
Hydrology and Earth System Sciences

Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnnières pour se préparer aux inondations ?

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)



Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* |

11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

Reçu :

24 janvier 2017

Début des discussions :

10 février 2017

Révisé :

14 juillet 2017

Accepté :

20 juillet 2017

Publié :

11 septembre 2017

Hydrology and Earth System Sciences

Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

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

Hydrol. Earth Syst. Sci.,
21, 4517–4524, 2017
<https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

© © Author(s) 2017. Ce travail est distribué sous licence de Creative Commons Attribution 3.0.

Erin Coughlan de Perez^{1,3,4}, Elisabeth Stephens², Konstantinos Bischiniotis³, Maarten van Aalst^{1,4}, Bart van den Hurk⁵, Simon Mason⁴, Hannah Nissan⁴, and Florian Pappenberger⁶

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

² École d'archéologie, de géographie et de sciences de l'environnement, Université de Reading, Reading, RG6 6AH, Royaume-Uni

³ Institut des études de l'environnement, Université VU d'Amsterdam, 1081, Pays-Bas

⁴ Institut international de recherche sur le climat et la société, Université Columbia, New York, 10964, États-Unis

⁵ Institut royal néerlandais de météorologie (KNMI), De Bilt, 3731 GA, Pays-Bas

⁶ Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, Reading, RG2 9AX, Royaume-Uni

Correspondence : Erin Coughlan de Perez (coughlan.erin@gmail.com)



Résumé

Compte tenu de la forte incitation des gestionnaires de catastrophes à utiliser les services climatiques pour la préparation aux inondations, nous nous demandons si les prévisions de précipitations saisonnières ne devraient pas être utilisées comme indicateurs du risque d'inondation. Nous étudions ici les principaux indicateurs d'inondations à l'échelle saisonnière dans toute l'Afrique subsaharienne. Compte tenu de la rareté des observations hydrologiques, nous avons introduit, dans le Système mondial de surveillance des crues et des inondations, une nouvelle analyse des données de précipitations, corrigées du biais, afin d'identifier les indicateurs saisonniers d'inondations. Les résultats montrent que dans certaines régions d'Afrique de l'ouest, d'Afrique centrale et d'Afrique de l'est au climat typiquement humide, même une prévision parfaite en termes de terciles des précipitations totales saisonnières ne donnerait que peu ou pas d'indications sur la probabilité saisonnière d'inondations. Le nombre d'événements extrêmes au cours d'une saison montre les corrélations les plus élevées avec la constance des inondations d'une région à l'autre. Par ailleurs, les résultats varient selon les régimes climatiques : les inondations dans les régions arides d'Afrique australe et orientale montrent les corrélations les plus fortes avec l'humidité saisonnière moyenne du sol et les précipitations saisonnières totales. Les inondations dans les zones climatiques plus humides d'Afrique de l'ouest et centrale et de Madagascar montrent la relation la plus forte avec les mesures de l'intensité des précipitations saisonnières. Les mesures des régimes pluviométriques, telles que la durée des périodes de sécheresse, sont moins liées aux inondations saisonnières sur l'ensemble du continent. En définitive, l'identification des facteurs d'inondation saisonnière peut servir à améliorer l'information prévisionnelle pour la préparation aux inondations et pour éviter d'induire les décideurs en erreur.

1 Introduction

Les organisations humanitaires ont consacré beaucoup d'attention et de ressources à l'adoption et à l'utilisation des services climatologiques pour éclairer leur travail dans la gestion des risques de catastrophe. Par exemple, les gestionnaires de catastrophes participent régulièrement à des forums régionaux sur les perspectives climatiques et à des partenariats de services climatologiques (Hewitt et al., 2012 ; ICPAC, 2016 ; Mwangi et al., 2014). Alors que de nombreux systèmes d'alerte précoce se concentrent sur les alertes hydrologiques d'inondation à court terme, ces initiatives des services climatiques privilégient l'utilisation de prévisions de précipitations saisonnières totales. L'utilisation de telles prévisions a donné des résultats mitigés lorsqu'il s'agit de se préparer à un risque d'inondation accru en Afrique, comme le pré-positionnement de produits d'urgence en cas d'inondation (Braman et al., 2013) et l'évacuation des personnes vulnérables (Anon, 2016). Dans cet article, nous posons la question de savoir si les prévisions de précipitations saisonnières ont été surévaluées quant à leur utilité dans la préparation aux inondations.

Afin de clarifier la question de savoir si les prévisions de précipitations saisonnières totales indiquent effectivement un risque accru d'inondation, nous identifions les indicateurs dominants des inondations saisonnières dans différentes localités d'Afrique subsaharienne. Dans de nombreux endroits, il est probable que les précipitations totales ne soient pas le principal facteur et que d'autres descripteurs saisonniers donneraient une meilleure indication du risque et du danger d'inondation. Le cumul des précipitations n'est pas le principal processus générateur d'inondations dans la plupart des bassins hydrographiques des États-Unis (Berghuijs et al., 2016) et les précipitations totales mensuelles ne se sont pas révélées être un bon indicateur des crues des rivières régionales ou du pourcentage de rivières régionales présentant des niveaux extrêmes d'inondations (Stephens et al., 2015). Nous discutons plus en détail du risque d'inondation dans la section 2.2.

Dans le contexte de l'Afrique subsaharienne, nous quantifions la relation entre les précipitations totales saisonnières et le risque d'inondation et nous étudions s'il n'existe pas d'autres variables ayant une relation plus forte avec le risque d'inondation au niveau saisonnier. Dans chaque bassin hydrographique, la taille du bassin versant et le régime climatique affecteront l'influence du tracé hydraulique, de la dynamique du sol et des régimes de précipitations. Nous identifions donc les variables hydro-météorologiques les plus liées au risque d'inondation saisonnière dans chaque endroit. Nous étudions l'association entre le pourcentage saisonnier du risque d'inondation et les précipitations totales saisonnières, ainsi que la relation avec 14 autres variables et leurs combinaisons.

