

# #RHQ2017 – Gestion et évolution du risque hydrologique

## Session d'affiches

Lundi 15 mai 2017 : 16h00

Numéro	Thème 1 - Le risque hydrologique en production agricole
1A	<b>Bigah, Yao; Rousseau, Alain N.; Gumiere, Silvio José (INRS-ETE; Université Laval)</b> Développement d'un module simplifié de gestion de l'eau dans les sites de production de canneberges
1B	<b>Bolduc, Samuel; Mailhot, Alain; Guillou, Mikael (INRS-ÉTÉ; MAPAQ)</b> Temps de concentration des petits bassins agricoles au Québec: peut-on utiliser les équations empiriques généralement proposées dans la littérature?
1C	<b>Dessureault-Rompré, Jacynthe; Caron, Jean; Plamondon, Laurie; Gaudreau, Linda; Jutras, Sylvain (Université Laval)</b> Caractéristiques de la croissance et de l'utilisation de l'eau de la laitue romaine cultivée en Histosol en fonction de la gestion de l'irrigation, de la présence de compaction et du type d'ensemencement.
1D	<b>Labrecque, Geneviève; Boucher, Marie-Amélie; Chesnaux, Romain (UQAC)</b> Modéliser le comportement d'un bassin versant non-jaugé en utilisant des jeux de données alternatifs : le cas du bassin versant de la rivière Caribou
1E	<b>Lafond, Jonathan; Caron, Jean; Gumiere, Silvio José; Rousseau, Alain N. (Université Laval; INRS-ÉTÉ)</b> Logiciel d'Aide à la Gestion de l'IRRigation en SOLs organiques (AGIRRSOL)
1F	<b>Matteau, Jean-Pascal; Gumiere, Silvio; Gasser, Marc-Olivier; Michaud, Aubert (Université Laval; IRDA)</b> Couplage d'un modèle de disponibilité du nitrate avec HYDRUS pour prédire son transport vers les drains souterrains
1G	<b>Racine, Cintia (Université Laval)</b> Modèle prévisionnel de gestion de l'eau en culture subirriguée de canneberges
1H	<b>St-Jacques, Jeannine-Marie; Andreichuk, Luliia; Sauchyn, David; Barrow, Elaine (Concordia University; University of Regina)</b> Projection des eaux de ruissellement des bassins des Prairies canadiennes pour 2041-2070 en utilisant les données des modèles climatiques régionaux NARCCAP et CORDEX
1I	<b>Umuhire, Flora; Michaud, Aubert; Anctil, François; Niang, Mohammed Abou (Université Laval; IRDA)</b> Calage automatique du modèle hydrologique SWAT basé sur la séparation des écoulements : Cas d'étude du petit bassin versant agricole d'Ewing, Québec
Numéro	Thème 2 - Le risque hydrologique dans les villes
2A	<b>Beck, Nicholas; Jalbert, Jonathan; Tremblay, Véronique; Genest, Christian; Mailhot, Mélina (McGill University; Desjardins Groupe d'Assurances Générales; Concordia University)</b> Estimation of Extreme Water Levels using a Spatial GEV model with a Copula
2B	<b>El Housni, Hind; Duchesne, Sophie (INRS-ETE)</b> Méthodologie de planification du renouvellement des conduits d'égout : intégration des aspects structuraux et hydrauliques dans un contexte de changement climatique
2C	<b>Oubennaceur, Khalid; Chokmani, Karem; Nastev, Miroslav (INRS-ETE; Commission géologique du Canada)</b> Analyse d'incertitude d'un modèle hydrodynamique bidimensionnel de la rivière Richelieu
2D	<b>Tanguay, Louis-Pierre (Université Laval)</b> Analyse géographique de la vulnérabilité associée aux inondations portant sur 3 municipalités québécoises : Châteauguay, Montmagny et Sainte-Brigitte-de-Laval
Numéro	Thème 3 – Le risque hydrologique dans la conception d'ouvrages
3A	<b>Martel, Jean-Luc; Mailhot, Alain; Brissette, François; Caya, Daniel (ETS; INRS-ETE)</b> Rôle de la variabilité naturelle du climat sur la détection du signal du changement climatique d'origine anthropique sur les précipitations extrêmes
3B	<b>Thiombiano, Alida; El Adlouni, Salah-Eddine; St-Hilaire, André; Ouarda, Taha (INRS-ETE; Université de Moncton)</b> Développement d'un modèle GP hybride avec l'approche des séries de durées partielles pour l'analyse fréquentielle des extrêmes en hydrologie

# RHQ2017 – Gestion et évolution du risque hydrologique

## Session d'affiches

Lundi 15 mai 2017 : 16h00

Numéro	Thème 4 - Le risque hydrologique en milieux naturels et aménagés
4A	<b>Alves, Marco; Nadeau, Daniel; Music, Biljana; Anctil, François (Université Laval; Consortium Ouranos)</b> Simulating surface energy balance with the Canadian Land Surface Scheme (CLASS) and Maximum Entropy Production Model (MEP)
4B	<b>ABANDON</b>
4C	<b>Bergeron, Jean; Leconte, Robert; Trudel, Mélanie (Université de Sherbrooke)</b> La mise à jour dynamique des paramètres de CEQUEAU à travers l'assimilation du débit pour la prévision hydrologique
4D	<b>Bessar, Mohammed Amine; Anctil, François (Université Laval)</b> Prévision d'ensemble des niveaux d'eau en rivière
4E	<b>Bizhanimanzar, Mohammad; Leconte, Robert; Nuth, Mathieu (Université de Sherbrooke)</b> Coupling unsaturated-saturated flow in a conceptual hydrologic model: how much complexity is justifiable?
4F	<b>Blanchette, Marianne; Rousseau, Alain N.; Poulin, Monique; Savary, Stéphane (INRS-ETE; Université Laval)</b> Services hydrologiques rendus par les milieux humides dans un contexte dynamique d'occupation du territoire : étude de cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles
4G	<b>Castaneda-Gonzalez, Mariana; Poulin, Annie (ETS)</b> Assessment of high-resolution climate simulations for hydrological modeling and the impact on hydrological extremes
4H	<b>Foulon, Etienne; Rousseau, Alain N. (INRS-ETE)</b> Équifinalité et calage automatique : impacts sur les processus hydrologiques simulés
4I	<b>Hadiwijaya, Bram; Nadeau, Daniel; Pepin, Steeve; (Université Laval)</b> Towards a real-time evapotranspiration partitioning from the boreal forest in eastern Canada
4J	<b>Haguma, Didier; Leconte, Robert (Université de Sherbrooke)</b> Prévision d'apports saisonniers avec des méthodes d'apprentissage automatique et d'indicateurs climatiques
4K	<b>Hajji, Islem; Nadeau, Daniel; Music, Biljana; Anctil, François; Jingfeng, Wang (Université Laval; Ouranos; Georgia Institute of Technology)</b> Généralisation et évaluation de la méthode de la maximisation de la production d'entropie (MEP) pour estimer l'évapotranspiration
4L	<b>Huot, Pierre-Luc; Poulin, Annie; Audet, Charles; Alarie, Stéphane (ETS; École Polytechnique de Montreal; IREQ)</b> Modèles substituts, représentatifs et moins coûteux en temps de calcul, pour le calage des modèles hydrologiques
4M	<b>Isabelle, Pierre-Erik; Nadeau, Daniel; Parent, Annie-Claude; Rousseau, Alain N.; Jutras, Sylvain; Anctil, François (Université Laval; INRS-ETE)</b> Variation annuelle et facteurs d'influence de l'évapotranspiration d'une forêt boréale humide
4N	<b>Kitouni, Yacine; Mebarki, Azzedine; Boughrara, Ahmed; Assaba, Mohamed; Taabni, Mohamed (Université des Frères Mentouri-Constantine; Université de Nice Sophia Antipolis; Université de Poitiers)</b> Reconstitution du fonctionnement hydrologique d'un hydrosystème aménagé : Le bassin du Kébir maritime (Algérie orientale)
4O	<b>Kittavong, Sisouvanh; Grégory, Seiller; Anctil, François (Université Laval)</b> Exploration d'un répertoire de nouvelles structures de modélisation hydrologique globale conceptuelle
4P	<b>Leonardini, Gonzalo; Brochero, Darwin; Anctil, François; Turcotte, Richard; Fortin, Vincent (Université Laval; MDDELCC; ECCC)</b> Évaluation de l'intérêt hydrologique du couplage du modèle de surface CLASS et du modèle hydrologique Hydrotel
4Q	<b>Murphy, Orla; Jalbert, Jonathan; Neslehová, Johanna; Genest, Christian (McGill University)</b> Estimating the return period of the 2011 Richelieu River flood
4R	<b>Ricard, Simon; Lachance-Cloutier, Simon; Noël, Philippe; Lavigne, Martin-Pierre; Cyr, Jean-François; Turcotte, Richard (MDDELCC)</b> Estimating the return period of the 2011 Richelieu River flood

RHQ2017 – Gestion et évolution du risque hydrologique

**Session d'affiches**  
**Lundi 15 mai 2017 : 16h00**

Numéro	Thème 4 - Le risque hydrologique en milieux naturels et aménagés (suite)
4S	<b>Savary, Stéphane; Rousseau, Alain N.; Tremblay, Sébastien; Konan, Brou; Daynou, Mathurin; Rémillard, Louise; Filion, Patrice (INRS-ETE; Hydro-Québec)</b> Adaptation de la plateforme de modélisation hydrologique PHYSITEL / HYDROTEL aux bassins versants de grande envergure, incluant les régions nordiques, dans un environnement de type source ouverte sous WINDOWS 64 bits
4T	<b>Trudel, Mélanie; Leconte, Robert; Doucet-Généreux, Pierre-Louis (Université de Sherbrooke)</b> Analyse des sources d'incertitude pour la modélisation des faibles débits en conditions de changements climatiques

***Résumés complets***

# ***Développement d'un module simplifié de gestion de l'eau dans les sites de production de Canneberges***

Bigah, Yao [yao.bigah@ete.inrs.ca](mailto:yao.bigah@ete.inrs.ca) <sup>1</sup>

Rousseau, Alain N. [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca) <sup>1</sup>

Gumiere, Silvio José [silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca](mailto:silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca) <sup>2</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

*2 - Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval*

Les besoins en eau pour une croissance optimale varient d'une plante à l'autre. Les plants de canneberges, d'une durée de vie d'environ quarante ans, sont sensibles aux conditions climatiques extrêmes et ont des besoins en eau spécifiques et divers en comparaison à d'autres cultures. Ainsi, ils nécessitent une irrigation de protection contre le gel et l'excès de chaleur lorsque la température descend respectivement en deçà de 0°C ou monte au-delà de 32°C. Pour faciliter la récolte, les parcelles cultivées sont inondées par une épaisseur d'eau d'environ 406 mm. Enfin, la protection contre l'hiver exige de maintenir une lame d'eau avoisinant 203 mm au-dessus des plants. L'usage intensif d'eau pour la production de la canneberge suscite beaucoup d'intérêt en matière de gestion des ressources hydriques particulièrement au Canada, deuxième producteur mondial avec environ 12 505 tonnes en 2014. L'eau est aujourd'hui recyclée dans ces fermes dans le but de réduire la demande annuelle de la plante, mais peu d'efforts ont été dédiés à l'évaluation de cette demande et à l'analyse de la fluctuation climatique sur celle-ci. Ce projet a donc pour objectif d'illuminer ces énigmes jusque-là inexplorées. L'approche méthodologique consiste à développer un modèle mathématique capable de simuler les besoins en eau des plants de canneberges sous diverses conditions climatiques et à long terme (30 ans par exemple). Le module de gestion de l'eau développé comporte deux sous-modules principaux : celui des parcelles de canneberges et celui des réservoirs de stockage d'eau. Le module est basé sur le principe de bilan de masse appliqué aux composantes du système et simule les processus hydrologiques : évaporation et évapotranspiration, drainage, percolation, exfiltration des réservoirs, et la demande en irrigation. Le sous-module des parcelles résout analytiquement l'équation de Richards 1D; il suppose que le système atteint un état d'équilibre en 24 heures (pas de temps de simulation) et décrit le profil d'humidité du sol par la relation de Brooks et Corey. Avec ces hypothèses et approximations de la situation étudiée, les résultats préliminaires illustrent que ce sous-module est apte à bien reproduire les fluctuations de la nappe au cours de la saison de production des fruits. Ce module est applicable à un profil de sol homogène à conductivité hydraulique assez élevée et disposant d'une nappe peu profonde capable de contribuer à la demande en évapotranspiration. L'influence d'incertitudes associées aux propriétés hydrodynamiques des sols, aux données météorologiques ainsi qu'aux hauteurs d'irrigation fera l'objet d'études ultérieures. Les résultats de ce projet aideront à mieux comprendre la variabilité interannuelle de la demande en eau des plants de canneberge, à gérer plus efficacement les parcelles en culture en situation d'événements pluvieux extrêmes, à concevoir et à gérer efficacement les réservoirs de stockage d'eau sur les sites de production.

