
Hydrology and Earth System Sciences

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

Hydrology and Earth System Sciences |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action |

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

Ce document a été traduit en français par la Croix-Rouge de Belgique
avec le soutien de la Direction générale Coopération au développement et Aide humanitaire (DGD)



La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016 |

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

Received: 11 April 2016
– Published in Hydrol.
Earth Syst. Sci. Discuss.:
14 April 2016
Revised: 27 July 2016
– Accepted: 31 July 2016
– Published: 5 September
2016

Published by Copernicus
Publications on behalf of
the European
Geosciences Union.

Hydrol. Earth Syst. Sci.,
20, 3549–3560, 2016
<https://doi.org/10.5194/hess-20-3549-2016>
© Author(s) 2016. This
work is distributed under
the Creative Commons
Attribution 3.0 License.



Hydrology and Earth System Sciences

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

Erin Coughlan de Perez^{1,2,3}, **Bart van den Hurk**^{2,4}, **Maarten K. van Aalst**^{1,3,14},
Irene Amuron⁵, **Deus Bamanya**⁶, **Tristan Hauser**⁷, **Brenden Jongma**^{2,8},
Ana Lopez⁹, **Simon Mason**³, **Janot Mendler de Suarez**^{1,10}, **Florian Pappenberger**¹¹,
Alexandra Rueth¹², **Elisabeth Stephens**¹³, **Pablo Suarez**^{1,14}, **Jurjen Wagemaker**¹⁵,
et **Ervin Zsoter**¹¹

¹ Centre du Changement climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge, La Haye, 2521 CV, Pays-Bas

² Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit Amsterdam, 1081 HV, Amsterdam, Pays-Bas

³ International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, Palisades, NY 10964, États-Unis

⁴ Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), De Bilt, 3731 GA, Pays-Bas

⁵ Croix-Rouge ougandaise, Kampala, Ouganda

⁶ Uganda National Meteorological Authority, Kampala, Ouganda

⁷ Climate System Analysis Group, Department of Environmental and Geographical Science, University of Cape Town, Le Cap, Afrique du Sud

⁸ Dispositif mondial de réduction des effets des catastrophes et de relèvement (GFDRR), Banque mondiale, Washington DC, États-Unis

⁹ Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Department of Physics, Oxford University, Oxford, OX1 3PU, Royaume-Uni

¹⁰ Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future, Boston University, Boston, Massachusetts, États-Unis

¹¹ Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, Reading, RG2 9AX, Royaume-Uni

¹² Croix-Rouge allemande, 12205 Berlin, Allemagne

¹³ School of Archaeology, Geography and Environmental Science, University of Reading, Reading, RG6 6AH, Royaume-Uni

¹⁴ Department of Science, Technology, Engineering and Public Policy, University College London, Londres, Royaume-Uni

¹⁵ FloodTags, La Haye 2516 BE, Pays-Bas

Correspondence to: Erin Coughlan de Perez (coughlan@climatecentre.org)

Résumé

Il arrive trop souvent que des données scientifiques crédibles pointent un risque accru de catastrophe sans qu'aucune action humanitaire soit déclenchée. La balance des ressources financières penche fortement en faveur d'une réaction a posteriori, si bien que les gestionnaires des catastrophes n'ont ni l'intérêt ni la capacité de traiter des données scientifiques complexes, pas plus que les incertitudes qui vont de pair. Mais aujourd'hui, cet intérêt commence à se renforcer avec l'émergence d'une série de systèmes de financement basé sur les prévisions qui libèrent des fonds lorsque des phénomènes extrêmes sont annoncés. Compte tenu de ce changement de paradigme, nous présentons dans les lignes qui suivent une méthode qui permet de sélectionner et d'exploiter des

prévisions pertinentes en vue de mettre en œuvre des interventions humanitaires spécifiques pour prévenir les catastrophes, même dans des endroits pour lesquels les données sont rares. Cette méthode de prévision des impacts tient compte des paramètres de chaque action (durée, etc.) pour vérifier les prévisions météorologiques. Elle les associe à une action en fonction (1) des connaissances disponibles sur l'ampleur des inondations précédentes et (2) de l'acceptation d'agir « en vain » dans certains cas. La méthode est appliquée dans le cadre du projet pilote de financement basé sur les prévisions de la Croix-Rouge ougandaise, qui utilise les données du Global Flood Awareness System (GloFAS, système mondial de détection des inondations). Elle nous permet de définir le « seuil de danger » de l'inondation et de sélectionner les facteurs prévisionnels probabilistes qui correspondent à des actions spécifiques. Les résultats de cette méthode peuvent être mis en œuvre partout dans le monde, quels que soient les risques, et être intégrés dans un système de financement qui garantit qu'une action préfinancée est automatiquement et précocement déclenchée lorsque les prévisions l'exigent.

1 Introduction

La prise de mesures avant une catastrophe permet de sauver des vies et des biens, mais aussi de réduire efficacement le coût des interventions d'urgence. Les professionnels et les prévisionnistes se sont mobilisés en faveur du concept « Alerte précoce, action précoce » (Early Warning Early Action) qui se base sur des données météorologiques (Alfieri et al., 2012 ; IFRC, 2009 ; Krzysztofowicz, 2001 ; Webster, 2013), notamment en raison de l'augmentation des risques liés aux changements climatiques (IPCC, 2012). Dans ce contexte, il y a une forte demande d'informations climatiques et météorologiques utiles à la prise de décisions. Le secteur de l'aide humanitaire et du développement collabore avec des prévisionnistes pour mettre en place des alertes précoces destinées à réduire les risques liés aux catastrophes naturelles, notamment au sein du Cadre mondial pour les services climatologiques (Hewitt et al., 2012) et du Famine Early Warning System Network, un réseau régional de systèmes d'alerte précoce aux risques de famine (Ross et al., 2009). En effet, la période critique entre la prévision et la catastrophe proprement dite constitue une opportunité de combler le fossé qui sépare les domaines traditionnels de l'humanitaire et du développement.

Dans les zones exposées aux risques cycloniques, les gestionnaires des catastrophes ont obtenu d'excellents résultats grâce aux prévisions météorologiques : des actions inspirées de systèmes d'alerte précoce ont sauvé des millions de vies tout en évitant des dégâts significatifs (Galindo et Batta, 2012 ; Harriman, 2013 ; Lodree, 2011 ; Rogers et Tsirkunov, 2013). Ces bons résultats s'expliquent par le fait que la population peut prendre ses dispositions lorsqu'elle est informée de la forte probabilité d'un cyclone, sachant que ces phénomènes météorologiques ont un impact potentiel énorme sur une communauté. D'autres systèmes d'alerte précoce concernent la canicule et déclenchent également des actions destinées à réduire la mortalité ; ils se retrouvent généralement dans les pays développés (Ebi et al., 2004 ; Fouillet et al., 2008 ; Knowlton et al., 2014a).

Ces avancées contrastent fortement avec l'absence systématique de toute action humanitaire avant d'autres catastrophes naturelles prévisibles, notamment les inondations. Les obstacles à une action précoce sont particulièrement évidents dans les zones des pays en développement où les données sont rares (Brown et al., 2007 ; Houghton-Carr et Fry, 2006).

Parmi les principaux, il faut citer l'absence de fonds disponibles lorsqu'une catastrophe est probable mais pas certaine. Cette structure incitative commence à évoluer avec l'émergence de nouveaux systèmes de financement basé sur les prévisions (Coughlan de Perez et al., 2015). Ceux-ci libèrent des moyens avant qu'une catastrophe survienne, en fonction d'une prévision présélectionnée. Ils tiennent compte de la possibilité d'agir « en vain » si la catastrophe ne se produit pas, ce qui garantit que les bénéfices à long terme des actions de préparation l'emportent sur le coût des fausses alertes. Dans ces lignes, nous

analysons deux difficultés spécifiques à surmonter pour concevoir un système de ce type dans le contexte d'une prévision probabiliste des crues et présentons une méthode d'évaluation des prévisions adaptée à des actions particulières. Celle-ci s'appuie sur des méthodes existantes qui associent des prévisions à des actions en fonction de leurs coûts et de leurs bénéfices (Coughlan de Perez et al., 2015 ; Lopez et al., non publié).

Précisons avant toute chose que transposer l'ampleur d'une inondation en dommages n'est pas un exercice facile dans les zones où les données sont rares. Dale et al. (2012) proposent une méthode pour convertir la probabilité des prévisions extraites d'un ensemble de systèmes en probabilité de dommages au moyen d'une courbe ampleur-dommage, avec un cumul proportionnel pour chaque membre de l'ensemble. Mais la création de ce type de courbes exige généralement un volume de données rédhibitoire (Merz et al., 2010 ; Michel-Kerjan et al., 2013 ; Ward et al., 2013), car le niveau exact auquel les eaux sont susceptibles d'avoir un impact n'est souvent pas connu. Nous proposons quant à nous une autre méthode qui permet de calculer le niveau critique à prévoir pour orienter l'action humanitaire.