2 Méthodes

Compte tenu de la rareté des données hydrologiques disponibles pour de nombreuses régions d'Afrique, nous proposons une méthodologie alternative à celle utilisée par Berghuijs et al. (2016) pour évaluer les indicateurs d'intensité et de fréquence des inondations dans une région. Les estimations des précipitations provenant d'ERA-Interim Land (Balsamo et al., 2015) sont utilisées pour renforcer le Système mondial de surveillance des crues et des inondations (Global Flood Awareness System), un modèle hydrologique mondial (Alfieri et al., 2013). Nous calculons les corrélations d'anomalies entre les précipitations et les inondations prévues, définies comme la proportion de cellules fluviales ayant un débit extrême dans une région au cours d'une période donnée (Stephens et al., 2015). Nous répétons cette analyse avec les 14 variables alternatives et développons un modèle linéaire généralisé (mlg) pour identifier les combinaisons de variables qui ont fourni la meilleure indication du risque d'inondation dans chaque région.

Notre méthodologie repose sur la nouvelle analyse de la climatologie des précipitations et se concentre sur le modèle hydrologique pour estimer les conséquences de ces précipitations sur les débits fluviaux. Cette approche n'est pas limitée par un réseau

d'observation fragmentaire, et les résultats peuvent être comparés d'une région à l'autre pour éclairer les politiques régionales. Tandis que les données pluviométriques ont été corrigées par des observations, nous encourageons la reproduction de cette méthodologie en utilisant des observations locales des précipitations pour une étude plus détaillée des indicateurs locaux de risque d'inondation.

2.1 Précipitations

Pour calculer les indices de précipitations, nous utilisons les estimations des précipitations quotidiennes de 1980 à 2010, obtenues par une nouvelle analyse en quadrillage. Les estimations des précipitations sont calculées sur 24 heures à partir de la nouvelle analyse ERA-Interim Land, ajustée à partir des données ERA-Interim calibrées à l'aide du GPCP v2.1 (Balsamo et al., 2015). En raison de réseaux d'observation fragmentés, les incertitudes dans les ensembles de données sur les précipitations en Afrique sont importantes (Sylla et al., 2013) et il a été démontré que cette correction de biais améliore la performance des simulations du débit des rivières de ERA-Interim Land en Afrique (Balsamo et al., 2015). Les estimations de l'humidité du sol sont également basées sur l'ensemble de données ERA-Interim Land.

Le domaine d'étude que nous avons choisi est l'Afrique subsaharienne, 16° N-35° S, 17° O-52° E. Comme les inondations se produisent principalement pendant la saison des pluies, nous avons utilisé un masquage en éliminant toutes les saisons de trois mois ayant une moyenne de moins de 15 % des précipitations annuelles totales et aussi moins de 50 cm de précipitations pendant cette saison (Mason et al., 1999). Pour calculer les précipitations saisonnières totales, nous additionnons les estimations des précipitations quotidiennes pour chaque saison de trois mois se chevauchant (JFM, FMA, etc.) sur un quadrillage de 2,5°, car c'est la résolution de nombreux produits de prévisions saisonnières des Centres mondiaux producteurs de prévisions à longue échéance (Barnston et al., 2003 ; OMM, 2017).

2.2 Inondations

Nous utilisons les données de précipitations quotidiennes d'ERA-Interim Land pour élaborer un modèle hydrologique permettant d'estimer le débit des rivières. Le système utilisé ici est le Global Flood Awareness System (GloFAS), qui comprend un modèle de surface terrestre HTESSEL pour générer le ruissellement de surface et souterrain, et le modèle LISFLOOD pour compléter le tracé et l'écoulement des eaux souterraines à une résolution de 0,1° pour toute la surface terrestre mondiale (Alfieri et al., 2013). Dans cette étude, nous nous concentrons uniquement sur les crues des cours d'eau. Par conséquent, nous ne considérons que les points de quadrillage GloFAS des cours d'eau qui ont une superficie supérieure à 1000 km² en amont du bassin. Ces données sont agrégées à une résolution de 2,5° pour correspondre à l'échelle des précipitations.

Il y a plusieurs façons de définir si un endroit a subi une « inondation », ce qui est la variable intéressant le gestionnaire des catastrophes naturelles. Ici, nous définissons l'inondation en fonction de la période de retour du débit, de sorte que les crues extrêmes se produisent à peu près à la même fréquence dans l'ensemble de la zone étudiée. Nous nous intéressons aux événements se produisant 1 fois sur 5 ans et 1 fois sur 50 ans. Ces périodes de récurrence sont définies en ajustant une répartition des valeurs extrêmes de Gumbel aux débits quotidiens (Alfieri et al., 2013).

Pour comprendre l'ampleur de l'inondation dans un quadrillage de 2,5°, nous calculons le « risque d'inondation » tel que défini par Stephens et al. (2015). Le pourcentage de risque d'inondation est le pourcentage de marqueur de rivière qui ont au moins 1 jour d'inondation au-dessus de la période de récurrence, et la durée du risque d'inondation est le nombre de marqueur de jours avec des inondations pendant cette saison. Nos résultats étaient très semblables en ce qui concerne le pourcentage et la durée de la crue ; par conséquent, la durée de la crue n'est pas indiquée ici.

2.3 Variables prévisionnelles

Bien que les précipitations totales saisonnières aient démontré une certaine prévisibilité dans cette partie du monde (Barnston et al., 2010b ; Weisheimer et Palmer, 2014), d'autres variables pourraient être prédites au niveau saisonnier : fréquence d'événements extrêmes au cours d'une saison, régimes pluviométriques sous-saisonniers, humidité du sol et intensité des précipitations. Nous recherchons ici si des variables de chacune de ces catégories pourraient servir de meilleur indicateur du risque d'inondation en Afrique subsaharienne. En plus des précipitations totales saisonnières, nous avons calculé 14 variables de prévision à l'échelle saisonnière. Elles sont définies comme suit :

Événements extrêmes au cours d'une saison

- 1 jour au-dessus du 95^e : nombre de jours de la saison pendant lesquels les précipitations quotidiennes sont supérieures au 95^e percentile des précipitations quotidiennes de toute la série chronologique.
- 1 jour au-dessus du 99^e : nombre de jours de la saison pendant lesquels les précipitations quotidiennes sont supérieures au 99^e percentile des précipitations quotidiennes de toute la série chronologique.
- 3 jours au-dessus du 75^e : nombre d'événements de 3 jours de la saison durant lesquels les précipitations sur 3 jours sont plus élevées que le 75^e percentile des précipitations sur 3 jours de la série chronologique complète.
- 3 jours au-dessus du 99^e : nombre d'événements de 3 jours de la saison durant lesquels les précipitations sur 3 jours sont plus élevées que le 99^e percentile des précipitations sur 3 jours de la série chronologique complète.
- 5 jours au-dessus du 99^e : nombre d'événements de 5 jours de la saison durant lesquels les précipitations sur 5 jours sont plus élevées que le 99^e percentile des précipitations sur 5 jours de la série chronologique complète.

