



**HAL**  
open science

## Validation d'une chaîne de prévision des impacts des crues soudaines à partir de données de sinistralité d'assurance

Guillaume Le Bihan, Olivier Payrastre, François Bourgin, Eric Gaume, David Moncoulon, Frederic Pons

### ► To cite this version:

Guillaume Le Bihan, Olivier Payrastre, François Bourgin, Eric Gaume, David Moncoulon, et al.. Validation d'une chaîne de prévision des impacts des crues soudaines à partir de données de sinistralité d'assurance. Colloque SHF "de la prévision des crues à la gestion de crise", Société Hydrotechnique de France, Nov 2018, Avignon, France. hal-04396742

**HAL Id: hal-04396742**

**<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04396742>**

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

# VALIDATION D'UNE CHAÎNE DE PRÉVISION DES IMPACTS DES CRUES SOUDAINES A PARTIR DE DONNÉES DE SINISTRALITE D'ASSURANCE.

Guillaume LE BIHAN<sup>(1)</sup>, Olivier PAYRASTRE<sup>(1)</sup>, François BOURGIN<sup>(1)</sup>, Eric GAUME<sup>(1)</sup>, David  
MONCOULON<sup>(2)</sup>, & Frederic PONS<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Ifsttar, route de Bouaye, CS4, 44344 Bouguenais cedex, France - e-mail: [olivier.payrastre@ifsttar.fr](mailto:olivier.payrastre@ifsttar.fr)

<sup>(2)</sup> CCR, 157, Boulevard Haussmann 75008 Paris, France - e-mail: [dmoncoulon@ccr.fr](mailto:dmoncoulon@ccr.fr)

<sup>(3)</sup> Cerema, Direction Méditerranée, 30 rue Albert Einstein, 13593 Aix-en-Provence, France - e-mail: [Frederic.Pons@cerema.fr](mailto:Frederic.Pons@cerema.fr)

Jusqu'à présent, les systèmes de surveillance et de prévision des crues soudaines (ou crues-éclair) se sont focalisés sur l'estimation de l'intensité des crues - généralement les débits et leurs périodes de retour. Le Bihan et al. [2016,2017] ont proposé d'aller plus loin, en intégrant à ces chaînes de prévision une première évaluation des impacts des crues sur les zones habitées. L'approche proposée comprend, en plus d'un modèle pluie-débit distribué, une méthode hydraulique permettant l'estimation des champs d'inondation à partir d'un MNT à haute résolution (méthode Cartino). Cette méthode est utilisée pour produire un catalogue de 10 scénarios d'inondation, qui est combiné à une base de données d'occupation des sols, pour construire une courbe d'impacts (nombre de bâtiments inondés en fonction du débit) sur chaque tronçon de rivière.

Une première validation de cette approche a été réalisée à partir de données de sinistralité d'assurance, pour les crues de septembre 2002 dans la région d'Alès, et juin 2010 dans le secteur de Draguignan, dans le sud-est de la France [Le Bihan et al., 2017]. Ces résultats sont repris ici. La base de données de sinistres de la CCR qui a été utilisée, constitue une des sources d'informations les plus complètes sur les dommages liés aux risques naturels en France. Le processus de validation des résultats du modèle à partir de ces données est présenté, en mettant l'accent sur les principales difficultés rencontrées.

**MOTS CLEFS :** crues soudaines, prévision, inondation, sinistres, validation

## *Validation of an integrated flash-flood impacts modeling chain based on insurance claim data*

Up to now, flash flood monitoring and forecasting systems, based on rainfall radar measurements and distributed rainfall-runoff models, generally aimed at estimating flood magnitudes - typically discharges or return periods - at selected river cross-sections. The approach presented here goes one step ahead by proposing an integrated forecasting chain for the direct assessment of flash flood impacts on inhabited areas (number of buildings at risk in the presented case studies). The proposed approach includes, in addition to a distributed rainfall-runoff model, an automatic hydraulic method suited for the computation of flood extent maps on a dense river network and over large territories. The resulting catalogue of flood extent maps is then combined with land use data to build a flood impact curve for each considered river reach: i.e. number of inundated buildings versus discharge. These curves are finally used to compute estimated impacts based on forecasted discharges. A first application of this approach in the regions of Alès and Draguignan, south-eastern France, has been recently published [Le Bihan et al., 2017]. It includes two types of validation results based on two recent well documented major flash floods (respectively the September 2002 and June 2010 floods). First, the automatically computed flood extent maps and corresponding water levels are tested respectively against local reference or observed flood extent maps and against rating curves at available river gauging stations. Second, a rich and comprehensive insurance claim database is used to evaluate the relevance of the estimated impacts.

These first validation results are presented herein, with a focus on the validation of the whole impacts forecasting chain based on insurance claim data. If successful, this approach could indeed be particularly interesting to evaluate flash floods forecasts in ungauged areas. The presentation details the methodology used and the main difficulties encountered, related to the specific features of the insurance data, to the fact that there is not a simple one to one match between buildings and insurance policies, and finally to the particularities of the claims vs policies relation. Despite these difficulties, this validation procedure provided encouraging results.

50 **KEY WORDS** : flash-floods, forecasting, inundation, claims, validation.

## 51 **I INTRODUCTION**

52 La prévision hydrométéorologique est une composante essentielle de la gestion des inondations. Elle permet  
53 aux gestionnaires de crise de mieux anticiper et localiser les phénomènes dommageables. Dans le cas  
54 particulier des crues soudaines ou crues-éclair, qui sont généralement observées sur des bassins versants de  
55 petite taille (< 100 km<sup>2</sup>), les systèmes de prévision restent en cours de développement. Les systèmes mis en  
56 place récemment reposent sur des modèles hydrologiques distribués ou sur l'exploitation directe des  
57 observations et prévisions pluviométriques [Rozalis et al., 2010; Naulin et al., 2013; Javelle et al., 2014;  
58 Gourley et al., 2014; Versini et al., 2014]. Ces modèles fournissent des indications sur l'ampleur des crues  
59 possibles, mais sont encore rarement conçus pour rendre compte des impacts associés. L'évaluation des  
60 impacts exige en effet une connaissance détaillée de l'étendue de la surface inondée en fonction des débits  
61 prévus, ainsi que des enjeux associés à cette étendue et de leur vulnérabilité. Ces informations restent  
62 difficiles à obtenir sur le très grand nombre de petits cours d'eau potentiellement soumis aux crues  
63 soudaines. Une évaluation rapide des impacts des crues est pourtant indispensable aux gestionnaires de crise  
64 pour l'organisation des secours.

