal.inrae.fr/hal-02608805v1>

Submitted on 16 Jan 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

AMELIORER LA PREVISION IMMEDIATE DES CRUES SOUDAINES ET DE LEURS IMPACTS : LES OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE ANR PICS (2018-2021)

Olivier PAYRASTRE⁽¹⁾, Vazken ANDREASSIAN⁽²⁾, Sandrine ANQUETIN⁽³⁾, Patrick ARNAUD⁽⁴⁾, Xavier BEAUFILS⁽³⁾, Laurent BONNIFAIT⁽⁵⁾, Brice BOUDEVILLAIN⁽³⁾, François BOURGIN⁽¹⁾, Olivier CAUMONT⁽⁶⁾, Jean-Dominique CREUTIN⁽³⁾, Philippe DAVY⁽⁷⁾, Guy DELRIEU⁽³⁾, Véronique DUCROCQ⁽⁶⁾, Aurélie ESCUDIER⁽⁸⁾, Catherine FOUCHIER⁽⁴⁾, Lea GARANDEAU⁽⁸⁾, Eric GAUME⁽¹⁾, Bruno JANET⁽⁸⁾, Pierre JAVELLE⁽⁴⁾, Dimitri LAGUE⁽⁷⁾, Laurent LEBOUIC⁽¹⁾, Alexane LOVAT⁽⁶⁾, Céline LUTOFF⁽³⁾, David MONCOULON⁽⁹⁾, Jean-Philippe NAULIN⁽⁹⁾, Thomas ONFROY⁽⁹⁾, Charles PERRIN⁽²⁾, Frederic PONS⁽⁵⁾, Maria-Helena RAMOS⁽²⁾, Isabelle RUIN⁽³⁾, Galatea TERTI⁽³⁾ & Béatrice VINCENDON⁽¹⁰⁾.

(1) Ifsttar, route de Bouaye, CS4, 44344 Bouguenais cedex, France, e-mail: olivier.payrastre@ifsttar.fr

(2) Irstea, UR HYCAR, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, 92761 Antony Cedex, France, e-mail: vazken.andreassian@irstea.fr, charles.perrin@irstea.fr, maria-helena.amos@irstea.fr

(3) Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), UGA, CS 40 700, 38058 Grenoble cedex 9, France, e-mail: isabelle.ruin@ujf-grenoble.fr

(4) Irstea, UR RECOVER, 3275 route Cézanne - CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, e-mail: pierre.javelle@irstea.fr

(5) Cerema, Direction Méditerranée, 30 rue Albert Einstein, 13593 Aix-en-Provence, France, e-mail: Frederic.Pons@cerema.fr

(6) CNRM, 42 Av G.Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France, e-mail: olivier.caumont@meteo.fr, veronique.ducrocq@meteo.fr

(7) Géosciences Rennes, Université Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France, e-mail: dimitri.lague@univ-rennes1.fr

(8) SCHAPI, 42, avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01, e-mail: bruno.janet@developpement-durable.gouv.fr

(9) CCR, 157, Boulevard Haussmann 75008 Paris, France, e-mail: dmoncoulon@ccr.fr

(10) Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, 42 av. Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, Toulouse, France, e-mail: beatrice.vincendon@meteo.france.fr