Régime des précipitations au cours d'une saison

- Jours de pluie : taux saisonnier du nombre de jours durant lesquels les précipitations journalières sont supérieures à 1 mm (Sillmann et al., 2013).
- Longueur moyenne de période pluvieuse : durée moyenne de toutes les périodes pluvieuses de la saison, où une période pluvieuse est définie comme le nombre de jours consécutifs durant lesquels les précipitations sont supérieures à 1 mm.
- Longueur médiane de période de sécheresse : durée médiane de toutes les périodes de sécheresse de la saison, où une période de sécheresse est définie comme le nombre de jours consécutifs durant lesquels les précipitations sont inférieures à 1 mm.
- Auto-corrélation de périodes de sécheresse : le coefficient de Spearman des durées successives des périodes sèches est de 1 (Schleiss et Smith, 2016).
- Auto-corrélation de 3 jours : le coefficient de Spearman des quantités de précipitations quotidiennes est de 3.

Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* | 11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

Taux d'humidité du sol et intensité

- Humidité du sol : humidité volumique de couche 1 du sol : couche supérieure du sol de 0-7 cm. Moyenne de l'humidité du sol quotidienne pour la saison en kg m^{-3} .
- Intensité : total des précipitations saisonnières divisé par le nombre de jours de pluie (voir définition ci-dessus).
- Contribution des extrêmes : total des précipitations journalières atteignant le 95^e percentile ou plus, divisé par le total des précipitations saisonnières (Alexander et al., 2013).

Sporadicité à 15 jours : sporadicité, définie par Schleiss et Smith (2016) : $\frac{\sigma - \mu}{\mu + \mu}$, où μ est le laps de temps moyen entre une quantité spécifique de précipitations (durée inter-précipitations), fixé à 15 jours, et σ est la déviation standard des durées entre les précipitations.

2.4 Comparaison

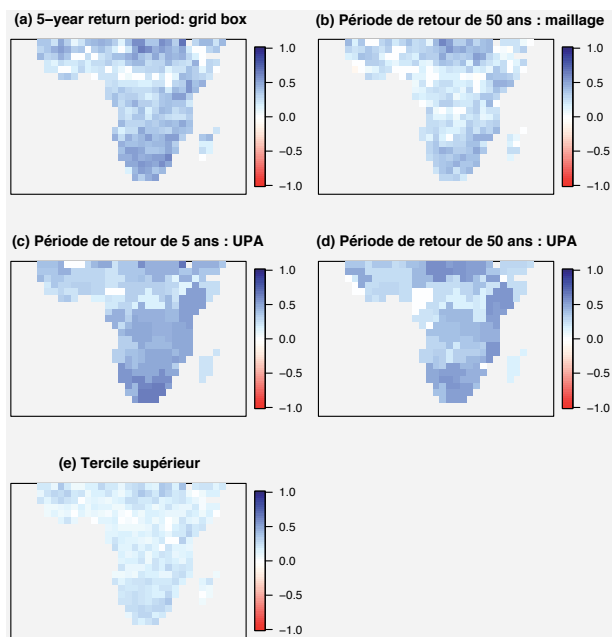
Nous examinons si des valeurs anormalement élevées de ces variables corrélerent avec des risques d'inondation plus importants. En utilisant des anomalies saisonnières pour chaque variable, nous calculons le coefficient de corrélation de rang de Spearman entre les anomalies de précipitations et les risques d'inondation à chaque point de grille, puisque les données ne sont pas distribuées normalement. Afin d'évaluer notre degré de confiance dans ces résultats, nous effectuons un « auto-amorçage » des séries temporelles afin de générer 1000 répliques en utilisant une technique d'auto-amorçage par blocs de cinq saisons. Si moins de 5 % des corrélations de rang de ces répliques par auto-amorçage ont un signe opposé au résultat initial, nous faisons confiance en notre résultat. Seuls les résultats avec ce degré de confiance sont représentés dans les schémas.

L'hydrologie du bassin peut également conduire à une relation complexe entre précipitations et inondations. Nous examinons donc la corrélation entre les précipitations et les inondations au niveau du bassin. Nous faisons la moyenne de la variable des précipitations et de la variable des inondations à travers les unités de production alimentaire (UPA) (Cai et Rosegrant, 2002), qui sont définies par une combinaison de bassins hydrologiques et de régions géopolitiques et sont donc appropriées à la prise de décision. Nous appliquons un masquage pour une UPA entière si plus de la moitié des points de la grille dans l'UPA se trouvent dans une saison sèche. Avec ces résultats agrégés, nous appliquons ensuite les mêmes méthodes de corrélation que pour les points de la grille ci-dessus.

Enfin, nous faisons correspondre un modèle linéaire généralisé (mlg) avec trois des variables de prévision issues de différentes catégories et montrant des améliorations en corrélation relative au total des précipitations saisonnières. En ce qui concerne la variable dépendante, nous utilisons un jeu de données binaire indiquant la survenance ou non d'inondations au-dessus de la période de retour de 50 ans. Le modèle utilise une distribution binomiale avec un lien logit et une validation croisée 10 fois afin de correspondre au mlg. Nous sélectionnons le modèle le plus parcimonieux selon une marge d'erreur de type 1 du modèle, avec l'erreur type minimale, en utilisant les mesures de mlg pour R (Friedman et al., 2010).

Figure 1

Anomalie des corrélations de rang entre le total des intempéries et le pourcentage des inondations (Stephens et al., 2015) aux périodes de retour de 5 ans (a) et de 50 ans (b). Anomalie des corrélations de rang entre le total des précipitations saisonnières pour une unité de production alimentaire (UPA) maillée de 2,5° et les inondations pour cette UPA aux périodes de retour de 5 ans (c) et de 50 ans (d). Les corrélations ne sont montrées ici que si plus de 95 % des répliques « auto-amorcées » s'accordent sur le signe du résultat. L'augmentation de la probabilité d'inondations au-dessus de la période de retour de 5 ans est subordonnée au total des précipitations saisonnières dans le tercile supérieur (e), exprimé comme la différence de probabilité par rapport à la climatologie.