65 L'approche développée dans le cadre de ces travaux vise à permettre une évaluation directe des impacts liés  
66 aux crues soudaines sur les zones habitées à partir d'une chaîne de modélisation pluie-débit-impacts. Cette  
67 méthode repose sur des modélisations hydrauliques 1-D automatisées pour différentes gammes de débit  
68 (méthode Cartino), puis sur l'utilisation d'une base de données d'occupation des sols pour déterminer le  
69 nombre de bâtiments présents dans chaque zone inondée. En s'appuyant sur ces valeurs pré-calculées, une  
70 relation débit-impacts est construite à l'échelle de chaque tronçon de rivière dans le but de prévoir en temps  
71 réel les impacts potentiels.

72 Une première application de cette approche dans les régions d'Alès et de Draguignan, dans le sud-est de la  
73 France, a été récemment publiée [Le Bihan et al., 2017]. Cet article reprend les résultats de validation  
74 obtenus pour deux événements (respectivement les inondations de septembre 2002 dans le Gard et de juin  
75 2010 dans le Var), à partir de données de sinistralité assurance. Il met l'accent sur la construction d'une  
76 procédure de validation appropriée, permettant de tenir compte des spécificités des données d'assurance  
77 (géolocalisation, exhaustivité, relation entre polices et sinistres,..). Pour plus de détails le lecteur pourra se  
78 référer à Le Bihan et al. [2016, 2017].

## 79 **II LA CHAINE DE MODELISATION**

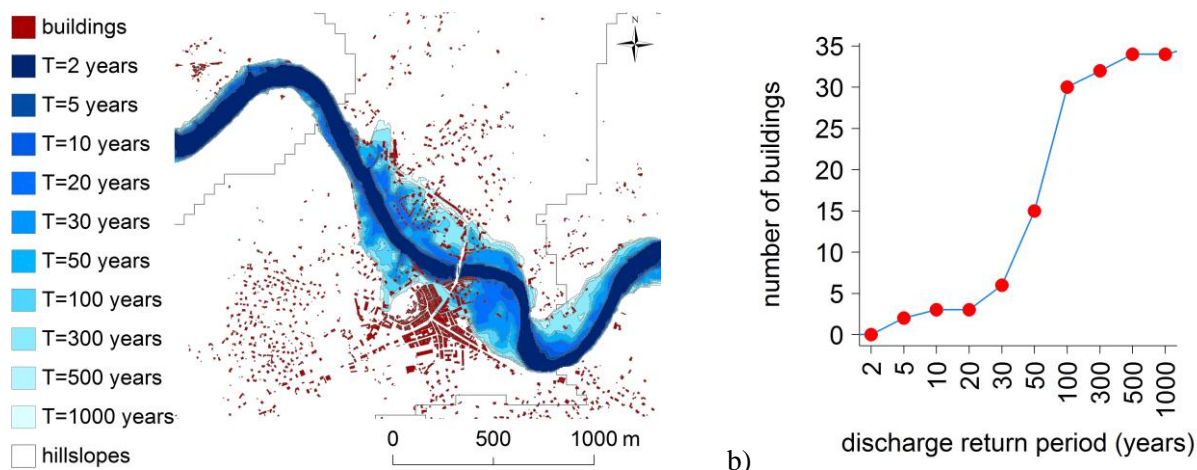
### 80 **I.1 Construction d'un modèles d'impacts par tronçon de cours d'eau**

81 La méthode Cartino [Pons et al., 2014], a récemment été proposée pour construire et exécuter  
82 automatiquement des modèles hydrauliques 1-D à partir de modèles numériques de terrain (MNT) à haute  
83 résolution. Cette méthode a été utilisée et adaptée ici pour établir des catalogues de cartes d'inondation dans  
84 une large gamme de valeurs de débits. Pour assurer un calcul quasi-automatique, la méthode introduit  
85 d'importantes simplifications dans la structure du modèle hydraulique: les formes de sections sont estimées  
86 sur la base d'une simple extraction à partir du MNT disponible, sans information supplémentaire sur la  
87 topographie ou la bathymétrie; les sections spécifiques telles que les déversoirs ou les ponts ne sont pas  
88 représentées; un coefficient de rugosité unique est utilisé pour tous les tronçons de cours d'eau ( $K=20$  ici);  
89 aucune distinction n'est faite entre le lit mineur de la rivière et la plaine inondable. Ces hypothèses limitent  
90 bien évidemment la précision des résultats obtenus, mais elles permettent d'obtenir rapidement une première  
91 évaluation des emprises potentiellement inondées à partir d'une information d'entrée limitée à un MNT.

92 Les calculs hydrauliques ont été effectués pour une série de valeurs de débit correspondant à des périodes de  
93 retour de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500 et 1000 ans. Les quantiles de débits utilisés sont ceux fournis par  
94 la base de données SHYREG [Aubert et al., 2014]. La précision de cette information sur la fréquence des  
95 débits n'est pas cruciale pour la mise en œuvre du modèle d'impact: elle permet simplement d'obtenir des  
96 cartes d'inondation pour des débits d'intensité relativement homogène pour tous les tronçons de rivières  
97 considérés. Tous les calculs ont été effectués en régime permanent pour simplifier la procédure et faciliter  
98 son application rapide à grande échelle.

