

Soutien à Info-Crue

Thématique : Évolution du climat

Plan de travail

Contexte

À la suite des évènements du printemps 2017, le gouvernement du Québec a mandaté la Direction de l'expertise hydrique et atmosphérique (DEHA) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) à mettre en œuvre le projet INFO-Crue, en collaboration avec plusieurs partenaires. Cette initiative vise à produire, pour une grande partie des bassins versants du Québec méridional, une cartographie prévisionnelle en temps réel de l'ensemble des secteurs pouvant être inondés, ainsi qu'à harmoniser la cartographie des zones inondables dans un contexte de changements climatiques, en appui à l'aménagement du territoire.

Dans la poursuite d'une collaboration amorcée depuis plusieurs années entre la DEHA, Ouranos et d'autres partenaires, la thématique « Évolution du climat » du projet Soutien à Info-Crue a pour principal objectif d'améliorer les connaissances concernant l'impact des changements climatiques sur le système hydrologique québécois, avec une emphase sur les crues extrêmes pouvant causer des inondations en territoire québécois. Cet objectif sera atteint, d'une part, grâce à de nouvelles analyses qui permettront de mieux comprendre et d'explorer la chaîne causale menant à des inondations en territoire québécois, ainsi que l'impact que les changements climatiques peuvent avoir sur chaque élément de cette chaîne. D'autre part, des travaux viseront la poursuite du développement de connaissances et l'amélioration de la robustesse des techniques ayant permis la production des diverses éditions de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (CEHQ 2013; CEHQ 2015; DEHA 2018a; DEHA 2018b).

En fonction des besoins identifiés tout au long de la réalisation de ce mandat, des projets de recherche ou des lots de travail pourront s'ajouter. De ce fait, la flexibilité du plan de travail a pour objectif de poursuivre la réflexion sur tout projet contribuant à améliorer la compréhension de l'impact des changements climatiques sur le système hydrologique québécois. Il est donc approprié de considérer ce plan de travail comme étant adaptatif et évolutif tout au long de la réalisation des travaux, et ce, à la fois pour les horizons à court, moyen et long terme. Tout au long du projet, l'équipe thématique aura pour mandat de coordonner les divers sous-projets qui auront été développés et d'intégrer les résultats de recherche dans la chaîne de modélisation.

Impact du climat et des changements climatiques sur les crues

Dans le but de mieux connaître l'incidence des changements climatiques sur les crues futures, un travail d'analyse sera effectué à partir des séries hydroclimatiques des éditions 2018 et 2020 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, ainsi que sur les données qui seront produites pendant le projet de Soutien à Info-Crue. Une partie des tâches consistera à analyser les chaînes causales, soit la chaîne d'évènements menant aux crues elles-mêmes, afin de pouvoir expliquer les phénomènes physiques à l'origine des signaux de changement. Il sera également pertinent d'étendre l'analyse des séries hydroclimatiques en incluant une réflexion sur des sujets permettant de répondre à des questions d'actualité en lien avec la cartographie des zones inondables. Ces sujets pourraient inclure, par exemple, la recherche de certains scénarios marginaux (Drijfhout et al. 2015) ou encore le choix d'une période future et/ou d'un certain degré de réchauffement planétaire où les conditions propices aux crues extrêmes au Québec deviendraient beaucoup plus communes.

Il importe de valider que les modèles climatiques et hydrologiques utilisés pour simuler le futur soient capables de reproduire adéquatement les crues passées (caractéristiques, tendances et chaînes causales). À cette fin, des travaux de comparaison sont prévus entre les observations et les simulations des éditions 2018 et 2020 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, ainsi que sur les séries hydrologiques qui seront produites pendant le projet de Soutien à Info-Crue.