3 Résultats et discussion

Les anomalies de la quantité globale des précipitations saisonnières de 3 mois montrent une corrélation importante avec les inondations dans plusieurs régions (Fig. 1). La relation est plus faible en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale et elle diminue également à mesure que la sévérité des inondations augmente.

Lorsque les précipitations et inondations sont agrégées par l'UPA et ensuite corrélées, les corrélations s'améliorent dans presque tous les lieux, suggérant que les prévisions de la quantité globale de précipitations saisonnières pour l'UPA (Fig. 1c et d) pourraient être plus efficaces que les prévisions avec quadrillage (Fig. 1a et b) pour prédire les risques d'inondation. Différentes agrégations de prévisions régionales pourraient également être explorées afin de déterminer si cela peut être optimisé davantage.

Bien que les corrélations soient importantes dans beaucoup de régions, une variation considérable dans les inondations demeure inexplicée par cette variable. Pour démontrer cela, nous calculons la probabilité d'inondations (inondations supérieures à 0) subordonnée aux pluies saisonnières se trouvant dans le tercile supérieur de la distribution, ce qui est au centre d'un grand nombre de prévisions saisonnières.

Finalement, même si une prévision de précipitations dans le tercile supérieur était fournie avec un degré de certitude de 100 %, cela ne représenterait qu'une faible augmentation dans la probabilité des inondations par rapport à la climatologie (Fig. 1e).

Dans les figures 2-4 nous présentons les résultats de trois différentes séries de variables prédictives éventuelles. Dans la figure 2 nous représentons l'anomalie des corrélations de rang avec les inondations pour cinq différentes mesures de précipitations extrêmes durant une saison. Aucune de ces variables de précipitations n'est un meilleur indicateur d'inondations dans tous les lieux (Fig. 2, deuxième rang) ; toutefois, le nombre d'événements pluvieux au-dessus du 99^e percentile (événements de 1, 3 et 5 jours) ont tendance à surpasser le total des précipitations saisonnières dans les zones d'Afrique Centrale et de l'Ouest (où la quantité globale des pluies saisonnières avait les plus faibles corrélations ; voir Fig. 1).

Nous avons ensuite analysé cinq différentes mesures de régimes de pluie dans une saison, notamment la durée

des périodes de sécheresse et des périodes pluvieuses. Hormis dans les lieux isolés, ces mesures n'ont pas de corrélations plus fortes avec les inondations que les précipitations saisonnières totales (Fig. 3).

La dernière série des variables que nous avons explorées inclut l'humidité du sol et plusieurs mesures de l'intensité des précipitations saisonnières. La figure 4a montre que dans la plupart des régions, le total des précipitations saisonnières est plus fortement corrélé avec les inondations qu'avec l'humidité du sol. En comparaison, l'intensité des pluies saisonnières montre une corrélation légèrement supérieure avec les inondations à travers le continent (Fig. 4b), définie comme le total des précipitations divisé par le nombre de jours de pluie. De même, le pourcentage des précipitations saisonnières ayant lieu durant les jours du 95^e percentile, appelé ici la « contribution des extrêmes », montre des corrélations plus élevées dans les régions d'Afrique Centrale et de l'Ouest (Fig. 4c). Ces deux variables montrent qu'il y a moins de variation à travers les régions climatiques de Köppen par rapport à la quantité globale des précipitations (Fig. 1). Une sporadicité (Schleiss et Smith, 2016) de laps de temps de 15 jours entre les quantités (Fig. 4d) ne montre pas de meilleures corrélations avec les inondations que ce que montre la quantité globale des pluies saisonnières.

Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* | 11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

Il est possible qu'une combinaison de ces variables puisse surpasser ces variables prises isolément, nous testons donc également la combinaison de trois différents types de variables possédant chacune une forte corrélation avec les inondations : (1) 3 jours au-dessus du 99^e, (2) humidité du sol et (3) contribution des extrêmes. Afin de tester si une combinaison de ces variables permet de mieux prévoir des inondations avec une période de retour de 50 ans, nous plaçons un modèle de régression logistique pour chaque point de grille utilisant ces trois variables. Comme ces variables sont corrélées entre elles dans plusieurs régions, nous choisissons le modèle linéaire généralisé (mlg) correspondant au moins de variables qui se trouve encore dans une erreur de type 1 du modèle ajusté optimal.

Les résultats du mlg confirment dans l'ensemble les profils spatiaux reflétés dans les figures de corrélation ci-dessus et indiquent qu'une combinaison de ces variables pourrait être un indicateur utile des inondations dans de nombreuses régions. La figure 5 montre que le nombre d'événements de 3 jours au-dessus du 99^e était un contributeur important lorsqu'il était ajouté comme indicateur, de façon indépendante ou en conjonction avec une autre variable, dans la majeure partie de l'Afrique subsaharienne. L'humidité du sol est incluse comme indicateur supplémentaire principalement dans l'Afrique australe, tandis que la contribution des extrêmes était principalement incluse en Afrique centrale. Une combinaison des trois variables était recommandée en Afrique de l'Est et dans certaines parties de l'Afrique australe, alors qu'aucun de ces indicateurs n'a été sélectionné en tant que contributeur important pour la plupart de l'Afrique de l'Ouest et centrale.