99 Sur la base du catalogue d'emprises d'inondation obtenu, un modèle d'impact peut être construit pour chaque  
 100 tronçon de rivière (cf. figure 1). Pour ce faire les bâtiments (ou les polices d'assurance dans les résultats  
 101 présentés par la suite) présents dans les 10 zones inondées estimées sont comptabilisés. Le nombre de  
 102 bâtiments est utilisé comme indicateur générique de l'exposition humaine. Les valeurs calculées pour les 10  
 103 cartes d'étendue des inondations pour chaque tronçon de rivière sont ensuite interpolées linéairement pour  
 104 établir une relation continue entre le débit et le nombre de bâtiments inondés, ou encore le nombre de polices  
 105 d'assurance impactées.

106



107

108 Figure 1. Principe général de construction du modèle d'impacts, d'après Le Bihan et al. [2017]: a) catalogue d'emprises  
 109 estimé sur chaque tronçon de cours d'eau à partir de calculs Cartino, b) courbe d'impacts interpolée reliant le débit au  
 110 nombre de bâtiments inondés.

## 111 I.2 Intégration dans une chaîne de simulation pluie-débit-impacts

112 Le modèle d'impact peut finalement être intégré dans une chaîne de simulation complète combinant des  
 113 estimations quantitatives de précipitations radar et un modèle pluie-débit distribué pour la simulation des  
 114 débits dans les différents tronçons du réseau hydrographique.

115 Le modèle hydrologique CINECAR [Naulin et al., 2013] a été sélectionné ici pour construire la chaîne de  
 116 simulation. CINECAR est un modèle pluie-débit distribué basé sur une représentation du bassin versant par  
 117 un système ramifié de tronçons de cours d'eau, auxquels sont reliés deux versants. Le modèle utilise la  
 118 fonction du SCS-CN pour la production, et le modèle de l'onde cinématique pour le transfert sur les versants  
 119 et les tronçons. La résolution spatiale du modèle (surface des versants et longueur des tronçons associés) peut  
 120 facilement être adaptée et a été définie ici pour correspondre à la résolution du modèle d'impact. Cela signifie  
 121 que les tronçons considérés sont identiques dans le modèle pluie-débit et dans le modèle d'impacts: ils  
 122 correspondent au même réseau de cours d'eau, défini ici à partir d'une surface drainée élémentaire de 5 km<sup>2</sup>  
 123 (cf. figures 2.c) et 2.d)).

## 124 II LES DEUX ETUDES DE CAS ET LES DONNEES DE VALIDATION UTILISEES

### 125 II.1 Etudes de cas et événements étudiés

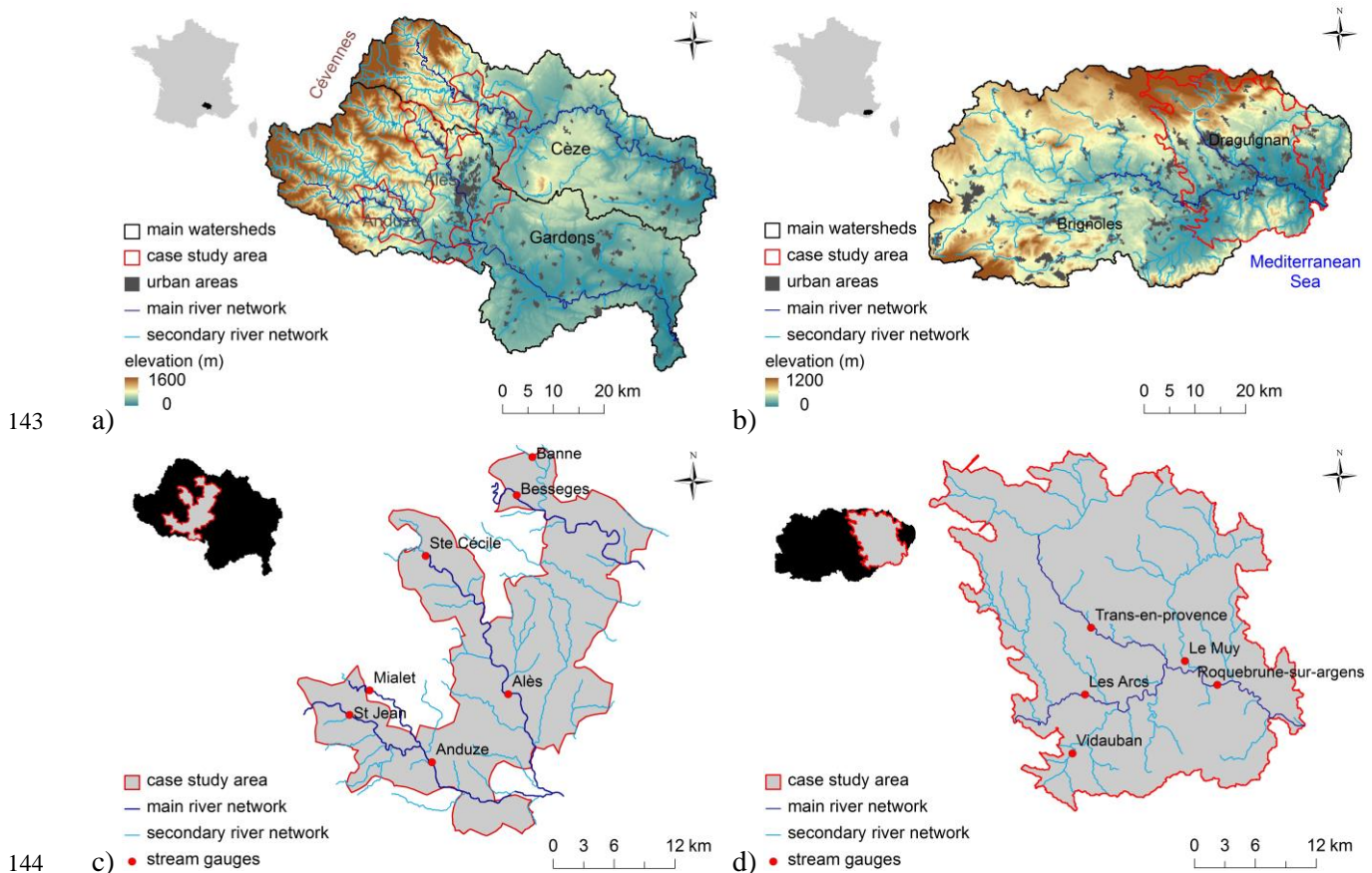
126 Les deux secteurs étudiés sont représentés sur la figure 2. Il s'agit dans le premier cas du Territoire à Risque  
 127 Important (TRI) d'Alès dans le département du Gard, situé dans la partie intermédiaire des bassins versants  
 128 des Gardons et de la Cèze. Le deuxième territoire retenu correspond au secteur de Draguignan dans la partie  
 129 aval du bassin versant de l'Argens, dans le Var.

