

## Pluies, crues, sécheresses : les extrêmes deviennent-ils la norme ?

Aurore DEGRÉ, Maud GRANDRY

Gembloux Agro-Biotech, Université de Liège, Echanges Eau-Sol-Plantes - Passage des déportés 2 - Bât. ABT01 G2, 5030 Gembloux (Belgique) - Aurore.Degre@uliege.be ; Maud.Grandry@uliege.be

### Résumé

En hydrologie, les valeurs extrêmes revêtent un intérêt capital pour déterminer une probabilité d'occurrence notamment des crues dévastatrices. Les approches statistiques nécessitent une longue chronique d'observations indépendantes. Cela constitue un premier enjeu méthodologique. Un second enjeu est celui de la réponse hydrologique des bassins versants. Ainsi, les phénomènes en jeu sont complexes, parfois antagonistes sur l'hydrologie d'un bassin versant et peuvent modifier leur statistique des extrêmes pour différentes variables. Une analyse est proposée au départ des débits de cours d'eau en Wallonie dans le cadre d'un projet Hydrotrend subventionné par le Service public de Wallonie. Les résultats, en accord avec les tendances observées au niveau européen montrent qu'au niveau wallon, ce sont essentiellement les plus grands bassins qui présentent des tendances. Cependant, certaines stations montrent des modifications de la saisonnalité des crues. Sans que ce constat puisse être généralisé, il indique que des modifications du régime hydrologique semblent se présenter suite aux changements climatiques (précipitations), aux changements d'occupation du sol (imperméabilisation) et aux modifications des rivières. Les données disponibles sont encore insuffisantes, cependant, il semble démontré que la notion d'extrême est bel et bien liée à une époque mais les signaux de changements restent encore incertains statistiquement parlant. Les indices illustrés dans cette communication appellent à considérer l'instationnarité hydrologique dans les actions concrètes de gestion et de planification. Les événements hydrologiques de juillet 2021 en Wallonie sont dramatiques. Les comparer aux historiques disponibles pour qualifier leur récurrence est difficile.

*Mots clés* : Statistique des extrêmes, crues, rivières, bassins versants, instationnarité hydrologique

### Abstract

In hydrology, extreme values are of great interest to determine the probability of occurrence of devastating floods. Statistical approaches require a long chronicle of independent observations. This constitutes a first methodological issue. A second issue is the hydrological response of the watersheds. The phenomena involved are complex, sometimes antagonistic on the hydrology of a watershed and can modify their statistics of extremes for different variables. An analysis is proposed on the basis of river flows in Wallonia within the framework of a Hydrotrend project subsidized by the Public Service of Wallonia. The results, in agreement with the trends observed at the European level, show that at the Walloon level, it is essentially the largest basins that show trends. However, some stations show changes in the seasonality of floods. Although this observation cannot be generalized, it indicates that changes in the hydrological regime seem to occur as a result of climatic changes (precipitation), changes in land use (sealing) and changes in river networks. The available data are still insufficient; however, it seems to be demonstrated

that the notion of extreme is indeed linked to an age period, but the signals of changes are still statistically uncertain. The indices illustrated in this communication call for considering hydrological instability in concrete management and planning actions. The hydrological events of July 2021 in Wallonia are dramatic. It is difficult to compare them with the available historical data to qualify their recurrence.

*Keywords* : Statistics of extremes, floods, rivers, watersheds, hydrological instationnarity

Publié à l'occasion du Colloque annuel 2021 de la Société Royale des Sciences de Liège, le 26 novembre 2021.

## **Introduction**

Le qualificatif d'extrême décrit les valeurs les plus rares des variables observées. En matière d'hydrologie, on pourra par exemple s'intéresser à des extrêmes d'intensité de pluie ou de quantités précipitées pour une durée d'événement donnée. Dans ces deux cas, ce sont les valeurs les plus importantes qui retiendront l'attention. Si l'on s'intéresse aux débits des rivières en revanche, les deux queues de distribution présenteront un intérêt, d'une part pour la gestion des étiages, d'autre part pour la gestion des crues. Des débits d'étiage extrêmes peuvent en effet causer des dommages importants, bien qu'insidieux, dans différents secteurs (navigation, refroidissement des industries, biodiversité, tourisme, ...). Les débits de crue extrêmes, nettement plus visibles, peuvent conduire à des dommages tels que les inondations, les dégâts aux infrastructures et jusqu'à des noyades. L'été 2021 a marqué les esprits à cet égard en Wallonie. Par contre, en matière de sécheresse, on pourra construire une variable cumulant le déficit hydrique (pluie – évapotranspiration potentielle) et s'intéresser aux valeurs absolues les plus élevées ou se baser sur des réserves d'eau dans les sols et s'intéresser aux valeurs les plus faibles.