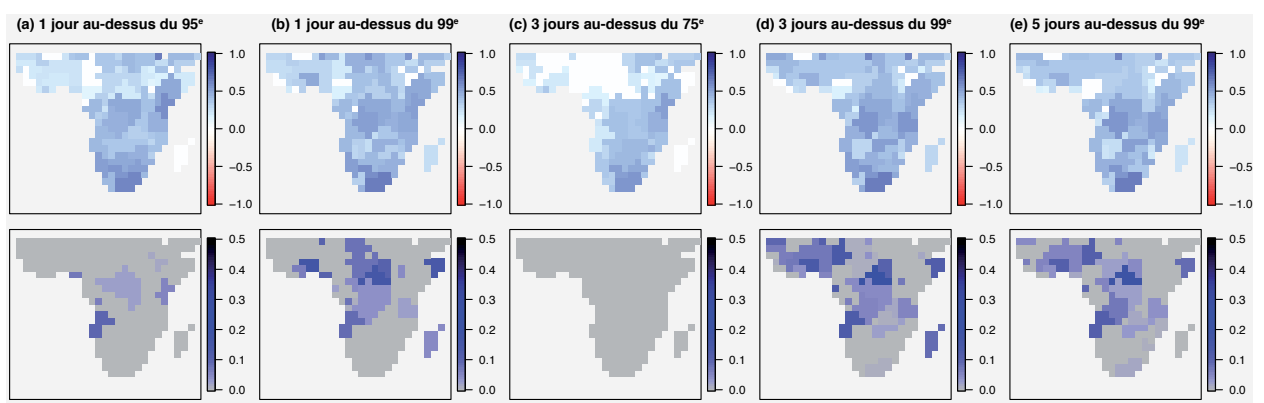
4 Conclusions

Figure 2

Corrélation du nombre d'événements extrêmes durant une saison et des inondations pour les UPA en Afrique. La ligne supérieure montre les corrélations de rang d'anomalie entre chaque variable et le pourcentage d'inondations à la période de retour de 5 ans au niveau de l'UPA. La ligne du bas représente l'amélioration par rapport au total des précipitations saisonnières - les zones en bleu indiquent une corrélation d'anomalie supérieure pour cette variable par rapport au total d'anomalies pluviométriques saisonnières. Les zones dans lesquelles les précipitations saisonnières totales ont une corrélation supérieure ou égale sont en gris. Notez que les résultats ne sont tracés que pour les emplacements où plus de 95 % des répliques de bootstrap s'accordent sur le signe du changement.

Dans l'analyse ci-dessus, nous avons démontré que les indicateurs d'inondations différaient largement à travers le continent africain, en utilisant une méthodologie pouvant être reproduite pour d'autres régions où les données sont rares afin d'évaluer les indicateurs clés des inondations. Des améliorations, au niveau de la climatologie des nouvelles analyses de précipitations et au niveau de la qualité des modèles hydrologiques mondiaux, pourraient améliorer davantage la compréhension de la prévisibilité de ces processus et nous encourageons la reproduction de cette méthodologie accompagnée d'observations afin de décrire davantage et de valider les processus générateurs d'inondations dans des lieux spécifiques.

Il est clair que les précipitations saisonnières totales ne constituent pas un indicateur raisonnable des inondations dans la plupart des pays d'Afrique occidentale, d'Afrique centrale et de Madagascar. De grandes parties de ces régions entrent dans la classification « équatoriale » de Köppen, qui inclut les savanes tropicales. Les inondations dans ces régions ont démontré une relation plus forte avec les mesures de l'intensité des précipitations pendant une saison que dans le reste du continent. Dans ces régions, la communauté des services climatologiques devrait reconsidérer son association entre les précipitations saisonnières totales, le risque d'inondation et les mesures de préparation aux inondations (Braman et al., 2013). Lors de l'utilisation des prévisions dans un contexte



Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* | 11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

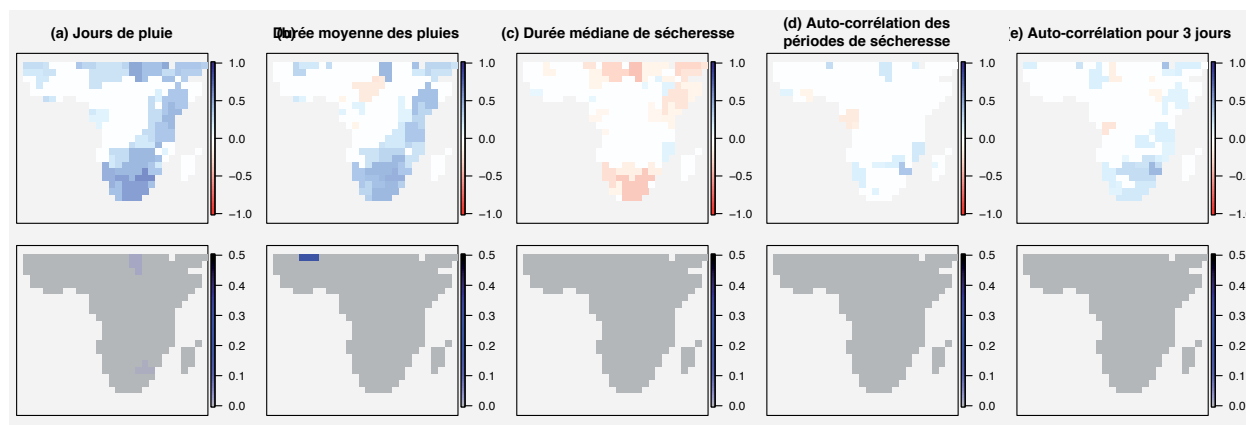
Figure 3

Identique à la fig. 2 pour les variables suivantes : **(a)** Jours de pluie : nombre de jours avec plus de 1 mm de pluie. **(b)** Durée moyenne de pluie : nombre moyen de jours successifs de pluie supérieure à 1 mm. **(c)** Durée moyenne de sécheresse : nombre moyen de jours successifs de sécheresse. **(d)** Auto-Corrélation des périodes sèches : le coefficient de rang de Spearman des longueurs successives des périodes sèches est de 1. **(e)** Auto-Corrélation pour une durée de 3 jours : le coefficient de rang de Spearman des quantités de précipitations quotidiennes est de 3.

opérationnel, l'aptitude de prévision imparfaite du proxy pluie lui-même réduit encore l'utilité de cette information pour la préparation aux inondations.

D'autre part, une grande partie de l'Afrique de l'Ouest, de l'Afrique australe et du Sahel présentent des tendances similaires dans les principaux indicateurs d'inondation. Le total des pluies saisonnières obtient l'une des plus grandes corrélations dans ces régions, de même que le nombre d'événements extrêmes qui se sont produits durant cette saison. Dans chacune de ces régions, il y a de grands espaces « arides ». Ces découvertes sont conformes aux études faites dans d'autres zones arides. Berghuijs et al. (2016) ont découvert que les événements de pluies journalières et de plusieurs jours étaient les principales causes d'inondations dans les bassins hydrauliques des régions arides des États-Unis, des résultats similaires se voient sur la fig. 2d.