# ***Temps de concentration des petits bassins agricoles au Québec: peut-on utiliser les équations empiriques généralement proposées dans la littérature?***

Bolduc, Samuel [samuel.bolduc@ete.inrs.ca](mailto:samuel.bolduc@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Mailhot, Alain [alain.mailhot@ete.inrs.ca](mailto:alain.mailhot@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

Sept petits bassins-versants agricoles (3 à 11 ha) ont été instrumentés par le MAPAQ afin de caractériser différents paramètres hydrologiques, dont les temps de concentration, et de les comparer aux valeurs estimées à partir de diverses équations empiriques proposées dans la littérature. Ainsi, les débits et la pluviométrie ont été mesurés chaque année, d'avril à novembre, entre 2010 et 2016, pour un total de 37 années-essais et 248 événements retenus. Les temps de concentration ont été estimés pour chaque hydrogramme simple (150 événements pluie/débit) à partir de quatre méthodes d'estimation basées sur différents temps caractéristiques des hydrogrammes et hyétogrammes (p. ex. durée entre le temps où l'intensité de la précipitation est maximale et le débit de pointe). Ces méthodes d'estimation ont alors été comparées entre elles. Les principaux constats de ces analyses sont que : 1) les temps de concentration estimés à partir d'une méthode donnée peuvent varier grandement d'un événement de pluie à l'autre en un même site et 2) les temps de concentration médians obtenus selon les différentes méthodes d'estimation sont parfois très différents pour un même site. La méthode d'estimation reposant sur les variables de temps associées au début du ruissellement direct et au débit de pointe, communément appelée « temps de montée » au Québec, a par la suite été retenue pour fin de comparaisons avec sept équations empiriques du temps de concentration (FAA, Kirpich, Johnstone-Cross, Mockus, SCS lag time, Sheridan et Williams). Les résultats tendent à démontrer que toutes ces équations sont inadéquates. Des équations empiriques ont dès lors été développées utilisant différentes formulations. Il s'avère que la caractéristique physiographique qui, parmi celles qui ont été considérées (longueur du parcours de l'eau, pente du cours d'eau et du bassin-versant, superficie, etc.), est la mieux corrélée aux temps de concentration observés est la longueur du parcours de l'eau (équation similaire à l'équation de Sheridan). Une équation a donc été ajustée aux temps de concentration observés aux sites sous étude. L'utilisation de cette équation est donc suggérée pour les petites parcelles agricoles du Québec de caractéristiques physiographiques similaires à celles des sites à l'étude.

# ***Caractéristiques de la croissance et de l'utilisation de l'eau de la laitue romaine cultivée en Histosol en fonction de la gestion de l'irrigation, de la présence de compaction et du type d'ensemencement.***

Dessureault-Rompré, Jacynthe [jacynthe.dessureault-rompre.1@ulaval.ca](mailto:jacynthe.dessureault-rompre.1@ulaval.ca) <sup>1</sup>

Caron, Jean [jean.caron@fsaa.ulaval.ca](mailto:jean.caron@fsaa.ulaval.ca) <sup>1</sup>

Plamondon, Laurie <sup>1</sup>

Gaudreau, Linda <sup>2</sup>

Jutras, Sylvain <sup>3</sup>

*1 - Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval*

*2 - Département de phytologie, Université Laval*

*3 - Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval*

Les sols organiques de la Montérégie, utilisés à des fins de production maraîchère sont extrêmement productifs. Toutefois des zones spécifiques présentent des problèmes de drainage qui limitent la productivité, rendant du coup l'irrigation inefficace. La présence d'une couche compacte (~ 25 à 40 cm sous la surface), entraîne alors la formation de nappes perchées. La présence de cette couche compacte dépend de l'âge des champs (nombre d'années depuis la mise en culture) et du degré de dégradation des sols. Ainsi, plusieurs drains installés dans les champs plus dégradés des fermes se retrouvent vides, alors que la surface est gorgée d'eau, ce qui peut amener des pertes importantes de rendement en production de laitues. Au Canada, la plupart des laitues (*Lactuca sativa* L.) sont produites sur des sols organiques cultivés, qui peuvent être très productifs, mais qui sont également très sensibles à la dégradation et au compactage. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet du compactage du sol, des seuils d'irrigation et du type de transplantation sur les caractéristiques de croissance et d'utilisation de l'eau de la laitue romaine cultivée en sol organique. Les expériences ont été réalisées en serre à l'Université Laval (46 ° 48'N; 71 ° 17'W). Des tensiomètres et des sondes TDR ont été utilisés pour caractériser les caractéristiques d'utilisation de l'eau de la laitue romaine. La plupart des caractéristiques de croissance de la laitue romaine, à l'exception du poids sec, ont été fortement influencées par la profondeur d'enracinement et par le seuil d'irrigation utilisé. L'absorption d'eau de la laitue a diminué de façon significative à mesure que la profondeur augmentait. En outre, dans des conditions plus sèches, les couches de sol plus profondes ont contribué davantage à l'absorption totale de l'eau que les couches de sol de surface. La productivité de l'eau (biomasse fraîche de la laitue / l'eau d'irrigation utilisée), était plus faible en présence d'une couche compacte combinée à un traitement de semis direct, par rapport à tous les autres traitements. Cette étude a plusieurs applications pratiques. Premièrement, la méthode d'irrigation choisie devrait permettre un certain degré de sécheresse en utilisant un seuil d'irrigation inférieur afin de stimuler l'enracinement profond. Deuxièmement, l'utilisation de blocs de tourbe pour la transplantation au lieu d'ensemencement direct peut compenser un effet de compactage possible.

# ***Modéliser le comportement d'un bassin versant non-jaugé en utilisant des jeux de données alternatifs : le cas du bassin versant de la rivière Caribou***

Labrecque, Geneviève [labrecque.genevieve@gmail.com](mailto:labrecque.genevieve@gmail.com)<sup>1</sup>

Boucher, Marie-Amélie [marie-amelie\\_boucher@uqac.ca](mailto:marie-amelie_boucher@uqac.ca)<sup>1</sup>

Chesnaux, Romain [romain\\_chesnaux@uqac.ca](mailto:romain_chesnaux@uqac.ca)<sup>1</sup>

*1 - Département des sciences appliquées, Université du Québec à Chicoutimi*

Modéliser le comportement hydrique d'un bassin versant, en plus de permettre de se préparer aux débits de crues et d'étiage, permet d'obtenir plusieurs autres informations très utiles. Entre autres, une modélisation intégrée du bassin versant peut servir à estimer la recharge des eaux souterraines. Dans le cadre de cette étude, le modèle WaSiM a été choisi pour modéliser le bassin versant de la rivière Caribou. Ce bassin versant de 120 km<sup>2</sup> contient un aquifère d'importance qui est utilisé à des fins de production d'eau potable, industrielle et potentiellement agricole. L'objectif à long terme de cette étude est donc de déterminer le taux de renouvellement de la ressource afin d'éviter une surexploitation et permettre à un producteur de bleuets sauvages de la région d'évaluer la possibilité d'irriguer une de ses bleuetières à partir de cet aquifère. Par contre, la modélisation de ce bassin versant est complexe puisqu'il n'est pas jaugé. Il devient donc impératif de développer une procédure permettant de calibrer les paramètres libres de WaSiM à partir des quelques données disponibles. D'abord, un bassin versant dont les caractéristiques physiographiques et hydroclimatiques sont similaires à celles du bassin versant Caribou est retenu à titre de bassin versant « jumeau ». Les séries temporelles de débit de ce bassin versant « jumeau » sont transférées au bassin versant Caribou et une première calibration du modèle WaSiM peut être effectuée à l'aide de l'algorithme de recherche dimensionné dynamiquement (DDS) (Tolson et Shoemaker 2007). Par la suite, cette calibration peut être raffinée en utilisant deux sources de données alternatives : (1) l'équivalent en eau de la neige sur une grille de 10 km par 10 km et (2) une série temporelle, courte et discontinue, de débits obtenue en utilisant le modèle atmosphérique global multi-échelle (GEM) de Changements Climatiques Canada et un modèle de routage basé sur un hydrographe unitaire. Les paramètres ainsi obtenus sont ensuite validés avec quelques mesures de débits enregistrées à deux endroits sur la rivière Caribou lors d'une campagne de mesures réalisée à l'été 2016. La performance du modèle est évaluée avec l'erreur absolue moyenne (MAE) et les résultats démontrent que le modèle s'accorde bien avec les valeurs mesurées.

Références : Tolson, B. A., and C. A. Shoemaker. 2007. "Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration." *Water Resources Research* 43 (1). doi: 10.1029/2005wr004723.

# **Logiciel d'Aide à la Gestion de l'IRRigation en SOLs organiques (AGIRRSOL)**

Lafond, Jonathan [jonathan.lafond.2@ulaval.ca](mailto:jonathan.lafond.2@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Caron, Jean [jean.caron@fsaa.ulaval.ca](mailto:jean.caron@fsaa.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Gumiere, Silvio Jose [silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca](mailto:silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Rousseau, Alain N. [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca)<sup>2</sup>

*1 - Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval*

*2 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

Le contrôle de l'irrigation est très souvent basé sur l'expérience des producteurs, sans critères techniques précis. Dans ce contexte, les agriculteurs arrivent difficilement à optimiser la gestion de l'eau ce qui peut conduire à une perte de productivité et un gaspillage de cette ressource vitale tout en accentuant le lessivage des fertilisants vers les cours d'eau avoisinants. Le développement d'un logiciel d'irrigation de précision est venu apporter des solutions concrètes aux producteurs maraîchers en sols organiques. Le logiciel d'Aide à la Gestion de l'IRRigation en SOLs organiques (AGIRRSOL) utilise de l'information provenant du sol, de la culture en place, des prévisions météorologiques et de la capacité d'intervention afin de produire des cartes prévisionnelles de la réserve en eau utile du sol (RFU). Le producteur peut ainsi connaître la réserve en eau de son sol, les besoins à combler selon la culture et son stade de développement, de même que la quantité d'eau à appliquer afin de demeurer dans la zone de confort du prélèvement racinaire. Pour fournir ces renseignements aux producteurs, l'algorithme intègre des mesures de potentiel matriciel du sol prises régulièrement au champ, des données météorologiques du jour et des deux jours qui suivent (calcul prévisionnel de l'évapotranspiration) et les données de la culture en place (dates de plantation, dates de récolte, stades de croissance) ; tout cela de manière à moduler les cartes de RFU préalablement réalisées à partir des paramètres hydrodynamiques de ces sols. L'objectif de cette communication est de présenter les concepts à la base d'AGIRRSOL tout en explicitant les différences entre le logiciel et les applications mobiles (iOS et Android) utilisées par les agriculteurs.