En statistique des extrêmes, une fois la variable d'intérêt identifiée, c'est l'existence d'une longue chronique d'observations qui permettra de relier une probabilité d'occurrence à une valeur de cette variable. Ainsi, ce sont des observations du passé qui serviront de référence à la définition de ce qui est considéré « extrême ». L'analyse nécessite de sélectionner les valeurs les plus rares pour ensuite y ajuster une fonction de probabilité. La sélection des enregistrements est un premier enjeu méthodologique qui impose que ces événements soient indépendants les uns des autres. Ainsi, les débits observés durant deux jours consécutifs en une même station de jaugeage ont de fortes chances d'être reliés car observés au cours d'un seul et même événement de ruissellement. Pour éviter cette situation, en matière d'analyse de débit, il est fréquent de sélectionner une seule valeur par année d'observation. Cela n'annule pas la possibilité que deux

enregistrements successifs soient repris, mais ce risque est fortement limité ; *a fortiori* lorsque les années sont séparées au droit de la période sèche. En Belgique, l'année hydrologique débute le 1<sup>er</sup> octobre et se termine le 30 septembre. Une fois les événements sélectionnés, une fonction reliant l'amplitude de l'observation à sa probabilité observée au sein de la série disponible peut être ajustée. Le choix de cette fonction est un second enjeu méthodologique important car une fois l'ajustement réalisé, il devient possible d'extrapoler et d'estimer l'amplitude de la variable correspondant à une probabilité quelconque. Une extrapolation au-delà de la plus faible probabilité observée sera potentiellement très sensible au choix de la fonction ajustée et impose la plus grande prudence.

### **Les extrêmes sont-ils constants ?**

Cette approche classique est la plus largement répandue. Elle ne considère en rien l'ordre dans lequel les valeurs extrêmes ont effectivement eu lieu dans la série étudiée. L'approche comprend donc intrinsèquement une hypothèse de stationnarité, c'est-à-dire une hypothèse selon laquelle les systèmes naturels évoluent au sein d'une enveloppe fixe de variabilité. En 2008, Milly et al. publient dans *Science* un article présentant « la mort de la stationnarité hydrologique » (Milly et al., 2008). Cet article, cité plus de 4000 fois, a généré de nombreuses réactions. Parmi ces réactions, se trouvent de larges débats sur les incertitudes et la difficulté d'extraire une information sur des éventuelles tendances d'échantillons très limités. A titre d'exemple, les chroniques de débit en Wallonie remontent au mieux à 50 ans sur les cours d'eau non navigables. De plus, les techniques de mesure ayant évolué, l'homogénéité des observations est un point d'attention majeur à considérer. A ces critiques et commentaires, les auteurs répondent toutefois très clairement : *"We find ourselves in a situation where the science suggests a substantial and growing ACC (Anthropogenic Climate Change) signal, yet the observable change may currently be indistinguishable from the chaotic internal variability and naturally (e.g., volcanically) forced variability of the climate system. However, because the ACC effects are growing in magnitude, they cannot readily be assumed to be negligible over the decades-long design horizon of engineered water systems. In such a situation, because there is reason to suspect that a trend exists, one should be sensitive to the substantial possibility of type-II errors: the probabilities of failing to recognize a trend—a signal hidden amidst overwhelming noise—when it does actually exist."* (Milly et al., 2015)

Il est maintenant largement admis que le climat se modifie et que les températures augmentent. Toutefois, en matière de précipitations, les prévisions restent incertaines. L'intensité des précipitations va augmenter mais une incertitude demeure quant aux quantités

totales précipitées sur base annuelle. De plus, la réponse hydrologique des bassins versants dépend de nombreux facteurs. L'humidité initiale du sol pourrait être globalement plus faible étant donné l'augmentation des températures et la demande évaporatoire plus importante qui en découle. Mais des pluies plus intenses pourraient générer plus de ruissellement car l'infiltration est limitée par la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol. Un ruissellement pourrait donc intervenir, même si le sol n'est pas saturé. En période hivernale, les températures plus élevées pourraient limiter les accumulations de neige et par là les épisodes de crues observées jusqu'ici en phase de dégel.