Une emphase particulière sera donnée à l'identification de tendances dans les crues observées et simulées en climat passé. Des études d'attribution pourront également permettre de mieux différencier les tendances attribuées aux changements climatiques de celles pouvant être liées à la variabilité naturelle du climat (Merz et al. 2012; Hannart et al. 2016; Teufel et al. 2017; Teufel et al. 2018; Kreibich et al. 2019). Les crues de 2017 et de 2019 pourront notamment servir de cas d'étude.

Modélisation hydroclimatique et incertitudes

L'analyse de l'impact des changements climatiques sur les crues nécessite l'utilisation d'une chaîne de modélisation faisant intervenir des données d'observations et des données simulées provenant des modèles climatiques, hydrologiques et statistiques, qui comportent individuellement leurs défis et leurs incertitudes (Figure 1). Cette chaîne de calcul a déjà été utilisée par le passé par la DEHA, avec l'aide de partenaires tels qu'Ouranos, afin de produire l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional.

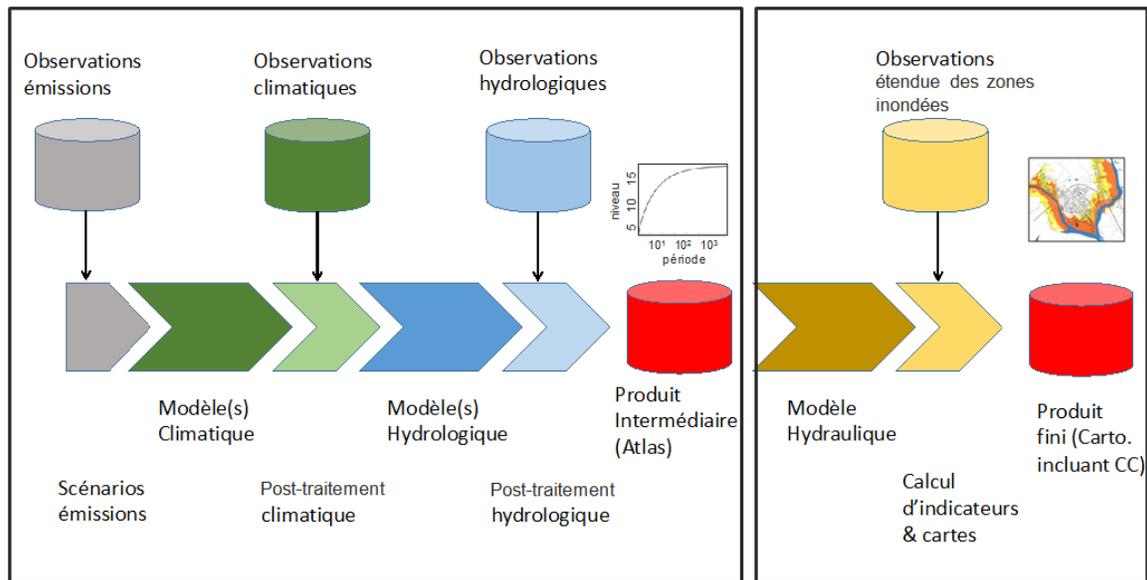


Figure 1. Chaîne de modélisation hydroclimatique (adapté de Dottori et al. 2016). À gauche, les éléments faisant partie de la portée des travaux de la thématique.

Toutefois, afin de pouvoir répondre adéquatement à l'évolution des exigences réglementaires pour la prise en compte des changements climatiques dans la cartographie des zones inondables, des améliorations devront être apportées sur l'ensemble de cette chaîne de modélisation afin d'augmenter la robustesse des méthodes pour les événements extrêmes et mieux comprendre et quantifier les incertitudes associées.