L'anticipation des phénomènes de crues soudaines est d'une importance cruciale pour limiter leurs effets dommageables. Pour mieux répondre à ce besoin, le projet de recherche ANR *Prévision immédiate intégrée des impacts des crues soudaines* (PICS, 2018-2021) vise à concevoir et évaluer des chaînes de prévision des crues soudaines et de leurs impacts offrant jusqu'à 6h d'anticipation. Le projet repose sur l'interaction entre des équipes scientifiques aux compétences variées (météorologues, hydrologues, hydrauliciens, économistes, sociologues), et des acteurs opérationnels (sécurité civile, autorités locales, compagnies d'assurance, gestionnaires d'ouvrages hydroélectriques et de réseaux de transport). Les chaînes de prévision testées intégreront : i) des estimations quantitatives de précipitations à haute résolution et des prévisions immédiates de pluie pour des horizons de 0 à 6h, ii) des modèles pluie-débit distribués adaptés aux petits cours d'eau non jaugés, iii) des modèles hydrauliques pour la délimitation des zones potentiellement inondées à partir de modèles numériques de terrain, et iv) plusieurs modèles d'impacts visant à représenter les effets socio-économiques des crues. Le projet visera à coupler ces différents modèles, à estimer leurs incertitudes et complémentarité, et à évaluer la capacité des chaînes de prévision proposées à répondre aux besoins des utilisateurs finaux à partir d'études de cas.

MOTS CLEFS : crues soudaines, crues éclair, prévision, inondation, impacts

Improving short-term forecasting of flash flood and related impacts: the objectives of the ANR PICS project (2018-2021)

Flash-flood forecasting is of crucial importance to mitigate the devastating effects of flash-floods. The first operational flash flood warning systems have been recently implemented in France and other countries. Nevertheless, the capacities of these systems can still be largely improved (e.g., they still have limited anticipation, limited geographic coverage, and impacts are often not represented). To tackle this challenge, the PICS project (2018-2021, funded by the national research agency - ANR) proposes a step forward by designing and evaluating integrated forecasting chains, with the objective to anticipate the impacts of flash-floods with a few hours lead-time (0-6h). This work will rely on interactions between multi-disciplinary scientific teams

(meteorologists, hydrologists, hydraulic engineers, economists, sociologists) and operational actors (civil security, local authorities, insurance companies, hydropower companies, transport network operators). The integrated short-range forecasting (or nowcasting) chains designed in the project will incorporate the following components: i) high resolution quantitative precipitation estimates and short range precipitation forecasts (or nowcasts), ii) highly distributed rainfall-runoff models designed to simulate river discharges in ungauged conditions, iii) DTM-based hydraulic models for the delineation of potentially flooded areas, and iv) several impact models aiming to represent a variety of socio-economic effects: insurance losses, inundation of critical infrastructures, and also dynamic exposure and vulnerability of population. The project will work towards effectively coupling these various modelling components, evaluating these components in terms of uncertainties and complementarity, and assessing the capacity of the nowcasting chains to meet the end-users' needs. Particular attention will be paid to ensuring consistency across the various components of the modelling chains, in terms of variables used, spatial and temporal resolution, scale of application and degree of uncertainty. One critical aspect of the project will also be the validation of the results based on case studies. For this reason, a particular effort is devoted in the project to gather appropriate validation datasets (impacts, flood areas, etc.) and to define relevant validation strategies.

KEY WORDS: flash-floods, forecasting, nowcasting, inundation, impacts

I CONTEXTE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

La production de prévisions adaptées aux phénomènes de crues soudaines représente un défi important et complexe, qu'il s'agisse d'anticiper les intensités pluviométriques, les débits de crues, ou encore l'étendue des zones inondées ainsi que les impacts associés (pertes humaines et économiques). L'évolution rapide des événements météorologiques déclencheurs et des réponses des bassins versants, ainsi que de la multitude de petits cours d'eau potentiellement affectés, constituent deux difficultés majeures. Des premiers systèmes d'avertissement dédiés aux pluies intenses et crues soudaines ont été récemment mis en service en France - APIC (Avertissement pluies intenses à l'échelle des communes) en 2013 et Vigicrues Flash en 2017 [Javelle et al., 2016]. Néanmoins ces nouveaux services n'offrent pas encore une couverture géographique généralisée à l'ensemble des bassins. Leurs capacités d'anticipation restent par ailleurs limitées, et ils ne fournissent pas d'information concernant les impacts possibles des phénomènes identifiés. Des améliorations sont donc encore possibles. Le projet ANR PICS (<http://pics.ifstar.fr>) a pour objectif de faciliter ces évolutions, en concevant des chaînes de prévisions intégrées permettant d'anticiper jusqu'à 3 à 6 heures à l'avance les impacts des crues soudaines. Cet objectif nécessite de mobiliser et faire progresser les connaissances et savoir-faire actuels sur plusieurs aspects :