Pour maximiser l'utilité dans ces régions, les prévisionnistes pourraient envisager des solutions de formatage simples, qui remplaceraient les prévisions de tercile par des prévisions des pourcentages supérieurs de la distribution, en offrant une meilleure

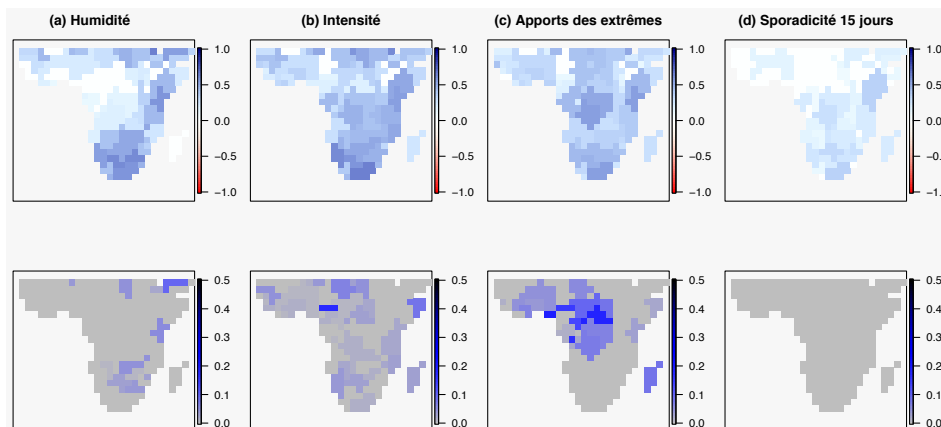


indication de l'inondation (Grieser, 2014) et organiser les prévisions pour les bassins fluviaux ou les unités de planification stratégique. Ces dernières pourraient également donner de meilleures qualités prévisionnelles que les précipitations elles-mêmes et encourager la préparation aux catastrophes à l'échelle régionale.

Les chercheurs qui élaborent de nouveaux produits de prévision devraient examiner plusieurs des variables prédictives discutées ici. Les prévisions de la fréquence des pluies extrêmes fourniraient probablement une meilleure indication du risque d'inondation que les prévisions saisonnières de précipitations totales, pour une grande partie de l'Afrique subsaharienne. Des études ont montré la prévisibilité potentielle de cette variable à plusieurs endroits (Anderson et al., 2015 ; Higgins et al., 2000 ; Verbist et al., 2010). Les prévisions saisonnières de l'humidité des sols pourraient fournir une indication utile du

Figure 4

Identique à la fig. 2 mais pour les variables suivantes : **(a)** Humidité du sol : humidité moyenne saisonnière de la couche arable. **(b)** Intensité : précipitations totales divisées par le nombre de jours de pluie. **(c)** Contribution des extrêmes : précipitations totales divisées par la quantité de pluie pour les jours du 95^e percentile. **(d)** Sporadicité 15 jours : mesure de l'intermittence (Schleiss et Smith, 2016).



Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* |

11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

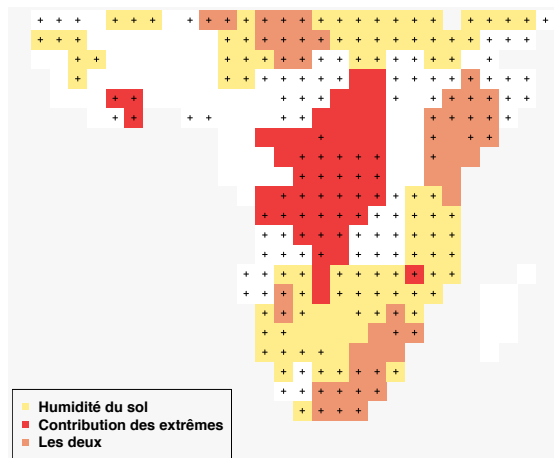


Figure 5

Les résultats de l'optimisation d'un modèle de régression logistique à l'aide d'une combinaison des variables les plus performantes prises en compte précédemment. Le modèle a prédit s'il y avait une inondation à la période de retour de 50 ans en utilisant les facteurs prédictifs suivants : nombre d'événements de 3 jours dans le 95^e centile (croix), humidité du sol (jaune) et contribution des extrêmes (rouge). Afin d'optimiser le modèle, nous avons sélectionné la combinaison la plus parcimonieuse de ces trois prédictifs, qui forme un mgc correspondant à une erreur de type 1 pouvant être obtenue avec l'ajustement maximal. Les UPA en blanc pur n'ont montré aucune valeur dans l'utilisation des prédictifs, tandis que les emplacements avec des couleurs/symboles indiquent quels prédictifs ont été conservés dans le modèle optimisé, seuls ou en combinaison avec d'autres prédictifs.

risque d'inondation dans les régions sèches d'Afrique (Fig. 4) et ces prévisions devraient également avoir une prévisibilité saisonnière dans les zones où elles peuvent être bien initialisées, notamment en raison de la persistance de l'humidité des sols. (Kanamitsu et al., 2002 ; Koster et al., 2010 ; Poveda et al., 2001). Ceci prend également en compte l'évaporation.

Les prévisions d'intensité des précipitations pourraient donner une meilleure indication du risque d'inondation en Afrique occidentale et centrale (Fig. 5). Cependant, l'intensité est la moins cohérente sur le plan spatial et donc la moins susceptible d'être prévisible (Moron et al., 2007). Des recherches supplémentaires dans la région sont justifiées, car il existe quelques exemples montrant une prévisibilité potentielle de l'intensité des précipitations (Pineda et Willems, 2016).

La compétence saisonnière pour prévoir les anomalies de précipitations totales sur 3 mois varie selon les pays. La plus haute compétence a été atteinte lors d'événements ENSO dans des zones ayant des télé-connexions ENSO (Barnston et al., 2010a ; Weisheimer et Palmer, 2014). Vu les faibles corrélations que nous avons trouvées ici entre crue et précipitations totales saisonnières ou autres indicateurs de précipitations, les prévisions de ces indicateurs ne sont pas susceptibles de fournir des signaux forts d'augmentation des risques. Cependant, plusieurs études ont utilisé des modèles de climat et des températures de surface de la mer à grande échelle comme prédictifs du risque d'inondation, la plupart se concentrant sur le rôle de l'ENSO dans l'évolution du risque d'inondation à l'échelle mondiale (Emerton et al., 2017 ; Ward et al., 2014, 2016). Il convient de poursuivre les recherches sur l'utilisation des TSM et d'autres modèles climatiques pour prévoir directement les changements d'inondations, afin de déterminer si de telles prévisions donneraient des indications plus solides d'un changement de risque d'inondation par rapport aux modèles de précipitations saisonnières.