# ***Couplage d'un modèle de disponibilité du nitrate avec HYDRUS pour prédire son transport vers les drains souterrains***

Matteau, Jean-Pascal [jean-pascal.matteau.1@ulaval.ca](mailto:jean-pascal.matteau.1@ulaval.ca)<sup>1,2</sup>

Gumiere, Silvio [silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca](mailto:silvio-jose.gumiere@fsaa.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Gasser, Marc-Olivier [marc-o.gasser@irda.qc.ca](mailto:marc-o.gasser@irda.qc.ca)<sup>2</sup>

Michaud, Aubert [aubert.michaud@irda.qc.ca](mailto:aubert.michaud@irda.qc.ca)<sup>2</sup>

*1 - Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval*

*2 - Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)*

Les pertes de fertilisant azoté utilisé en agriculture sont parmi les principaux polluants impliqués dans la dégradation de la qualité de l'eau au Québec (Dupuy et al., 2012). Sous couvert de grande culture, les nitrates lessivés peuvent atteindre 185 kg/ha (Gollamudi, 2006). Synchroniser la fertilisation azotée avec le prélèvement des cultures serait une manière de réduire le lessivage de nitrate. Une manière d'arriver à cette synchronisation est de prédire le prélèvement de nitrate de la culture et son lessivage. Il existe des modèles physiques ou basés sur les processus pouvant être utilisés dans cet objectif. Toutefois, les modèles physiques requièrent de nombreuses données initiales et les modèles basés sur les processus peuvent être utilisés seulement dans l'intervalle de données dans lequel ils ont été calibrés. La quantification du réservoir d'azote organique du sol et de sa disponibilité pour la minéralisation est aussi complexe car elles impliquent des connaissances en biologie, en microbiologie et en chimie, étant dépendantes de la température, du contenu en eau, du pH et du type de sol. Les objectifs de l'étude étaient 1) de déterminer un modèle empirique de disponibilité de nitrate à la surface du sol, 2) de combiner ce modèle avec HYDRUS afin de prédire le nitrate lessivé vers les drains, et 3) d'évaluer la contribution de l'azote fournie par la matière organique du sol au lessivage du nitrate. Dans cette étude, nous avons utilisé des équations d'estimation des pools d'azotes et de leurs transformations. Elles sont tirées de la littérature (Dessureault-Rompré et al., 2015, 2010; Hanson et al., 2006) et basées sur des données atmosphériques, de rotation de culture ou de granulométrie du sol. Les équations ont été combinées en 60 patrons de relâchement du N prenant en compte une fonction de mise en solution du N pour le nitrate, 4 pour l'ammonium, 5 pools d'azote organique du sol et 3 fonctions de relâchement du N de l'azote organique du sol et des lisiers. Ces patrons de relâchement du N ont été appliqués dans un traitement de fertilisation minérale et quatre traitements de fertilisation organique pour un total de 300 patrons uniques de relâchement de nitrate. Certains patrons ont offert un meilleur pouvoir prédictif. La quantité de fertilisant utilisée et la forme du fertilisant ont eu un effet important sur les patrons qui ont montré les meilleurs résultats. Cette étude démontre que des méthodes d'évaluation des contributions des formes d'azote basées sur des données atmosphériques, de rotation de culture ou de granulométrie du sol peuvent offrir des résultats précis. La méthode de prédiction doit être différente si le fertilisant appliqué sur la parcelle est organique ou minéral.

# ***Modèle prévisionnel de gestion de l'eau en culture subirriguée de canneberges***

Racine, Cintia [cintia.racine.1@ulaval.ca](mailto:cintia.racine.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

1 - Université Laval

Récemment au Québec, la pratique de l'irrigation souterraine (subirrigation) croît en popularité chez les producteurs de canneberges. La subirrigation est opérée par le contrôle du niveau de la nappe phréatique dans les champs qui influence le taux de remontée capillaire. L'adoption de cette pratique est expliquée par les nombreux avantages qui lui sont attribués. Par exemple, elle assure un meilleur contrôle de l'humidité du sol et du feuillage qui entraîne une réduction de la croissance des mauvaises herbes ou des moisissures sur le feuillage et induit des conditions de croissance favorables pour les plants. Le contrôle de nappe permet de répondre efficacement à la demande d'évapotranspiration journalière par la remontée capillaire et de réguler l'excédant d'eau dans le sol par le drainage. L'objectif principal de cette étude est de développer un modèle prévisionnel hydrologique à l'échelle du champ simulant les opérations de subirrigation. Le modèle d'éléments finis CATHY (CATchment HYdrology) associé à des opérations d'assimilation de données séquentielles par la méthode du Filtre de Kalman d'Ensemble seront utilisés pour simuler les dynamiques d'écoulement et ajuster la trajectoire du modèle en temps réel. L'étude est conduite dans les champs de la ferme Canneberges Bieler située à Saint-Louis de Blandford au Québec. Les conditions hydrologiques, pédologiques et géologiques des champs ont été caractérisées in-situ ainsi qu'en laboratoire. Les données collectées par des levés laser aéroportés de type LIDAR et de géoradar ainsi que des essais de conductivité hydraulique saturée in-situ ont permis de définir la géométrie du domaine d'écoulement et d'estimer les valeurs initiales des propriétés hydrodynamiques des sols. Les premiers résultats de simulation sont prometteurs et cohérents avec les mesures des conditions hydriques du sol observées à l'été 2016.

# **Projection des eaux de ruissellement des bassins des Prairies canadiennes pour 2041-2070 en utilisant les données des modèles climatiques régionaux NARCCAP et CORDEX**

St-Jacques, Jeannine-Marie [jeanninemarie.st-jacques@concordia.ca](mailto:jeanninemarie.st-jacques@concordia.ca)<sup>1</sup>

Andreichuk, Iuliia [andreici@uregina.ca](mailto:andreici@uregina.ca)<sup>2</sup>

Sauchyn, David [sauchyn@uregina.ca](mailto:sauchyn@uregina.ca)<sup>2</sup>

Barrow, Elaine [elaine.barrow@sasktel.net](mailto:elaine.barrow@sasktel.net)<sup>2</sup>

1 - Concordia University

2 - University of Regina

Le bassin de la rivière Saskatchewan Sud (SSRB) en Alberta (Canada), est semi-aride et est déjà sous un stress hydrique si sévère que la majeure partie a été fermée à une nouvelle allocation. Nous présentons le premier examen des changements projetés dans le ruissellement du SSRB à partir d'un grand nombre de MCR de NARCCAP et de CORDEX. Nous montrons que le ruissellement de surface total mrro peut être directement utilisé pour simuler le ruissellement du SSRB à partir du 20ème siècle, et donc pour projeter le ruissellement du 21ème siècle. Les MCRs capturent des rétroactions importantes entre l'atmosphère et la surface terrestre. Nous montrons que la réduction statistique d'échelle basée sur le standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) a beaucoup de potentiel ici. Nos résultats montrent une tendance à l'assèchement projetée dans la SSRB. L'assèchement sera pire dans le sous-bassin de la rivière Oldman et moindre dans le sous-bassin de la rivière Red Deer, qui pourrait même voir une augmentation du ruissellement. On devrait s'attendre à un pic printanier du ruissellement plus tôt et des étiages plus sévères à la fin de l'été, avec la nécessité d'irrigation accrue. Dans un premier examen de la question importante des changements projetés de la variabilité interannuelle, la projection de mrro montre qu'il faudra planifier pour une augmentation de la variabilité interannuelle du ruissellement. Ce résultat s'ajoute aux défis déjà présents d'adaptation au cours de ce siècle dans ce bassin. Cette étude souligne l'importance des discussions préliminaires des parties prenantes, comme celle du SSRB Adaptation to Climate Variability Project, afin de mieux planifier la gestion coopérative des ressources en eau.

# **Calage automatique du modèle hydrologique SWAT basé sur la séparation des écoulements : Cas d'étude du petit bassin versant agricole d'Ewing, Québec.**

Umuhire, Flora [flora.umuhire.1@ulaval.ca](mailto:flora.umuhire.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Michaud, Aubert [aubert.michaud@irda.qc.ca](mailto:aubert.michaud@irda.qc.ca)<sup>2</sup>

Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Niang, Mohammed Abou [mohamed.niang@irda.qc.ca](mailto:mohamed.niang@irda.qc.ca)<sup>2</sup>

*1 - Département de génie civil et génie des eaux, Université Laval*

*2 - Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)*

Dans le cadre du suivi et de la gestion de la qualité de l'eau dans les bassins versants agricoles du Québec, des travaux de recherche sur l'évaluation et la modélisation hydrologique ont été réalisés. Le fonctionnement hydrologique est primordial pour comprendre le bilan hydrique du bassin versant, en particulier pour estimer les différentes composantes du débit à la rivière dans les modèles hydrologiques, afin d'estimer avec précision la charge à long terme des nutriments pendant les périodes d'évaluation de la qualité de l'eau. La modélisation hydrologique en continue au moyen d'un calage automatique utilise souvent des méthodes plus sophistiquées. En plus, ces estimateurs de paramètres nécessitent des fonctions objectives complexes pour s'assurer que le paramètre final reflète les composantes du débit hydrologique : les écoulements de surface, les écoulements hypodermiques et les écoulements de base que ces modèles sont conçus pour représenter. Le cheminement de l'eau est souvent problématique car c'est la performance du modèle qui est prise en compte par la fonction objective. Pour améliorer le calage automatique, l'approche d'optimisation des paramètres du modèle hydrologique basée sur la séparation de deux composantes principales de l'écoulement (écoulement rapide et écoulement lent) est revisitée. Cette approche permet d'intégrer la séparation des hydrogrammes dans la fonction objective. Les écoulements rapides et les écoulements lents sont impliqués au calage usuel de l'écoulement total. Le cas d'étude est du bassin versant d'Ewing (33,2 km<sup>2</sup>, Baie Missisquoi) situé dans la partie sud-ouest du Québec. Le modèle hydrologique de SWAT est utilisé pour la représentation du fonctionnement hydrologique du bassin. Deux méthodes de séparations (BFLOW et Eckhardt) sont appliquées pour les fins de séparation des hydrogrammes. La première analyse des résultats du calage automatique montre des bonnes performances du modèle. La répartition des écoulements se distingue suivant la méthode de séparation choisie. Une meilleure représentation des écoulements est obtenue avec cette approche comparée aux résultats d'un calage ordinaire. Ceci prouve que les fonctions objectives devraient comprendre des composantes pour représenter chacun des processus physiques importants. Ce qui améliore la précision du modèle hydrologique et rend le bilan hydrique plus réaliste.

# ***Estimation of Extreme Water Levels using a Spatial GEV model with a Copula***

Beck, Nicholas [nicholas.beck@mail.mcgill.ca](mailto:nicholas.beck@mail.mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Jalbert, Jonathan [jonathan.jalbert@mail.mcgill.ca](mailto:jonathan.jalbert@mail.mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Tremblay, Véronique [veronique.tremblay@dgag.ca](mailto:veronique.tremblay@dgag.ca)<sup>2</sup>  
Genest, Christian [christian.genest@mcgill.ca](mailto:christian.genest@mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Mailhot, Mélina [melina.mailhot@concordia.ca](mailto:melina.mailhot@concordia.ca)<sup>3</sup>

*1 - The Department of Mathematics and Statistics, McGill University*

*2 - Desjardins Groupe d'Assurances Générales*

*3 - The Department of Mathematics and Statistics, Concordia University*

All around the world, floods are considered to be the most catastrophic of natural disasters, both in terms of damages and the number of victims. Moreover, given how the environment is rapidly changing, accurately being able to predict (and protect ourselves from) such catastrophes is of paramount importance. In Canada, insurance companies are beginning to offer protection against such events. Currently, products exist for both rainfall and river flood protection. However, there is currently no protection that exists for coastal floods. The goal of this project, which emerged during a CRM workshop in 2016, is to estimate extreme water levels and the subsequent risk of coastal flooding in two regions of Canada: the Atlantic and the Pacific. To accomplish this, a spatial model for extreme values is used to model the annual maximum water levels as measured by buoys in the regions of interest. We also introduce a copula to the model that will further strengthen our measure of dependence between stations and provide a more coherent notion of how the sea levels act together. This model will allow us to estimate, through interpolation, sea levels at locations with no observations and create coastal flooding maps indicating the risk of disaster. With these maps we can estimate the potential damages incurred so as to set the appropriate premium for coastal flood protection.