- la prévision immédiate des précipitations, qui doit fournir des prévisions à des résolutions temporelles et spatiales élevées dans l'intervalle d'anticipation 0-6 h, accompagnées d'une quantification explicite des incertitudes [Vincendon et al., 2011 ; Alfieri et al., 2011 ; Liguori et al., 2012 ; Caseri et al., 2016]. Les méthodes de prévision devraient idéalement combiner des techniques d'extrapolation basées sur des estimations radar quantitatives pour des délais de moins d'une heure, et des prévisions météorologiques numériques pour des délais allant jusqu'à 6 heures [Auger et al., 2015] ;
- la prévision des crues à partir des modèles hydrologiques robustes et régionalisés. Ces méthodes doivent être capables de simuler les débits de crues dans les petits cours d'eau non jaugés (gamme de surfaces de 1 à 500 km²). L'utilisation de données indirectes (données d'impact des inondations) dans les bassins non jaugés pour l'étalonnage et la validation de ces modèles constitue un défi particulier [Randrianasolo et al., 2011 ; Naulin et al., 2013 ; Javelle et al., 2014] ;
- les méthodes de modélisation hydraulique pour le calcul automatique de cartes d'inondation suffisamment précises [Pons et al., 2014 ; Davy et al., 2017]. Ces méthodes doivent fournir des résultats pour une large gamme de valeurs de débits (évolution du champ d'inondation en fonction du débit) et sur un réseau hydrographique détaillé comprenant les petits cours d'eau amont [Le Bihan et al., 2016, 2017]. Les limites des données topographiques et bathymétriques disponibles et les possibilités offertes par les nouveaux dispositifs d'acquisition à haute résolution doivent être évaluées ;
- enfin, l'évaluation des impacts dans les zones inondées, à partir de la connaissance a priori de l'exposition des biens et des infrastructures [Moncoulon et al. 2013 ; Saint Martin et al., 2016] et de la représentation dynamique de la localisation et la vulnérabilité des individus sur un territoire donné [Debionne et al., 2016 ; Shabou et al., 2017]. Ces méthodes doivent pouvoir expliquer la forte variabilité dans le temps et l'espace des impacts constatés [Ruin et al., 2014 ; Terti et al., 2015, 2017].

105 Sur chacune de ces problématiques, des avancées significatives ont été réalisées au cours des dernières
 106 années par les différentes équipes impliquées dans le projet PICS. Le projet vise à rassembler ce savoir-faire
 107 pour concevoir et tester de véritables chaînes intégrées de prévision des impacts des crues soudaines,
 108 combinant l'ensemble des méthodes précitées. Les objectifs spécifiques du projet consistent à (1) établir un
 109 couplage approprié des différents modèles, avec des exigences adaptées au contexte de la prévision des crues
 110 soudaines en termes de données d'entrée et de complexité des modèles, (2) évaluer l'incertitude et la
 111 complémentarité des différentes étapes de modélisation à partir de stratégies de validation avancées et de
 112 nouvelles sources de données, et identifier les principaux facteurs limitants (données d'entrée, modèles
 113 mobilisés, etc.), et (3) adapter les chaînes proposées pour répondre au mieux aux besoins opérationnels des
 114 utilisateurs finaux. Ce dernier point sera possible grâce à la collaboration au sein du projet de partenaires
 115 issus des différents domaines scientifiques nécessaires (météorologues - hydrologues - hydrauliciens -
 116 économistes - géographes) et de différents acteurs opérationnels (services de prévision des crues,
 117 gestionnaires de crise, services de secours, assureurs, gestionnaires d'infrastructures).

