

Dynamique de collaboration entre acteurs opérationnels et scientifiques pour une amélioration des systèmes de prévision des crues en France

La prévision des crues demeure actuellement une mission difficile, avec des marges d'amélioration importantes, dont les forts enjeux socio-économiques mobilisent scientifiques et acteurs opérationnels. À travers la présentation du processus de développement d'un outil hydrologique largement utilisé pour la prévision des crues en France, cet article illustre l'importance de l'interaction entre chercheurs et communauté d'utilisateurs pour faire émerger des questions de recherche, proposer en retour des solutions innovantes et garantir l'utilisation concrète des produits.

De l'annonce à la prévision des crues, une transition progressive

Étant donné les enjeux pour la sécurité des biens et des personnes, anticiper les phénomènes de crue revêt une importance majeure. En France, les inondations générées par les crues sont en effet la première cause de dégâts liés à des phénomènes naturels, représentant 80 % du coût global de ces dégâts. Une personne sur quatre est concernée, directement ou indirectement, par ce risque (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2012).

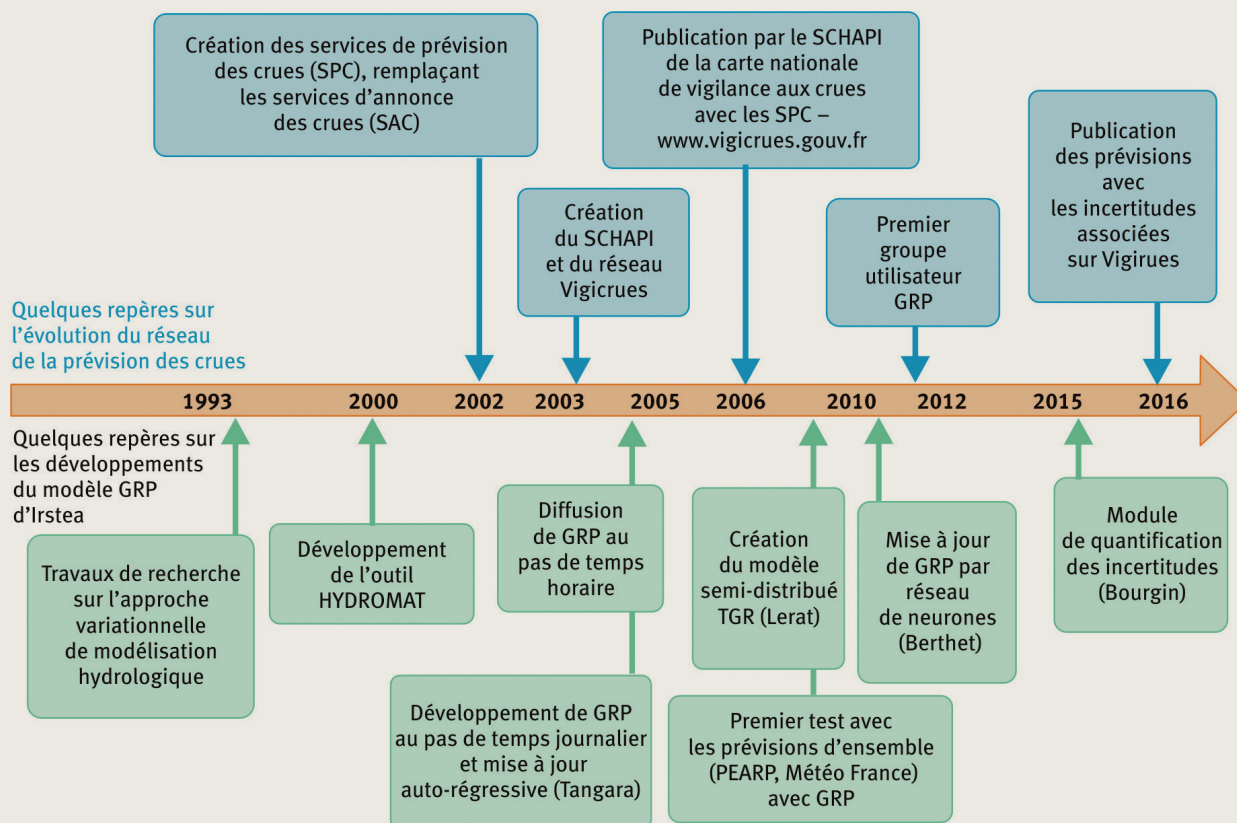
Au-delà des solutions structurelles de protection contre les inondations (digues, barrages, etc.), une manière de réduire leurs impacts négatifs est d'anticiper les phénomènes de crue et d'alerter les populations avec suffisamment d'avance pour favoriser leur évacuation et la protection des biens. Jusqu'en 2003, en dehors des dispositifs gérés par EDF sur les principaux massifs montagneux, la France ne disposait au niveau national que d'un dispositif d'annonce de crues sur ses grands cours d'eau, dont les capacités d'anticipation étaient très réduites. Suite à différents événements catastrophiques à la fin des années 1990 et au début des années 2000, une commission d'enquête parlementaire (voir www.assemblee-nationale.fr/rap-enq/r3386-01.asp) pointait du doigt les lacunes du dispositif français de prévision, et proposait une série de mesures pour en améliorer l'efficacité.