130 La chaîne de modélisation a été appliquée sur les réseaux hydrographiques présentés sur les figures 2.c) et  
 131 2.d), qui incluent 400 km de cours d'eau (192 tronçons) dans le premier cas et 345 km (173 tronçons) dans  
 132 le deuxième. Pour la construction du modèle d'impacts, les MNT utilisés sont respectivement :

- 133 - Un MNT 20 m de résolution (interpolé à 5 m) réalisée en 2007 par le Conseil Départemental du Gard  
 134 pour le secteur du TRI d'Alès;
- 135 - Un MNT de résolution de 5 m issu de la base de données RGE Alti de l'Institut Géographique National  
 136 (IGN) dans le cas du secteur de Draguignan

137 Les événements simulés sont les deux événements majeurs en termes de dégâts occasionnés sur chacun de  
 138 ces territoires: il s'agit des crues de septembre 2002 pour le TRI d'Alès, et de la crue de juin 2010 dans le  
 139 secteur de Draguignan. Les lames d'eau utilisées en entrée de la chaîne de modélisation sont des réanalyses  
 140 radar produites par l'OHM-CV pour la crue de septembre 2002, et les lames d'eau Panthère de Météo France  
 141 pour la crue de juin 2010.

142



144

145 Figure 2. Présentation des secteurs d'étude, d'après Le Bihan et al. [2017]: a) et c) secteur du TRI Alès dans les bassins  
 146 du Gardons et de la Cèze, b) et d) secteur de Draguignan dans le bassin de l'Argens.

## 147 II.2 Utilisation de données de sinistralité pour la validation des résultats

148 Les données de sinistralité utilisées pour la validation ont été extraites de la base de données constituée par la  
 149 Caisse Centrale de Réassurance (CCR) dans le cadre de ses contrats de réassurance avec ses clients  
 150 [Moncoulon et al., 2014]. Cette base de données couvre l'ensemble du territoire français. Elle comprend des  
 151 informations sur la nature et l'emplacement des polices d'assurance et des sinistres pour tous les événements  
 152 classés CATNAT.

153 Pour conduire le travail de validation, les données ont été extraites de la base de données suivant les critères  
 154 suivants destinés à garantir une qualité adéquate des données :

- 155 - Polices d'assurances géo-référencées à l'adresse ou à la rue,
- 156 - Polices relatives à des maisons individuelles (sinistralité plus complexes pour les appartements, pouvant  
 157 être situés en étage, ou pouvant être plusieurs en rez-de-chaussée pour une même géolocalisation)
- 158 - Compagnies d'assurance ayant fourni des données de sinistralité quasi-exhaustives (taux d'information  
 159 supérieur à 80%) pour les événements étudiés.

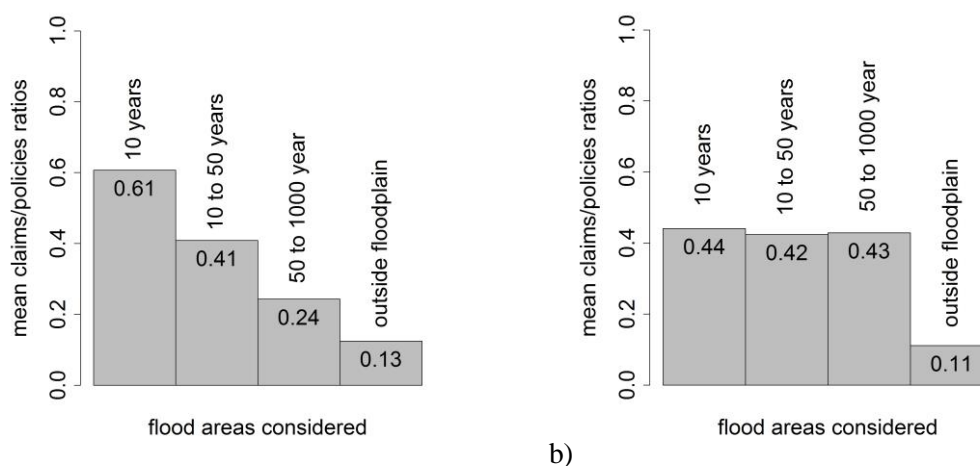
160 Une comparaison avec la base de données IGN BD Topo permet de montrer que le nombre de polices  
 161 sélectionnées représente environ 20% du nombre total de bâtiments présents dans les plaines inondables  
 162 considérées. Pour permettre une comparaison directe des sorties du modèle avec le nombre de sinistres  
 163 déclarés, le modèle d'impacts (Figure 1) a donc été construit directement à partir des polices d'assurance  
 164 sélectionnées: les informations fournies par le modèle correspondent dans ce cas à un nombre de maisons  
 165 individuelles assurées et susceptibles d'être inondées, qui pourra être comparé au nombre de sinistres  
 166 déclarés recensés dans la base de données. Les détails des données d'assurance des individus étant

167 confidentiels, la validation a été basée sur des données de sinistres agrégées à l'échelle du tronçon de rivière.  
168 De plus, pour assurer une meilleure fiabilité, la validation a été effectuée uniquement sur les tronçons  
169 présentant au moins 20 polices enregistrées dans la base de données.