En définitive, les prévisions les plus informatives sur les risques d'inondation à l'échelle saisonnière pourraient être des prévisions d'écoulement saisonnier utilisant des modèles hydrologiques calibrés pour des bassins hydrographiques individuels (Sahu et al., 2016). Bien que cela nécessite davantage de calcul et d'utilisation de ressources, les investissements dans de meilleures prévisions de risques saisonniers d'inondation pourraient être d'une très grande utilité pour la communauté dans la préparation aux catastrophes.

Dans leur travail, les responsables des catastrophes peuvent soutenir ces efforts de prévision en définissant mieux les variables météorologiques et hydrologiques liées aux catastrophes. Le partage de ces informations avec les prévisionnistes peut aider le développement de produits prévisionnels fournissant des informations spécifiques sur ces « niveaux de danger », permettant ainsi aux parties prenantes de prendre les mesures préparatoires appropriées. Des initiatives de financement fondées sur des prévisions sont en cours à l'échelle mondiale, dans le but d'agir et de débloquer un financement proportionnel suite aux informations de risque contenues dans une prévision, avant la catastrophe potentielle (Coughlan de Perez et al., 2016). Les modifications apportées aux produits de prévision afin de fournir des informations de risque plus claires et plus ciblées peuvent soutenir ce processus et permettre aux agences humanitaires de mieux anticiper les catastrophes et de se préparer avant leur survenue.

Disponibilité des données. Les estimations ERA-Interim des précipitations sur les sols et de l'humidité des sols qui corroborent les conclusions de cette étude sont disponibles auprès du CEPMMT (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-land/type=an/>). Les estimations des débits hydrologiques GloFAS sont générées par le Centre commun de recherche et disponibles en temps réel e (<http://globalfloods.jrc.ec.europa.eu/>). Les données dérivées étayant les conclusions de cette étude sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant.

Le supplément relatif à cet article est disponible en ligne à :
<https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017-supplement>.

Intérêts conflictuels. Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Communiqué d'un numéro spécial. Cet article fait partie du numéro spécial « Prévisions hydrologiques sous-saisonnières à saisonnières ». Il n'est pas associé à une conférence.

Remerciements

Nous remercions nos collègues pour leurs idées et leurs suggestions sur les indices à prendre en compte. Nous remercions le Ministère fédéral allemand des Affaires étrangères pour son soutien au développement de projets pilotes de financement fondés sur des prévisions dans le monde entier, qui ont inspiré ces questions de recherche. Ce travail a été appuyé par le Conseil britannique de la recherche sur l'environnement naturel (NE/P000525/1). Ce travail a également été financé en partie par des accords de subvention/coopération de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NA15OAR4310076 et NA13OAR4310184). Les points de vue exprimés sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les avis de la NOAA ou de ses sous-agences. Le travail d'Elisabeth Stephens a été financé par la bourse de recherche de début de carrière Leverhulme ECF-2013-492.

Édité par : Quan J. Wang

Révisé par : Deux examinateurs anonymes

Références

- Alexander, L., Yang, H., and Perkins, S.: ClimPACT: Indices and software, available at: <https://www.google.com/url?sa=t> (last access: 24 January 2017), 2013.
- Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J., and Pappenberger, F.: GloFAS – global ensemble streamflow forecasting and flood early warning, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1161–1175, <https://doi.org/10.5194/hess-17-1161-2013>, 2013.
- Anderson, B. T., Gianotti, D., and Salvucci, G. D.: Characterizing the Potential Predictability of Seasonal, Station-Based Heavy Precipitation Accumulations and Extreme Dry Spell Durations*, *J. Hydrometeorol.*, 16, 843–856, <https://doi.org/10.1175/JHMD-14-0111.1>, 2015.
- Anon: Kenya: Slum Residents in Nyeri Refuse to Relocate Ahead of El Nino Rains, *The Star*, Kenya, 6 October 2015.
- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., Dee, D., Dutra, E., Muñoz-Sabater, J., Pappenberger, F., de Rosnay, P., Stockdale, T., and Vitart, F.: ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 389–407, <https://doi.org/10.5194/hess-19-389-2015>, 2015.
- Barnston, A., Mason, S. J., Goddard, L., Dewitt, D. G., and Zebiak, S. E.: Multimodel Ensembling in Seasonal Climate Forecasting at IRI, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 84, 1783–1796, <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-12-1783>, 2003.
- Barnston, A., Li, S., Mason, S. J., DeWitt, D. G., Goddard, L., and Gong, X.: Verification of the First 11 Years of IRI's Seasonal Climate Forecasts, *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 49, 493–520, <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2325.1>, 2010a.
- Barnston, A. G., Li, S., Mason, S. J., Dewitt, D. G., Goddard, L., and Gong, X.: Verification of the first 11 years of IRI's seasonal climate forecasts, *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 49, 493–520, <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2325.1>, 2010b.
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., and Sivapalan, M.: Dominant flood generating mechanisms across the United States, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 4382–4390, <https://doi.org/10.1002/2016GL068070>, 2016.
- Braman, L. M., van Aalst, M. K., Mason, S. J., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y., and Tall, A.: Climate forecasts in disaster management?: Red Cross flood operations in West Africa, 2008, *Disasters*, 37, 144–164, <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2012.01297.x>, 2013.
- Cai, X. and Rosegrant, M. W.: Global Water Demand and Supply Projections, *Water Int.*, 27, 159–169, <https://doi.org/10.1080/02508060208686989>, 2002.
- Coughlan de Perez, E., van den Hurk, B., van Aalst, M. K., Amuron, I., Bamanya, D., Hauser, T., Jongma, B., Lopez, A., Mason, S., Mendler de Suarez, J., Pappenberger, F., Rueth, A., Stephens, E., Suarez, P., Wagemaker, J., and Zsoter, E.: Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 3549–3560, <https://doi.org/10.5194/hess-20-3549-2016>, 2016.
- Emerton, R., Cloke, H. L., Stephens, E. M., Zsoter, E., Woolnough, S. J., and Pappenberger, F.: Complex picture for likelihood of ENSO-driven flood hazard, *Nature Communications*, 8, 1–9, <https://doi.org/10.1038/ncomms14796>, 2017.
- Friedman, J. H., Hastie, T., and Tibshirani, R.: Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent, *J. Stat. Softw.*, 33, 22 pp., <https://doi.org/10.18637/jss.v033.i01>, 2010.