Naissait alors en 2003, sous l'impulsion du ministère chargé de l'écologie, le réseau national des services de prévision des crues (SPC), coordonné par le service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI), service de la direction générale de la prévention des risques (DGPR). La restructuration des services s'est accompagnée d'objectifs ambitieux d'amélioration de leurs potentialités techniques. Des programmes pluriannuels de développements, en partenariat avec des établissements de recherche, ont été engagés pour proposer des solutions innovantes d'anticipation des crues (quelques repères chronologiques sont illustrés dans la figure 1).

Des modèles hydrologiques pour la prévision

Dès 2003, Irstea s'est impliqué dans ces programmes de recherche, en particulier au travers de ses équipes travaillant sur la modélisation hydrologique à des fins opérationnelles. Les modèles hydrologiques, qui représentent la réponse en débit des bassins versants à des pluies, sont des outils très utiles pour la prévision des crues. Par rapport à des outils de propagation des débits en rivière plus classiquement utilisés, ils permettent de gagner en anticipation en prenant en compte le temps de transfert de la pluie jusqu'à la rivière et en profitant des délais supplémentaires permis par les prévisions

❶ Illustration de l'évolution du réseau de la prévision des crues en France (Vigicrues) et des développements autour du modèle hydrologique de prévision des crues GRP d'Irstea.



météorologiques. Un outil aujourd'hui largement utilisé dans les SPC est né de ces recherches : GRP (modèle du génie rural pour la prévision de crues).

Son développement illustre en quoi sa diffusion auprès d'une communauté d'utilisateurs et les collaborations qui en découlent, ont permis de faire remonter des questions de recherche et de proposer en retour des solutions innovantes pour la prévision des crues.

