

INFRA 2014 – 20^e édition
D1 - Gestion des risques en eau potable

Détection de situations hydrologiques extrêmes à partir de variables météorologiques

Etienne Foulon*

Patrick Gagnon, Alain N. Rousseau, Manuel J. Rodriguez

Mardi 2 Décembre, INFRA
Palais des congrès de Montréal



INRS

Université d'avant-garde

[*etienne.foulon@ete.inrs.ca](mailto:etienne.foulon@ete.inrs.ca)

Préambule: Approvisionnement de surface au Québec

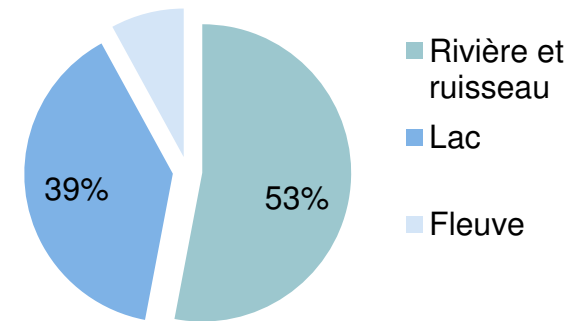
Ressource en eau de surface abondante...

- 3% des renouvelables de la planète
- 0,12% de la population

...de bonne qualité générale,...

...pour l'alimentation en eau potable en 2012¹

- 236 stations municipales → 70% de la population
- Obligation de filtration et désinfection (RQEP, 2008)
- 97% désinfection, 64% filtration



Type d'approvisionnement²

MAIS parfois en défaut (manques temporaires et eau traitée non toujours optimale)

¹ MDDEP (2012), Répertoire des stations municipales; ² MDDEP (2008), Portrait des stations municipales de production d'eau potable approvisionnées en eau de surface au Québec

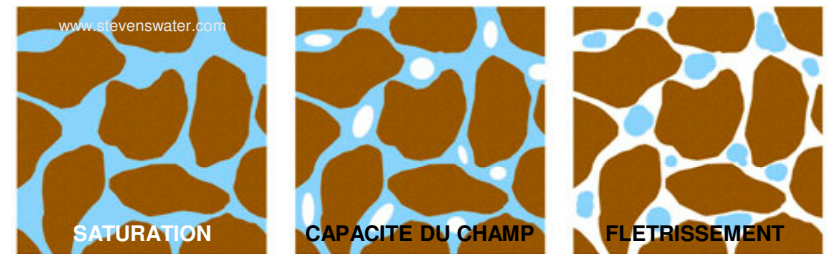
Préambule: Sécheresse, un extrême hydrologique

1- Sécheresse météorologique

- Déviation des normales saisonnières locales → assèchement de surface

2- Sécheresse agricole

- Teneur en eau du sol insuffisante



3- Sécheresse hydrologique

- Baisse des niveaux des masses d'eaux (persiste après 1)

4- Sécheresse socio-économique

- Offre > Σ demande?

Comment détecter une sécheresse hydrologique à partir de la météo?

Préambule: Modélisation hydrologique et étiages

Alerte aux faibles débits et prélèvements excessifs Yamaska, Québec¹

- **Objectif:** Aider Cowansville, Granby, Bromont, Farnham et Saint-Hyacinthe à gérer leur approvisionnement en eau potable
- **Méthode:** Utilisation d'HYDROTEL calé en étiage (référence 1971-2000 et futur 2041-2070) et Quantification des niveaux d'alerte grâce aux $Q_{2,7}$
- **Résultats**
 - Système d'alerte à 5 niveaux veille – DOE – intervention générale – alerte – crise
 - Dégradation des étiages futurs (++) juin/août) dus aux T° plutôt que P
 - Ste Hyacinthe & Rivière Noire crise 1 année/5 → horizon 2055 1 année/2

— Vigilance — DOE — Alerte — Alerte + — Crise

¹ Côté, Bertrand (2013). Développement d'un prototype de système d'alerte aux faibles débits et aux prélèvements excessifs dans le bassin versant pilote de la rivière Yamaska.

Problématique et données

Problématique

PROBLEMATIQUE

Peut-on évaluer l'impact des CC sans modélisation hydrologique?

Ou

Comment détecter les extrêmes hydrologiques à partir des variables météorologiques?