118 II ORGANISATION DU PROJET

119 Le projet est structuré en quatre tâches scientifiques principales (ou work-packages, cf. figure 1). Il est
 120 organisé autour d'une tâche centrale (WP4-Intégration et expérimentation), qui consiste à définir, appliquer
 121 et tester les chaînes de prévision intégrées susceptibles de répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs
 122 potentiels. Les trois autres tâches se positionnent en amont et ont pour objectif d'améliorer, d'adapter et
 123 d'évaluer les incertitudes des différentes étapes clé à intégrer dans les chaînes de prévision, à savoir :

- 124 - la prévision des pluies et des débits à courte échéance (0-6h) (WP1), obtenue en couplant des produits
 125 de prévisions de précipitations à très court terme basés sur les systèmes opérationnels de Météo-France
 126 avec des modèles hydrologiques distribués ;
- 127 - l'estimation des zones inondées (WP2), à partir de méthodes innovantes de calcul hydraulique 1D et 2D
 128 pour convertir les débits estimation des zones inondables et des hauteurs / vitesses d'eau associées ;
- 129 - la modélisation des impacts socio-économiques (WP3), qui doit intégrer de façon explicite les
 130 informations disponibles sur les zones inondables pour l'estimation des impacts de différentes natures.

131

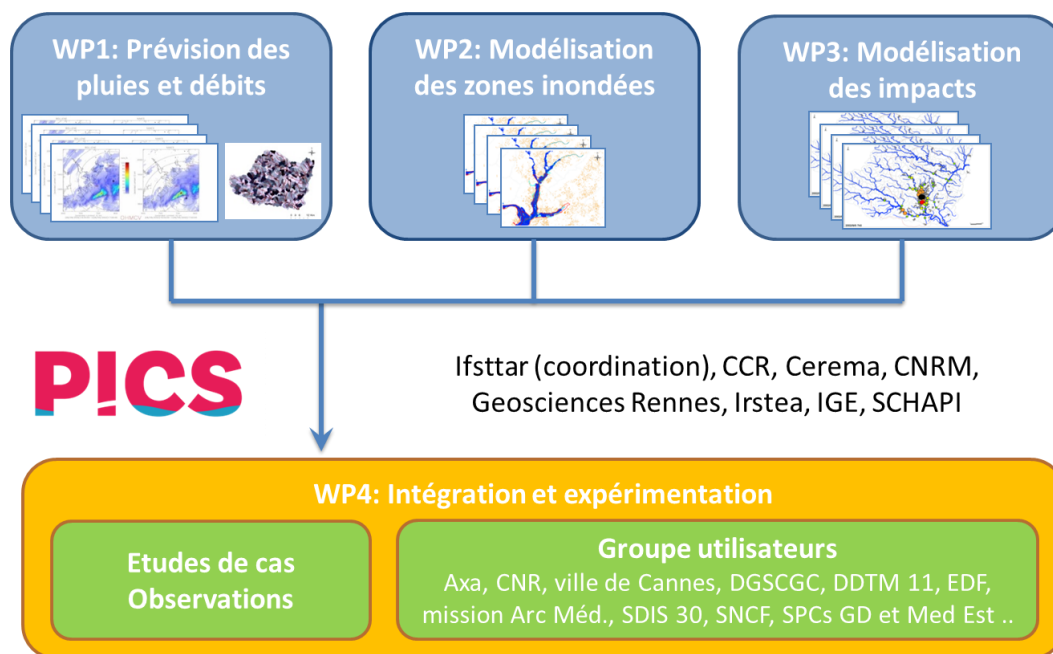


Figure 1: Organisation générale du projet PICS

132

133

134

135 Le WP4, qui constitue le cœur du projet, implique des interactions fortes entre scientifiques et utilisateurs
 136 finaux, mais aussi entre scientifiques issus de disciplines différentes (météorologie, hydrologie, hydraulique,
 137 sciences sociales, etc.). Pour cette activité, le projet s'appuie sur un groupe d'utilisateurs constitué de
 138 professionnels du secteur : autorités de sécurité civile (DGSCGC), mission Arc Méditerranéen, services de
 139 prévision des crues (SPCs Grand Delta et Méditerranée Est), service départemental d'incendie et de secours