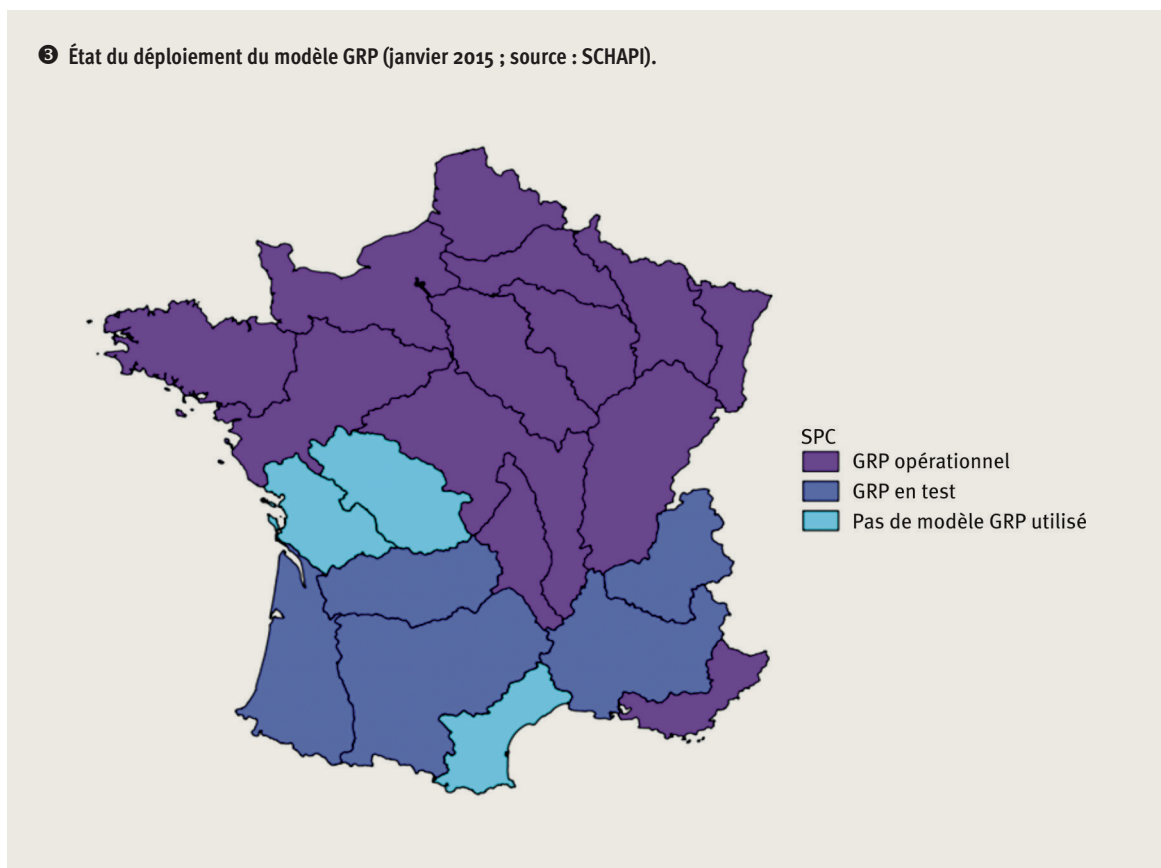
GRP, de la recherche à l'opérationnel

Dès les années 1980, les hydrologues d'Irstea (à l'époque Cemagref) ont développé des modèles hydrologiques pour estimer le débit dans un cours d'eau à partir de la connaissance des précipitations à l'échelle du bassin versant. Dans le contexte de la prévision de crues sur les bassins versants jaugés, le modèle hydrologique bénéficie de l'information disponible sur les débits observés en temps réel. Cette information permet de corriger les principales sources d'erreur par des techniques d'assimilation de données. Des travaux de recherche ont été menés pour développer une technique basée sur des modifications des paramètres du modèle. Cette approche, dite variationnelle, a alors fait l'objet d'un développement opérationnel à partir de l'année 2000, dans le cadre d'une demande initiale du service d'annonce de crue (SAC) Oise-Aisne. L'outil, HYDROMATH, développé en collaboration avec le bureau d'études Safège, a été mis

en place sur les bassins de l'Oise et de l'Aisne pour des objectifs de prévision à courte échéance. Un tel modèle hydrologique, fonctionnant en continu (tout au long de l'année), était alors assez novateur dans la culture des services d'annonce de crue qui fonctionnaient plutôt sur la base de modèles événementiels ou de modèles de type hydraulique. Le logiciel HYDROMATH a ensuite été testé pour la direction régionale de l'environnement Nord-Pas-de-Calais et mis en place au SAC d'Angers sur les bassins de la Sarthe et de l'Huisne.

Les retours d'expérience sur l'outil de prévision montrèrent cependant des résultats mitigés, et des comparaisons réalisées en parallèle avec d'autres types d'outils de prévision montrèrent la nécessité de revoir la stratégie de modélisation. Une nouvelle approche, plus simple, a alors été proposée par Tangara (2005). Elle permettait d'avoir un modèle épuré (appelé GRP, figure ❷) et d'améliorer la robustesse des résultats. Ce modèle a suscité très rapidement l'intérêt du SPC Seine-Moyenne-Yonne-Loing (SMYL), qui en a demandé une mise en œuvre opérationnelle. Des noyaux de calcul, pouvant être pilotés depuis les plateformes du SPC, ont alors été développés et implémentés sur le bassin de la Seine en amont de Paris. Les sorties de ces modèles alimentaient ensuite un modèle hydraulique développé à l'échelle du bassin. Ce modèle a alors été rendu plus général grâce aux travaux de Berthet (2010) et constituera la base de travail des développements ultérieurs de GRP.