Ces approches devront être techniquement applicables à large échelle dans le contexte de pratique au Québec, tout en conservant une rigueur nécessitant parfois de revoir les approches actuellement en vigueur. À cet effet, une étude plus approfondie des composantes climatiques, hydrologiques et statistiques (relatives à l'analyse fréquentielle de la récurrence des crues) suivantes serait à prioriser :

- L'amélioration et l'évaluation de la robustesse de la correction par quantiles des biais des simulations climatiques, dans l'optique d'une utilisation en hydrologie (Chen et al. 2013; Chen et al. 2019);
- L'amélioration de l'état de référence hydrologique, entre autre en ce qui a trait à la modélisation des milieux non jaugés, à l'impact des données maillées basées sur les observations in situ et à la valeur ajoutée potentielle du post-traitement statistique des débits (Snover et al. 2003; Yuan and Wood 2012; Ye et al. 2014);
- L'évaluation de la performance des modèles hydrologiques pour des événements qui sont d'intérêt pour la cartographie des plaines inondables (ex : événements de pluie sur neige, pluies diluviennes sur un sol sec, etc.);
- La prise en compte de l'incertitude associée à la modélisation hydrologique (Alfieri et al. 2018; Giuntoli et al. 2018);



- L'analyse de la contribution des différentes sources d'incertitude dans les signaux de changements futurs (Steinbakk et al. 2016; Seiller et al. 2017; Troin et al. 2017; Giuntoli et al. 2018);
- L'évaluation de la robustesse et de la faisabilité de divers indicateurs fréquentiels pouvant intégrer plusieurs sources d'incertitude, ainsi que les effets non-stationnaires (Šraj et al. 2016; Salas et al. 2018; Francois 2019; Kang et al. 2019);

Dans le but de tester les différentes approches, elles pourront être déployées sur des bassins versants pilotes.

À courte échéance, il est prévu de générer des scénarios climatiques scientifiquement robustes et adaptés à la production de scénarios de projection pour des crues de récurrence 2, 20 et 100 ans en période de référence (1971-2000) et en période future (horizons 2030, 2050 et 2080) dans le but de préparer la prochaine édition de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional. De ce fait, des travaux visant à améliorer la robustesse des scénarios climatiques sont planifiés. Les résultats devront être facilement et rapidement compatibles avec la structure existante de modélisation de l'Atlas hydroclimatique de la DEHA.

Considérant ces besoins à court terme, les projets développés à cette fin viseront principalement l'opérationnalisation des résultats issus de projets de recherche récents pour bâtir sur les connaissances existantes. Parmi ceux-ci, l'amélioration des techniques de post-traitement statistique pour les précipitations les plus extrêmes (Mpelasoka and Chiew 2009; Gutjahr and Heinemann 2013; Dyrddal et al. 2015; Gennaretti et al. 2015; Simonovic et al. 2016; Soulis et al. 2016; Jalbert 2017; Perreault et al. 2017; Sebille et al. 2018), de même que l'élaboration d'une méthodologie permettant de combiner les résultats des scénarios hydroclimatiques produits avec les ensembles incluant CMIP5, CORDEX et ClimEx (Knutti et al. 2013; Heinrich et al. 2014; Sanderson et al. 2015; Chen et al. 2017; Knutti et al. 2017; Dalelane et al. 2018; Karmalkar 2018) constituent les besoins les plus importants.

Par ailleurs, il est important de noter les travaux qui concernent la composante hydraulique seront sous la responsabilité de la DEHA. Un dialogue constant entre les organisations permettra un arrimage entre les travaux des deux équipes.

Veille et communication

Certaines questions d'intérêt dépassent le cadre de recherche prévu par ce plan de travail, mais pourraient être pertinentes pour valider les séries hydroclimatiques ou pour bien circonscrire les éléments de réponse à fournir quant à l'impact des changements climatiques sur la cartographie des zones inondables. Dans ce contexte, il devient nécessaire d'assurer une veille, de documenter ces interrogations et d'anticiper celles qui pourraient survenir suite à l'inclusion des changements climatiques dans la cartographie des plaines inondables. En fonction des questions, plusieurs mécanismes pourront être déployés pour y répondre. Dans la plupart des cas, des analyses sommaires, des revues de la littérature ou des consultations d'experts seront privilégiées alors que pour des questionnements particuliers



des projets de recherche pourraient être envisagés. À titre d'exemple, l'impact de modifications de l'occupation du sol sur le climat local, sur l'hydrologie des bassins versants et sur les crues pourra être exploré afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble des facteurs à la base des enjeux d'inondations ainsi que des possibilités d'intervention. Ceci, comme d'autres sujets abordés dans ce volet, nécessitera des arrimages avec autres thématiques.