A ces phénomènes naturels, il faut ajouter les considérations plus globales liées à l'usage des sols. L'imperméabilisation des terres modifie radicalement le cycle hydrologique. Les pratiques de gestion des espaces naturels ou agricoles également. Si une prairie infiltre jusque 50 mm/h et plus sur un sol limoneux, une culture de printemps pourrait conduire à des taux limités à quelques mm/h dans des circonstances hydrologiques défavorables. Ainsi, les phénomènes en jeu sont complexes, peuvent avoir des effets antagonistes sur l'hydrologie d'un bassin versant et modifier leur statistique des extrêmes pour différentes variables. L'évolution peut être progressive (liée à l'évolution de la température) ou en rupture (imperméabilisation massive ou mise à blanc d'une zone forestière).

## **Une analyse centrée sur les débits des cours d'eau en Wallonie**

Dans le cadre du projet Hydrotrend mené avec l'appui du SPW, les données de 84 stations de jaugeage ont été analysées. Toutes ces stations présentaient un historique supérieur ou égal à 30 années. Les résultats montrent qu'environ 12% des stations étudiées présentent une tendance significative (4,8% positive et 7,1% négative) dans l'amplitude des maximums annuels. Ce nombre peut paraître faible mais est en fait similaire aux résultats d'autres études européennes. En effet, dans une étude qui a analysé 629 stations en Europe sur la période de 1965 à 2005, les pourcentages de tendances significatives s'élèvent à 9,7% pour les tendances positives et 7,6% pour les tendances négatives (Mangini et al., 2018). Dans la région hydro-climatique continentale de l'Europe (est de la Belgique et de la France, Allemagne, Nord de l'Italie, Suisse, Autriche et autres pays de l'est de l'Europe), ils ont détecté respectivement 8,6% et 6,9% de tendances positives et négatives. Ces pourcentages sont donc très proches de nos résultats pour les tendances négatives mais nous avons détecté moins de tendances positives.

La Figure 1 présente la répartition géographique des stations wallonnes et les tendances détectées sur l'amplitude des maximums. Dans le bassin de l'Escaut, les tendances dans l'amplitude des débits maximums annuels sont majoritairement positives. Par contre, dans le

bassin de la Meuse, moins de tendances ont été détectées ; il y a cependant une zone de tendances plutôt positives dans la partie amont du bassin et des zones de tendances plutôt négatives dans les bassins de l'Ourthe, Amblève et Vesdre ainsi que dans le sud de la région.