③ État du déploiement du modèle GRP (janvier 2015 ; source : SCHAPI).



extérieur principal des développements. Le SCHAPI a assuré la diffusion des outils dans le réseau national de la prévision avec l'appui méthodologique associé, a veillé à la coordination des démarches et a permis la centralisation des retours d'expérience. Enfin, les utilisateurs des outils en conditions opérationnelles, qu'ils soient dans le réseau national de la prévision, des opérateurs privés (par exemple, la Compagnie nationale du Rhône) ou des bureaux d'études, ont largement contribué à faire évoluer l'outil et les méthodes associées.

Les discussions entre acteurs sont aujourd'hui assurées dans le cadre du groupe de travail rassemblant les utilisateurs et les développeurs de GRP à une fréquence annuelle. Ce groupe a plusieurs objectifs :

- présenter des retours d'expériences sur le modèle et échanger sur les limites de l'outil ;
- faire émerger les besoins partagés en fonctionnalités complémentaires de l'outil et les souhaits d'évolutions de la part des utilisateurs ;
- discuter des priorités dans les évolutions futures ;
- faire part des derniers résultats de recherche et des perspectives scientifiques dans le domaine de la prévision des crues.

En ce sens, ce groupe permet de faire ressortir des questions essentielles, souvent complexes, appelant potentiellement des recherches spécifiques. Il s'agit donc d'un véritable lieu d'inspiration pour la recherche.

Parmi les évolutions récentes de GRP auxquelles ce groupe d'utilisateurs a apporté une contribution déter-

minante, on peut citer le développement d'une version spatialisée du modèle de prévision (TGR), et le développement de méthodes de quantification des incertitudes.

Développement du modèle TGR

Le modèle GRP, dans sa conception, ne prend pas en compte les informations de débit disponibles en amont de la station hydrométrique ciblée. Or la présence de stations hydrométriques amont, en fournissant des données sur la propagation des crues, peut améliorer les résultats du modèle sur certains bassins.

C'est par exemple le cas du bassin versant du Serein (sur le bassin de la Seine), suivi par le SPC SMYL, dont la configuration géologique et topographique (un bassin de 1 120 km², d'une dizaine de kilomètres de large pour une longueur de 120 km) peut générer des crues très différentes en fonction de la localisation de la pluie au sein du bassin. Devant les difficultés du modèle GRP sur ce bassin, le SPC SMYL a sollicité en 2009 deux équipes d'Irstea (à Antony et Montpellier) pour mettre au point un modèle dit semi-distribué, le modèle TGR (pour transfert GR), permettant de prendre en compte explicitement la propagation des débits le long du réseau hydrographique. Ce modèle est le fruit des réflexions initiées dans les travaux de thèse de Lerat (2009). D'un point de vue opérationnel, le modèle semi-distribué présente l'avantage d'améliorer la robustesse du système de prévision, en exploitant les informations sur les stations amont et en palliant d'éventuels dysfonctionnements à la station

► cible. Il permet également la prise en compte aisée de spécificités hydrologiques et d'ouvrages influençant les débits d'un cours d'eau, tels que les lacs, les barrages et les prises d'eau.

L'implémentation du modèle TGR sur le Serein ayant été concluante, le modèle a ensuite été testé en 2010 sur un bassin plus grand, le bassin de la Seine à Paris (43 800 km²), où son intérêt s'est confirmé. Depuis 2011, l'équipe d'Irstea Montpellier, en étroite collaboration avec l'équipe d'Antony, développe la version opérationnelle de TGR, pour qu'elle soit compatible avec celle du modèle GRP existant.