En parallèle à ces efforts de veille, une réflexion autour de la communication des résultats produits dans la thématique « Évolution du climat », ainsi que la diffusion des grands messages quant à l'impact des changements climatiques sur les crues futures et sur la cartographie des plaines inondables est requise. Elle fera l'objet de travaux tout au long du déploiement de ce plan de travail, pour informer différents publics-cibles en fonction des connaissances scientifiquement robustes, disponibles et pertinentes.

Intégration des résultats de recherche

Une partie essentielle du travail à réaliser dans le cadre de la thématique sera de rassembler les résultats des divers projets de recherche qui auront été développés, afin de les transformer en quelques livrables intégrateurs.

Pour l'instant, deux livrables principaux sont envisagés. Le premier prendra la forme d'un rapport constitué d'analyses et d'articles scientifiques, qui permettra d'illustrer les nouvelles connaissances acquises dans le cadre de ce projet sur la chaîne causale menant à des inondations en territoire québécois, ainsi que sur l'impact que les changements climatiques auront sur chaque élément de cette chaîne. Le second livrable prendra plutôt la forme d'un jeu de données climatiques et hydrologiques couvrant les années 1955 à 2100 pour l'ensemble du Québec méridional, accompagné d'une analyse fréquentielle pouvant s'intégrer aux politiques de cartographie des zones inondables et d'aménagement du territoire.

En fonction des besoins identifiés tout au long de la réalisation de ce mandat, des livrables pourront s'ajouter.



Liste des sujets à couvrir pour la thématique Évolution du climat

Axe de recherche	Lots de travail	Réalisation	Échéancier
Incidence des changements climatiques sur les crues	Production des scénarios climatiques Améliorer la robustesse de la méthode de post-traitement des données climatiques pour les précipitations extrêmes.	Expérience en climatologie Expérience en post-traitement statistique	Mars 2019
	Analyse de l'impact des changements climatiques sur les crues futures Effectuer une analyse détaillée des séries hydroclimatiques afin de mieux comprendre les phénomènes physique causant les signaux de changement.	Expérience en hydrologie et hydroclimatologie Expérience en climatologie Expérience en statistiques	2022
	Détection et attribution des tendances Identifier et comparer les tendances présentes dans les observations et dans les simulations. Attribuer ces tendances à une ou à des causes.	Expérience en hydrologie et hydroclimatologie Expérience en statistiques Expérience en attribution	2022
	Production des simulations hydrologiques contrefactuelles Pour appuyer les travaux d'attribution, produire des simulations hydrologiques alimentées par un climat naturel (sans émissions de gaz à effet de serre).	Expérience en post-traitement statistique Expérience en hydrologie et hydroclimatologie	2020
Modélisation hydroclimatique et incertitudes	Modélisation hydroclimatique : Volet climat Les travaux effectués dans ce lot de travail viseront à améliorer et à évaluer la robustesse de l'ensemble climatique dans le contexte de son utilisation pour la modélisation hydrologique.	Expérience en climatologie Expérience en post-traitement statistique Expérience en statistiques	2022 (Livrable intermédiaire 2020)