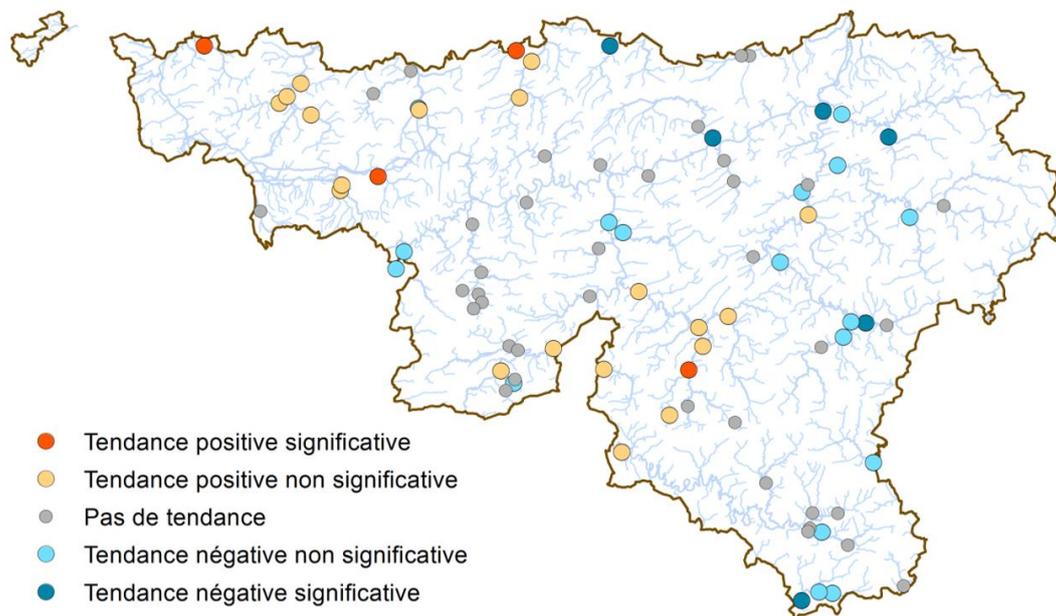


Figure 1: Carte des tendances dans l'amplitude des débits maximums annuels.

Le rapport européen sur l'analyse fréquentielle des crues dans un contexte de changements de l'environnement inclut les résultats de détection de tendances dans les précipitations et débits extrêmes de 21 pays différents, et conclut qu'on peut parler d'une augmentation générale des précipitations extrêmes mais qu'il n'y a pas d'indications claires d'augmentation des débits extrêmes à un niveau régional ou national. Des augmentations ont cependant été détectées pour des plus petites régions. Plusieurs études rapportent également des diminutions des débits extrêmes dans des régions où les crues sont induites par la fonte des neiges, ainsi que des crues de printemps plus précoces pour ces régions (Madsen et al., 2013).

Sur l'échantillon wallon, il apparaît que ce sont essentiellement les plus grands bassins qui présentent des tendances. Par ailleurs, certaines stations présentent des modifications de la saisonnalité des crues. La Figure 2 présente l'exemple de la station de Bergilers sur le Geer.

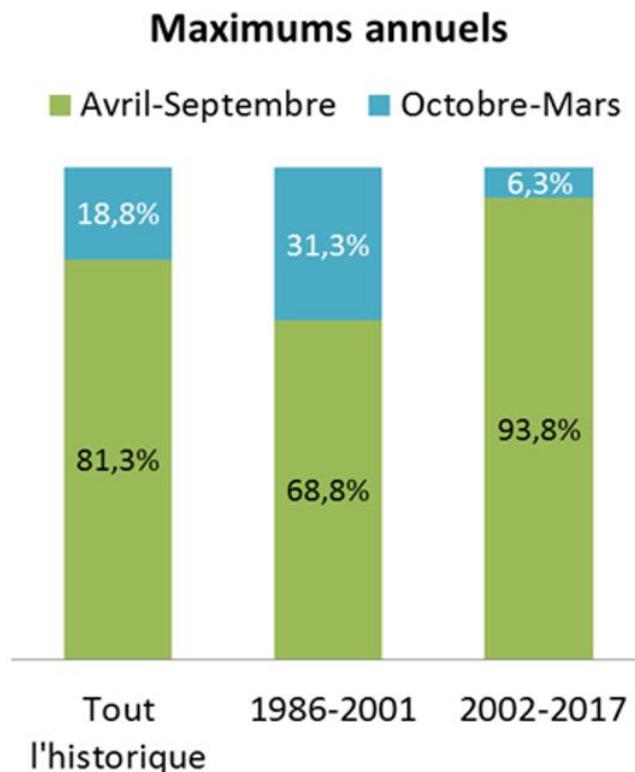


Figure 2: Répartition des crues du Geer à Bergilers (station 55721002) en fonction de la saison, sur tout l'historique de 32 ans d'une part et sur l'historique divisé en deux périodes de 16 ans d'autre part.

Sans que ce constat puisse être généralisé à toutes les stations étudiées, il indique que des modifications du régime hydrologique semblent se présenter.

Les phénomènes qui pourraient potentiellement y jouer un rôle sont, comme cela a été rappelé, nombreux. La littérature mentionne notamment (Hall et al., 2014; Kundzewicz, 2012; Merz et al., 2012) :

- Les changements climatiques : précipitations, circulations atmosphériques, température, évapotranspiration, humidité antécédente aux crues, etc. (Burn et al., 2004; Hannaford and Marsh, 2008; Mediero et al., 2014; Ruiz-Villanueva et al., 2016).
- Les changements d'occupation du sol : urbanisation, déforestation, drainage des zones humides, présence d'ouvrages de lutte contre les inondations, etc.
- Les modifications de la rivière : changement de son tracé, de sa largeur et de sa profondeur, construction de barrages, etc.