Il faut ajouter que la prévision des crues s'accompagne d'un degré d'incertitude élevé, a fortiori dans les zones où les données sont rares. Si la capacité à prévoir les inondations de manière probabiliste n'est plus à démontrer (Alfieri et al., 2013), ce sont les probabilités proprement dites qui impliquent la possibilité d'une action vaine. Par « vaine », nous entendons dans ce contexte une action qui a été prise sur la base d'une prévision mais sans être suivie d'un événement extrême. Dans de nombreux cas, des actions convenues à l'avance et qualifiées de « vaines » parce que le phénomène météorologique extrême ne s'est pas produit peuvent exercer un impact positif à long terme en renforçant la résilience de la population et en soutenant les efforts de développement en cours dans la région. Mais dans le cas d'une action « vaine », l'acteur-riche humanitaire aurait décidé d'utiliser différemment les ressources s'il-elle avait su que l'événement extrême ne se produirait pas.

Partant, ces intervenant-e-s se demandent souvent dans quelles occasions il vaut la peine d'entreprendre des actions et de dépenser des moyens en fonction d'une prévision probabiliste. Les analyses de prépositionnement des stocks tiennent rarement compte de la possibilité d'utiliser des probabilités prévisionnelles pour déclencher ces actions, appelées « actions basées sur les prévisions » (Bozkurt et Duran, 2012 ; Bozorgi-Amiri et al., 2011). En l'absence d'une réponse fiable reliant des actions spécifiques à des probabilités spécifiques, les gestionnaires des catastrophes qui sont averti-e-s de conditions climatiques extrêmes s'embourbent dans des discussions sans issue, car ils-elles manquent de critères ou de clarté concernant la marche à suivre pour prendre des décisions et des mesures.

Le présent article a donc pour but de présenter une méthode permettant d'associer des prévisions et les actions humanitaires qui en découlent tout en reconnaissant qu'il est compliqué d'utiliser des prévisions dans les zones où les données sont rares. Nous nous concentrons plus spécifiquement sur deux questions :

1. Compte tenu de la faible quantité des données d'observation et du court historique des prévisions, comment fixer le *seuil de danger* hydrométéorologique d'une crue aux conséquences dommageables ?
2. Dans la mesure où les données d'observation sont rares et restreignent la capacité d'évaluation des prévisions, comment définir la probabilité prévisionnelle qui *déclenche* une action précoce ?

Dans les lignes qui suivent, nous présentons l'application pratique de la méthode dans le cadre d'un projet pilote de financement basé sur les prévisions dans une région rurale de l'Ouganda. Nous évaluons les prévisions concernant le débit des cours d'eau qui émanent du Global Flood Awareness System (GloFAS), un modèle hydrologique mondial qui est exécuté tous les jours et utilise les prévisions de précipitations du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT). Après une présentation de la région qui accueille le projet, nous exposons une méthode permettant de sélectionner le

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

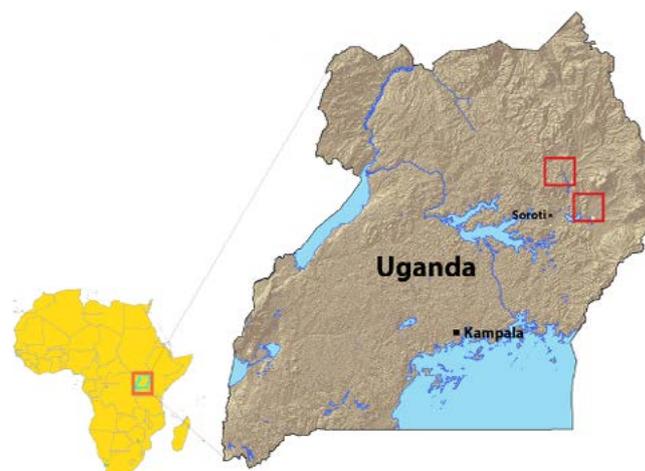
Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016 |

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

seuil de danger et le facteur déclencheur ainsi que les contraintes à prendre en compte pour s'assurer que la méthode peut être mise en œuvre dans une situation humanitaire spécifique. Nous présentons ensuite les résultats obtenus sur deux sites dans le nord-est de l'Ouganda et estimons la probabilité qu'un système de prévision qui se base sur un volume de données aussi restreint soit « intolérable » ou pousse les gestionnaires des catastrophes à agir « en vain » plus souvent que prévu. C'est sur cette base que nous débattons des implications de la méthode pour le nord-est de l'Ouganda et d'autres régions. Pour conclure, nous proposons quelques étapes à envisager pour les systèmes de financement basé sur les prévisions et la mise en œuvre de modèles mondiaux de crue dans d'autres régions.

Figure 1

Carte de l'Ouganda. Kapelebyong et l'échelle se situent dans le carré rouge du haut. Magoro et Ngariam se situent dans le carré rouge du bas.



2 Contexte

2.1 Région

La Croix-Rouge ougandaise met en œuvre un projet pilote de financement basé sur les prévisions dans le nord-est du pays avec l'aide de la Croix-Rouge allemande et du Centre du Changement climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge. Dans ce cadre, la Croix-Rouge allemande a créé un fonds de préparation novateur pour financer des actions prédéfinies à entreprendre en fonction de prévisions spécifiques pour la région concernée. Au moment où nous rédigeons le présent article, plus d'une douzaine de projets de ce genre sont en cours dans le monde entier.

Le Teso au nord-est de l'Ouganda est une région marécageuse soumise aux inondations qui saturent le sol d'eau pendant la saison des pluies, en mai et en octobre. Les projets de la Croix-Rouge ougandaise se situent dans les sous-districts de Magoro et Ngariam, qui font partie du district de Katakwi sur le fleuve Apapi, et à Kapelebyong dans le district d'Amuria sur le fleuve Akokoro (Figure 1). Il n'y a malheureusement pas de modèle hydrologique calibré pour ces cours d'eau. Tous deux se jettent dans le lac Bisina, puis dans le Nil.

La Croix-Rouge ougandaise a sélectionné cette région pilote en raison de sa vulnérabilité aux inondations. Au cours des années 90 et 2000, le conflit régional s'est progressivement apaisé, ce qui a permis à la population de s'y réinstaller et aujourd'hui, ses habitants vivent de l'agriculture et de l'élevage. Mais parallèlement, plusieurs inondations ont frappé cette zone. Elles rendent les routes impraticables, détruisent les récoltes, provoquent des épidémies de maladies hydriques, ainsi que l'effondrement des maisons et latrines (OSSO et LA RED, 2009).

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

Dès qu'une crue est signalée, la Croix-Rouge ougandaise a pour mission d'évaluer la situation et d'organiser la riposte. Par le passé, notamment lors des inondations de 2007, ses membres ont distribué des abris et du matériel d'urgence à la population (Jongman et al., 2015). Les pertes provoquées par la montée des eaux et le coût des interventions auraient pu être réduits si des mesures préventives avaient été déployées avant les crues, dès la parution des prévisions avertissant de conditions météorologiques inhabituelles. Des seuils de financement basé sur les prévisions ont été mis en œuvre au milieu de l'année 2015 sur la base de la méthode présentée dans ces lignes, lesquels spécifiaient des procédures opérationnelles standards pour des actions basées sur les prévisions. En novembre 2015, une prévision a déclenché une action qui a donné de bons résultats (Centre du Changement climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge, 2015). C'est la première fois que l'antenne locale a puisé dans un fonds de préparation pour entreprendre des actions avant que des inondations soient signalées et tandis que les impacts sont toujours en cours d'analyse, la région a annoncé une situation de crue après que le seuil déclencheur a été atteint dans l'une des zones du projet.

2.2 Actions

Pour la mise en place du système de financement basé sur les prévisions destiné à déclencher une action précoce, l'équipe de projet de la Croix-Rouge ougandaise a identifié une série de préparatifs à prévoir avant une inondation avec l'aide de personnes qui vivent dans les zones touchées mais aussi lors de discussions en interne et de deux ateliers animés par un facilitateur. Ces derniers ont rassemblé des gestionnaires des catastrophes, des volontaires ainsi que des représentant-e-s de l'administration météorologique ougandaise et des autorités des districts (Jongman et al., 2015). Lors de chaque atelier, les gestionnaires des catastrophes de la Croix-Rouge ougandaise ont discuté des coûts et pertes quantitatifs et qualitatifs dans le cadre de trois scénarios : (1) entreprendre des actions qui produisent des résultats, (2) ne rien faire pour préparer une inondation et (3) agir « en vain ». Pour chacun de ces scénarios, ils-elles ont commencé par répondre individuellement à une série de questions avant d'en discuter en groupe. Pour terminer, ils-elles ont évalué leur volonté d'« agir en vain » sur une échelle de 1 à 10.

Au terme de ces démarches, l'équipe a sélectionné un ensemble d'actions jugées efficaces et réalisables par la Croix-Rouge ougandaise. L'une de ces actions (l'évacuation) a été abandonnée après qu'un quart des personnes interrogées ont expliqué qu'elles refuseraient de la mettre en œuvre « en vain ». Le coût politique et l'atteinte à l'image d'une évacuation inutile sont en effet considérables. Les trois autres actions sélectionnées sont présentées dans le tableau 1. Pour celles-ci, la majorité des gestionnaires des catastrophes ont déclaré qu'ils-elles seraient disposé-e-s à agir en vain dans environ 50 % des cas. Dans la situation qui nous occupe, nous considérons qu'il s'agit du pourcentage qui est « tolérable » pour la mise en place du système de financement basé sur les prévisions pour ce train de mesures. Plus bas, nous présentons une estimation de la probabilité que les prévisions du GloFAS déclenchant une action constituent un système « intolérable » ou un système qui pousse les gestionnaires des catastrophes à agir « en vain » dans plus de 50 % des cas.