	Les travaux viseront également à combiner, avec une robustesse scientifique, l'information hydroclimatique produite avec les ensembles CMIP5, NA-CORDEX et ClimEx.	Expérience avec le fonctionnement des stations météorologiques	
	<p>Modélisation hydroclimatique : Volet hydrologie</p> <p>Les travaux effectués dans ce lot de travail viseront principalement à améliorer l'état de référence hydrologique, notamment en ce qui a trait au milieu non jaugé et aux intrants climatiques, ainsi qu'à réaliser des analyses de la performance des modèles.</p>	<p>Expérience en hydrologie</p> <p>Expérience avec le fonctionnement des stations hydrométriques</p> <p>Expérience en statistiques</p>	2021
	<p>Production de nouvelles simulations hydrologiques</p> <p>De nouvelles simulations permettront de valider les résultats obtenus par la plateforme de modélisation hydrologique de la DEHA, ainsi que de couvrir et d'évaluer l'incertitude liée à la modélisation hydrologique.</p>	<p>Expérience en hydrologie</p> <p>Expérience en hydroclimatologie</p>	2020
	<p>Analyse fréquentielle intégratrice</p> <p>Dans le but de faire un choix éclairé sur la manière d'intégrer l'incertitude et le risque dans la cartographie des plaines inondables, évaluer la répartition de l'incertitude entre les différentes sources (scénarios d'émission de GES, modèles climatiques, post-traitement statistique, modèles hydrologiques, analyse fréquentielle etc.).</p> <p>Évaluer la robustesse et la faisabilité de divers indicateurs fréquents pouvant intégrer plusieurs sources d'incertitude, ainsi que les effets non-stationnaires.</p>	<p>Expérience en hydrologie</p> <p>Expérience en statistiques</p>	2021
	<p>Arrimage entre la modélisation hydroclimatique et la modélisation hydraulique</p> <p>Valider les résultats de la thématique Évolution du climat et faire l'arrimage avec les tâches relevant du MELCC, dont</p>	<p>Expérience en hydrologie</p> <p>Expérience en modélisation hydraulique</p>	2022



	la modélisation hydraulique et la cartographie des plaines inondables.	Expérience avec les observations de crues	
Veille et communication	Veille Certains questionnements dépasseront la portée des projets de recherche réalisés dans les lots de travail précédents. Ces questions devront être examinées par l'équipe thématique afin de juger du niveau de priorité, de l'ampleur de la tâche et du niveau actuel de connaissances dans le(s) domaine(s) impliqué(s). Le niveau de réponse dépendra de ces éléments.	Expérience en communication Expérience en élaboration de revues de la littérature	2022
	Analyses ad-hoc En fonction du niveau de réponse identifié, les questionnements pointus pourront être répondus grâce à des analyses sommaires, des revues de la littérature ou des consultations d'experts. Des projets de recherche pourront également être envisagés.	Expérience dans les domaines d'intérêt	2023
	Communication et diffusion Préparer les messages clés à diffuser lors de périodes de crue et valoriser les principaux résultats au fil de l'avancement des travaux de la thématique. Préparer des produits de communication (rapports, articles scientifiques, autres) qui permettent de témoigner de la robustesse des résultats des projets de la thématique.	Expertise en communication Expertise technique dans les autres domaines impliqués (climatologie, hydrologie, statistiques, observations)	2023
Coordination et intégration scientifique	Coordination des équipes de travail Organiser des rencontres annuelles (ou biannuelles) entre les équipes de projet, pour partager l'état d'avancement des travaux et s'entendre sur certaines hypothèses communes.	Coordinatrice de la thématique Avec l'appui de l'ensemble des équipes de projet	2023



	<p>Production des livrables finaux de la thématique</p> <p>Produire un rapport final intégrant l'ensemble des résultats issus des différents travaux prévus dans ce plan de travail.</p> <p>Produire un jeu de données permettant de considérer les effets des changements climatiques dans la cartographie des plaines inondables.</p>	<p>Équipe thématique</p> <p>Avec l'appui de l'ensemble des équipes de projet</p>	<p>2023</p>