A titre d'exemple, la Figure 3 illustre l'évolution de l'occupation du sol à Rosières, sur la Lasne dans le Brabant Wallon; l'augmentation de la surface bâtie est bien visible sur les orthophotoplans. La Figure 4 présente les données disponibles à l'exutoire et la Figure 5 présente les maximums observés ainsi que leur tendance temporelle.

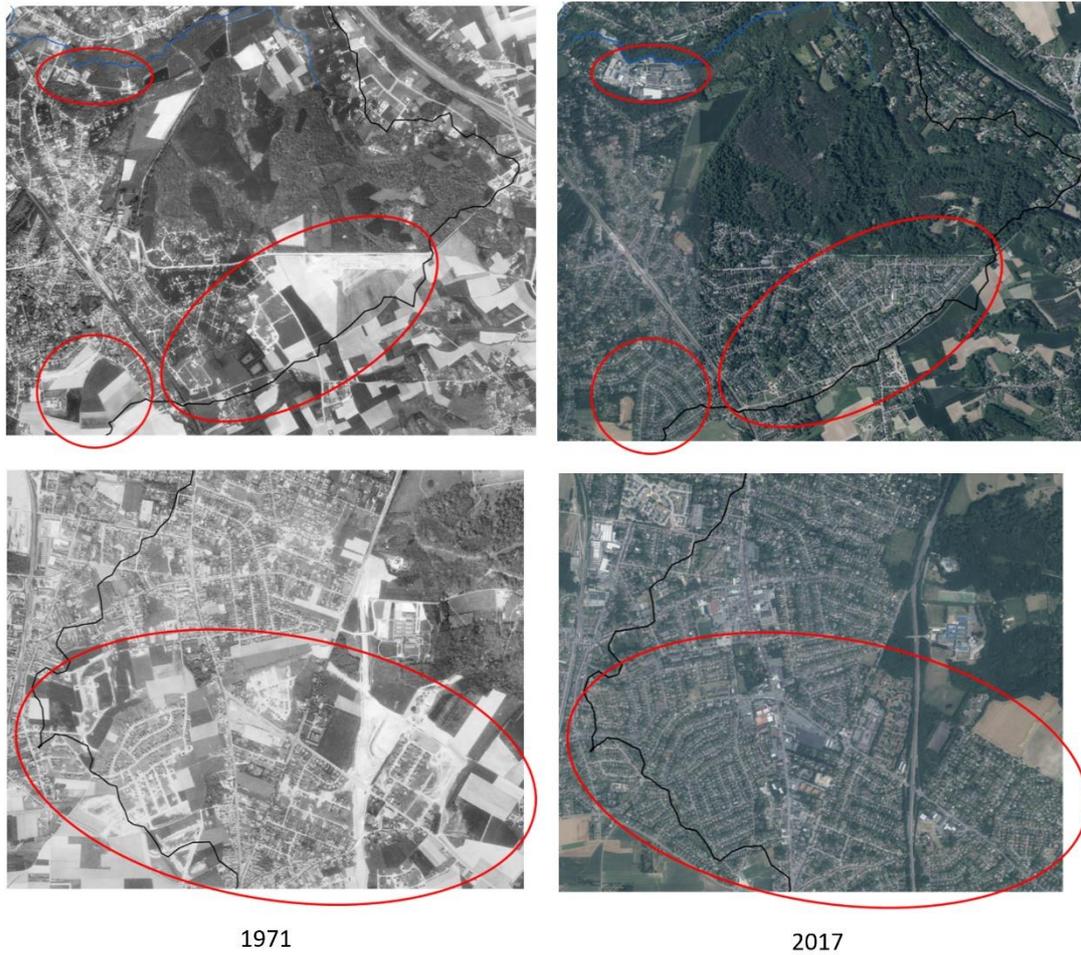


Figure 3 : Comparaison des orthophotoplans de 1971 et 2017 à plusieurs endroits du bassin versant de Rosières (station L5370-L7530).