170 L'analyse des données disponibles pour les deux événements étudiés révèle néanmoins quelques  
171 particularités de la sinistralité d'assurance liée aux événements CATNAT :

- 172 - Tout d'abord, un taux de sinistres non négligeable est observé en dehors des zones de débordement de  
173 cours d'eau de période de retour 1000 ans représentées dans le modèle (plus de 10% pour les deux  
174 événements considérés, voir figure 3). Ce phénomène est constaté systématiquement pour l'ensemble  
175 des événements CATNAT. Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer la présence de  
176 sinistres en dehors des zones inondables identifiées: (i) les dommages peuvent être induits par de petits  
177 cours d'eau non représentés dans le modèle, (ii) ils peuvent aussi être déclenchés par d'autres processus  
178 locaux : points bas, saturation des réseaux, inondation des caves due à l'élévation des eaux souterraines,  
179 et (iii) l'adresse des propriétaires des polices d'assurance peut ne pas correspondre à l'emplacement du  
180 bien assuré. L'existence d'une proportion significative de sinistres non directement liés aux  
181 débordements de cours d'eau représentés par le modèle ajoute à la complexité de l'exercice de  
182 validation. Pour cette raison, seuls les sinistres situés dans l'enveloppe de crue maximale possible  
183 représentée dans le modèle (de période de retour estimée à 1000 ans) ont été pris en compte ici pour le  
184 calcul du nombre de sinistres observés. Ce choix peut néanmoins conduire à surestimer le nombre de  
185 sinistres pour les tronçons pour lesquels la crue a été peu débordante (cf. figure 4).
- 186 - Par ailleurs, malgré l'exhaustivité des données sur les sinistres, le taux de sinistralité (rapport entre  
187 sinistres enregistrés et polices d'assurance) dépasse rarement 50%, y compris dans des zones très  
188 probablement inondées (cf. figure 3). Ce rapport est par ailleurs très variable selon les tronçons. Ce  
189 phénomène est classique et peut avoir plusieurs origines : tout d'abord l'occurrence de sinistres non  
190 recensés car sans indemnisation et / ou non déclarés (effet des franchises d'assurance) ; d'autre part, le  
191 fait qu'une hauteur de submersion faible limite le taux de sinistralité, en raison notamment de la  
192 présence de bâtiments surélevés et moins sensibles à l'inondation; enfin, une localisation inexacte de  
193 certains bâtiments assurés et le remplissage imparfait de la base de données (jusqu'à 20% de données de  
194 sinistres manquantes).

195



196

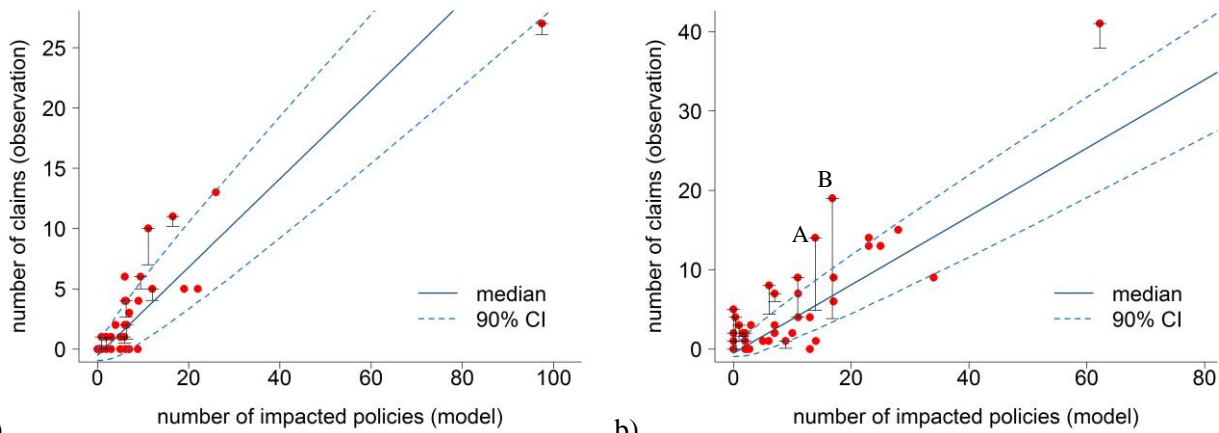
197 Figure 3. Taux de sinistralité observés pour les deux études de cas, à l'intérieur et en dehors du catalogue de zones  
198 inondables représenté dans le modèle d'impacts, d'après Le Bihan et al. [2017]: a) événement de septembre 2002 pour  
199 le TRI d'Alès, b) événement de juin 2010 dans le secteur de Draguignan.

200

201 Pour toutes ces raisons, le nombre de sinistres recensés par tronçon de rivière a une composante aléatoire,  
202 due à la fois aux processus particuliers de déclenchement des sinistres (qui ne sont pas représentés dans le  
203 modèle d'impacts), et aux limites des données des sinistres disponibles. Pour tenir compte de cet effet  
204 aléatoire dans le processus de validation, le nombre de sinistres déclarés peut être considéré comme le  
205 résultat d'un processus binomial aléatoire  $B(n, p)$ ,  $n$  étant le nombre de polices dans la zone inondée, et  $p$  la  
206 probabilité qu'un sinistre soit observé pour chacune de ces polices. Ici  $p$  a été considéré comme identique  
207 pour tous les tronçons, et estimé à partir du taux moyen sinistres/polices observé pour l'ensemble des  
208 tronçons. Moyennant cette hypothèse, un intervalle de confiance (intervalle de confiance à 90% de la loi  
209 binomiale) peut être estimé sur le nombre de sinistres correspondant à chaque nombre de polices impactées

210 estimé par le modèle (polices situées dans la zone inondée estimée). Idéalement, le taux de sinistralité moyen  
211 devrait être estimé à l'intérieur des zones inondées effectivement observées. Cependant, cette information  
212 n'est clairement pas disponible partout sur les réseaux de cours d'eau considérés. A défaut, les taux moyens  
213 ont été estimés ici à partir de ceux observés dans les emprises de période de retour de 1000 ans (figure 3), ce  
214 qui peut conduire à sous-estimer légèrement le taux de sinistralité (prise en compte de zones non inondées en  
215 réalité).