Références

- Alfieri L, Dottori F, Betts R, et al (2018) Multi-Model Projections of River Flood Risk in Europe under Global Warming. *Climate* 6:1–19. doi: 10.3390/cli6010006
- CEHQ (2013) Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Centre d'expertise hydrique du Québec, Québec
- CEHQ (2015) Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Centre d'expertise hydrique du Québec, Québec
- Chen J, Brissette FP, Chaumont D, Braun M (2013) Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. *Water Resources Research* 49:4187–4205.
- Chen J, Brissette FP, Lucas-Picher P, Caya D (2017) Impacts of weighting climate models for hydro-meteorological climate change studies. *Journal of Hydrology* 549:534–546. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.04.025
- Chen J, Brissette FP, Zhang XJ, et al (2019) Bias correcting climate model multi-member ensembles to assess climate change impacts on hydrology. *Climatic Change* 153:361–377. doi: 10.1007/s10584-019-02393-x
- Dalelane C, Früh B, Steger C, Walter A (2018) A pragmatic approach to build a reduced regional climate projection ensemble for Germany using the EURO-CORDEX 8.5 ensemble. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 57:477–491. doi: 10.1175/JAMC-D-17-0141.1
- DEHA (2018a) Atlas hydroclimatique du Québec méridional, Édition 2018. In: Direction de l'expertise hydrique du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/CrucesPrintanieres/Q1max2P.htm>.
- DEHA (2018b) Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional. Direction de l'expertise hydrique du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec
- Dottori F, Salamon P, Bianchi A, et al (2016) Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources* 94:87–102. doi: 10.1016/j.advwatres.2016.05.002
- Drijfhout S, Bathiany S, Beaulieu C, et al (2015) Catalogue of abrupt shifts in Intergovernmental Panel on Climate Change climate models. 5777–5786. doi: 10.1073/pnas.1511451112
- Dyrddal AV, Thorarinsdottir TL, Stordal F (2015) Bayesian hierarchical modeling of extreme hourly precipitation in Norway. *Environmetrics* 26:89–106.
- Francois B (2019) Design Considerations for Riverine Floods in a Changing Climate – A Review. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.068



- Gennaretti F, Sangelantoni L, Grenier P (2015) Toward daily climate scenarios for Canadian Arctic coastal zones with more realistic temperature-precipitation interdependence. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120:11862–11877.
- Giuntoli I, Villarini G, Prudhomme C, Hannah DM (2018) Uncertainties in projected runoff over the conterminous United States. *Climatic Change* 150:149–162. doi: 10.1007/s10584-018-2280-5
- Gutjahr O, Heinemann G (2013) Comparing precipitation bias correction methods for high-resolution regional climate simulations using COSMO-CLM. *Theoretical and Applied Climatology* 114:511–529.
- Hannart A, Pearl J, Otto FEL, et al (2016) Causal Counterfactual Theory for the Attribution of Weather and Climate-Related Events. *Bulletin of the American Meteorological Society* 97:99–110. doi: 10.1175/bams-d-14-00034.1
- Heinrich G, Gobiet A, Mendlik T (2014) Extended regional climate model projections for Europe until the mid-twentyfirst century: Combining ENSEMBLES and CMIP3. *Climate Dynamics* 42:521–535. doi: 10.1007/s00382-013-1840-7
- Jalbert J (2017) A spatiotemporal model for extreme precipitation simulated by a climate model, with an application to assessing changes in return levels over North America. 941–962. doi: 10.1111/rssc.12212
- Kang L, Jiang S, Hu X, Li C (2019) Evaluation of return period and risk in bivariate non-stationary flood frequency analysis. *Water (Switzerland)*. doi: 10.3390/w11010079
- Karmalkar AV (2018) Interpreting results from the NARCCAP and NA-CORDEX ensembles in the context of uncertainty in regional climate change. 2093–2106. doi: 10.1175/BAMS-D-17-0127.1
- Knutti R, Masson D, Gettelman A (2013) Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters* 40:1194–1199.
- Knutti R, Sedláček J, Sanderson BM, et al (2017) A climate model projection weighting scheme accounting for performance and interdependence. *Geophysical Research Letters* 44:1909–1918. doi: 10.1002/2016GL072012
- Kreibich H, Blauhut V, Aerts JCJH, et al (2019) How to improve attribution of changes in drought and flood impacts. *Hydrological Sciences Journal* 64:1–18. doi: 10.1080/02626667.2018.1558367
- Merz B, Kundzewicz ZW, Delgado J, et al (2012) Detection and Attribution of Changes in Flood Hazard and Risk. In: *Changes in Flood Risk in Europe*. IAHS Press, pp 435–454
- Mpelasoka FS, Chiew FHS (2009) Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections. *Journal of Hydrometeorology* 10:1168–1183.
- Perreault L, Jalbert J, Guay F (2017) Estimation des précipitations extrêmes aux postes de transformation exploités par Hydro-Québec. In: *Symposium Ouranos 2017*.
- Salas JD, Obeysekera J, Vogel RM (2018) Techniques for assessing water infrastructure for nonstationary extreme events: a review. *Hydrological Sciences Journal* 63:325–352.