### Lasne à ROSIERES (L7530) : Hydrogramme

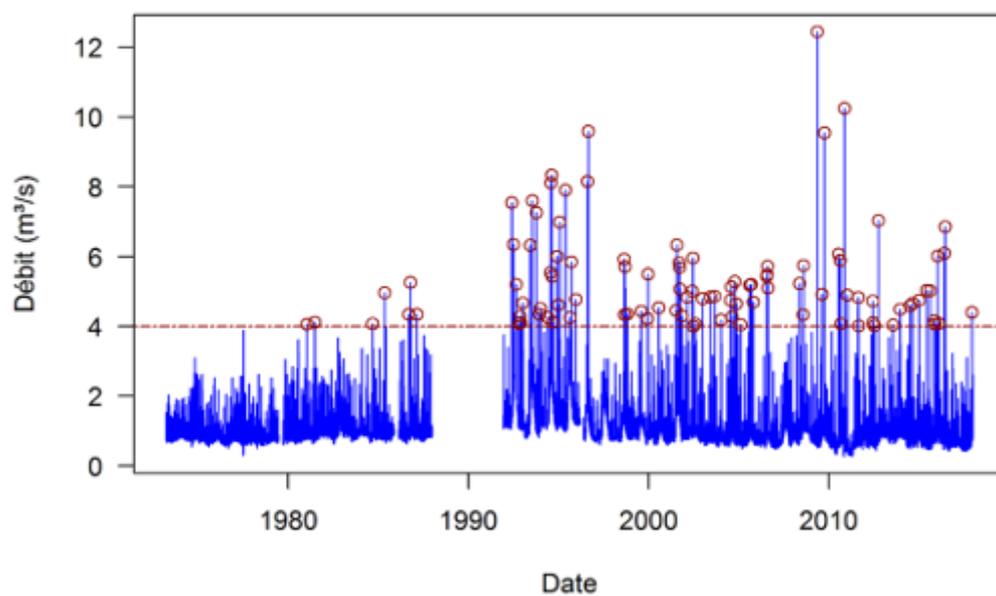


Figure 4 : Débits observés sur la Lasne à Rosières

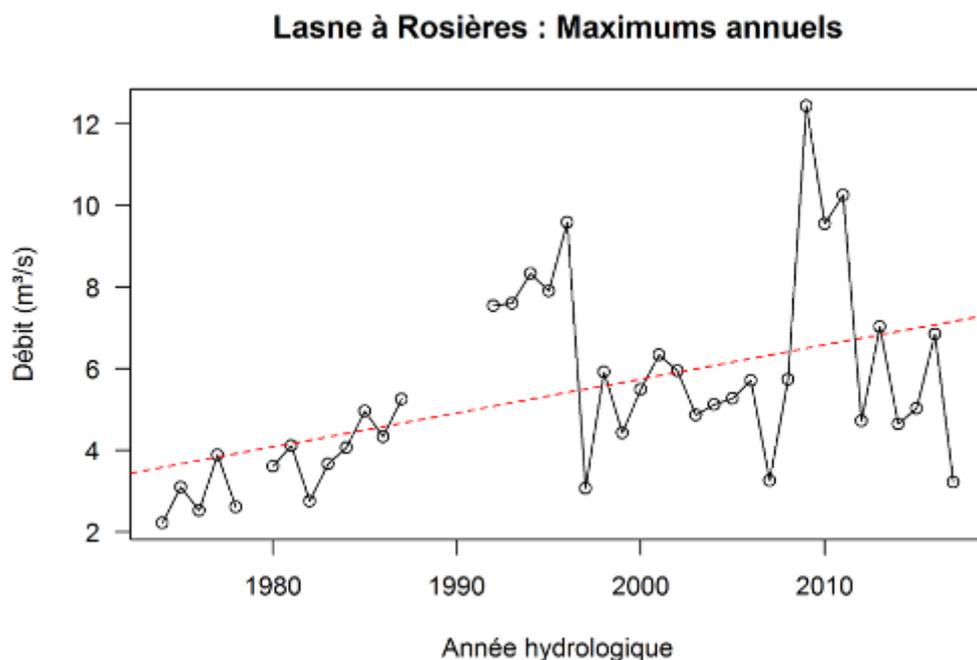


Figure 5 : Maximums annuels (par année hydrologique) sur la Lasne à Rosières et tendance

Cet exemple marquant ne doit pas occulter que dans d'autres sous-régions, des tendances à la baisse ont été détectées, notamment en raison de la raréfaction des crues liées aux épisodes de fonte des neiges.