Pour chaque action, la Croix-Rouge ougandaise a spécifié le nombre de jours requis pour sa mise en œuvre, qui doit correspondre au délai de la prévision (Jongman, 2015). Ces délais reposent sur l'hypothèse qu'une série de démarches liées à l'approvisionnement et à la formation des volontaires soient organisées au début de la saison des inondations de manière à permettre une action précoce à la suite d'une prévision à court terme.

Les gestionnaires des catastrophes ont ensuite défini la « durée de vie de l'action », c'est-à-dire la période pendant laquelle l'action, une fois terminée, garantit une bonne préparation ou une bonne protection contre le phénomène extrême. Les évaluations classiques des prévisions d'inondation sont spécifiques à la période concernée par la prévision et vérifient si la crue s'est effectivement produite à la date prévue. Le cas échéant, les acteur-ric-e-s humanitaires considèrent qu'il s'agit d'un « hit », mais

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

contrairement aux prévisionnistes, ils-elles estiment toujours qu'il y a un « hit » si la crue survient 5 jours après la date prévue et que la durée de vie de l'action est de 30 jours. Dans ce cas de figure, l'action conserve toute son efficacité en matière de réduction des impacts, même si l'inondation se produit un peu plus tard que prévu.

Partant, la méthode présentée dans cet article évite de lancer une nouvelle action tant que la « durée de vie » de l'action en cours n'est pas arrivée à échéance. Si par exemple une première série de tranchées a été creusée, aucun nouveau creusement n'est prévu tant que les fossés ne sont pas déclarés inutilisables, ce qui peut prendre environ 90 jours. Bien que l'échéance de la « durée de vie » ne constitue pas une transition stricte entre ce qui est utile et inutile, elle permet tout de même de calculer approximativement la date à partir de laquelle la Croix-Rouge ougandaise peut décider de lancer une nouvelle action dans la région. Nous proposons cette contrainte tout au long de notre article : une action ne peut pas être déclenchée tant que la durée de vie de l'action précédente n'est pas terminée.

Les actions sélectionnées sont présentées dans le tableau 1 (remarque : il s'agit d'un sous-groupe dans l'ensemble des actions envisagées au départ).

2.3 Prévisions météorologiques

Cet article propose une méthode pour identifier une prévision susceptible de déclencher une ou plusieurs actions avant une inondation potentielle, en tenant compte de la contrainte d'agir en vain dans moins de 50 % des cas. Comme indiqué précédemment, il n'existe pas de système de prévision des crues disponible localement et il n'y a qu'une seule échelle fluviale dont le débit est enregistré dans la zone pilote. Malheureusement, du fait de la taille du bassin hydrographique en amont, les précipitations enregistrées dans un village spécifique ne constituent pas un indicateur utile du risque de crue dans ce village. Au vu de ces contraintes, nous avons décidé de vérifier si les prévisions concernant le débit d'un cours d'eau du Global Flood Awareness System (GloFAS) peuvent être utilisées pour déclencher des actions dans cette zone pauvre en données tout en respectant les priorités des parties prenantes. Une évaluation des prévisions hydrométéorologiques probabilistes a été effectuée à l'échelle mondiale et a démontré leurs faibles capacités (Alfieri et al., 2012 ; Li et al., 2008 ; Wu et al., 2014, etc.).

GloFAS est un système opérationnel planétaire pour la prévision d'ensemble des crues, fruit d'un partenariat entre le CEPMMT, le Centre commun de recherche de la Commission européenne et l'université de Reading (Alfieri et al., 2013). Il se trouve actuellement à une phase de développement préopérationnel, si bien que la calibration du modèle au moyen d'observations relatives au débit des cours d'eau (lorsqu'il y en a) s'effectue en mode recherche. La version du modèle utilisée ici n'est pas calibrée pour les bassins hydrographiques du nord-est de l'Ouganda. GloFAS est exécuté une fois par jour et produit des estimations probabilistes des débits pour la planète entière à une résolution de 0,1° (environ 11 km au niveau de l'Équateur). Pour notre part, nous utilisons les prévisions quotidiennes du GloFAS de 2009 à 2014 ainsi que les données de la seule échelle fluviale de l'Akokoro enregistrées de 2009 à 2013 ; ces deux séries coïncident sur 2014 jours. Les coordonnées approximatives de cette échelle sont les suivantes : 1,86° N, 33,85° E.

GloFAS est alimenté par le système de prévision d'ensemble du CEPMMT, qui compte 51 membres avec des délais de prévision de 0 à 45 jours. Les 15 premiers jours incluent les prévisions de précipitations, tandis que les suivants correspondent uniquement à des données sur le tracé des cours d'eau. Les prévisions probabilistes des crues sont accessibles gratuitement sur un site internet protégé par un mot de passe (<http://www.globalfloods.eu/>). GloFAS adopte une approche « climatologie du modèle » dans le but de prévoir des extrêmes ou des anomalies au niveau du débit par comparaison avec les résultats « climatologiques » passés du modèle (Hirpa et al., 2016). Cette approche résout les problèmes posés par la faible représentativité de la géométrie des canaux à l'échelle locale et par les biais dans le forçage des précipitations. Il n'en reste pas moins que l'une des principales difficultés consiste à transposer le modèle climatologique dans la réalité, en se concentrant sur les percentiles plutôt que sur les valeurs absolues des prévisions.

3 Méthodes

Pour définir une probabilité prévisionnelle servant à déclencher une action précoce dans le système ougandais de financement basé sur les prévisions, nous (1) estimons le débit d'une inondation et (2) identifions la probabilité prévisionnelle qui conditionnera l'utilité des actions de préparation (moins de 50 % de risque d'agir en vain).

3.1 Quel est le « niveau de danger » hydrométéorologique d'une inondation ?

Bien que la relation entre les niveaux d'eau et le risque d'inondation varie au fil du temps, en fonction de l'évolution de la vulnérabilité et de l'exposition, nous définissons ici un percentile de débit qui est qualitativement associé aux crues enregistrées ces dernières années, lors desquelles des pertes évitables ont été observées. Pour les signalements de crue, nous utilisons deux sources d'information : les rapports humanitaires et les reportages dans les médias.

Pour ce qui concerne les premiers, nous conjuguons les rapports de la base de données DesInventar (UNISDR, 2011) et un système interne d'enregistrement des catastrophes qui sont signalées à la Croix-Rouge ougandaise. Au terme d'un rapprochement entre ces deux sources de données, nous obtenons huit signalements de crue dans la région de Magoro de 2009 à la mi-2014 ; ces inondations se sont produites en 2010, 2011 et 2012.

Pour ce qui concerne les médias, nous avons analysé les archives de deux journaux nationaux ougandais, le Daily Monitor et le New Vision, au moyen de 40 mots clés en lien avec les inondations¹.

Tableau 1 Actions sélectionnées pour un système de financement basé sur les prévisions.

Voir Jongman et al. (2015) pour d'autres informations sur les actions et leurs coûts. Il y a lieu de noter que le délai de mise en œuvre d'une action doit être égal au délai de la prévision sélectionnée pour déclencher l'action.

Action	Temps requis pour finaliser l'action (délai de mise en œuvre)	Délai pendant lequel l'action finalisée bénéficiera à la communauté (durée de vie de l'action)
Stockage et purification de l'eau : distribuer des jerrycans, du savon et des pastilles de chlore pour 30 jours aux ménages vulnérables.	4 jours	30 jours
Écoulement des eaux : creuser des tranchées autour des maisons pour détourner l'eau.	4 jours	90 jours
Stockage de nourriture : emballer les aliments fragiles et les ranger dans des installations de stockage situées en hauteur.	7 jours	30 jours

Sur le site du Daily Monitor, nous avons téléchargé 2974 articles d'actualité publiés de 2004 à 2015. Sur le site du New Vision, nous avons téléchargé 752 articles d'actualité publiés de 2001 à 2015. La base de données de ce journal n'était malheureusement pas consultable en totalité, car ses archives permettent d'accéder aux seuls 200 premiers journaux d'une demande, sans possibilité d'effectuer une recherche avancée.

Dans cette base de données composée de 3726 articles, nous avons partitionné les phrases à l'aide d'un algorithme de partitionnement en k-moyennes (Hürriyetoglu, non publié ; Kaufman et Rousseeuw, 1990). Nous avons ensuite classé les ensembles de données en quatre catégories : 1. crue en cours ; 2. crue ou annonce de crue dans le passé ; 3. mélange ; 4. absence de lien. Au terme de cette classification, nous avons identifié 1721 articles contenant des informations pertinentes sur les crues (groupe 1 ou 2). Pour obtenir

¹ Mots clés utilisés (en anglais) : flood, floods, flooding, inundation, inundations, landslide, dam break, dam burst, dam bursting, dam breached, dam fail, dam failed, dam failing, dam failure, dam broken, dam collapse, dyke break, dyke burst, dyke bursting, dyke breached, dyke fail, dyke failed, dyke failing, dyke failure, dyke broken, dyke collapse, embankment break, embankment burst, embankment bursting, embankment breached, embankment fail, embankment failed, embankment failing, embankment failure, embankment broken, embankment collapse, submerged, overflowed, breach, water-logging.

des données géographiques, nous avons filtré les phrases afin de repérer tout terme « marqueur » couramment utilisé pour indiquer une localisation². Au sein de ce sous-ensemble, nous avons cherché des mentions de district et des noms de sous-comté. Nous avons trouvé 27 articles d'actualité contenant des phrases en lien avec une crue ET une référence géographique pour le district qui nous intéressait (Katakwi). Nous avons ensuite appliqué la même approche à tous les districts d'Ouganda et obtenu 1173 articles (précisons toutefois que dans ce dernier cas, nous n'avons pas utilisé exclusivement les phrases contenant des mots clés d'ordre géographique).