doi: 10.1080/02626667.2018.1426858

- Sanderson BM, Knutti R, Caldwell P (2015) A representative democracy to reduce interdependency in a multimodel ensemble. *Journal of Climate* 28:5171–5194. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00362.1
- Sebille Q, Fougères A, Mercadier C (2018) Modeling extreme rainfall A comparative study of spatial extreme value models. *Spatial statistics* 21:187–208.
- Seiller G, Roy R, Anctil F (2017) Influence of three common calibration metrics on the diagnosis of climate change impacts on water resources. *Journal of Hydrology* 547:280–295. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.004
- Simonovic SP, Schardong A, Sandink D (2016) Mapping Extreme Rainfall Statistics for Canada under Climate Change Using Updated Intensity-Duration-Frequency Curves. *Journal of Water Resources Planning and Management* 143:04016078. doi: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000725
- Snover AK, Hamlet AF, Lettenmaier DP (2003) Climate-Change Scenarios for Water Planning Studies: Pilot Applications in the Pacific Northwest. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84:1513–1518. doi: 10.1175/BAMS-84-11-1513
- Soulis ED, Princz D, Wong J (2016) Renewal and Update of MTO IDF Curves : Defining the Uncertainty Renewal and Update of MTO IDF Curves : Defining the Uncertainty. doi: 10.14796/JWMM.C386
- Šraj M, Viglione A, Parajka J, Blöschl G (2016) The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 64:426–437. doi: 10.1515/johh-2016-0032
- Steinbakk GH, Thorarinsdottir TL, Reitan T, et al (2016) Propagation of rating curve uncertainty in design flood estimation. *Water Resources Research* 52:6897–6915. doi: 10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x
- Teufel B, Diro GT, Whan K, et al (2017) Investigation of the 2013 Alberta flood from weather and climate perspectives. *Climate Dynamics* 48:2881–2899. doi: 10.1007/s00382-016-3239-8
- Teufel B, Sushama L, Huziy O, et al (2018) Investigation of the mechanisms leading to the 2017 Montreal flood. *Climate Dynamics* 0:0. doi: 10.1007/s00382-018-4375-0
- Troin M, Arsenault R, Martel J-L, Brissette F (2017) Uncertainty of Hydrological Model Components in Climate Change Studies over Two Nordic Quebec Catchments. *Journal of Hydrometeorology* 19:27–46. doi: 10.1175/jhm-d-17-0002.1
- Ye A, Duan Q, Yuan X, et al (2014) Hydrologic post-processing of MOPEX streamflow simulations. *Journal of Hydrology* 508:147–156. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.055
- Yuan X, Wood EF (2012) Downscaling precipitation or bias-correcting streamflow? Some implications for coupled general circulation model (CGCM)-based ensemble seasonal hydrologic forecast. *Water Resources Research* 48:1–7. doi: 10.1029/2012WR012256