## Conclusions

Les événements de juillet 2021 en Wallonie ont largement marqué les esprits et resteront longtemps dans les mémoires. Les comparer aux historiques disponibles pour qualifier leur récurrence est difficile. Tout d'abord la qualité des mesures de débit réalisées pendant ces événements est limitée, de nombreux appareils ayant été arrachés. Ensuite, leur amplitude a largement dépassé la gamme des valeurs observées jusqu'ici, conduisant à des extrapolations importantes assorties d'intervalles de confiance très larges. Ils nous rappellent que notre historique d'observation est encore trop limité pour qualifier correctement ce type d'événements.

Nous avons en effet constaté que la longueur de l'historique des données influence la significativité et parfois même le signe de certaines tendances. Pour les précipitations en particulier, aucune tendance négative n'est significative lorsque l'on tient compte des données depuis 1962 plutôt que des données correspondantes à l'historique des débits. Nous pouvons émettre deux hypothèses : soit les tendances sont plus récentes et seront d'avantage marquées dans le futur, soit les précipitations sont liées aux circulations atmosphériques telle que

l'Oscillation Nord Atlantique (ONA) et suivent donc une oscillation pluridécennale, comme suggéré par Willems (2013).

Bien que les données disponibles soient encore insuffisantes en matière d'hydrologie, il semble démontré que la notion d'extrême est bel et bien liée à une époque. Une variable qualifiée d'extrême, l'est dans un contexte donné, à un moment donné de l'histoire et ce qualificatif peut être revu. Les signaux de changements restent encore incertains statistiquement parlant, mais le faisceau d'indices illustrés brièvement ici, appelle néanmoins à considérer l'instationnarité hydrologique dans les actions concrètes de gestion et de planification.

## **Références**

Burn, D.H., Cunderlik, J.M., and Pietroniro, A. (2004). Hydrological trends and variability in the Liard River basin. *Hydrological Sciences Journal* 49, 53–67.

<https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.53.53994>

Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T.R., Kriaučiūnienė, J., Kundzewicz, Z.W., Lang, M., et al. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>

Hannaford, J., and Marsh, T.J. (2008). High-flow and flood trends in a network of undisturbed catchments in the UK. *International Journal of Climatology* 28, 1325–1338.

<https://doi.org/10.1002/joc.1643>

Kundzewicz, Z. (2012). *Changes in flood risk in Europe* (Wallingford, UK: IAHS Press and CRC Press).

Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., and Kjeldsen, T.R. (2013). Floodfreq COST Action ES0901 -European procedures for flood frequency estimation: a review of applied methods in Europe for flood-frequency analysis in a changing environment. WG4 -Flood frequency estimation methods and environmental change (Wallingford, UK: Centre for Ecology & Hydrology on behalf of COST).

Mangini, W., Viglione, A., Hall, J., Hundecha, Y., Ceola, S., Montarini, A., Rogger, M., Salinas, J.L., Borzi, I., and Parajka, J. (2018) Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrological Sciences Journal* 63, 493-512.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1444766>

Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L., and Granados, A. (2014). Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. *Journal of Hydrology* 517, 1072–1088. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.040>

Merz, B., Vorogushyn, S., Uhlemann, S., Delgado, J., and Hundecha, Y. (2012). HESS Opinions "More efforts and scientific rigour are needed to attribute trends in flood time series". *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 1379–1387. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1379-2012>

Milly P. C. D., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R. M., Kundzewicz Z. W., Lettenmaier D. P., Stouffer R. J. (2008) Stationarity is dead: Whither water management? *Science* 319, 573–574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J., Dettinger, M.D., Krysanova, V., 2015. On critiques of “Stationarity is dead: whither water management?”. *Water Resour. Res.* 51, 7785–7789. <https://doi.org/10.1002/2015WR017408>

Ruiz-Villanueva, V., Stoffel, M., Wyżga, B., Kundzewicz, Z.W., Czajka, B., and Niedźwiedź, T. (2016). Decadal variability of floods in the northern foreland of the Tatra Mountains. *Regional Environmental Change* 16, 603–615. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0694-9>

Willems, P., 2013. Multidecadal oscillatory behaviour of rainfall extremes in Europe. *Clim. Change* 120, 931–944. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0837-x> .