Nous avons validé manuellement les résultats de l'algorithme pour les districts qui nous intéressaient en lisant les articles. Pour 85 % des événements, nous avons constaté qu'une inondation était effectivement décrite dans le texte, ce qui implique que la crue avait été automatiquement détectée pour le mois, l'année et l'endroit correct. Inversement, cela signifie aussi qu'il y avait 15 % de faux positifs, c'est-à-dire que le texte évoquait un événement sans lien avec une inondation. L'exploration des données regroupées dans ces archives journalistiques a généré une liste des inondations passées, avec leurs dates, dans le district de Katakwi (<https://www.floodtags.com/historic-floodmap-uganda>). Notre série chronologique contient 13 signalements de crue dans ces journaux.

Même si ces bases de données mentionnent de nombreux événements, elles n'incluent pas toutes les catastrophes, sans compter que certains événements cités ont peut-être eu moins d'impact que d'autres. Cette sous-représentation a pour conséquence une surestimation du risque d'agir en vain, si bien que notre sélection de déclencheurs se révèle prudente. Par ailleurs, l'impact n'est pas parfaitement corrélé avec l'ampleur d'une inondation, sachant que la vulnérabilité peut varier avec le temps. Partant, nous nous contentons de tenter une comparaison qualitative du débit et des inondations signalées, ce qui ajoute une couche d'incertitude (non quantifiée) au calcul des fausses alertes dans le chapitre suivant.

En l'absence d'échelle fluviale sur l'Apapi, où se situent les sous-comtés de Magoro et de Ngariam, nous utilisons la médiane quotidienne de l'ensemble de prévisions GloFAS ayant un délai de 0 comme indicateur du débit réel et la comparons aux ensembles de données susmentionnés sur les catastrophes signalées dans ces deux régions. Nous avons sélectionné qualitativement un percentile seuil à partir duquel un débit atteint le niveau de « danger » ou d'« inondation » pour cette région, plutôt qu'une valeur absolue. Le percentile exact constitue une sélection subjective qui se rapproche du taux de base des inondations signalées, en incluant idéalement le nombre maximum de dépassements qui ont effectivement été suivis d'une crue enregistrée.

3.2 Quelle probabilité prévisionnelle doit déclencher une action ?

Nous utilisons ensuite ce percentile du « niveau de danger » comme indicateur du débit qui provoque une inondation pour calculer la probabilité de dépassement du niveau de danger qui doit déclencher une action. Pour ce calcul, nous avons recours à l'ensemble prévisionnel et le comparons au débit de l'échelle fluviale.

Le score de vérification d'une prévision qui présente un intérêt pour les acteur-riche-s humanitaires est le ratio de fausse alerte (RFA ou FAR, pour false alarm ratio) (Hogan and Mason, 2012 ; Lopez et al., non publié), qui correspond au nombre d'actions basées sur les prévisions qui n'ont pas été suivies d'une crue divisé par le nombre total d'actions déclenchées par le système. Il représente donc la proportion d'actions effectuées « en vain ». Dans ce contexte, nous tenons compte de la durée de vie de chaque action ; partant, toute action qui a été suivie d'une inondation pendant sa durée de vie est considérée comme un « hit », seules les actions non suivies d'une inondation à un moment ou à un

² They are affected NOT not, hit NOT not, situation AND bad, situation AND worse, situation AND worst, cut off, displaced, destroyed, submerged, collapsed

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

autre de leur durée de vie étant qualifiées de « vaines ». De même, une deuxième action n'est jamais déclenchée pendant la durée de vie d'une autre action.

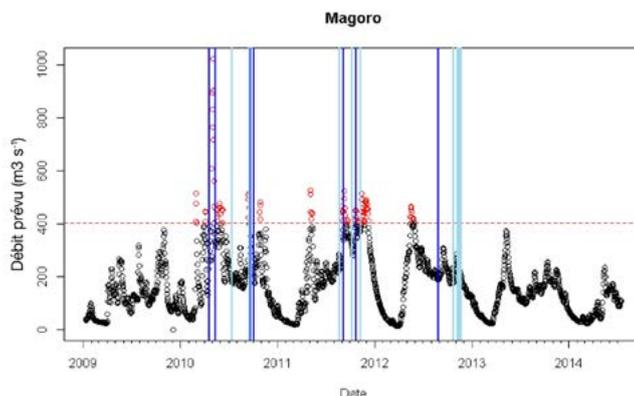
Pour estimer ce RFA, nous comparons la maille la plus proche de la prévision GloFAS avec l'échelle fluviale de l'Akokoro, dont les données journalières se chevauchent du 10 janvier 2009 au 31 décembre 2014. La corrélation de ces deux ensembles de données est de 0,52. Dans le contexte d'un système de financement basé sur les prévisions, la Croix-Rouge ou d'autres acteur-ric-e-s humanitaires entreprennent une action lorsque la prévision atteint ou dépasse une probabilité de crue égale au seuil de déclenchement. Le RFA se calcule donc de la manière suivante : (1) toute prévision égale ou supérieure à la probabilité de déclenchement est considérée comme une action ; (2) toute action suivie d'une crue au cours de sa durée de vie de 30 jours est assimilée à un « hit », à défaut, il s'agit d'une action menée « en vain ».

Notre premier objectif est d'estimer si une prévision indiquant un risque de crue de 50 % correspond effectivement à un risque de crue de 50 % dans la réalité. Nous traçons des diagrammes de fiabilité (Broecker, 2012) pour la prévision à 4 et à 7 jours à la hauteur de l'échelle fluviale, ainsi que pour les prévisions GloFAS sur les deux sites du projet sans échelle, et comparons les prévisions à 4 jours avec les prévisions à 0 jour afin d'obtenir une approximation du débit réel. Mais dans un échantillon de taille aussi réduite, l'incidence des prévisions annonçant des événements rares est faible, si bien que les intervalles de confiance de ces diagrammes de fiabilité sont très larges.

Compte tenu du très faible nombre d'années disponibles pour calculer les performances des prévisions relatives à des événements extrêmes, nous ne pouvons pas avoir la certitude que l'estimation du RFA dans l'échantillon est bel et bien représentative de la valeur réelle. Par exemple, si l'estimation de notre échantillon indique un RFA de 30 %, il est toujours possible que la valeur réelle dépasse en fait 50 %. Ce qui signifie en réalité que le niveau déclencheur choisi pour notre système de financement basé sur les prévisions pousserait la Croix-Rouge ougandaise à agir « en vain » dans plus de 50 % des cas, ce qui n'a pas été jugé « tolérable ». Pour estimer le risque de mettre sur pied un système « intolérable », nous calculons des intervalles de confiance autour du RFA au moyen d'un rééchantillonnage bootstrap. Pour prendre en considération l'autocorrélation des séries chronologiques du débit, nous utilisons un bootstrap par bloc fixe de 60 jours afin de générer 10 000 échantillons par un rééchantillonnage avec remplacement des séries chronologiques ($n = 2014$) des paires prévision-observation. Nous calculons le RFA de chaque échantillon en tenant compte d'une probabilité prévisionnelle de déclenchement et générons une distribution de tous les RFA des échantillons. La démarche est répétée pour chacune de ces probabilités et nous expliquons les résultats pour trois facteurs déclencheurs : les probabilités prévisionnelles de 30, 50 et 70 %. Sur la base de ces résultats, nous estimons la probabilité qu'une action entreprise au dépassement de l'une de ces probabilités prévisionnelles s'accompagne d'un RFA supérieur à 50 %, ce qui ne remplit pas les exigences des décisionnaires concernant les actions menées « en vain ».

Figure 2

Débits prévus (cercles) dans le sous-comté de Magoro (Ouganda), représentés par la médiane de l'ensemble de prévisions GloFAS à 0 jour. Les dates des catastrophes qui se sont produites dans les régions traversées par l'Apapi et figurent dans les bases de données de la Croix-Rouge ougandaise et de DesInventar sont indiquées par des lignes verticales bleu foncé. Les crues qui se sont produites dans le district de Katakwi et qui ont été mentionnées dans les journaux sont indiquées par des lignes verticales bleu clair. Les marques de graduation sur l'axe x correspondent aux mois de l'année. La ligne pointillée rouge indique le 95^e percentile de débit estimé, les dates des débits supérieurs à ce seuil sont figurées en rouge.