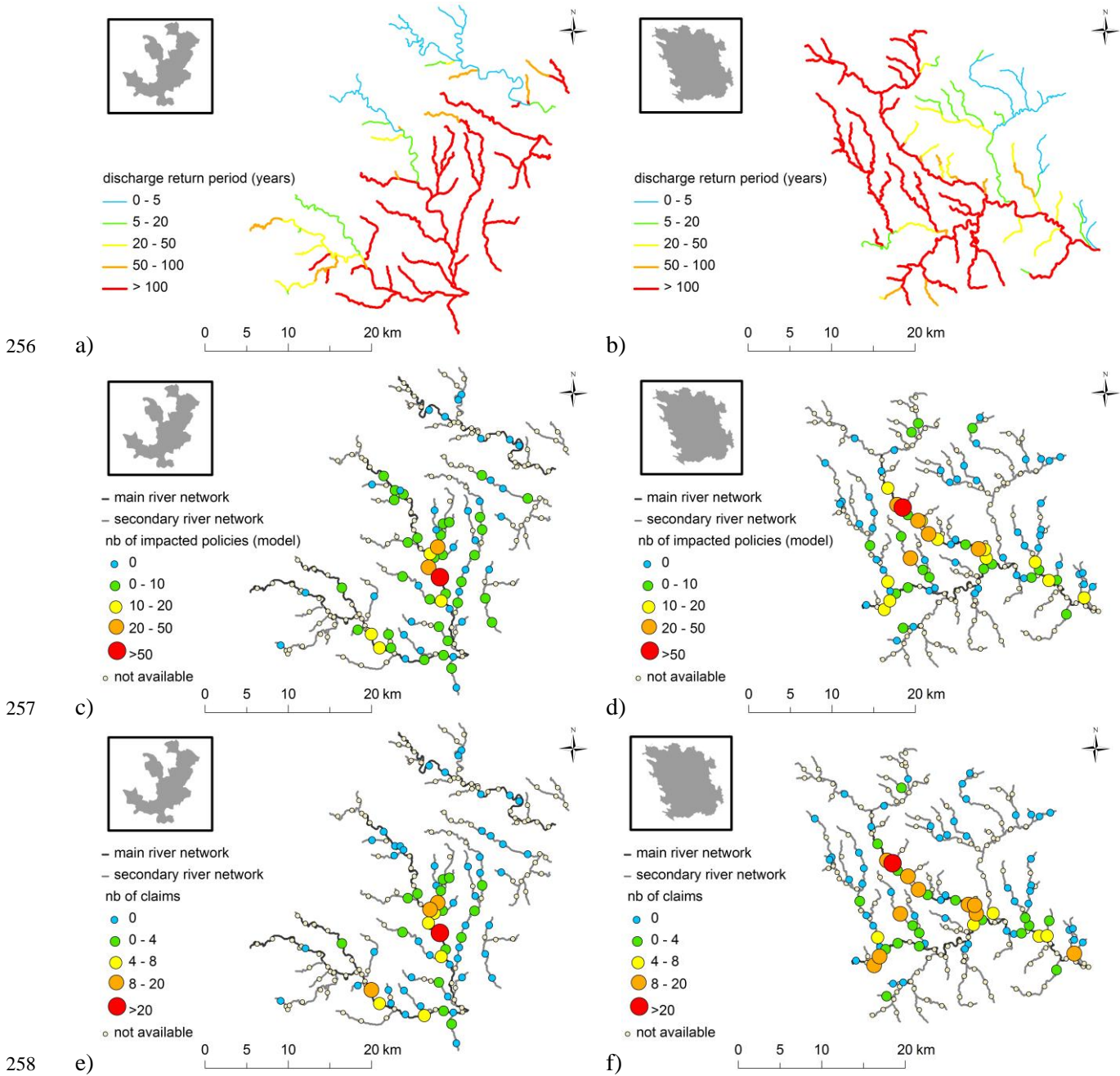
### 216 III RESULTATS OBTENUS



217 a) 218 Figure 4. Comparaison entre le nombre de polices d'assurance impactées par l'inondation (estimé par le modèle), et le nombre de  
219 sinistres observés pour chaque tronçon de rivière, d'après Le Bihan et al. [2017]: a) événement de septembre 2002 pour le TRI  
220 d'Alès, b) événement de juin 2010 dans le secteur de Draguignan. Les lignes bleues correspondent à la valeur médiane et à  
221 l'intervalle de confiance à 90% d'après la loi binomiale  $B(n,p)$ ; les traits verticaux représentent la différence entre le nombre de  
222 sinistres pris pour référence (sinistres situés dans l'emprise  $T=1000$  ans, point rouges) et le nombre de sinistres présents dans  
223 l'emprise simulée par le modèle.