# ***Méthodologie de planification du renouvellement des conduits d'égout : intégration des aspects structuraux et hydrauliques dans un contexte de changement climatique***

El Housni, Hind [hind.el\\_housni@ete.inrs.ca](mailto:hind.el_housni@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Duchesne, Sophie [sophie.duchesne@ete.inrs.ca](mailto:sophie.duchesne@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

La gestion des infrastructures de drainage urbain représente un grand défi. Leur vieillissement accroît les besoins financiers essentiels à leur remise à niveau et nécessite un ajustement des outils de gestions disponibles. La mauvaise performance des réseaux d'égout peut entraîner une multitude de problèmes, tels que les effondrements de chaussée, les refoulements d'égout (Zhao et al. 2001), les inondations et l'augmentation des volumes d'eau usée rejetés aux milieux récepteurs (Tran et al. 2010). Ces problèmes représentent un risque pour la sécurité des citoyens, le développement économique et la qualité des écosystèmes. La plus part de ces problèmes risquent de s'accroître en raison de l'évolution des conditions climatiques (Berggren et al. 2012). Une gestion du renouvellement des réseaux basée sur une approche préventive et s'adaptant au mieux aux changements climatiques (CC) projetés pourrait limiter les problèmes cités précédemment et permettre de maintenir un niveau de performance acceptable. Dans cette optique nous proposons une planification du renouvellement des conduites d'égout considérant simultanément la modélisation de la détérioration des performances structurales et hydrauliques, dans un contexte de CC. Cette planification consiste à : 1) identifier, sur la base d'une modélisation statistique de la performance structurale et d'une modélisation hydraulique/hydrologique de la performance hydraulique, les conduites nécessitant une intervention rapide et 2) programmer, à la lumière de la modélisation de ces deux performances actuelles futures, les meilleures interventions à mettre en oeuvre en fonction de plusieurs critères. Pour modéliser la détérioration structurale des conduites d'égout, une méthodologie d'identification des facteurs (ex., âge, diamètre, etc.) ayant un impact significatif et devant être considérés est proposée. Cette méthodologie est basée sur le test du ratio de vraisemblance et le modèle de Cox (Timsit et al. 2005), qui permet d'estimer la probabilité qu'une conduite soit dans un état structural donné en un temps donné en fonction de plusieurs variables. Appliqués aux conduites de deux réseaux d'égout québécois A et B, cette méthodologie a démontré que seul l'âge des conduites a un impact significatif sur la détérioration structurale de celles-ci. La modélisation de la performance hydraulique est basée sur les simulations hydrauliques/hydrologiques utilisant le modèle SWMM (Rossman 2008) et des événements de récurrences 2 à 5 ans. Pour cette partie, une seconde méthodologie est proposée pour identifier les conduites ayant une capacité hydraulique insuffisante. L'évolution de cette capacité dans le temps, en fonction de l'évolution du régime pluviométrique, est aussi examinée. L'application de cette méthodologie à deux secteurs des réseaux A et B a permis d'identifier les tronçons de conduites ayant une capacité hydraulique actuelle ou future insuffisante. La considération des résultats de ces deux modélisations devrait permettre de dresser et d'évaluer différents scénarios de renouvellement et par conséquent réduire les coûts qui leur sont associés.

***Thème 2 - Le risque hydrologique dans les villes***

# **Analyse d'incertitude d'un modèle hydrodynamique bidimensionnel de la rivière Richelieu**

Oubennaceur, Khalid [khalid.oubennaceur@ete.inrs.ca](mailto:khalid.oubennaceur@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

Chokmani, Karem [karem.chokmani@ete.inrs.ca](mailto:karem.chokmani@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

Nastev, Miroslav [miroslav.nastev@rncan-nrcan.gc.ca](mailto:miroslav.nastev@rncan-nrcan.gc.ca)<sup>2</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

*2 - Commission géologique du Canada*

Les modèles hydrauliques sont couramment utilisés pour l'aménagement des rivières et la prévention des dommages liés aux inondations. Ces modèles sont affectés par diverses sources d'incertitudes. La quantification et la prise en considération de l'incertitude des sorties du modèle est devenue ainsi une étape essentielle pour sa validation. La méthode d'estimation ponctuelle (MEP) est utilisée pour estimer les moments statistiques des résultats du modèle à partir d'un modèle limité de calculs. Cette méthode est un cas particulier de la quadrature numérique basé sur des polynômes orthogonaux. Elle est très utile particulièrement en cas des modèles hydrauliques complexes, comportant plus qu'une variable, rendant par conséquent la méthode Monte Carlo impraticable avec son temps de calcul long. L'objectif de ce travail est de tester la méthode MEP sur les sorties simulées du modèle hydrodynamique H2D2 pour un tronçon de la rivière Richelieu en considérant trois principaux paramètres (topographie, débit, et coefficient de Manning). Des cartes d'inondation de la moyenne et d'écart-type de profondeurs d'eau pour quatre débits potentiels (759, 824, 936, 1113 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) ont été obtenues. Les résultats ont montré que les valeurs d'écart type des profondeurs d'eau sont inférieures à 30 cm pour les débits considérés. Ces valeurs d'écart-type calculés montrent également que ces variations sont significatives principalement en aval du seuil rocheux de Saint-Jean-sur-Richelieu. Ces résultats ont permis de mettre en évidence la robustesse et l'efficacité de la méthodologie proposée et contribuent à l'optimisation des efforts de réduction d'incertitudes de l'évaluation.

# ***Analyse géographique de la vulnérabilité associée aux inondations portant sur 3 municipalités québécoises : Châteauguay, Montmagny et Sainte-Brigitte-de-Laval***

Tanguay Louis-Pierre [louis-pierre.tanguay.1@ulaval.ca](mailto:louis-pierre.tanguay.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

1 - Université Laval

Avec l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, une plus grande menace pèse sur la santé et la sécurité des populations. Ce mémoire de maîtrise consiste à réaliser une analyse géographique de la vulnérabilité de la population québécoise face aux inondations. Une analyse plus approfondie est effectuée sur les municipalités de Châteauguay, Montmagny et Sainte-Brigitte-de-Laval. Cependant, peu d'indicateurs sont disponibles pour analyser la vulnérabilité de la population face à cet aléa climatique à l'échelle des municipalités québécoises. Cette étude permettra d'identifier et d'analyser à l'échelle des municipalités québécoises les zones vulnérables aux inondations. Dans le but de cartographier ces phénomènes, la sélection de variables provenant d'une revue de littérature, la création d'indicateurs et d'une cartographie synthétique de la vulnérabilité sont primordiales. La mise en place d'une cartographie participative avec les acteurs municipaux a été effectuée afin de connaître la situation spécifique des municipalités face aux inondations et de valider les résultats obtenus lors de l'élaboration des indicateurs. Cette recherche, autant au niveau méthodologique que cartographique, se base sur deux dimensions de la vulnérabilité, soit la sensibilité et la capacité à faire face. À terme, cette étude a permis de mettre en évidence des zones sensibles à la survenue de cet aléa climatique extrême ainsi que les zones où la capacité à faire face est moindre, se retrouvant ainsi dans une situation de vulnérabilité.

# **Rôle de la variabilité naturelle du climat sur la détection du signal du changement climatique d'origine anthropique sur les précipitations extrêmes**

Martel, Jean-Luc [martel.jean.luc@gmail.com](mailto:martel.jean.luc@gmail.com)<sup>1</sup>

Mailhot, Alain [alain.mailhot@ete.inrs.ca](mailto:alain.mailhot@ete.inrs.ca)<sup>2</sup>

Brissette, Francois [francois.brissette@etsmtl.ca](mailto:francois.brissette@etsmtl.ca)<sup>1</sup>

Caya, Daniel [danielcaya222@gmail.com](mailto:danielcaya222@gmail.com)<sup>1</sup>

*1 - École de Technologie Supérieure*

*2 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

Les changements climatiques d'origine anthropique auront des impacts sur les précipitations extrêmes, ce qui pourrait avoir des conséquences importantes sur la gestion des ressources en eau. Les mesures d'adaptations efficaces reposent sur les projections les plus fiables des tendances futures des précipitations et aussi la meilleure estimation de l'incertitude y étant attachée. La variabilité naturelle du climat, une composante importante de cette incertitude, a le potentiel de dissimuler le signal du changement climatique d'origine anthropique. Ainsi, une tendance détectée (ou l'absence de tendance) avant la fin du 21<sup>e</sup> siècle pourrait être plus ou moins élevée que la vraie tendance à long terme engendrée par les changements climatiques d'origine anthropique. L'objectif de la présente étude est d'évaluer comment la variabilité naturelle du climat affecte la capacité à détecter le signal du changement climatique d'origine anthropique sur les précipitations extrêmes. Cela est réalisé en utilisant le grand ensemble de 50 simulations du Canadian Earth System Model version 2 (CanESM2) couvrant la période de 1950 à 2100. La capacité de CanESM2 à reproduire la variabilité naturelle du climat observée est validée à l'aide de la base de données observées sur grille HadEX2. Les résultats indiquent que pour les précipitations extrêmes, la variabilité naturelle du climat peut dissimuler localement le signal du changement climatique d'origine anthropique pour de longues périodes pouvant atteindre la fin du 21<sup>e</sup> siècle dans de nombreuses régions du monde, et ce, tant à l'échelle temporelle annuelle que saisonnière. Cependant, une probabilité relativement faible d'avoir une détection locale du signal du changement climatique d'origine anthropique dès le début du 21<sup>e</sup> siècle demeure pour l'ensemble des régions du monde.

# ***Développement d'un modèle GP hybride avec l'approche des séries de durées partielles pour l'analyse fréquentielle des extrêmes en hydrologie***

Thiombiano, Alida [alida\\_nadege.thiombiano@ete.inrs.ca](mailto:alida_nadege.thiombiano@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
El Adlouni, Salah-Eddine [salah-eddine.el.adlouni@umoncton.ca](mailto:salah-eddine.el.adlouni@umoncton.ca)<sup>2</sup>  
St-Hilaire, André [andre.st-hilaire@ete.inrs.ca](mailto:andre.st-hilaire@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Ouarda, Taha [taha.ouarda@ete.inrs.ca](mailto:taha.ouarda@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

*2 - Université de Moncton*

La théorie des valeurs extrêmes propose des modèles asymptotiques pour l'analyse fréquentielle d'évènements hydrologiques extrêmes. Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse au développement d'une distribution de Pareto généralisée combinée avec une distribution Gamma (GP hybride avec Gamma). L'utilisation de ce genre de modèle lorsqu'on dispose de données journalières complètes permet d'estimer le seuil et de quantifier l'incertitude qui s'y associe le long du processus d'inférence. L'approche bayésienne avec l'algorithme de Metropolis-Hastings est utilisée pour l'estimation de tous les paramètres du modèle hybride GP. Au moyen de simulations, une étude de sensibilisation par rapport au seuil initial et aux lois a priori est proposée. Deux types d'erreur (I et II) d'estimation des quantiles respectivement avec l'hypothèse qu'on connaît le modèle de génération des données et le cas plus réaliste où on ne le connaît, sont ensuite évalués au moyen du biais relatif et de la racine de l'erreur quadratique moyenne relative pour les différents scénarios du modèle GP hybride développés. Les estimations avec le modèle GP classique sont aussi analysées à des fins de comparaison des modèles. Une discussion sur le choix du meilleur modèle sera alors proposée ainsi que son application avec des observations de la précipitation totale journalière à une station du Québec. La finalité du modèle GP hybride proposé est de réduire les erreurs dans la modélisation statistique de variables hydrologiques déterminantes pour la gestion des ressources en eau.

# ***Simulating surface energy balance with the Canadian Land Surface Scheme (CLASS) and Maximum Entropy Production Model (MEP)***

Alves, Marco [marco.alvarenga.alves@gmail.com](mailto:marco.alvarenga.alves@gmail.com)<sup>1</sup>

Nadeau, Daniel [daniel.nadeau@gci.ulaval.ca](mailto:daniel.nadeau@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Music, Biljana [music.biljana@ouranos.ca](mailto:music.biljana@ouranos.ca)<sup>2</sup>

Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

*1 – Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*

*2 - Consortium Ouranos*

Extreme weather conditions and severe hydrological events are often associated with serious socioeconomic damages ranging from local to regional scale. As many studies suggest that global warming due to increasing levels of concentrations of greenhouse gasses may be favorable for more frequent and more severe weather extreme, there is a need to evaluate how likely and severe the hydrological risk will be in future climate conditions. This assessment requires good modeling tools of both weather and hydrological phenomena. The ability of hydrological models to provide a reliable assessment of future hydrological regime is widely affected by their choice of evapotranspiration formulation. Usually, hydrological models used in climate change studies do not take into account the surface energy budget. This work aims to explore evapotranspiration formulation based on Maximum Entropy Production (MEP) Model which assures energy conservation at the atmosphere-land surface interface. Our study site is located in a semi-arid grassland region, in southeastern Arizona, USA. We compared observed surface energy fluxes, provided by the Global Energy and Water Cycle Exchanges Project, to the fluxes simulated with the MEP Model. We also explore land surface fluxes as simulated by one of the most recognized (sophisticated) state-of-the-art land surface scheme, Canadian Land Surface Scheme version 3.6 (CLASS), which has been chosen to provide surface boundary conditions to the Canadian Regional Climate Model. The analysis focuses on summertime sensible, latent, and soil heat flux from 2004 to 2005. The observed soil heat flux has been corrected to include the heat storage in the soil layer above the measuring instrument. Our preliminary results show that daily average of sensible heat and soil heat modeled (simulated) by the MEP and CLASS agree well with observations. The daily average of latent heat flux was most of the time overestimated by both models, especially during dry periods, without precipitation, low air relative humidity (less than 50%), and soil water content nearly zero. This disagreement in the CLASS result is explained by an overestimation of soil moisture increasing evaporative processes from the ground. The overestimation of latent heat in MEP may be related to the formulation of soil thermal inertia in the model, which is sensitive to the amount of water into the soil, requiring further investigation. The ongoing work will focus on improving the initialization settings for CLASS and on enhancing some parameterisations in MEP. Both models will be evaluated in different climate conditions.