140 (SDIS 30), mission RDI (RDI11), commune (ville de Cannes), société d'assurance (AXA Global P & C),
141 producteurs d'électricité (EDF, CNR) et entreprise de transports publics (SNCF).

142 Les caractéristiques et les objectifs assignés aux chaînes de prévision seront définis à partir d'échanges
143 avec ce groupe utilisateurs. Une première réunion d'échanges a déjà eu lieu le 17 mai 2018 à Lyon. Elle a
144 permis d'échanger sur les objectifs prioritaires et sur les études de cas à conduire, en tenant compte de l'état
145 de l'art et de nos capacités actuelles à répondre aux problématiques soulevées. La structure des chaînes de
146 prévision les mieux adaptées est désormais en cours de définition.

147 Ces chaînes de prévision seront évaluées à partir des études de cas sélectionnés, à une échelle
148 suffisamment large pour évaluer leur applicabilité ultérieure à l'échelle régionale ou nationale. Ces études de
149 cas seront partiellement localisées (mais pas exclusivement) dans la région méditerranéenne : en effet,
150 plusieurs inondations récentes dans cette région offrent un contexte particulièrement favorable en termes de
151 disponibilité des données (y compris les données de dommages), d'applicabilité des différents outils de
152 modélisation intégrés dans les chaînes de prévision, et de possibilité d'acquisition de données Lidar
153 complémentaires. La liste des études de cas est en cours de finalisation.

154 Un aspect critique du projet sera la capacité à valider les résultats des chaînes de prévision proposées en
155 termes d'impacts prévus, mais aussi de débits et zones inondées estimés. Un effort particulier est prévu pour
156 la collecte et la mise en forme de données de validation appropriées et variées, relatives à toutes les étapes
157 des chaînes de modélisation (débits, inondation et impacts). Ce travail pourra notamment bénéficier de
158 différentes données déjà disponibles en open source, comme par exemple la base DamaGIS, qui recense
159 depuis 2011 les principaux dommages liés aux crues soudaines dans le sud de la France [Saint-Martin et al.,
160 2018]. D'autres informations proviendront des utilisateurs eux-mêmes. Une fois ces jeux de données
161 rassemblés, une tâche spécifique abordera la question des méthodologies de validation appropriées, en tenant
162 compte de la nature et du type de données disponibles pour chaque étude de cas.

163 **III RETOMBÉES ATTENDUES ET PERSPECTIVES**

164 Les retombées sociétales du projet PICS devraient principalement concerner les différents acteurs
165 mobilisés dans le groupe utilisateurs. Les résultats obtenus devraient notamment contribuer à :

- 166 - faciliter des évolutions futures du service Vigicrues Flash dédié aux crues soudaines (Min. de la
167 Transition Ecologique et Solidaire) ;
- 168 - permettre une exploitation efficace des prévisions hydro-météorologiques par les gestionnaires de
169 crise et la sécurité civile ;
- 170 - aider les gestionnaires d'ouvrages et d'infrastructures à produire des prévisions adaptées à leurs
171 problématiques ;
- 172 - améliorer la capacité des sociétés d'assurance et de réassurance à agir efficacement après chaque
173 événement, en anticipant le niveau de sinistralité.