224  
225 Les résultats sont présentés sur la figure 4 pour les deux études de cas. Cette figure montre une  
226 correspondance relativement bonne entre le nombre de polices impactées estimé par le modèle et le nombre  
227 de sinistres recensés par tronçon de rivière, compte tenu du taux de sinistralité moyen  $p$ , représenté par la  
228 courbe médiane du modèle binomial  $B(n,p)$ . Les valeurs de  $p$  estimées (cf. paragraphe II.2) s'élèvent à 0.37  
229 pour la crue de septembre 2002 et 0.43 pour la crue de juin 2010, ce qui explique que ces courbes médianes  
230 restent éloignées de la bissectrice. La dispersion des points dépasse néanmoins la largeur des intervalles de  
231 confiance à 90%, en particulier pour le cas de Draguignan en juin 2010: plus de 10% des points se situent en  
232 dehors des limites de l'intervalle avec principalement des sous-estimations par le modèle. Cela indique que  
233 d'autres sources d'erreurs affectent la relation entre le nombre prévu et le nombre observé de sinistres. En  
234 premier lieu, le taux de sinistralité est significativement influencé par la profondeur de l'eau et la durée de  
235 l'inondation, deux variables qui n'ont pas été prises en compte ici. Par ailleurs, le taux de sinistralité et le  
236 nombre de sinistres ont été calculés sur la base de l'enveloppe de crue estimée maximale (de période de  
237 retour 1000 ans), c'est-à-dire sans utiliser la zone inondée observée (non disponible pour une grande partie du  
238 réseau hydrographique), ou la zone inondée calculée (qui doit être évaluée et ne doit donc pas être utilisée  
239 dans le processus de validation). Cela peut conduire à légèrement sous-estimer le taux de sinistralité moyen  
240 car certaines zones non inondées sont intégrées dans l'estimation. Ce choix peut également conduire à  
241 surestimer le nombre de sinistres véritablement liés au débordement du cours d'eau, pour les tronçons où se  
242 produit un débordement limité, notamment dans les zones densément urbanisées (voir notamment les points  
243 A et B sur la figure 4). Le nombre de sinistres recensés dans les zones de débordement calculées a  
244 également été estimé et la différence avec le nombre de sinistres pris pour référence est indiquée par les traits  
245 verticaux sur la figure 4. Cette différence est modeste dans le cas d'Alès 2002, où les inondations ont été  
246 extrêmes sur l'ensemble de la zone considérée. La correction est beaucoup plus significative dans le cas de  
247 Draguignan, notamment pour presque tous les points situés au-dessus de la limite de confiance à 95%  
248 (Figure 4.b)). Plusieurs de ces tronçons, en particulier les points A et B, sont situés dans la partie amont au  
249 sud-est de la zone étudiée, qui n'a pas été affectée par les pluies les plus intenses. Les étendues réellement  
250 inondées n'ont été que partiellement cartographiées dans cette zone après les inondations de 2010, mais  
251 l'étendue cartographiée indique un débordement modéré dans ce secteur et sont en bon accord avec les zones  
252 inondées modélisées. Le nombre élevé de sinistres situés en dehors des zones inondées par les cours d'eau

253 modélisés et l'impossibilité de séparer ces sinistres, ainsi que l'absence de cartes de l'étendue réellement  
 254 inondée pour les cours d'eau étudiés, constituent clairement les limites principales à l'utilisation des données  
 255 de sinistralité pour la validation du modèle d'impacts proposé.



258  
 259 Figure 5. Cartes des débits de pointe (périodes de retour), des impacts simulés par le modèle (nombre de polices inondées), et du  
 260 nombre de sinistres observés (extraits de la base de données CCR): a) débits de pointe, Alès 2002, b) débits de pointe, Draguignan  
 261 2010, c) impacts estimés, Alès 2002, d) impacts estimés, Draguignan 2010, e) sinistres, Alès 2002, f) sinistres, Draguignan 2010.

262  
 263 La figure 5 illustre une autre utilisation possible des données de sinistralité pour l'évaluation des sorties du  
 264 modèle d'impacts. Cette figure compare la répartition géographique des débits de pointe simulés par le  
 265 modèle, celle des impacts estimés (nombre de polices d'assurance de maisons individuelles dans l'emprise  
 266 inondée estimée), et celle du nombre de sinistres associé extrait de la base de données CCR (nombre de  
 267 sinistres enregistrés dans l'emprise T=1000 ans). Il convient de rappeler que les informations sur les sinistres  
 268 sont fournies uniquement pour les tronçons ayant au moins 20 polices enregistrées dans la base de données.  
 269 Ceci explique pourquoi aucune valeur n'est fournie pour certains tronçons de cours d'eau, essentiellement des  
 270 tronçons non urbanisés avec peu d'enjeux exposés. Cette figure illustre en premier lieu la grande différence  
 271 entre les sorties du modèle hydrologique pluie-débit (figures 5.a) et 5.b)), et celles de la chaîne intégrée  
 272 pluie-débit-emprises-impacts (figures 5.c) et 5.d)) qui fournit une information nettement plus contrastée. La  
 273 figure montre également une bonne cohérence globale entre la localisation des impacts prévus (figures 5.c) et



274 5.d)) et celle des sinistres observés (figures 5.e) et 5.f)). Hormis quelques exceptions, la hiérarchie et la  
275 localisation des principaux impacts sur le terrain semblent être correctement appréhendées par la chaîne de  
276 modélisation proposée. C'est principalement l'information dont ont besoin les services de secours pour  
277 adapter et répartir leurs moyens de secours lors de la gestion des inondations. De telles informations  
278 pourraient également aider à cibler plus efficacement les messages d'avertissement.

#### 279 **IV CONCLUSIONS**

280 Ce travail a permis de tester le potentiel d'une approche de modélisation simple pour l'estimation des impacts  
281 possibles des phénomènes de crues soudaines. La méthode appliquée consiste à combiner un modèle pluie-  
282 débit distribué, à un catalogue de 10 cartes d'inondations préétabli pour chaque tronçon de cours d'eau. Le  
283 calcul de ce catalogue, basé sur la méthode Cartino, présente l'avantage de pouvoir être mis en œuvre  
284 simplement à partir d'un MNT et avec un effort de calibration limité, sur un réseau hydrographique détaillé.