4 Résultats

4.1 Quel est le niveau de danger hydrométéorologique d'une inondation ?

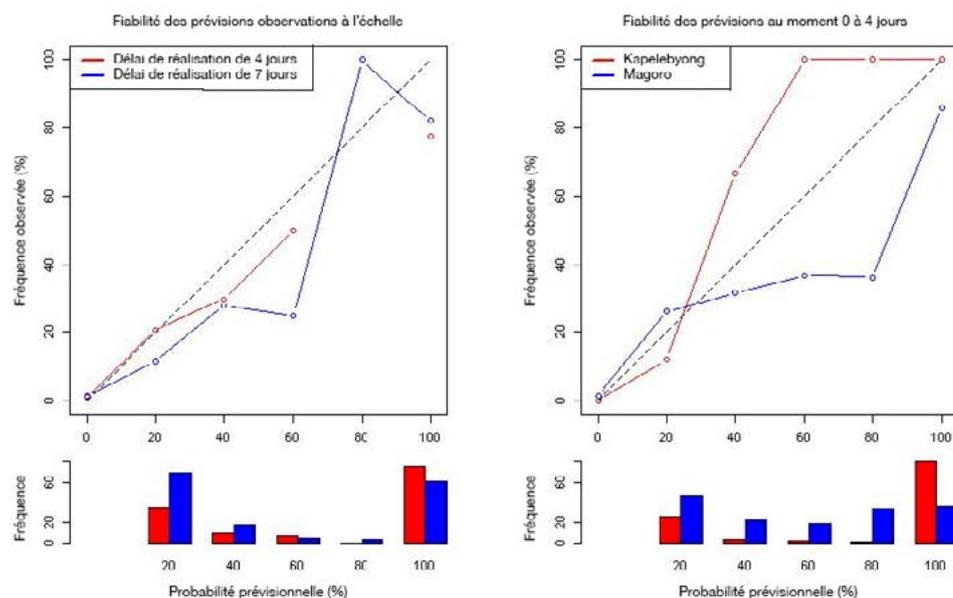
Pour estimer le percentile du débit qui est associé à une inondation dans la région couverte par le projet, nous représentons graphiquement les niveaux d'eau médians historiques qui ont été prévus par le modèle GloFAS avec un délai de 0. Dans ce contexte, nous nous focalisons sur l'Apapi, où se trouvent deux districts concernés par le projet et où plusieurs catastrophes ont été enregistrées. Ngariam se situe juste en amont de Magoro, si bien que nous avons représenté le débit simulé à Magoro et les inondations signalées dans ces deux sous-comtés (Figure 2). Nous avons ensuite effectué une comparaison avec les inondations passées (lignes bleu foncé) et les articles de journaux du district (lignes bleu clair) et avons sélectionné qualitativement le 95e percentile (ligne rouge horizontale) comme indicateur de catastrophe.

Au cours des 6 années 2009 à 2014, ce niveau de danger a été dépassé en 2010, 2011 et 2012 (Figure 2). En avril 2010, des rapports établissent que 12 écoles secondaires et 7000 personnes ont été touchées par une inondation dans cette zone, laquelle a entraîné des pertes de récoltes dues à l'engorgement du sol en mai 2010. Des crues ont encore été signalées en septembre et en octobre de la même année, ravageant plusieurs routes régionales. La situation correspond bien au débit simulé pour ces années.

En 2011, le débit simulé correspond de nouveau à une inondation documentée qui a touché aussi bien des personnes que des infrastructures dans la région. En 2012, des signalements d'engorgement du sol sont parvenus à la Croix-Rouge ougandaise en août, soit bien après le débit maximal modélisé, tandis que les articles de journaux sont concentrés en octobre et en novembre. Il se peut que le débit maximal ait coïncidé avec les données du modèle mais qu'il n'ait pas été enregistré ou l'ait été ultérieurement. Notre seuil n'a pas été franchi en 2013 ni en 2014, ce qui cadre avec le fait qu'aucune inondation n'a été signalée ces deux années.

Figure 3

Diagramme de fiabilité pour le site de l'échelle fluviale (à gauche) et les deux sites du projet (à droite). Il indique le nombre de crues pour chaque catégorie de probabilité prévisionnelle. Concernant le site de l'échelle, nous comparons les prévisions du GloFAS pour l'Akokoro à 4 et à 7 jours au débit de l'échelle (à gauche). Concernant les deux sites du projet, nous comparons les prévisions du GloFAS à 4 jours aux prévisions à 0 jour. Les prévisions à 7 jours ne figurent pas dans le diagramme de droite, car leurs résultats sont très proches de ceux des prévisions à 4 jours. Les fréquences de probabilités prévisionnelles de 0 % sont de respectivement 1688, 1655, 1702 et 1658 pour l'échelle à 4 jours, l'échelle à 7 jours, Kapelebyong et Magoro. Elles ne sont pas représentées dans le graphique, car elles dépasseraient l'échelle. Enfin, les intervalles de confiance de 95 % s'étendent pratiquement de 0 à 1 en raison de l'incertitude de l'échantillonnage et ne sont donc pas représentés.



Nous commençons à voir que d'autres années (sans catastrophe) sont comptabilisées dans les « inondations » si nous faisons passer le niveau de danger en dessous de 93 %, tandis que si nous la plaçons au-dessus du percentile de 99 %, très peu d'années dépassent le seuil. Nous déduisons donc des maigres données disponibles qu'un débit supérieur au percentile de 95 % indique potentiellement des conditions d'inondation sur le site

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

concerné et dans l'analyse qui suit, tout événement situé au-dessus de ce percentile est qualifié de « crue ». Dans le sous-comté de Kapelebyong, l'autre site du projet dans cette région, les seules catastrophes enregistrées remontent aux inondations dévastatrices de 2007, qui ne sont pas disponibles dans les réprévisions du GloFAS. Partant, nous supposons également que ce percentile s'applique à Kapelebyong, car les infrastructures et la vulnérabilité sont semblables dans les deux zones.

4.2 Quelle probabilité prévisionnelle doit déclencher une action ?

Nous tenons compte des prévisions à 4 et à 7 jours dans le but d'identifier un déclencheur qui correspond à un RFA de 0,5 ou moins. Si la probabilité prévisionnelle de dépassement du niveau de danger est de 50 %, la fréquence observée de dépassement du seuil de crue doit être de 50 % dans le cas d'une prévision fiable.

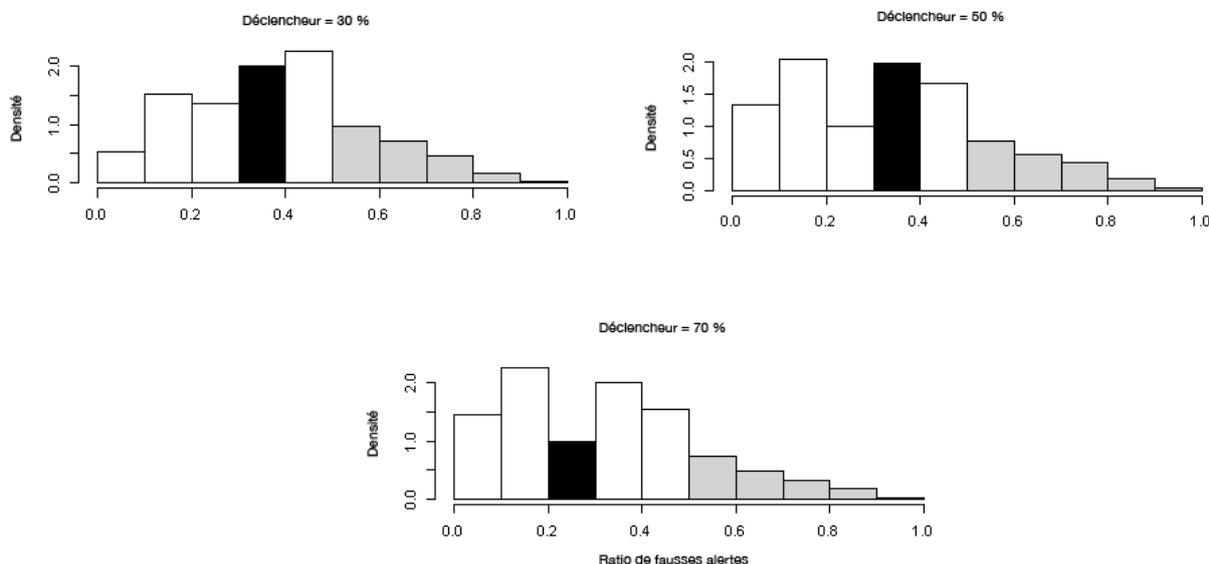
La figure 3 représente la fiabilité des prévisions aux deux délais lorsqu'elle est comparée au débit de l'échelle sur l'Akokoro. Sur les sites du projet qui ne sont pas équipés d'une échelle, nous avons également analysé la capacité du GloFAS à établir lui-même les prévisions 4 jours à l'avance (Figure 3, diagramme de fiabilité de droite). Dans les deux cas, nous n'avons pas pu établir la fiabilité avec certitude, compte tenu de la faible taille de l'échantillon.

Si nous fixons le déclencheur sur la base de ces données limitées, quelle est la probabilité que nous mettions en place un système « intolérable » pour la Croix-Rouge ougandaise et incitions ainsi les gestionnaires des catastrophes à agir « en vain » dans plus de 50 % des cas ? La figure 4 présente le RFA déduit de 10 000 rééchantillonnages sous la forme d'une fonction de distribution de probabilités. Celle-ci part du principe qu'une action est déclenchée quand la probabilité d'une prévision de crue atteint ou dépasse 30, 50 ou 70 % et que la durée de vie de l'action est de 30 jours.

Les résultats du bootstrap indiquent une probabilité élevée de système « tolérable », en particulier pour les facteurs prévisionnels les plus élevés. Seuls 24, 19 et 18 % de tous les échantillons bootstrappés ont produit un système « intolérable » (barres grises) pour un seuil de respectivement 30, 50 et 70 %. Ce résultat est valide pour un échantillon portant sur 2014 jours. Il représente la probabilité que le système ne remplisse pas les spécifications requises et pousse les acteur-ric-e-s humanitaires à agir « en vain » dans plus de 50 % des cas sur le long terme. Si l'augmentation du facteur prévisionnel réduit ce risque, l'effet n'est pas significatif compte tenu de la faible quantité de données disponibles.