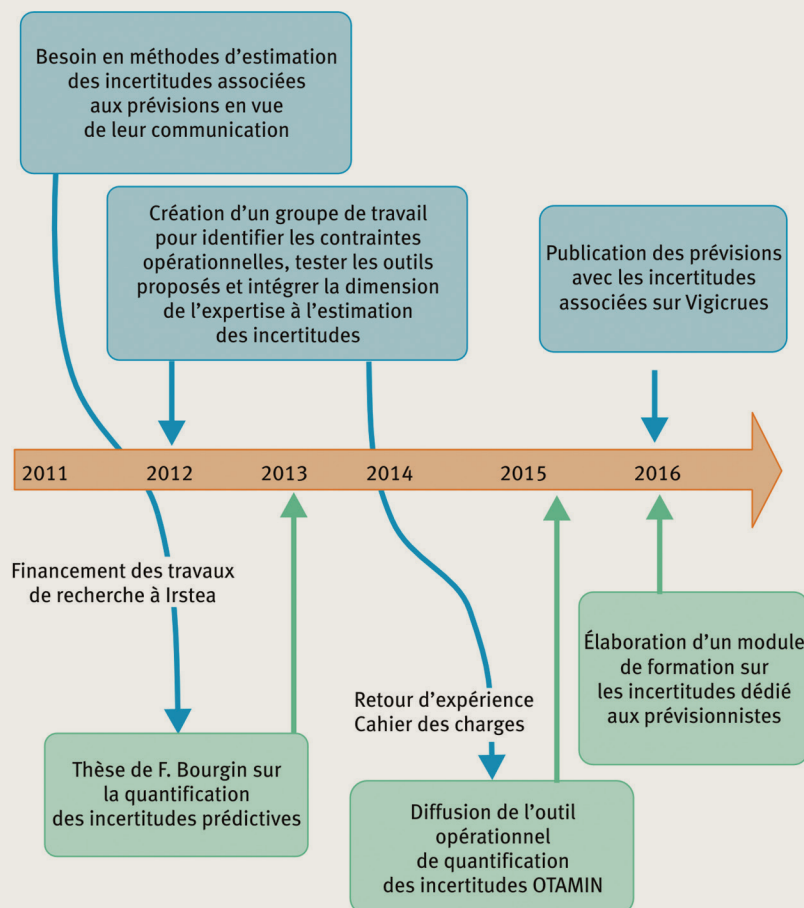
Quantification des incertitudes de prévision

La quantification des incertitudes est un élément essentiel dans l'interprétation des prévisions et leur communication auprès des gestionnaires de crise, des décideurs et du grand public. Conscient de l'importance de ce point et de la nécessité de fournir des estimations d'incertitudes automatiques complémentaires de l'expertise du prévisionniste, le SCHAPI a encouragé et soutenu à partir de 2010 des travaux de recherche à Irstea sur le développement de méthodes permettant d'apprécier les incertitudes associées aux prévisions. Deux approches

ont été suivies. D'un côté, des abaques de quantification des probabilités de dépassement d'un seuil en fonction des incertitudes météorologiques futures ont été développés. Ils permettent d'aider le prévisionniste à évaluer la sévérité d'un événement sur la base d'un très grand nombre de scénarios de pluies futures. Parallèlement à ces abaques, une méthode d'estimation des intervalles de prévision a été bâtie (Bourgin, 2014) et implémentée dans la version de GRP diffusée en décembre 2014. Les retours des utilisateurs, dès les premiers mois de test de cette nouvelle fonctionnalité, ont apporté de réelles améliorations à cette approche, qui a ensuite été reprise par un groupe de travail du SCHAPI pour développer un outil générique (OTAMIN) applicable aux différents modèles utilisés dans le réseau de la prévision. Des travaux ont également été réalisés sur la communication des incertitudes. Ces différentes actions ont été le lieu d'échanges intenses entre acteurs, permettant de développer des méthodes scientifiquement solides tout en répondant aux besoins opérationnels (figure 4).

Ces travaux, ainsi que d'autres non détaillés ici, ont permis d'améliorer la généralité de l'outil opérationnel, en le dotant de fonctionnalités supplémentaires et en améliorant son ergonomie générale.

4 Interactions entre le réseau Vigicrues et Irstea dans le développement des outils de quantification d'incertitudes des prévisions hydrologiques.