285 Une attention particulière a été accordée ici à l'évaluation des performances de la chaîne de modélisation  
286 proposée, en termes d'évaluation des impacts (nombre de bâtiments présents dans le champ d'inondation  
287 modélisé). Pour cela, la base de données de sinistralité d'assurance de la CCR, qui est probablement la source  
288 d'information la plus complète sur les sinistres relatifs aux inondations en France, a été utilisée. La validation  
289 des impacts estimés à partir de cette base de données a nécessité de sélectionner les données adaptées. En  
290 effet, le processus de validation nécessite à la fois un géocodage précis des polices d'assurance et une  
291 information complète sur les sinistres, ce qui limite la quantité d'informations disponibles. Une proportion  
292 élevée de sinistres n'est également pas liée au débordement des cours d'eau représentés dans le modèle, ce  
293 qui limite la possibilité d'utiliser ces données comme référence lorsque l'étendue réelle des inondations n'est  
294 pas connue (figure 4). Malgré ces difficultés, l'exercice de validation a pu être conduit avec succès pour les  
295 deux crues extrêmes étudiées ici, fournissant une information intéressante sur la précision de la chaîne de  
296 simulation appliquée.

297 On peut également retenir que la qualité des données d'assurance ne cesse d'augmenter et que certaines des  
298 limites identifiées ici (géocodage, exhaustivité des informations sur les sinistres) devraient être  
299 considérablement réduites à l'avenir. De plus, une meilleure représentation des processus de déclenchement  
300 des sinistres devrait être possible en tenant compte des hauteurs d'eau obtenues à partir des calculs  
301 hydrauliques: des relations directes entre les taux de sinistres et les profondeurs d'eau sont en effet  
302 couramment utilisées par les compagnies d'assurance. Par conséquent, les données de sinistres d'assurance  
303 peuvent être considérées comme une option pertinente pour la validation des résultats des prévisions  
304 d'inondation, en particulier dans le cas d'inondations soudaines affectant les rivières non jaugées.

#### 305 **V REMERCIEMENTS**

306 Les auteurs souhaitent remercier:

- 307 - le Ministère de l'Environnement, la Direction Générale de la Prévention des Risques, le Service Central  
308 d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (DGPR / SCHAPI,  
309 <http://vigicrues.gouv.fr>) pour le soutien financier apporté à ce travail,
- 310 - la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône Alpes, Service de  
311 Prévision des Crues du Grand Delta (DREAL Auvergne Rhône Alpes, SPC Grand Delta), et l'Institut  
312 Géographique National (IGN), pour la fourniture d'une partie des données,
- 313 - l'Observatoire Hydro-Météorologique Cévennes-Vivarais (OHM-CV) et le programme HyMeX pour  
314 leur aide dans l'accès aux données pluviométriques. L'OHM-CV (<http://www.ohm-cv.fr>) est un service  
315 d'observation soutenu par l'Institut National des Sciences de l'Univers, la section Surface et Interfaces  
316 Continentales et l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble. L'OHM-CV est un système  
317 d'observation clé du programme HyMeX (<http://www.hymex.org>). Les jeux de données radar et  
318 pluviométriques ont été fournis par Météo-France, le SPC Grand Delta et Electricité de France (EDF).

#### 319 **VI REFERENCES**

- 320 Aubert Y., Arnaud P., Ribstein P., and Fine J.-A. (2014). La méthode SHYREG - application sur 1605  
321 bassins versants en France métropolitaine, *Hydrological Sciences Journal*, 59, 993–1005,  
322 <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.902061>.

- 323 Gourley J. J., Flamig Z. L., Hong Y., and Howard K. W. (2014). Evaluation of past, present and future tools  
324 for radar-based flash-flood prediction in the USA, *Hydrological Sciences Journal*, 59, 1377–1389,  
325 <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.919391>.
- 326 Javelle, P., Demargne, J., Defrance, D., Pansu, J., and Arnaud, P. (2014). Evaluating flash-flood warnings at  
327 ungauged locations using post-event surveys: a case study with the AIGA warning system,  
328 *Hydrological Sciences Journal*, 59, 1390–1402, <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.923970>.
- 329 Le Bihan, G., Payrastre, O., Gaume, E., Moncoulon, D., and Pons, F. (2016). Regional models for distributed  
330 flash-flood nowcasting: towards an estimation of potential impacts and damages, *E3S Web of*  
331 *Conferences*, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160718013>.
- 332 Le Bihan G., Payrastre O., Gaume E., Moncoulon D., Pons F. (2017). The challenge of forecasting impacts  
333 of flash floods: test of a simplified hydraulic approach and validation based on insurance claim data.  
334 *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 5911-5928, <https://doi.org/10.5194/hess-21-5911-2017>.
- 335 Moncoulon D., Labat D., Ardon J., Leblois E., Onfroy T., Poulard C., Aji S., Rémy A., and Quantin A.  
336 (2014) Analysis of the French insurance market exposure to floods: a stochastic model combining river  
337 overflow and surface runoff, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 2469–2485,  
338 <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2469-2014>.
- 339 Naulin, J.-P., Payrastre, O., and Gaume, E. (2013). Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone  
340 areas: Application to road network supervision in Southern France, *Journal of Hydrology*, 486, 88 – 99,  
341 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.044>.
- 342 Pons F., Laroche C., Fourmigue P., and Alquier M. (2014). Cartographie des surfaces inondables extrêmes  
343 pour la directive inondation : cas de la Nartuby, *La Houille Blanche*, 2, 34 – 41,  
344 <https://doi.org/10.1051/lhb/2014014>.
- 345 Rozalis S., Morin E., Yair Y., and Price C. (2010). Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological  
346 model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions,  
347 *Journal of Hydrology*, 394, 245–255, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.021>.
- 348 Versini P.-A., Berenguer M., Corral C., and Sempere-Torres D. (2014). An operational flood warning system  
349 for poorly gauged basins: demonstration in the Guadalhorce basin (Spain), *Natural Hazards*, 71,  
350 <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0949-7>.