174 Du point de vue scientifique, le projet doit permettre de faire progresser les méthodes de prévision des
175 crues soudaines et de leurs impacts, et d'améliorer la capacité à évaluer les performances de ces méthodes.
176 Des progrès plus ciblés sont également attendus sur les différents composants constituant les chaînes de
177 prévision expérimentées dans le projet : prévision numérique des pluies à courte échéance, modélisation
178 pluie-débit, modélisation hydraulique des emprises inondées et modélisation des dommages et des impacts
179 au sein des zones inondées. Ces retombées pourront être directement reliées à deux programmes de
180 recherche en prévision hydrométéorologique actuellement en cours à l'échelle internationale, à savoir le
181 programme HyMex (<http://www.hymex.org>) et l'initiative HEPEX (www.hepex.org), dans lesquels plusieurs
182 partenaires du projet PICS sont impliqués.

183

184 **IV REMERCIEMENTS**

185 La réalisation du projet PICS est rendue possible grâce à une subvention de l'Agence Nationale de la
186 Recherche, à hauteur de 628 k€, pour un budget global du projet de 2282 k€.

187 Nous adressons également nos remerciements aux membres du groupe utilisateurs qui ont accepté de
188 s'impliquer dans ce projet : Axa Global P&C, CNR, ville de Cannes, DGSCGC, DDTM 11, EDF-DTG,
189 mission Arc Méditerranéen, SDIS 30, SNCF réseau, SPCs Grand Delta et Méditerranée Est.

190 **V REFERENCES**

- 191 Alfieri L., Velasco D. & Thielen J., 2011. Flash flood detection through a multi-stage probabilistic warning
192 system for heavy precipitation events. *Adv. Geosci.*, 29, 69–75.
- 193 Auger L., Dupont O., Hagelin S., Brousseau P. and Brovelli P., 2015. AROME–NWC: a new nowcasting
194 tool based on an operational mesoscale forecasting system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 141: 1603–1611. doi:
195 10.1002/qj.2463
- 196 Caseri, A., Javelle, P., Ramos, M. H., and Leblois, E., 2016. Generating precipitation ensembles for flood
197 alert and risk management, *Journal of Flood Risk Management*, 9, 402-415, DOI:10.1111/jfr3.12203.
- 198 Davy, P., Croissant T., and Lague D., 2017. A precipiton method to calculate river hydrodynamics, with
199 applications to flood prediction, landscape evolution models, and braiding instabilities, *J. Geophys. Res.*
200 *Earth Surf.*, 122, 1491–1512, doi:10.1002/2016JF004156.
- 201 Debionne S., Ruin I., Shabou S., Lutoff C. & Creutin J.-D., 2016. Assessment of commuters’ daily exposure
202 to flash flooding over the roads of the Gard region, France, *J. Hydrol.*, 541, 636-648,
203 DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.01.064.
- 204 Javelle P., Demargne J., Defrance D., Pansu J. & Arnaud P., 2014. Evaluating flash-flood warnings at
205 ungauged locations using post-event surveys: a case study with the AIGA warning system. *Hydrol. Sci.*
206 *J.* 59(7), 1390–1402, 10.1080/02626667.2014.923970.
- 207 Javelle P., Organde D., Demargne J., Saint-Martin C., de Saint-Aubin C., Garandeau L. and Janet B., 2016.
208 Setting up a French national flash flood warning system for ungauged catchments based on the AIGA
209 method, *E3S Web of Conferences* 7, 18010 (2016), 3rd European Conference on Flood Risk
210 Management (FLOODrisk 2016), Lyon (France) oct. 2016,
211 <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20160718010>.
- 212 Liguori S., Rico-Ramirez M.A., Schellart A.N.A. & Saul A.J., 2012. Using probabilistic radar rainfall
213 nowcasts and NWP forecasts for flow prediction in urban catchments. *Atmos. Res.*, 103, 80–95.
- 214 Le Bihan G., Payrastre O., Gaume E., Moncoulon D. & Pons F., 2016. Regional models for distributed flash-
215 flood nowcasting: towards an estimation of potential impacts and damages. *E3S Web of Conferences*,
216 18013 (2016), 3rd European Conference on Flood Risk Management (FLOODrisk), oct 17-21 2016,
217 Lyon, France, <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20160718013>.
- 218 Le Bihan, G., Payrastre, O., Gaume, E., Moncoulon, D., and Pons, F.: The challenge of forecasting impacts
219 of flash floods: test of a simplified hydraulic approach and validation based on insurance claim data,
220 *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 5911-5928, <https://doi.org/10.5194/hess-21-5911-2017>, 2017.
- 221 Moncoulon, D., Labat, D., Ardon, J., Onfroy, T., Leblois, E., Poulard, C., Aji, S., Rémy, A., Quantin, A.,
222 2013. Analysis of the French insurance market exposure to floods: a stochastic model combining river
223 overflow and surface runoff. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* 1, 3217–3261. doi:10.5194/nhessd-
224 1-3217-2013.
- 225 Naulin, J.-P., Payrastre, O. & Gaume, E., 2013. Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone
226 areas: Application to road network supervision in Southern France, *J. Hydrol.*, 486, 88-99,
227 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.044>.
- 228 Pons F., Laroche C., Fourmigue P. & Alquier M., 2014. Flood hazard maps for extreme event scenario: the
229 study of Nartuby river. *La Houille Blanche*, 2, 34-41.
- 230 Randrianasolo, A., Ramos, M.H. & Andreassian, V., 2011. Hydrological ensemble forecasting at ungauged
231 basins: using neighbour catchments for model setup and updating. *Advances in Geosciences*, 29, 1-11,
232 doi:10.5194/adgeo-29-1-2011.