Discussion et conclusion

La recherche dans le domaine de la prévision hydrométéorologique doit nécessairement être à l'écoute des préoccupations, attentes et contraintes opérationnelles. Les travaux menés à Irstea au cours des vingt-cinq dernières années sur cette thématique ont conduit à des outils opérationnels, notamment autour du modèle GRP. Un autre outil, AIGA, a également fait l'objet d'un développement sur le long terme à Irstea-Aix pour l'anticipation des crues rapides. Ces outils sont le résultat d'un dialogue permanent entre différents acteurs, opérationnels et scientifiques. Les résultats encourageants obtenus dans l'utilisation de ces outils montrent tout l'intérêt de ces synergies entre acteurs.

Cette collaboration de longue durée bénéficie d'une répartition claire des tâches en fonction des forces de chaque partie. Tandis que le développement et les évolutions du code numérique et du cœur de calcul sont assurés par Irstea, l'interface entre l'outil et l'utilisateur ainsi que les aspects ergonomiques sont principalement gérés par les acteurs opérationnels.

Alors que les projets de recherche sont généralement focalisés sur des cas d'étude plutôt propices et que la littérature scientifique regorge d'articles relatant des « *success stories* » sur des méthodes qui marchent, les retours d'expérience des opérationnels mettent souvent en évidence les limites des modèles et fournissent en ce sens une matière riche pour les chercheurs pour mettre au point des solutions plus performantes.

D'un point de vue organisationnel, l'émergence d'outils collaboratifs innovants comme la forge logicielle (<https://forge.irstea.fr>) facilite le développement et le partage d'information entre les acteurs du développement de GRP situés à Antony, Toulouse et Montpellier. D'autres outils collaboratifs comme des forums permettant le partage d'expériences des utilisateurs restent à explorer à l'avenir. ■

Les auteurs

Carina FURUSHO, Charles PERRIN et Vazken ANDRÉASSIAN

Irstea – UR HBAN – Hydrosystèmes et bioprocédés
1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030
92761 Antony Cedex – France

✉ carina.furusho@irstea.fr
✉ charles.perrin@irstea.fr
✉ vazken.andreassian@irstea.fr

Rémi LAMBLIN

SCHAPI
Service central d'hydrométéorologie
et d'appui à la prévision des inondations
42 avenue Gaspard Coriolis
31057 Toulouse Cedex 01 – France

✉ remi.lamblin@developpement-durable.gouv.fr

David DORCHIES

Irstea – UMR G-Eau
361 Rue Jean François Breton – BP 5095
34196 Montpellier Cedex 5 – France

✉ david.dorchies@irstea.fr

Lionel BERTHET

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement
et du logement Centre-Val de Loire
5 avenue Buffon – CS 96407
45064 Orléans Cedex 2 – France

✉ lionel.berthet@developpement-durable.gouv.fr

EN SAVOIR PLUS...

📖 BERTHET, L., 2010, *Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique*, thèse de doctorat, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris), Paris, 603 p.

✉ <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00031184>.

📖 BOURGIN, F., 2014, *Comment quantifier l'incertitude prédictive en modélisation hydrologique ? Travail exploratoire sur un grand échantillon de bassins versants*, thèse de doctorat, AgroParisTech (Paris), Irstea (Antony), 208 p.

✉ <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00041768>.

📖 LERAT, J., 2009, *Quels apports hydrologiques pour les modèles hydrauliques ? Vers un modèle intégré de simulation des crues*, thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris), Cemagref (Antony, Montpellier), Paris, 300 p.

✉ <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00026353>.

📖 MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2012, *Mieux savoir pour mieux agir – Principaux enseignements de la première évaluation des risques d'inondation sur le territoire français – EPRI 2011*, 68 p.,

✉ http://catalogue.prim.net/190__evaluation-preliminaire-des-risques-d-inondation-nationale.pdf

📖 TANGARA, M., 2005, *Nouvelle méthode de prévision de crue utilisant un modèle pluie-débit global*, thèse de doctorat, EPHE, 374 p.

✉ <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00019088>.

Voir en ligne :

✉ VIGICRUES : <http://www.vigicrues.gouv.fr/>

✉ Modèle GRP : <http://webgr.irstea.fr/modeles/modele-de-prevision-grp/>

✉ Dossier « Risque inondation » : <http://www.irstea.fr/nos-editions/dossiers/risque-inondation>