# ***La mise à jour dynamique des paramètres de CEQUEAU à travers l'assimilation du débit pour la prévision hydrologique***

Bergeron, Jean [jean.bergeron2@usherbrooke.ca](mailto:jean.bergeron2@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

Leconte, Robert [robert.leconte@usherbrooke.ca](mailto:robert.leconte@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

Trudel, Mélanie [melanie.trudel@usherbrooke.ca](mailto:melanie.trudel@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

*1 - Département de génie civil, Université de Sherbrooke*

L'assimilation de données est de plus en plus utilisée en modélisation hydrologique. Cet outil permet non seulement de mettre à jour les variables simulées, mais également les paramètres du modèle hydrologique de façon dynamique. La présente étude utilise le filtre de Kalman d'ensemble pour mettre à jour les paramètres du modèle CEQUEAU en assimilant les observations du débit sur le bassin versant de la rivière Nechako en Colombie-Britannique. Ce bassin versant est fortement dominé par la neige dont la durée de fonte s'échelonne typiquement sur plusieurs semaines. L'effet de cette mise à jour sur les prévisions hydrologiques d'ensemble est comparé avec d'autres scénarios, dont le scénario sans assimilation de données et le scénario assimilant les observations sur la neige au sol pour mettre à jour l'équivalent en eau de la neige simulé par CEQUEAU. Plusieurs critères de performance, dont le coefficient Nash-Sutcliffe, le biais de crue et le CRPS sont utilisés pour quantifier la performance des prévisions hydrologiques sur un horizon allant jusqu'à 50 jours. Les résultats indiquent que, comparativement au scénario sans assimilation de données, la mise à jour de certains paramètres peut améliorer ou détériorer les prévisions hydrologiques. Le scénario mettant à jour le coefficient de vidange de la nappe s'est avéré particulièrement performant, variant d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre pour compenser les manques ou les surplus d'eau simulés par CEQUEAU. Cette mise à jour a également bonifié le scénario où les observations d'équivalent en eau de la neige sont assimilées. Ces résultats dépendent possiblement des caractéristiques du site d'étude, dont la taille et la climatologie. L'effet de la mise à jour des paramètres pourrait être différent pour un autre bassin versant.

# ***Prévision d'ensemble des niveaux d'eau en rivière***

Bessar, Mohammed Amine [mohammed-amine.bessar.1@ulaval.ca](mailto:mohammed-amine.bessar.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>  
Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

*1 - Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*

Les tendances des vingt dernières années (1995-2015), issues de l'analyse des désastres liés à des événements climatiques, montrent que les inondations représentent la catégorie qui a fait le plus de sinistrés à l'échelle mondiale avec environ 2.3 milliards de personnes (56% du total). Au niveau du Canada, les inondations sont les catastrophes naturelles qui provoquent le plus de dégâts matériels tout en causant le déplacement de milliers de personnes. La prévision des événements d'inondation joue donc un rôle très important dans la prévention et la limitation des risques et dégâts qui y sont associés. Ce projet de thèse s'inscrit dans cette optique prévisionniste pour contribuer au développement de moyens et solutions permettant d'anticiper des événements d'ampleur majeure. L'élaboration d'un système de prévision et d'alertes de crues assez fiable est liée à une bonne évaluation et quantification de l'incertitude générée et propagée à travers ces différentes composantes. Nous nous intéressons plus particulièrement à la composante hydraulique dont les principales sources d'incertitude seront explorées et plus particulièrement celle provenant de la prévision hydrologique. Une approche probabiliste est proposée afin de prendre en charge cette incertitude à travers des ensembles hydrologiques générés par un modèle de prévision d'ensemble hydrologique. Ce modèle, développé dans des travaux antérieurs, prend en considération l'incertitude structurelle (multi-modèles) et météorologique ainsi que l'assimilation des données observées. D'autres sources d'incertitude seront aussi étudiées, à titre comparatif, à savoir les coefficients de frottement et la bathymétrie. Les prévisions d'ensemble des niveaux d'eau seront aussi améliorées en introduisant des techniques d'assimilation de données tel que le filtre de Kalman d'ensemble (EnKF) et le filtre particulaire (FP). Les principales données assimilées sont issues d'observations de niveau d'eau et un intérêt particulier sera porté à celles provenant d'images satellites (SAR, SWOT). Les performances du modèle de prévision seront évaluées et comparées pour différentes situations afin d'évaluer l'impact sur l'amélioration des résultats. Ce projet s'inscrit dans une dynamique pancanadienne de développer des outils de prévision et d'alerte de crues dont les dégâts ne sont pas négligeables au pays. Les travaux porteront sur la rivière Chaudière un des affluents rive droite du Fleuve Saint-Laurent dans la province de Québec. Mots clés : prévision d'ensemble, assimilation des données, modélisation hydraulique, incertitude.

# ***Coupling unsaturated-saturated flow in a conceptual hydrologic model: how much complexity is justifiable?***

Bizhanimanzar, Mohammad [mohammad.bizhanimanzar@usherbrooke.ca](mailto:mohammad.bizhanimanzar@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

Leconte, Robert [robert.leconte@usherbrooke.ca](mailto:robert.leconte@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

Nuth, Mathieu [mathieu.nuth@usherbrooke.ca](mailto:mathieu.nuth@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

*1 - Département de génie civil, Université de Sherbrooke*

Conceptualization of the interaction between unsaturated and saturated flow is one of the key element in coupled surface water-groundwater (SW-GW) hydrologic models. This is of great importance in catchments where saturation excess runoff mechanism prevails. Such dynamical interaction can significantly influence the extent of runoff producing areas and therefore the overall hydrologic response of the catchment. Depending on the complexity of the model, the interaction in physically based coupled SW-GW models is represented by two different approaches i.e. 1- three dimensional variably saturated flow and 2- linking a one dimensional Richards equation to a two/three dimensional saturated flow. While in the former the interaction is implicitly addressed (e.g., CATHY, ParFlow), the latter received more attention in history of physically based models (e.g., PIHM, MIKE-SHE, PAWS). However, only few attempts have been made in describing the phenomenon in the context of conceptual hydrologic models (e.g. TOPMODEL). In this study, enhancements to the Modello Bilancio Idrologico Distributo e Continuo (MOBIDIC) (Castillo et al., 2015), a distributed conceptual hydrologic model, is presented. MOBIDIC represents the dynamics of soil moisture using two internally linked reservoirs i.e., gravity and capillary. The gravity reservoir (moisture above the field capacity) interacts with groundwater and can redistribute the soil moisture to the adjacent downstream cell. The capillary reservoir, however, holds water in finer pores and delivers moisture to the plant roots. The conceptualization of the entire soil moisture profile with two reservoirs enables the model to be computationally efficient. In this research, inclusion of the gravitational infiltration mechanism resulted in a more realistic prediction of the soil moisture near soil surface. In each time step, the infiltrated water creates a rectangular wetted zone which can expand horizontally (in rainy periods) and vertically (no rainfall periods). Once the wetting front reaches the water table, recharge to the groundwater is computed and the saturated flow starts. This is computed by MODFLOW as a three dimensional finite difference based groundwater model. The new groundwater head causes the moisture state of the two reservoirs to be updated and simulation moves to the next time step. The fidelity of the proposed modifications are compared against MIKE-SHE (reference model) in hypothetical test cases and representative climatic data. It can be concluded that the modifications increase the capability of the conceptual approach in reproducing the interaction between surface and subsurface without adding unnecessary computational burden.

Reference: Castillo, A., F. Castelli, and D. Entekhabi. 2015. Gravitational and Capillary Soil Moisture Dynamics for Distributed Hydrologic Models. *Hydrology and Earth System Sciences* 19 (4): 1857 :69. doi:10.5194/hess-19-1857-2015.

# ***Services hydrologiques rendus par les milieux humides dans un contexte dynamique d'occupation du territoire : étude de cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles***

Blanchette, Marianne [marianne.blanchette@ete.inrs.ca](mailto:marianne.blanchette@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

Rousseau, Alain [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

Poulin, Monique [monique.poulin@fsaa.ulaval.ca](mailto:monique.poulin@fsaa.ulaval.ca)<sup>2</sup>

Savary, Stéphane [stephane.savary@ete.inrs.ca](mailto:stephane.savary@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

*2 - Université Laval*

Les milieux humides (eaux peu profondes, marais, marécages, tourbières) sont des écosystèmes qui jouent un rôle important d'atténuation du ruissellement de surface à l'échelle du bassin versant. À ce sujet, des travaux de modélisation hydrologique précédents ont montré que les milieux humides permettaient d'atténuer les débits de crue et d'augmenter les débits d'étiage. Il y a également un consensus à l'effet que les milieux humides des Basses Terres du Saint-Laurent ont été grandement affectés par les activités anthropiques avec plus de la moitié des superficies perturbées ou perdues au cours des quatre dernières décennies. Or, peu d'études ont porté sur l'évolution de la superficie et de la répartition spatiale des milieux et comment celle-ci a pu affecter le régime d'écoulement d'un bassin versant. Le projet a pour objectifs de : (i) développer une méthode permettant de retracer la présence historique des milieux humides à partir d'images satellitaires, (ii) émettre des scénarios d'occupation du sol pour les 40 dernières années afin d'estimer la perte de milieux humides et (iii) incorporer ces scénarios dans une plateforme de modélisation hydrologique afin d'évaluer l'impact de l'évolution de l'occupation du sol sur le ruissellement pluvial. Le bassin versant de la rivière Saint-Charles (554 km<sup>2</sup>), à Québec, a été choisi comme territoire d'étude. Une méthode de classification supervisée, orientée-objet, hiérarchique et rétrospective a été développée, puis automatisée, afin de générer des scénarios d'occupation du sol et de répartition spatiale antérieures des milieux humides à partir d'images Landsat couvrant la période 1975 à 2015. Des sites d'entraînements permanents ont été identifiés pour chaque classe d'occupation du sol. Les scénarios qui seront issus de l'analyse d'image présenteront les mêmes classes d'occupation du sol afin d'être comparables entre eux et compatibles avec la modélisation hydrologique. La plateforme de modélisation PHYSITEL/HYDROTEL a été calée pour simuler l'hydrologie du bassin versant et utilisée afin de générer des cartes des superficies drainées par les milieux humides, pour chacun des scénarios. Les résultats préliminaires obtenus montrent qu'en 2014, les milieux humides, qui occupaient alors 6,1% du territoire, drainaient 26,9% de la superficie du bassin versant. Cette information sera superposée aux scénarios d'occupation du sol qui auront été générées afin de produire des analyses et statistiques d'évolution de l'occupation du sol dans ces aires drainées pour chacun des milieux humides, incluant ceux qui auront disparu au cours de la période d'étude. Suite au calage les résultats de modélisation indiquent que le modèle HYDROTEL représente de façon satisfaisante ou mieux les débits mesurés sur les secteurs du bassin versant qui comportent l'essentiel des milieux humides. Conséquemment, le modèle hydrologique HYDROTEL permettra d'évaluer l'impact de l'évolution de l'occupation du sol et de la répartition spatiale des milieux humides sur les débits de crue et d'étiage.