Figure 4

Histogramme représentant les calculs du ratio de fausses alertes à partir d'un rééchantillonnage bootstrappé en bloc d'une série chronologique de 2014 jours de paires prévision-observation. L'axe vertical représente la densité de probabilité. Chaque échantillon est calculé pour des délais à 4 jours et pour des facteurs prévisionnels de différentes valeurs. La barre noire contient la valeur du RFA des séries chronologiques d'origine, tandis que les barres grises dépassent un RFA de 0,5. Tous les calculs du RFA se basent sur une durée de vie de 30 jours pour l'action.



5 Discussion

Les calculs et estimations utilisés dans le présent article se fondent sur des méthodes établies pour la vérification des prévisions, elles associent des informations relatives aux actions et à la capacité prévisionnelle pour permettre l'utilisation des prévisions par la communauté humanitaire. Sans l'intégration des informations relatives à l'action, il est peu probable que cette communauté soit disposée ou capable de planifier des actions de préparation au moyen des mesures de vérification des prévisions apparemment arbitraires qui existent à l'heure actuelle.

Comme expliqué dans le présent article, la prévision des impacts comporte deux volets majeurs : les prévisionnistes et les gestionnaires des catastrophes (1) sélectionnent le niveau de danger adéquat pour un risque qui provoque des pertes évitables et (2) calculent le RFA pour des probabilités de déclenchement spécifiques en fonction de leur volonté d'« agir en vain ».

Ces deux volets peuvent être appliqués tels quels à la plupart des autres catastrophes naturelles prévisibles. Tout d'abord, il y a de nombreux moyens de définir le « niveau de danger » des crues sur le plan tant spatial que temporel ; Stephens et al. (2015) proposent plusieurs définitions du terme « floodiness » (probabilité d'inondation) qui pourraient correspondre aux niveaux de danger de diverses situations susceptibles de se produire sur des cours d'eau. Des « niveaux de danger » des précipitations sont disponibles pour les risques de crue fluviale, mais aussi pour les crues éclair (Bacchini et Zannoni, 2003 ; Yang et al., 2015). Au-delà des inondations (tous exemples confondus), les vagues de chaleur constituent un autre exemple de risque pour lequel il existe de nombreuses études épidémiologiques permettant d'identifier les températures qui sont associées à une hausse de la morbidité et de la mortalité (Hajat et al., 2010 ; Knowlton et al., 2014b ; OMM et OMS, 2015). Il en va de même pour la hauteur des marées de tempête, les indices de sécheresse, la vitesse des vents, etc. (Muir Wood et al., 2005 ; Ross et al., 2009).

Même si les méthodes destinées à définir le « niveau de danger » pour chaque type de risque peuvent différer, un grand nombre d'entre elles se fondent sur les signalements de catastrophes passées (Bacchini et Zannoni, 2003 ; Loughnan et al., 2010). La méthode basée sur l'exploration des données des archives journalistiques appliquée ici est un procédé échelonné qui permet d'identifier la date approximative des impacts. Elle pourrait être optimisée par une amélioration de la base de données de géocodage (correction des erreurs dans la base de données OpenStreetMap pour l'Ouganda), par une amélioration des méthodes de regroupement (isolement des incidents dus aux inondations, dont les routes bloquées, et optimisation du géocodage) et par un accès, à un plus grand nombre de journaux (élargissement des archives du New Vision disponibles à la consultation). D'autres recherches qualitatives dans les articles de journaux consacrés aux crues dans la région concernée peuvent également contribuer à la sélection des types d'actions basées sur les prévisions qui conviennent le mieux dans cette région.

Le deuxième volet de la prévision des impacts consiste à calculer le RAF au niveau de danger spécifié. Au lieu d'utiliser des indicateurs statiques pour la vérification des prévisions, il y a lieu de calculer le RAF pour toute prévision de risque conformément à ces paramètres spécifiques au contexte, notamment la durée de vie de l'action. L'Organisation météorologique mondiale a publié des directives relatives à la prévision des impacts, celles-ci donnent des informations sur la sélection des seuils de danger qui peuvent ensuite faire l'objet de prévisions pour les destinataires cibles (OMM, 2015). Ces directives ne traitent pas des probabilités au moyen d'une terminologie déterministe comme « des vents sont attendus ». Elles ne fournissent pas d'informations sur la marche à suivre pour sélectionner des probabilités de déclenchement d'une action spécifique et pourraient donc être complétées par les techniques décrites ici.

Une estimation de la volonté d'« agir en vain » se révèle indispensable pour la sélection des facteurs déclencheurs en fonction des résultats du RAF. Par ailleurs, les bailleurs de fonds devront analyser les conséquences du risque d'un système « intolérable » qui déclenche de trop nombreuses fausses alertes pour leur portefeuille. Dans l'exemple de

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

L'Ouganda, les gestionnaires des catastrophes ont estimé qu'ils seraient disposés à agir « en vain » dans 50 % des cas. Il faut cependant noter que lorsque des personnes doivent exprimer des probabilités, ce choix de 50 % correspond souvent à l'expression d'une incertitude à propos de la réponse (Fischhoff et Bruine de Bruin, 1999 ; Tetlock et Gardner, 2015). Si la contrainte des 50 % émise par les parties prenantes locales a été respectée dans cette étude, d'autres recherches en science de la décision sont susceptibles d'améliorer la façon dont cette réponse est obtenue. De telles recherches menées en collaboration avec des prévisionnistes, des utilisateurs et des comportementalistes pourraient permettre d'identifier les biais que les décideurs humanitaires doivent activement éviter.

Des incertitudes non quantifiables se retrouvent à presque toutes les étapes de cette analyse. Du côté des prévisions, ces incertitudes peuvent être réduites en utilisant des séries chronologiques de reprévision plus longues à chaque mise à jour du modèle et en installant des appareils destinés à enregistrer des données pour le calibrage à l'échelon local. Du côté des actions, les incertitudes sont probablement plus importantes et beaucoup plus difficiles à quantifier. Les vies et vulnérabilités des personnes vivant dans les villages cibles sont en constante évolution, tout comme les capacités et les priorités du secteur humanitaire. Réduire ces incertitudes s'avère compliqué, mais des mises à jour en continu des niveaux de danger et des facteurs déclencheurs de même que des simulations regroupant tous les acteurs concernés permettent de confirmer la validité des valeurs et hypothèses critiques.

6 Conclusion

Le financement basé sur les prévisions a pour but d'associer des prévisions à des actions avant la survenue de catastrophes. Dans cette recherche appliquée, nous avons présenté le développement d'un système de ce type dans un contexte vulnérable, caractérisé par l'absence de prévisions locales calibrées pour étayer la prise de décisions. Après avoir analysé l'application d'un financement basé sur les prévisions dans une région pauvre en données de l'Ouganda, nous avons proposé une méthode de prévision des impacts pour répondre à deux questions critiques en vue de permettre une action précoce en fonction des alertes aux inondations.

1. Compte tenu de la faible quantité des données d'observation et des prévisions, comment fixer le *seuil de danger* d'une crue aux conséquences dommageables ?
2. Dans la mesure où les données d'observation sont rares et restreignent la capacité d'évaluation des prévisions, comment optimiser la probabilité prévisionnelle qui déclenche une action précoce en vue d'éviter des niveaux de fausses alertes intolérables ?

Nous avons utilisé cette méthode de prévision des impacts pour montrer qu'en matière d'inondations, des produits mondiaux peuvent d'ores et déjà déclencher des actions efficaces, même sur les sites pauvres en données. Si l'on part du principe qu'une valeur extrême spécifique dans une prévision de débit constitue un indicateur valable pour un « niveau de danger » dans une zone où les données sont rares, le modèle GloFAS peut être utilisé pour déclencher une action humanitaire au moment opportun avant un événement extrême. Il y a donc une action précoce qui se justifie sur la base du ratio de fausses alertes des prévisions GloFAS dans cette région, tandis que la probabilité de déclencher des fausses alertes à un niveau inacceptable s'élève à moins de 25 % dans cette même région. Cette compétence du modèle s'explique notamment par le fait que les actions entreprises par les humanitaires ont de longues « durées de vie », faisant ainsi preuve de flexibilité lorsque la prévision est précoce et la crue tardive.

La capacité d'un système mondial de prévision des crues à étayer des décisions est encourageante, même si ce système ne remplace pas des données observationnelles de

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

meilleure qualité ni la mise au point de modèles calibrés à l'échelle des bassins concernés. Si cette méthode est en mesure de prévoir correctement de nombreux cas de débit extrême, elle peut déclencher uniquement des actions qui, dans la pratique, sont conçues pour résister à un grand nombre de fausses alertes. En effet, des ensembles de données observationnelles de meilleure qualité et des modèles à l'échelle d'un bassin pourraient nous permettre d'estimer la courbe catastrophe-dommages dans une localité spécifique, en modélisant le niveau précis du débit qui provoque des crues ainsi que leur impact dans des zones spécifiques. Ce type de modélisation pourrait par ailleurs rendre possible la sélection d'actions de préparation plus précises et plus ciblées, notamment des actions propres aux « petites » inondations qui ne seraient pas utiles face à une inondation majeure (par exemple, le stockage de l'eau, sans objet au cas où une évacuation s'imposerait par la suite). De même, des actions basées sur les prévisions pourraient être élaborées pour différents « types » de crues : inondation de longue durée, débit de crue ponctuel, etc. (Stephens et al., 2015). Les contraintes liées aux données sont fréquemment citées en réponse à la question de savoir ce qui freine la mise en place d'actions basées sur les prévisions dans les zones rurales du monde entier ; des ensembles de données qui couvrent des durées plus longues permettront en effet de calculer avec plus de précision les seuils de crue et d'ajouter d'autres facteurs qui déclenchent une action.