Faut-il utiliser les prévisions pluviométriques saisonnières pour se préparer aux inondations ?

appeared in **Hydrology and Earth System Sciences** | *Should seasonal rainfall forecasts be used for flood preparedness?* |

11 September 2017 | <https://doi.org/10.5194/hess-21-4517-2017>

- Grieser, J.: Flexible Forecasts?: Responding to User Needs, *International Research Institute for Climate and Society*, available at: <http://iri.columbia.edu/news/flexible-forecasts-for-decision-makers/> (last access: 17 September 2016), 2014.
- Hewitt, C., Mason, S., and Walland, D.: The Global Framework for Climate Services, *Nature Climate Change*, 2, 831–832, <https://doi.org/10.1038/nclimate1745>, 2012.
- Higgins, R. W., Schemm, J. K. E., Shi, W., and Leetmaa, A.: Extreme precipitation events in the Western United States related to tropical forcing, *J. Climate*, 13, 793–820, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0793:EPEITW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0793:EPEITW>2.0.CO;2), 2000.
- ICPAC: The Forty-Fourth Greater Horn of Africa Climate Outlook Forum (GHACOF44) Announcement, available at: <https://www.icpac.net/wp-content/uploads/GHACOF-44-Announcement.pdf>, last access: 16 September 2016.
- Kanamitsu, M., Lu, C.-H., Schemm, J., and Ebisuzaki, W.: The Predictability of Soil Moisture and Near-Surface Temperature in Hindcasts of the NCEP Seasonal Forecast Model, *J. Climate*, 16, 510–521, 2002.
- Koster, R. D., Mahanama, S. P. P., Yamada, T. J., Balsamo, G., Berg, A. A., Boisserie, M., Dirmeyer, P. A., Drewitt, G., Gordon, C. T., Guo, Z., Jeong, J.-H., Lawrence, D. M., Lee, W.-S., Li, Z., Luo, L., Malyshev, S., Merryfield, W. J., Seneviratne, S. I., Stanelle, T., van den Hurk, B. J. J. M., Vitart, F., and Wood, E. F.: Contribution of land surface initialization to subseasonal forecast skill?: First results from a multi-model experiment, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L02402, <https://doi.org/10.1029/2009GL041677>, 2010.
- Mason, S. J., Goddard, L., Graham, N. E., Yulaeva, E., Sun, L., and Arkin, P. A.: The IRI Seasonal Climate Prediction System and the 1997/98 El Niño Event, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 1853–1873, 1999.
- Moron, V., Robertson, A. W., Ward, M. N., and Camberlin, P.: Spatial Coherence of Tropical Rainfall at the Regional Scale, *J. Climate*, 20, 5244–5263, <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1623.1>, 2007.
- Mwangi, E., Wetterhall, F., Dutra, E., Di Giuseppe, F., and Pappenberger, F.: Forecasting droughts in East Africa, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 611–620, <https://doi.org/10.5194/hess-18-611-2014>, 2014.
- Pineda, L. E. and Willems, P.: Multisite Downscaling of Seasonal Predictions to Daily Rainfall Characteristics over Pacific – Andean River Basins in Ecuador and Peru Using a Nonhomogeneous Hidden Markov Model, *J. Hydrometeorol.*, 17, 481–498, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0040.1>, 2016.
- Poveda, G., Jaramillo, A., Gil, M. M., Quiceno, N., and Mantilla, R. I.: Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia, *Water Resour. Res.*, 37, 2169–2178, 2001.
- Sahu, N., Robertson, A. W., Boer, R., Behera, S., DeWitt, D. G., Takara, K., Kumar, M., and Singh, R. B.: Probabilistic seasonal streamflow forecasts of the Citarum River, Indonesia, based on general circulation models, *Stoch. Env. Res. Risk A.*, 12 pp., <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1297-4>, 2016.
- Schleiss, M. and Smith, J. A.: Two Simple Metrics for Quantifying Rainfall Intermittency: The Burstiness and Memory of Interannual Times, *J. Hydrometeorol.*, 17, 421–436, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0078.1>, 2016.
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., and Bronaugh, D.: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 118, 2473–2493, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>, 2013.
- Stephens, E., Day, J. J., Pappenberger, F., and Cloke, H.: Precipitation and Floodiness, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10316–10323, <https://doi.org/10.1002/2015GL066779>, 2015.
- Sylla, M. B., Giorgi, F., Coppola, E., and Mariotti, L.: Uncertainties in daily rainfall over Africa?: assessment of gridded observation products and evaluation of a regional climate model simulation, *Int. J. Climatol.*, 33, 1805–1817, <https://doi.org/10.1002/joc.3551>, 2013.
- Verbist, K., Robertson, A. W., Cornelis, W. M., and Gabriels, D.: Seasonal predictability of daily rainfall characteristics in central northern Chile for dry-land management, *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 49, 1938–1955, <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2372.1>, 2010.
- Ward, P. J., Eisner, S., Flörke, M., Dettinger, M. D., and Kumm, M.: Annual flood sensitivities to El Niño–Southern Oscillation at the global scale, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 47–66, <https://doi.org/10.5194/hess-18-47-2014>, 2014.
- Ward, P. J., Kumm, M., and Lall, U.: Flood frequencies and durations and their response to El Niño Southern Oscillation?: Global analysis, *J. Hydrol.*, 539, 358–378, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.045>, 2016.
- Weisheimer, A. and Palmer, T. N.: On the reliability of seasonal climate forecasts, *J. R. Soc. Interface*, 11, 20131162, <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.1162>, 2014.
- WMO: Global Producing Centres for Long-Range Forecasts, available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/gpc/gpc.php>, last access: 16 January 2017.