# ***Assessment of high-resolution climate simulations for hydrological modeling and the impact on hydrological extremes***

Castaneda-Gonzalez, Mariana [mariana.castaneda-gonzalez.1@ens.etsmtl.ca](mailto:mariana.castaneda-gonzalez.1@ens.etsmtl.ca)<sup>1</sup>

Poulin, Annie [annie.poulin@etsmtl.ca](mailto:annie.poulin@etsmtl.ca)<sup>1</sup>

*1 - Département de génie de la construction, École de technologie supérieure*

The observed changes on the hydrological extreme events (floods and droughts) occurrence is considered one of the most important impacts of the climate change bringing potential risks to natural and urban ecosystems. The general circulation models (GCMs) can provide low-resolution representations of the climate system, while regional climate models (RCMs) provide higher resolution climate simulations considered more adequate for climate change impact studies. Therefore, it has become necessary to evaluate the different climate simulations to produce accurate studies of the hydrological extremes. This study aims to evaluate the impact of the Canadian Regional Climate Model (CRCM) spatial resolution on the hydrological modeling and the effect on hydrological extremes simulation. In order to address the first objective, four different CRCM simulations (two driven by GCM and two driven by Reanalysis) under the A2 scenario were employed. The horizontal resolutions of 15 and 45 km for each driver were compared on a daily time-step. These simulations (4 datasets in total) were used as input for three hydrological models of varying complexity, two lumped conceptual models (HSAMI and MOHYSE) and one distributed physically-based model (HYDROTEL). Concerning the impact on hydrological extremes, each model was calibrated with two different objective functions, the Nash-Sutcliffe efficiency metric (NSE) over the full time-series and a custom metric to target a specific part of the hydrograph (June-October flood events). The calibration was performed on the odd years, while the validation was done on the even years across different regions of southern Quebec. The hydrological simulations were evaluated by three quantitative statistics, the NSE, percent bias (PBIAS), and ratio of the root mean square error to the standard deviation of measured data (RSR) over the full time-series and the targeted section of the hydrograph. The results indicate that the use of CRCM simulations driven by Reanalysis produce a better flow simulation than the CRCM driven by GCM for the different calibration approaches. Nonetheless, there were occasionally important performance differences from the calibration to validation periods. The different models show an increasing performance with increasing resolution for the calibration periods; however, the performance differences between CRCM simulations and resolutions become less important with increasing size of catchments with significant differences from basin to basin. The study also shows that the custom objective function improves the targeted parts of the simulation but disfavors the rest of the hydrograph, as expected. Although the results show some performance improvements with increasing CRCM resolution, the 45km simulations generally provide a good approximation on catchments above about 3000 km<sup>2</sup>. Further research is needed, therefore, the assessment of temporal resolution impact on smaller catchments is greatly recommended.

# **Équifinalité et calage automatique : impacts sur les processus hydrologiques simulés**

Foulon, Etienne [etienne.foulon@ete.inrs.ca](mailto:etienne.foulon@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Rousseau, Alain N. [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>

*1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

En climat actuel comme futur, les études d'impacts et de risque hydrologique ou hydraulique tout comme la mise en place de divers systèmes d'alertes précoces se basent principalement sur la constitution de modélisations plus ou moins complexes. L'efficacité du calage automatique des modèles hydrologiques rend aujourd'hui cette option plus attractive que le calage manuel puisqu'elle permet d'obtenir une adéquation objective (non personne dépendante) entre le modèle et la réalité mesurée. De plus, l'utilisation de ces techniques automatiques offre un cadre de travail idéal pour explorer l'équifinalité c'est à dire la famille de solutions donnant des résultats de qualité similaire et mesurée à l'aide d'une fonction objectif. Ainsi, même si une fonction objectif donnée mesure la même adéquation entre le modèle et la réalité, les réponses des processus hydrologiques simulés au sein de la famille de solutions optimales sont différentes. Quel est l'ordre de grandeur de cette différence ? Quel est son impact sur les processus hydrologiques simulés en période de calage ou de validation ? Cet impact diffère-t-il selon la fonction objectif utilisée ou le bassin versant modélisé ?

Cette étude propose d'évaluer de manière systématique l'impact du choix du jeu de paramètres optimisés sur la modélisation des processus hydrologiques annuels et saisonniers. Elle propose de répondre aux questions susmentionnées pour le modèle hydrologique HYDROTEL et l'algorithme de calage Dynamically Dimensioned Search (DDS). Dans ce contexte, HYDROTEL est mis en place sur 10 bassins versants du Québec méridional. Les modèles de chaque bassin sont calés entre 1981 et 1991 puis validés sur la période 1992-2002 à l'aide des données météorologiques observées de Ressources Naturelles Canada et des données hydrologiques disponibles sur le site de la Direction de l'expertise hydrique du Québec. Les stations hydrologiques choisies représentent des conditions d'écoulement naturel. Pour chacune des fonctions objectif (Nash, Nash-log, Nash-sqrt et KGE) et chacun des bassins, DDS dispose d'un budget de 5000 répétitions, dont les 500 meilleures sont conservées, pour optimiser les 12 paramètres de calage d'HYDROTEL.

Les résultats de calage indiquent des fonctions objectif comprises entre 0,75 et 0,95. Pour chaque modèle les 500 meilleures répétitions présentent des fonctions objectif égales à 1% près (équifinalité). Les résultats préliminaires indiquent une sensibilité des paramètres optimisés différente selon fonction objectif utilisée, la région hydrographique, les conditions géologiques et les occupations du sol du bassin étudié. Les résultats finaux de cette étude permettront une évaluation de l'impact de ces différentes sensibilités sur les processus simulés à savoir les débits d'étiage et de crue, les périodes et les quantités de stockage et de déstockage souterrains et l'évapotranspiration réelle. Les travaux futurs incluront l'évaluation de l'impact du choix du jeu de paramètre optimisés sur les processus hydrologiques simulés en période future par un ensemble de simulations issues du CMIP5

# ***Towards a real-time evapotranspiration partitioning from the boreal forest in eastern Canada***

Hadiwijaya, Bram [bram.hadiwijaya.1@ulaval.ca](mailto:bram.hadiwijaya.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Nadeau, Daniel [daniel.nadeau@gci.ulaval.ca](mailto:daniel.nadeau@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Pepin, Steeve [steeve.pepin@fsaa.ulaval.ca](mailto:steeve.pepin@fsaa.ulaval.ca)<sup>1</sup>

*1 - Université Laval*

Risks in hydrology include the overabundance or the lack of water. In both cases, a detailed understanding of the exchanges of water between the earth and the atmosphere is critical. In this study, we focus on evapotranspiration from forested catchments of the boreal zone. Evapotranspiration is a process where water is transferred to the atmosphere in the form of vapor by combination of evaporation from the soil and canopy surfaces, or as a result of transpiration. In any analysis of evapotranspiration, it is necessary to consider the cases of water loss from dry and wetted canopies separately. Both processes are very different in terms of time scale, time of occurrence, physical characteristics, climate feedback and isotope composition. This paper presents the results of this study. The results of this study are summarized in the following table. Precipitation as a parameter. A field campaign will be conducted at Montmorency Forest, Quebec during the growing period of 2017. Sets of physical instruments to observe each component of precipitation interception and transpiration will be installed on measurements of the micrometeorological towers as pivot. By having a detailed understanding of evapotranspiration partitioning, we hope to be able to develop simple partitioning with simple input parameters.

# ***Prévision d'apports saisonniers avec des méthodes d'apprentissage automatique et d'indicateurs climatiques***

Haguma, Didier [didier.haguma@usherbrooke.ca](mailto:didier.haguma@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

Leconte, Robert [robert.leconte@usherbrooke.ca](mailto:robert.leconte@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

*1 - Université de Sherbrooke*

La prévision à moyen et à long terme d'apports rencontre des difficultés liées aux faibles capacités prédictives des modèles météorologiques à cause de la complexité du système météorologique global et régional. Souvent, les données historiques sont utilisées pour contourner ce problème. En raison de la variabilité climatique à grande échelle, qui pourrait être perturbée par les changements climatiques, le recours aux données historiques pour la prévision saisonnière des apports risque d'en influencer la qualité. Pour tenir compte d'impacts de la non-stationnarité du climat, il y a un besoin d'approches et d'outils pour faire face à la variabilité climatique à grande échelle afin d'améliorer les prévisions hydrologiques saisonnières. L'objectif de cette étude est de modéliser des séries d'apports non-stationnaires dans un contexte de variabilité climatique, en utilisant l'apprentissage automatique et des indicateurs climatiques pour la prévision saisonnière d'apports. Le bassin versant à l'étude est celui de la Romaine. L'apprentissage automatique offre une alternative aux méthodes classiques comme la régression linéaire ou non linéaire pour extraire et exploiter l'information présente dans des jeux de données. Trois algorithmes d'apprentissage automatique, soient les forêts aléatoires, la régression ridge et les machines à vecteurs de support ont été utilisées pour la prévision d'apports. Les phénomènes climatologiques à grande échelle comme les indicateurs climatiques ont été utilisés pour la prévision hydrologique saisonnière. Les indicateurs climatiques sont associés entre autres à la température de surface de la mer ou à la pression atmosphérique au niveau de la mer et permettent d'indiquer l'évolution du climat. Dans cette étude, on s'est intéressé aux indicateurs climatiques qui sont en relation avec la climatologie de l'Amérique du nord, comme le « Pacific North American » (PNA), le « North Atlantic Oscillation » (NAO), le « El Niño-Southern Oscillation » (ENSO) et « l'Arctic Oscillation » (AO). Les résultats montrent que les méthodes d'apprentissage modélisent bien les apports saisonniers pour une saison et deux saisons d'avance. Les forêts aléatoires ont une meilleure performance pour l'entraînement et les machines à vecteurs de support ont généralement de meilleurs résultats pour en validation avec une grande capacité prédictive. De plus, l'algorithme des forêts aléatoires est une méthode d'ensemble qui permet de bien évaluer l'incertitude de la prévision.

# ***Généralisation et évaluation de la méthode de la maximisation de la production d'entropie (MEP) pour estimer l'évapotranspiration***

Hajji, Islem [islem.hajji.1@ulaval.ca](mailto:islem.hajji.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>  
Nadeau, Daniel [daniel.nadeau@gci.ulaval.ca](mailto:daniel.nadeau@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>  
Music, Biljana [music.biljana@ouranos.ca](mailto:music.biljana@ouranos.ca)<sup>2</sup>  
Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>  
Wang, Jingfeng [jingfeng.wang@ce.gatech.edu](mailto:jingfeng.wang@ce.gatech.edu)<sup>3</sup>

1 - Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval

2 – Consortium Ouranos

3 - Georgia Institute of Technology (États-Unis)

L'évapotranspiration (ET) est une variable météorologique largement exploitée par les agronomes, hydrologues et météorologues intéressés par les problèmes de gestion des ressources en eau. L'ET est l'un des paramètres fondamentaux qui façonnent le climat planétaire et relient les budgets de l'eau et de l'énergie du continuum sol-plante-atmosphère. Plusieurs méthodes ont été utilisées au cours des dernières décennies dans les communautés atmosphériques et hydrologiques pour quantifier l'ET. Cependant, la principale limitation des modèles ET existants est leur grand nombre de données d'entrée, étant donné que chacune d'entre elles comporte une incertitude potentiellement importante. Récemment, une nouvelle méthode, appelée la méthode de maximisation de la production d'entropie (MEP), a été développée pour estimer séparément l'évaporation et la transpiration basée sur la théorie des probabilités bayésiennes. Les principaux avantages de cette méthode sont qu'elle implique peu de données d'entrée et fonctionne sous la contrainte de la conservation d'énergie à la surface. Ce travail vise à tester la capacité du modèle MEP et à simuler de manière réaliste l'évapotranspiration (ET) sur un large éventail de climats et de couverts végétaux. Pour ce faire, nous comparons les résultats du modèle avec les observations in situ d'ET collectées à huit sites FLUXNET répartis au sein des États-Unis. Un coefficient de pondération est introduit pour obtenir ET à partir de l'estimation de l'évaporation et la transpiration. Les résultats confirment l'accord remarquable entre la simulation journalière d'ET depuis le modèle MEP et les observations journalières sur les sites où le processus ET est limité par la demande d'évaporation atmosphérique. Cependant, une surestimation systématique est constatée lorsque l'ET est limité par la disponibilité de l'eau. Pour surmonter ce problème, une fonction empirique ( $\eta_s$ ) est introduite dans le modèle MEP pour inclure l'ouverture stomatique basée sur l'état d'humidité du sol. Cette fonction améliore considérablement la performance du modèle MEP sous le stress hydrique. Enfin, la performance de ce modèle (prenant en compte  $\eta_s$ ) a également été évaluée par rapport à d'autres modèles de la littérature qui incluent l'effet du stress hydrique dans l'estimation ET (PM, PT-JPL et ARTS). Il a été constaté que MEP les surpasse à tous les sites.