Les modèles utilisés dans les systèmes de prévision en temps réel évoluent en permanence et la version expérimentale du modèle GloFAS qui a servi pour cette étude a déjà été actualisée à plusieurs reprises. Ces changements dynamiques ajoutent encore une part d'incertitude à la mise en œuvre. À chaque nouvelle version du modèle, il faut recalibrer les niveaux de danger et les facteurs déclencheurs au moyen de reprévisions supplémentaires en vue d'évaluer la hausse ou la baisse du niveau de danger et du RAF sur un site spécifique du projet de financement basé sur les prévisions. Dans l'idée d'éviter en partie la lourde contrainte de ces reprévisions incessantes, les prévisionnistes qui développent un produit opérationnel peuvent envisager des corrections des prévisions afin de garantir que la climatologie du modèle n'évolue pas avec ses mises à jour. Cette démarche veillera à ce que le niveau de danger reste constant même si le RAF change.

Attention cependant à ce que « le mieux ne soit pas l'ennemi du bien ». Une action humanitaire efficace peut être déclenchée avant une potentielle inondation sur la base de données locales et mondiales disponibles en quantités relativement limitées. Les acteur-ric-e-s humanitaires ont pour mission de s'occuper des personnes vulnérables ; dans la mise en place de mesures de préparation, ils-elles ne peuvent donc pas attendre plusieurs années que des données soient collectées en nombre suffisant pour établir des modèles prédictifs « conventionnels », a fortiori lorsque des modèles mondiaux sont à même de signaler des conditions potentiellement extrêmes dans un avenir prévisible. De plus, le financement basé sur les prévisions qui découle de cette méthode d'analyse a effectivement déclenché pour la première fois en novembre 2015 une action en Ouganda, laquelle a consisté en une distribution de tablettes de purification, de savon, de pelles et de sacs de stockage à la population à risque. Une évaluation du système dans son entier, dont l'efficacité et l'opportunité de ces actions, est en cours.

Cette méthode simple peut facilement intégrer des améliorations au fil du temps, par un ajustement de paramètres comme les niveaux de danger ou les seuils de probabilité, au fur et à mesure que l'expérience poussera les parties prenantes à vouloir redéfinir les paramètres sur la base de calculs objectifs ou de préférences subjectives valides. En outre, cette approche peut être étendue à d'autres sites et même à des mécanismes régionaux ou nationaux qui déclenchent systématiquement une action précoce en vue de contrer les risques que les inondations font subir aux personnes vulnérables aux quatre coins de la planète. Cette nouveauté que représente un financement basé sur les prévisions peut plus particulièrement favoriser la collaboration entre les acteur-ric-e-s du développement et de l'aide humanitaire et les inciter à réfléchir ensemble à des actions pertinentes basées sur les prévisions, ce qui peut encourager et protéger les efforts de développement de longue haleine.

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016|

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

Sur le long terme, il sera possible de réduire le délai requis par les mesures de préparation et de multiplier les actions susceptibles d'être entreprises dans la fenêtre de temps qui sépare la prévision de la catastrophe potentielle. Les innovations de ce type sont innombrables : des véhicules aériens sans pilote à la livraison rapide de matériel médical dans les zones rurales (Bambrury, 2015) en passant par les technologies de la blockchain et des contrats intelligents permettant des transferts instantanés d'argent programmable (Currion, 2015 ; Forte et al., 2015).

L'opérationnalisation de systèmes de financement basé sur les prévisions est à portée de main. Il faut tout d'abord un financement plus flexible de l'humanitaire afin de permettre et de favoriser une action précoce malgré le risque d'agir en vain ; ce point est actuellement étudié par différents bailleurs d'aide humanitaire et d'aide au développement. La mise en œuvre de ce type de financement requiert de renforcer l'intérêt d'une action précoce et de rendre possible un processus d'apprentissage itératif en vue d'établir des liens plus efficaces entre une alerte précoce et une action précoce. Pour ce faire, d'autres investissements devront être consentis au niveau de l'interface entre les organisations scientifiques et humanitaires. Les acteur-ric-e-s humanitaires doivent identifier les actions destinées à réduire les risques et les actions de préparation qui peuvent être prises avant une crue potentielle et évaluer leur volonté d'agir « en vain » pour chacune. De même, les spécialistes en sciences naturelles (prévisionnistes, modélisateur-ric-e-s hydrauliques, etc.) doivent intensifier leur engagement auprès des acteur-ric-e-s humanitaires et autres parties prenantes qui peuvent les aider à appliquer un savoir et des compétences d'ordre scientifique au bénéfice de la société. Un resserrement de la collaboration entre ces groupes et la communauté internationale du développement garantira la pertinence et la réussite des actions basées sur les prévisions. Une expertise en science de la décision est également requise pour faire avancer la conception de processus susceptibles d'encourager les parties prenantes à s'impliquer pour comprendre et définir des seuils. La poursuite de la collaboration entre les chercheur-se-s et les hommes et femmes de terrain en vue de développer des systèmes de ce type libérera le potentiel nécessaire pour réduire drastiquement les conséquences de catastrophes récurrentes dans le monde entier.

Remerciements

Les auteure-s du présent article souhaitent exprimer leur gratitude aux bailleurs de fonds qui ont rendu possibles les pilotes d'un financement basé sur les prévisions. Le projet pilote dans le nord-est de l'Ouganda est financé par le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ). L'office des Affaires étrangères allemand a en outre mis en place un plan d'action pour l'adaptation humanitaire au changement climatique (Rüth, 2015) et a investi dans le financement basé sur les prévisions dans plusieurs autres pays d'Afrique et ailleurs.

Nous souhaitons également remercier de nombreuses personnes qui ont contribué à cette approche, notamment Leo Mwebembezi du Département d'hydrologie de l'Ouganda, l'ensemble de l'équipe de déploiement de la Croix-Rouge ougandaise, l'équipe GloFAS et les participants de la plateforme mondiale de dialogue sur les financements basés sur les prévisions organisée deux fois par an à Genève par la FICR. L'investissement d'Elisabeth Stephens a été financé par la bourse Leverhulme Early Career ECF-2013-492.