- 233 Ruin, I., Lutoff, C., Boudevillain, B., Creutin, J.-D., Anquetin, S., Rojo, M.B., Boissier, L., Bonnifait, L.,
234 Borga, M., Colbeau-Justin, L., Creton-Cazanave, L., Delrieu, G., Douvinet, J., Gaume, E., Grunfest, E.,
235 Naulin, J.-P., Payrastre, O. & Vannier, O., 2014. Social and Hydrological Responses to Extreme
236 Precipitations: An Interdisciplinary Strategy for Postflood Investigation. *Weather Climate and Society*,
237 6(1), 135-153.
- 238 Saint-Martin C., Fouchier C., Javelle P., Douvinet J, Vinet F., 2016. Assessing the exposure to floods to
239 estimate the risk of flood-related damage in French Mediterranean basins, 3rd European Conference on
240 Flood Risk Management (FLOODrisk 2016), Lyon (France) oct. 2016,
241 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160704013>.
- 242 Saint-Martin, C., Javelle, P., and Vinet, F. (2018). - DamaGIS: a multisource geodatabase for collection of
243 flood-related damage data, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1019-1029, [https://doi.org/10.5194/essd-10-1019-](https://doi.org/10.5194/essd-10-1019-2018)
244 2018,
- 245 Shabou, S., Ruin, I., Lutoff, C., Debionne, S., Anquetin, S., Creutin, J.-D., and Beaufils, X., 2017.
246 MobRISK: A model for assessing the exposure of road users to flash flood events, *Nat. Hazards Earth*
247 *Syst. Sci. Discuss.*, doi:10.5194/nhess-2017-21, in review, 2017.
- 248 Terti, G., Ruin, I., Anquetin, S., & Gourley, J. J., 2015. Dynamic vulnerability factors for impact-based flash
249 flood prediction. *Natural Hazards*, 79(3), 1481-1497.
- 250 Terti, G., Ruin, I., Anquetin, S., & Gourley, J. J., 2017. A Situation-based Analysis of Flash Flood Fatalities
251 in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 333-345.
- 252 Vincendon B., Ducrocq V., Nuissier O. & Vié B., 2011. Perturbation of convection-permitting NWP
253 forecasts for flash-flood ensemble forecasting. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, (5), 1529–1544.