# ***Modèles substituts, représentatifs et moins coûteux en temps de calcul, pour le calage des modèles hydrologiques***

Huot, Pierre-Luc [pierre-luc.huot.1@ens.etsmtl.ca](mailto:pierre-luc.huot.1@ens.etsmtl.ca)<sup>1</sup>

Poulin, Annie [annie.poulin@etsmtl.ca](mailto:annie.poulin@etsmtl.ca)<sup>1</sup>

Audet, Charles [charles.audet@gerad.ca](mailto:charles.audet@gerad.ca)<sup>2</sup>

Alarie, Stéphane [alarie.stephane@ireq.ca](mailto:alarie.stephane@ireq.ca)<sup>3</sup>

*1 - École de Technologie Supérieure*

*2 - Polytechnique Montréal*

*3 - Institut de recherche d'Hydro-Québec*

Le calage de modèles hydrologiques est un problème d'optimisation qui peut devenir coûteux en temps de calcul lorsque des modèles hydrologiques distribués spatialement sont utilisés. L'exécution d'une seule simulation à l'aide de ce type de modèles peut prendre plusieurs minutes et l'optimisation peut requérir plusieurs milliers de simulations. Des temps de calage importants sont donc inévitables et des méthodes d'optimisation efficace se doivent d'être utilisées. L'emploi de modèles substituts et représentatifs, à même le processus de calage, est l'une des voies prometteuses dans la perspective de réduire le temps de calcul. Il existe principalement deux façons de concevoir des modèles substituts : l'utilisation de fonctions de surface conçues à partir de l'évaluation d'un historique de points de l'espace des solutions (jeux de paramètres) connus, et la création a priori de modèles à fidélité réduite à partir de simplifications du modèle hydrologique réel. Dans cette présentation, la constitution de modèles substituts et adaptés à la problématique de calage du modèle hydrologique HYDROTEL, distribué et à base physique, sera présentée. Dans un premier temps, les fonctions de surface telles que le Krigeage et les polynômes sont évaluées en ce qui a trait à leur représentativité selon deux aspects, soient (1) le nombre de jeux de paramètres évalués servant à la confection du modèle et (2) la taille de l'espace paramétrique qui sera modélisé. Ensuite, les modèles à fidélité réduite sont évalués à différentes échelles de simplification selon trois avenues : (1) la diminution de la durée des périodes de calage, (2) la diminution du nombre d'UHRH (Unités Hydrologiques Relativement Homogènes) sur le territoire et (3) la réduction du nombre de points des grilles météorologiques utilisées comme intrants. Des combinaisons parmi ces trois avenues sont également examinées. Les résultats présentés montreront les modèles substituts considérés et le potentiel d'utilisation de ces modèles au sein des processus de calage.

# ***Variation annuelle et facteurs d'influence de l'évapotranspiration d'une forêt boréale humide***

Isabelle, Pierre-Erik [pierre-erik.isabelle.1@ulaval.ca](mailto:pierre-erik.isabelle.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Nadeau, Daniel [daniel.nadeau@gci.ulaval.ca](mailto:daniel.nadeau@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Parent, Annie-Claude [annie-claude.parent@gci.ulaval.ca](mailto:annie-claude.parent@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Rousseau, Alain [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca)<sup>2</sup>

Jutras, Sylvain [sylvain.jutras@sbfi.ulaval.ca](mailto:sylvain.jutras@sbfi.ulaval.ca)<sup>3</sup>

Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

*1 – Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*

*2 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement*

*3 - Centre d'étude de la forêt, Université Laval*

La prévision du risque hydrologique s'appuie sur la modélisation pour dresser le portrait du cycle de l'eau au Québec dans un climat futur changeant. Une lacune importante des modèles hydrologiques actuels est leurs formulations pour estimer l'évapotranspiration, qui ne sont pas pourvues d'une contrainte de conservation de l'énergie à la surface. Typiquement, elles vont donc surestimer l'évapotranspiration dans un contexte de réchauffement climatique. Il est primordial de trouver de nouvelles formulations plus robustes, mais la mise à l'épreuve de celles-ci nécessite l'acquisition d'observations fiables sur une variété d'environnements. Cette étude est située à la forêt Montmorency, 80 km au nord de Québec. La forêt boréale en présence est composée majoritairement de sapins baumiers, d'épinettes blanches et de bouleaux jaunes. Depuis janvier 2016, deux tours à flux mesurent la majorité des composantes du bilan énergétique de surface, y compris l'évapotranspiration. Cette dernière est obtenue par la populaire méthode de la covariance des tourbillons. La première tour est haute de 15 m et surplombe des arbres juvéniles de 6 à 8 m de haut, alors que la deuxième fait 10 m et est installée dans un peuplement de gaules de 2 à 4 m de haut. Ces tours sont aussi équipés pour mesurer des variables météorologiques classiques. Le montage expérimental permet de caractériser la variation annuelle des diverses composantes du bilan énergétique du site et de révéler les principaux facteurs affectant l'évapotranspiration dans ce type d'environnement. Nos résultats montrent un cycle diurne et annuel pour chaque composante du bilan d'énergie proportionnel au rayonnement solaire. Malgré le faible rayonnement hivernal, les données montrent une sublimation non-négligeable, comptant pour 10% des flux de vapeur d'eau annuels. L'évapotranspiration diminue durant les précipitations, mais augmente fortement par la suite, possiblement par le changement de phase rapide de la précipitation interceptée. Dans une proportion annuelle, environ 40% de la précipitation retourne à l'atmosphère par évapotranspiration. En général, cette dernière est supérieure de 50% au site juvénile par rapport au site gaulle. La température de l'air et la vitesse du vent sont aussi des facteurs d'influence importants. Les résultats présentés approfondissent notre compréhension des échanges surface-atmosphère en milieu forestier boréal. Ces connaissances permettent aux scientifiques tentant de modéliser l'hydrologie de mieux représenter les processus physiques ayant cours en forêt boréale.

# ***Reconstitution du fonctionnement hydrologique d'un hydrosystème aménagé : Le bassin du Kébir maritime (Algérie orientale).***

Kitouni, Yacine [yacinekitouni@yahoo.fr](mailto:yacinekitouni@yahoo.fr)<sup>1</sup>  
Mebarki, Azzedine [az.mebarki@yahoo.fr](mailto:az.mebarki@yahoo.fr)<sup>1</sup>  
Boughrara, Ahmed [abougherara@yahoo.fr](mailto:abougherara@yahoo.fr)<sup>1</sup>  
Assaba, Mohamed [Mohammed.assaba@unice.fr](mailto:Mohammed.assaba@unice.fr)<sup>2</sup>  
Taabni, Mohamed [mohamed.taabni@univ-poitiers.fr](mailto:mohamed.taabni@univ-poitiers.fr)<sup>3</sup>

*1 - Université des Frères Mentouri-Constantine (Algérie),*

*2 - Université de Nice Sophia Antipolis (France),*

*3 - Université de Poitiers (France)*

Le bassin du Kébir maritime d'une superficie de 1272 km<sup>2</sup> est situé dans la façade maritime de l'Algérie orientale. Il est à l'aval de la confluence de deux grands oueds sur lesquels est érigé le plus grand barrage d'Algérie (capacité de 960 Hm<sup>3</sup>). Cet aménagement confère un caractère d'anthropisation avancé du fonctionnement hydrologique. Les données utilisées dans cette étude comprennent la pluviométrie de 7 postes pluviométriques (1965-2012), les débits journaliers observés aux stations d'El Milia (1972-2001) et El Ancer (1972-2003) et les débits mensuels simulés aux stations par modèle LOIEAU (dérivé Gr2m) (1965-2012) et enfin le bilan de régularisation journaliers des barrages (2003-2015). Pour étudier le régime des pluies du bassin, une spatialisation par « krigeage » de la pluviométrie à l'échelle mensuelle a été effectuée à partir des données de 7 stations pluviométriques (1965-2012). Les chroniques de pluies ponctuelles ainsi que la pluie au bassin (spatialisée), ont fait l'objet de traitements statistiques (standardized precipitation index, test de tendance de Mann & Kendall et d'homogénéisation de Pettitt et Segmentation). Les résultats obtenus démontrent une tendance baissière des pluies dans notre région depuis 50 ans et l'existence de périodes alternantes sèches et humides. Dans un second temps, afin de valoriser les données hydrométriques disponibles et notamment pallier l'absence de mesures après la mise en eau des barrages, nous avons procédé à une modélisation des débits de la station d'El Milia à l'aide du Modèle Loieau, lequel est dérivé du modèle global GR2M fonctionnant à deux paramètres (pluie et évapotranspiration potentielle). La modélisation a abouti à des résultats satisfaisants avec un critère de performance de Nash de 88 % en période de calage et de 80 % en période de validation. Par ailleurs, la mise en eau du barrage de Béni-Haroun (2003) a conféré un caractère d'anthropisation du régime. Ainsi, on a voulu saisir le degré altération et ses conséquences notamment sur les plans hydrologique et environnemental. Ainsi, les débits moyens journaliers (m<sup>3</sup>/s) observés à la station d'El Ancer (1972-2003) et les débits journaliers restitués par le barrage au bassin (2003-2015), nous ont permis de disposer d'une chronique de débits de 43 années couvrant les deux période de « pré » et « post » construction du barrage. En se basant sur la méthode 'Range of variability approach' (RVA) on a pu aboutir au calcul de 33 paramètres pour évaluer l'altération hydrologique (Richer, 1997). Les résultats obtenus démontrent la très grande influence de cet aménagement hydraulique sur le régime hydrologique et sa modification. Le seuil de tolérance éco-hydrologique appréhendé dans cette étude permet de vérifier la faisabilité des futurs aménagements sur le plan de la protection de la vallée du Kébir maritime.

# ***Exploration d'un répertoire de nouvelles structures de modélisation hydrologique globale conceptuelle***

Kittavong, Sisouvanh [sisouvanh.kittavong.1@ulaval.ca](mailto:sisouvanh.kittavong.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Seiller, Grégory [gregory.seiller.1@ulaval.ca](mailto:gregory.seiller.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

*1 – Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*

La modélisation hydrologique demeure imparfaite en raison d'un grand nombre d'incertitudes en particulier liées à la description de la transformation pluie-débit par les structures de modèles hydrologiques. Pour réduire ces incertitudes, l'approche multimodèle a été démontrée être une solution prometteuse en raison des performances majoritairement supérieures aux modèles individuels, y compris ceux qui composent l'ensemble. En revanche, cette approche exige davantage de temps de mise en œuvre et de calcul, ainsi qu'une difficulté de s'assurer de sa robustesse a priori. Pour alléger ces contraintes, Seiller et al. (2017) ont récemment proposé le concept de multistrukture empirique (Empirical Multistrukture Framework ou EMF) pour la modélisation hydrologique globale conceptuelle. L'idée de l'EMF est d'encourager le partage des composantes fonctionnelles et des paramètres de douze modèles hydrologiques complémentaires. En s'appuyant sur ces fondements, le présent projet de recherche vise à explorer des milliers de nouveaux modèles qui peuvent être générés à partir de l'EMF et identifier ceux ayant des performances individuelles les plus intéressantes. Pour réaliser cet objectif, 120 des 671 bassins versants états-uniens de la base de données Conus et 1446 modèles prometteurs issus de l'EMF ont été évalués. L'algorithme DDS est utilisé pour optimiser les 40 paramètres de l'EMF. La diversité climatique de la base de données Conus permet ultimement d'identifier de nouvelles structures de modélisation spécialisées pour certaines conditions, et aboutissant à un répertoire de nouvelles structures classifiées par caractéristiques climatiques.