Publié sous la direction de : Giuliano Di Baldassarre

Révisé par : M. Begovic et un lecteur spécialisé anonyme

Références

- Alfieri, L., Salamon, P., Pappenberger, F., Wetterhall, F., and Thielen, J.: Operational early warning systems for water-related hazards in Europe, *Environ. Sci. Policy*, 21, 35–49, doi:10.1016/j.envsci.2012.01.008, 2012.
- Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J., and Pappenberger, F.: GloFAS – global ensemble stream-flow forecasting and flood early warning, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1161–1175, doi:10.5194/hess-17-1161-2013, 2013.
- Bacchini, M. and Zannoni, A.: Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3, 71–79, doi:10.5194/nhess-3-71-2003, 2003.
- Bamburly, D.: Drones: Designed for Product Delivery, *Des. Manag. Rev.*, 26, 40–48, doi:10.1111/drev.10313, 2015.
- Bozkurt, M. and Duran, S.: Effects of natural disaster trends: a case study for expanding the pre-positioning network of CARE International, *Int. J. Environ. Res. Health*, 9, 2863–2874, doi:10.3390/ijerph9082863, 2012.
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., and Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J.: A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty, *O. R. Spectr.*, 35, 905–933, doi:10.1007/s00291-011-0268-x, 2011.
- Broecker, J.: *Probability forecasts*, edited by: Jolliffe, I. T. and Stephenson, D. B., John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, doi:10.1002/9781119960003.ch7, 119–139, 2012.
- Brown, M. E., Funk, C. C., Galu, G., and Choularton, R.: Earlier Famine Warning Possible Using Remote Sensing and Models, *Eos, Trans. Am. Geophys. Union*, 88, 381–396, 2007.
- Coughlan de Perez, E., van den Hurk, B., van Aalst, M. K., Jongman, B., Klöse, T., and Suarez, P.: Forecast-based financing: an approach for catalyzing humanitarian action based on extreme weather and climate forecasts, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 895–904, doi:10.5194/nhess-15-895-2015, 2015.
- Currión, P.: *Leveraging blockchain tech to improve financial mechanisms in the aid sector*, available at: <http://www.start-network.org/news/>, 2015.
- Dale, M., Wicks, J., Mylne, K., Pappenberger, F., Laeger, S., and Taylor, S.: Probabilistic flood forecasting and decision-making: an innovative risk-based approach, *Nat. Hazards*, 70, 159–172, doi:10.1007/s11069-012-0483-z, 2012.
- Ebi, K. L., Teisberg, T. J., Kalkstein, L. S., Robinson, L., and Weiher, R. F.: Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995–98, *B. Am. Meteor. Soc.*, 85, 1067–1073, doi:10.1175/BAMS-85-8-1067, 2004.
- Fischhoff, B. and Bruin de Bruin, W.: Fifty-Fifty 50 %?, *J. Behav. Decis. Mak.*, 12, 149–163, 1999.
- Forté, P., Romano, D., and Schmid, G.: *Beyond Bitcoin – Part I?: A critical look at blockchain-based systems*, 1–34, <https://eprint.iacr.org/2015/1164.pdf> (last access: 31 August 2016), 2015.
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jougla, E., and Hémon, D.: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave, *Int. J. Epidemiol.*, 37, 309–317, doi:10.1093/ije/dym253, 2008.
- Galindo, G. and Batta, R.: Socio-Economic Planning Sciences Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies, *Socioecon. Plan. Sci.*, 1–18, 2012.
- Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J., and Pappenberger, F.: *Global Flood Awareness System River Discharge*, <http://www.globalfloods.eu/>, 2016.
- Hajat, S., Sheridan, S. C., Allen, M. J., Pascal, M., Laaidi, K., Yagouti, A., Bickis, U., Tobias, A., Bourque, D., Armstrong, B. G., and Kosatsky, T.: Heat-health warning systems: a comparison of the predictive capacity of different approaches to identifying dangerously hot days., *Am. J. Public Health*, 100, 1137–1144, doi:10.2105/AJPH.2009.169748, 2010.
- Harriman, L.: Cyclone Phailin in India: Early warning and timely actions saved lives, *Environ. Dev.*, 9, 93–100, doi:10.1016/j.envdev.2013.12.001, 2014.
- Hewitt, C., Mason, S., and Walland, D.: The Global Framework for Climate Services, *Nat. Clim. Chang.*, 2, 831–832, doi:10.1038/nclimate1745, 2012.
- Hirpa, F. A., Salamon, P., Alfieri, L., Thielen-del Pozo, J., Zsoter, E., and Pappenberger, F.: The Effect of Reference Climatology on Global Flood Forecasting, *J. Hydrometeorol.*, 1131–1145, doi:10.1175/JHM-D-15-0044.1, 2016.
- Historic Flood Events Uganda Floodtags: <https://www.floodtags.com/historic-floodmap-uganda/>, 2016.
- Hogan, R. J. and Mason, I. B.: 3 Deterministic forecasts of binary events, edited by: Jolliffe, I. T. and Stephenson, D. B., available at: <https://eprint.iacr.org/2015/1164.pdf> (last access: 31 August 2016), 2012.
- Houghton-Carr, H. and Fry, M.: The decline of hydrological data collection for development of integrated water resource management tools in Southern Africa, *Clim. Var. Chang.*, 308 p. 51, 2006.
- Hürriyetoglu, A.: [A Tool]: Finding and Labeling Relevant Information in Tweet Collections, unpublished.
- IFRC: *World Disasters Report 2009: Focus on early warning, early action*, available at: <http://www.ifrc.org/Global/WDR2009-full.pdf> (last access: 31 August 2016) 2009.
- IPCC: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, edited by: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., and Dahe, Q., Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- Jongman, B., Coughlan de Perez, E., Nguyen, T.-B., and Mawanda, S.: *Towards forecast-based humanitarian action for floods in Uganda*, VU University Amsterdam, 137–158, 2015.
- Kaufman, L. and Rousseeuw, P. J.: *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, NJ, 1990.
- Knowlton, K., Kulkarni, S. P., Azhar, G. S., Mavalankar, D., Jaiswal, A., Connolly, M., Nori-Sarma, A., Rajiva, A., Dutta, P., Deol, B., Sanchez, L., Khosla, R., Webster, P. J., Toma, V. E., Sheffield, P., and Hess, J. J.: Development and implementation of South Asia's first heat-health action plan in Ahmedabad (Gujarat, India), *Int. J. Environ. Res. Health*, 11, 3473–3492, doi:10.3390/ijerph110403473, 2014a.
- Knowlton, K., Kulkarni, S. P., Azhar, G. S., Mavalankar, D., Jaiswal, A., Connolly, M., Nori-Sarma, A., Rajiva, A., Dutta, P., Deol, B., Sanchez, L., Khosla, R., Webster, P. J., Toma, V. E., Sheffield, P., and Hess, J. J.: Development and implementation of South Asia's first heat-health action plan in Ahmedabad (Gujarat, India), *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11, 3473–3492, doi:10.3390/ijerph110403473, 2014b.
- Krzysztofowicz, R.: The case for probabilistic forecasting in hydrology, *J. Hydrol.*, 249, 2–9, doi:10.1016/S0022-1694(01)00420-6, 2001.
- Li, L., Hong, Y., Wang, J., Adler, R. F., Policelli, F. S., Habib, S., Irwin, D., Korme, T., and Okello, L.: Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa, *Nat. Hazards*, 50, 109–123, doi:10.1007/s11069-008-9324-5, 2008.
- Lodree, E. J.: Pre-storm emergency supplies inventory planning, *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, 1, 50–77, doi:10.1108/20426741111122411, 2011.
- Lopez, A., Coughlan de Perez, E., Suarez, P., van den Hurk, B., and van Aalst, M.: Bridging forecast verification and humanitarian decisions: a valuation approach for setting up action-oriented early warning systems, *Weather Clim. Extrem.*, unpublished.
- Loughnan, M. E., Nicholls, N., and Tapper, N. J.: When the heat is on: Threshold temperatures for AMI admissions to hospital in Melbourne Australia, *Appl. Geogr.*, 30, 63–69, doi:10.1016/j.apgeog.2009.08.003, 2010.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., and Thielen, A.:

La prévision des impacts comme levier de l'action humanitaire

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** |

Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action | 5 September 2016 |

<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/3549/2016/>

- Review article "Assessment of economic flood damage", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1697–1724, doi:10.5194/nhess-10-1697-2010, 2010.
- Michel-Kerjan, E., Hochrainer-Stigler, S., Kunreuther, H., Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R., Muir-Wood, R., Ranger, N., Vaziri, P., and Young, M.: Catastrophe risk models for evaluating disaster risk reduction investments in developing countries, *Risk Anal.*, 33, 984–999, doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01928.x, 2013.
- Muir Wood, R., Drayton, M., Berger, A., Burgess, P., and Wright, T.: Catastrophe loss modelling of storm-surge flood risk in east-ern England, *Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci.*, 363, 1407– 1422, doi:10.1098/rsta.2005.1575, 2005.
- OSSO and LA RED: *Disaster Inventory System: Methodological Guide, Version 8.1.9.*, available at: <http://www.desinventar.net/methodology.html> (last access: 31 August 2016), 2009.
- Red Cross Red Crescent Climate Centre: "Humanitarian history" made as Uganda Red Cross launches forecast-based financing for real, available at: <http://www.climatecentre.org/news/657/> (last access: 31 August 2016), 2015.
- Rogers, D. P. and Tsirkunov, V. V.: *Weather and Climate Resilience: Effective Preparedness through National Meteorological and Hydrological Services*, Washington, DC, 2013.
- Ross, K. W., Brown, M. E., Verdin, J. P., and Underwood, L. W.: Re- view of FEWS NET biophysical monitoring requirements, *Environ. Res. Lett.*, 4, 024009, doi:10.1088/1748-9326/4/2/024009, 2009.
- Rüth, A.: *Framework: Action Plan of the Federal Foreign Office for Humanitarian Adaptation to Climate Change*, Berlin, Germany, available at: http://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/WCDRR_2015/GRC_2015_FFO_Action_Plan_CCA_engl.pdf, 2015.
- Stephens, E., Day, J. J., Pappenberger, F., and Cloke, H.: Precipitation and Floodiness, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10316–10323, doi:10.1002/2015GL066779, 2015.
- Tetlock, P. and Gardner, D.: *Superforecasting: The art and science of prediction*, Random House, New York, p. 144, 2015.
- Ward, P. J., Jongman, B., Weiland, F. S., Bouwman, A., Beek, R. Van, Bierkens, M. F. P., Ligtvoet, W., Winsemius, H. C., van Beek, R., Bierkens, M. F. P., Ligtvoet, W., and Winsemius, H. C.: Assessing flood risk at the global scale: model setup, results, and sensitivity, *Environ. Res. Lett.*, 8, 044019, doi:10.1088/1748-9326/8/4/044019, 2013.
- Webster, P. J.: Improve weather forecasts for the developing world, *Nature*, 493, 17–19, doi:10.1038/493017a, 2013.
- WMO: *WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services*, 2015.
- WMO and WHO: *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*, edited by: McGregor, G. R., Bessemoulin, P., Ebi, K., and Menne, B., WMO, Geneva, 2015.
- Wu, H., Adler, R. F., Tian, Y., Huffman, G. J., Li, H., and Wang, J.-J.: Real-time Global Flood Estimation using Satellite-based Precipitation and a Coupled Land Surface and Routing Model, *Water Resour. Res.*, 50, 2693–2717, doi:10.1002/2013WR014710, 2014.
- Yang, T.-H., Yang, S.-C., Ho, J.-Y., Lin, G.-F., Hwang, G.-D., and Lee, C.-S.: Flash flood warnings using the ensemble precipitation forecasting technique: A case study on forecasting floods in Taiwan caused by typhoons, *J. Hydrol.*, 520, 367–378, doi:10.1016/j.jhydrol.2014.11.028, 2015.
- UNISDR, UNDP, LARED, OSSO, Robot Search, Apache Software Foundation: *Desinventar Disaster Information System*, available at: <http://www.desinventar.net/> (last access: 31 August 2016), 2011.