# **Évaluation de l'intérêt hydrologique du couplage du modèle de surface CLASS et du modèle hydrologique HYDROTEL**

Leonardini, Gonzalo [gonzalo.leonardini.1@ulaval.ca](mailto:gonzalo.leonardini.1@ulaval.ca)<sup>1</sup>

Brochero, Darwin [darwinbrochero@gmail.com](mailto:darwinbrochero@gmail.com)<sup>1</sup>

Anctil, François [francois.anctil@gci.ulaval.ca](mailto:francois.anctil@gci.ulaval.ca)<sup>1</sup>

Turcotte, Richard [richard.turcotte2@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:richard.turcotte2@mddelcc.gouv.qc.ca)<sup>2</sup>

Fortin, Vincent [vincent.fortin@canada.ca](mailto:vincent.fortin@canada.ca)<sup>3</sup>

*1 - Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval*

*2 - Direction de l'Expertise Hydrique, MDDELCC*

*3 - Environnement et changements climatiques Canada*

Les schémas de surface terrestre sont susceptibles d'intéresser les hydrologues qui recherchent des moyens novateurs de simuler le débit des cours d'eau et les bilans énergétique et hydrique de la surface terrestre, ainsi que les scientifiques de l'atmosphère qui cherchent à améliorer les prévisions météorologiques et les projections climatiques. Dans cette étude, une évaluation du couplage entre le modèle de surface nommé CLASS et le modèle hydrologique semi-distribué nommé HYDROTEL est proposée. Ce couplage, appelé HydroCLASS, exploite la teneur en eau comme variable intermédiaire entre les deux modèles. Le forçage météorologique est issu du modèle Global Environmental Multiscale (GEM) développé par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Le processus d'optimisation des paramètres repose sur la méthode Dynamically Dimensioned Search algorithm (DDS). Cinq bassins versants du Québec sont pris en compte pour évaluer le couplage sur la période 01/08/2004 - 01/08/2011. La variable objective correspond au débit des cours d'eau à la sortie du bassin correspondant. En plus, la teneur en eau, une variable intermédiaire, est analysée pour identifier les différences structurales entre HydroCLASS et HYDROTEL. Les résultats préliminaires montrent que si le couplage est techniquement complexe, ajoutant des paramètres à un modèle déjà riche, le débit est adéquatement simulé par le couplage avec pour gain majeur une représentation plus cohérente et plus riche de la dynamique des variables qui interagissent au sein des bilans énergétique et hydrique du sol. À cet égard, l'analyse de la teneur en eau dans le sol montre un premier signe de cohérence du modèle couplé. Le module de bilan vertical d'HYDROTEL, qui sert de point de comparaison, présente quant à lui des oscillations de teneurs en eau dont l'origine reste à déterminer mais qui semble être liées au choix des paramètres du modèle. Ceci ne semble pas le cas avec le modèle couplé. Il est également prévu d'identifier et de quantifier les écarts pour deux variables intermédiaires supplémentaires : l'évapotranspiration et la hauteur de la couverture de neige.

# ***Estimating the return period of the 2011 Richelieu River flood***

Murphy, Orla [orla.murphy@mail.mcgill.ca](mailto:orla.murphy@mail.mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Jalbert, Jonathan [jonathan.jalbert@mail.mcgill.ca](mailto:jonathan.jalbert@mail.mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Nelehová, Johanna [johanna.neslehova@mcgill.ca](mailto:johanna.neslehova@mcgill.ca)<sup>1</sup>  
Genest, Christian [christian.genest@mcgill.ca](mailto:christian.genest@mcgill.ca)<sup>1</sup>

*1 - The Department of Mathematics and Statistics, McGill University*

During the spring of 2011, the water level of Lake Champlain was at a record high. The water level rise caused large amounts of flooding in the Champlain valley and along the Richelieu River. Losses from this flood exceeded \$78 million and included extensive damages to farmland, houses, bridges, and roads. The large amount of rainfall is the major factor explaining the severity of this flood. Previous studies have not yet been able to estimate the return period of the unprecedented water levels of Lake Champlain in 2011. It is primarily due to the fact that the heavy rainfalls came in cluster over consecutive days. A cluster of high precipitation can be defined as a series of consecutive days of rainfall, which contains at least one extreme value. From a statistical point of view, the presence of clusters are the results of serial dependence in the precipitation series and the standard tools in the extreme value theory for estimating the return levels do not apply. A common approach consists in declustering the time series of extreme precipitation to only retain the cluster maximum. However, this approach is not suitable in the present case since the clusters themselves are largely responsible for the flood. The goal of the talk consists of presenting a statistical model that takes into account the cluster of extreme precipitation. The clusters are decomposed into the polar coordinates. An extreme value model is proposed to model both the radial and the angular components of the clusters. The return period of the spring precipitation that triggered the 2011 flood in the Richelieu River will be provided with the proposed model.

# ***Atlas hydroclimatique 2018***

Ricard, Simon [simon.ricard@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:simon.ricard@mddelcc.gouv.qc.ca)<sup>1</sup>

Lachance-Cloutier, Simon<sup>1</sup>

Noël, Philippe<sup>1</sup>

Lavigne, Martin-Pierre<sup>1</sup>

Cyr, Jean-François<sup>1</sup>

Turcotte, Richard<sup>1</sup>

*1 - Direction de l'Expertise Hydrique, MDDELCC*

L'Atlas hydroclimatique décrit l'impact des changements climatiques sur le régime d'écoulement des cours d'eau du Québec méridional. La mise à jour 2018 du document sera disponible via une interface géomatique web présentant une information spécifique pour quelque 5000 tronçons de rivière et de lac en milieu non jaugé. La projection des indicateurs hydrostatistiques s'exprimera en valeur absolue (m<sup>3</sup>/s) pour les horizons 2030, 2050 et 2080. Un indice permettra également d'indiquer le niveau d'influence lié à l'opération des barrages. En parallèle, un document synthèse présentera les grandes conclusions et les concepts-clés afin d'informer les acteurs généralistes sur la nature des impacts anticipés et de les sensibiliser à l'adoption de pratiques résiliente de gestion de l'eau.

# ***Adaptation de la plateforme de modélisation hydrologique PHYSITEL / HYDROTEL aux bassins versants de grande envergure, incluant les régions nordiques, dans un environnement de type source ouverte sous WINDOWS 64 bits***

Savary, Stéphane [stephane.savary@ete.inrs.ca](mailto:stephane.savary@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Rousseau, Alain [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto:alain.rousseau@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Tremblay, Sébastien [sebastien.tremblay@ete.inrs.ca](mailto:sebastien.tremblay@ete.inrs.ca)<sup>1</sup>  
Konan, Brou [konan.brou@hydro.qc.ca](mailto:konan.brou@hydro.qc.ca)<sup>2</sup>  
Daynou, Mathurin [daynou.mathurin@hydro.qc.ca](mailto:daynou.mathurin@hydro.qc.ca)<sup>2</sup>  
Rémillard, Louise [remillard.louise@hydro.qc.ca](mailto:remillard.louise@hydro.qc.ca)<sup>2</sup>  
Filion, Patrice [filion.patrice@hydro.qc.ca](mailto:filion.patrice@hydro.qc.ca)<sup>2</sup>

1 - Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement

2 - Hydro-Québec

En réponse aux besoins de la communauté d'utilisateurs, de la disponibilité de produits cartographiques de meilleure précision et de l'usage d'outils de modélisation sur des bassins versants de grandes envergures, l'INRS-ETE, en collaboration avec Hydro-Québec Production, a procédé à la mise à jour des logiciels PHYSITEL et HYDROTEL. Au départ ces outils avaient recours à des licences commerciales et étaient soumis aux limites de mémoire du système d'exploitation WINDOWS 32 bits. Nos travaux ont permis de sevrer PHYSITEL et HYDROTEL de ces types de licences en les intégrant dans des plateformes de type source ouverte incluant les bibliothèques GDAL/OGR, le système d'information géographique (SIG) DotSpatial et une interface de travail programmée en langage C#. En effet, le SIG PHYSITEL, qui permet la construction des bases de données physiographiques nécessaires à la modélisation hydrologique, était limité à des images en format matriciel de moins de 5000 x 5000 pixels. La nouvelle version qui fonctionne sous un environnement WINDOWS 64 bits n'est plus contrainte par cette limite et permet l'intégration de bassins de très grande envergure ou encore l'usage de produits matriciels à haute résolution. La nouvelle mouture du logiciel offre une interface renouvelée qui inclut les processus de calculs conventionnels : (i) la transformation du réseau hydrologique vectoriel en format matriciel, (ii) le calcul des altitudes modifiées sous le réseau, (iii) le calcul des pentes et directions d'écoulement, (iv) l'identification de la matrice d'écoulement, (v) la détermination du réseau final et la subdivision en sous-bassins contributif au réseau (UHRH) incluant la division en versants. À ces calculs, s'ajoute l'identification assistée des milieux humides et des aires contributives à ces milieux. Suite à l'intégration d'un bassin versant à l'aide du SIG PHYSITEL, le modèle hydrologique semi-distribué HYDROTEL permet de déterminer les débits en tout point du réseau hydrographique. Il se compose d'une suite de processus effectués en cascade incluant : (i) l'interpolation des données météorologiques, (ii) l'évolution du couvert nival, (iii) l'évapotranspiration potentiel, (iv) le bilan d'eau vertical, (v) l'écoulement vers le réseau hydrographique, (vi) l'écoulement dans le réseau hydrographique. Pour ces processus, HYDROTEL offre diverses méthodes de calculs. Récemment certains éléments d'intérêt ont été ajoutés soit : (i) le calcul du rayonnement net, (ii) le calcul de l'évapotranspiration selon l'équation de Penman-Monteith, (iii) la considération du gel du sol sur l'infiltration et l'écoulement de l'eau et (iv) l'interaction des milieux humides dans le cycle hydrologique. La version HYDROTEL sous un environnement WINDOWS 64 bits offre aussi une nouvelle interface d'affichage et d'interaction à l'utilisateur. L'objectif de cette présentation est d'illustrer, dans une perspective de valorisation de ces outils, l'intégration de la totalité du bassin versant de la rivière La Grande dans un contexte de simulation des apports aux réservoirs de ce grand complexe hydroélectrique.

# **Analyse des sources d'incertitude pour la modélisation des faibles débits en conditions de changements climatiques**

Trudel, Mélanie [melanie.trudel@usherbrooke.ca](mailto:melanie.trudel@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>  
Leconte, Robert [robert.leconte@usherbrooke.ca](mailto:robert.leconte@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>  
Doucet-Généreux, Pierre-Louis [pierre-louis.doucet-generoux@usherbrooke.ca](mailto:pierre-louis.doucet-generoux@usherbrooke.ca)<sup>1</sup>

1 - Université de Sherbrooke

L'objectif de cette étude est de déterminer l'importance du calage des modèles hydrologiques lors de l'estimation de l'incertitude des faibles débits dans un contexte de changements climatiques. Est-ce que l'incertitude sur les simulations de faibles débits est influencée par l'utilisation d'une fonction objectif mettant l'accent sur les faibles débits ? Est-ce que l'impact du calage est le même pour un modèle global que pour un modèle conceptuel distribué ? Quel est la contribution relative des différentes sources d'incertitude lors de la simulation des faibles débits ? Pour répondre à ces questions, le modèle global GR4J et le modèle conceptuel-distribué SWAT ont été utilisés pour simuler les faibles débits de quatre sous-bassins versants de la rivière Yamaska, au Québec. Sept fonctions objectif ont été utilisées pour caler les modèles hydrologiques : le coefficient Nash-Sutcliffe calculé sur les débits (NSEQ) et six autres fonctions objectif reliées aux faibles débits. Une méthode similaire à PARASOL combinée avec un bootstrap a été utilisée pour déterminer les paramètres équiprobables lors du calage des modèles hydrologiques. L'indice 7Q2, qui calcule le débit de récurrence deux ans sur la moyenne sept jours des débits, a été utilisé pour évaluer les faibles débits pour une période de référence (1970-2000) et une période future (2040-2070). Douze projections climatiques du projet NARRCAP, combinant différents modèles de circulation générale et de modèles régionaux de climat, ont été utilisées pour évaluer l'incertitude liée aux projections climatiques. Une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour estimer la contribution relative de chaque source d'incertitude, soit les projections climatiques (PC), les modèles hydrologiques (MH), les paramètres des modèles hydrologiques (PAR) et les fonctions objectif (FO) utilisées pour caler les modèles hydrologiques. Les interactions CM:HM et HM:FO ont également été considérées. Les résultats montrent que la fonction objectif est une source importante d'incertitude dans l'estimation de l'indice de faible débit 7Q2. Le terme d'interaction HM:FO est également important. Il a également été confirmé que le NSEQ ne représente pas bien le 7Q2 et présente une variance totale élevée. Le NSE calculé sur le logarithme des débits a présenté les plus faibles variances totales. Pour une fonction objectif donnée, la variance liée aux paramètres du modèle hydrologique est faible. Tel que souligné par d'autres auteurs, les résultats montrent que pour une fonction objectif donnée, la contribution relative provenant des projections climatiques et du modèle hydrologique variait selon les caractéristiques du bassin versant et selon l'horizon temporel choisi (référence vs futur). En général, une incertitude plus faible a été simulée avec le modèle GR4J qu'avec le modèle SWAT. Enfin, la variance totale en climat futur s'est avérée plus faible qu'en climat de référence. L'analyse des processus hydrologiques permet d'expliquer cette observation.