Méthode: Estimer des indicateurs hydrologiques (Q_{\max} , $Q_{\min;7j}$, $Q_{\min;30j}$ – hivernaux et estivaux) par la météorologie locale (Précipitation et Température)

Définition des saisons (sujet à tests futurs)

- Hiver: EEN > 2mm et après août
- Transition (dans l'hiver): EEN < 2mm et EEN nulle pendant les 6 jours suivants
- Été: Commence à la fin de la transition ($tc \approx 6j$);

Données

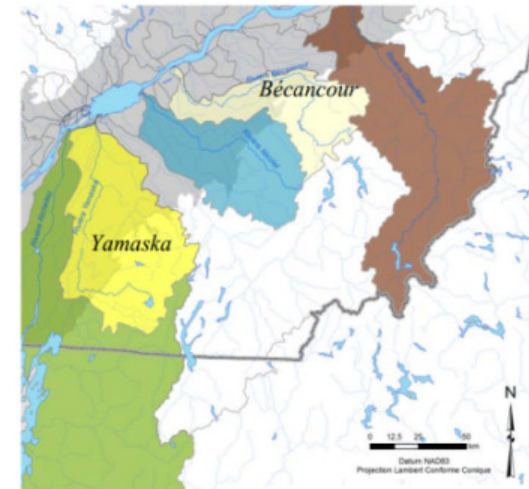
Bassins versants Yamaska et Bécancour (basses terres du Saint Laurent)

Données météorologiques journalières

- T° min et max, précipitations
- 1960-2100; scénario A2
- 10 simulations du Modèle Régional Canadien du Climat
 - Incertitude modélisation climatique

Débits journaliers moyens

- Issus des simulations HYDROTEL, calé lors de travaux antérieurs¹
- Séparation en deux saisons hydrologiques
- Obtenus à l'exutoire



¹Rousseau AN, Savary S & Fossey M. 2013. Modélisation hydrologique des milieux humides dans les basses-terres du Saint-Laurent - Activité en vulnérabilité, impacts et adaptation PACC 26. R1436. Québec, QC: Institut national de la recherche scientifique, INRS-Ete, 88 pp.

Schéma et détails méthodologiques

Schéma méthodologique

Estimer des indicateurs hydrologiques (Q_{\max} , $Q_{\min;7j}$, $Q_{\min;30j}$ – hivernaux et estivaux) par la météorologie locale (P et T)



- Indicateurs climatiques
 - Cumuls de pluie, neige ou demande climatique sur différentes échelles temporelles
 - *EDI* – Indice de sécheresse effective, classique et modifié calculés sur des plages de 15 jours à 6 mois
 - D'autres indicateurs issus de la littérature (PDSI, SPI, ...)
- Couplage d'indicateurs (1 simulation du MRCC, 1 bassin)
 - Meilleure corrélation
 - Indicateur le plus simple

Indicateurs de sécheresse

1- Sécheresse météorologique

- *Standardized Precipitation Index*¹ (SPI)
 - Classement local des conditions (jour-mois-année) par rapport aux normales

2- Sécheresse agricole

- *Palmer Drought Severity Index*² (PDSI), explique fin de l'âge de bronze (≈-1200)
 - Indice cumulatif mensuel utilisant un bilan hydrique sur sol à deux couches
- Demande climatique³ (P-ETP)
 - Caractérise sécheresse agricole par opposition à aridité

3- Sécheresse hydrologique

- Baisse des niveaux des masses d'eaux

4- Sécheresse socio-économique



Offre > Σ demande?

¹McKee *et al.*, (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales; ²Palmer W. (1965) Meteorological Drought; ³Paltineanu C. *et al.* (2007) Using aridity indexes to describe some climate and soil features in Eastern Europe: a Romanian case study

Effective drought Index classique et modifié

Forces et faiblesses

- Indépendant des caractéristiques climatiques
- Normalité → travail en période sèche comme humide

$DEP_i = EP_i - ME_i$ Calcul ME_i vient très rapidement long 730j

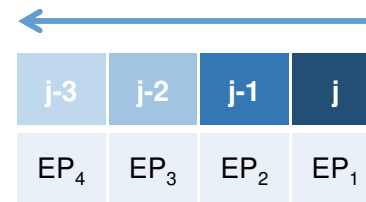
$EDI_i = DEP_i / \sigma(DEP_i)$ Normalisation

$EP_1 = P_1$

$EP_2 = P_1 + \frac{P_1 + P_2}{2}$

$EP_3 = P_1 + \frac{P_1 + P_2}{2} + \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$

EDI	Description
-0,69 à 0	Sécheresse légère
-0,7 à -1,49	Sécheresse modérée
-1,5 à -2,49	Sécheresse sévère
< -2,5	Sécheresse extrême



EDI modifié

- Plus de poids aux précipitation passées → meilleure prise en compte antécédent du BV
- Non division par n dans la formule précédente

Résultats

Résultats – Meilleurs indicateurs climatiques

Les couples suivants sont fixés

- Après validation temporelle (MRCC-Béc) et spatio-temporelle (MRRC-Yam)

	Hiver	Été
Q_{\max}	$\sum_{2s} \text{Pluie} + \text{Fonte}$	$\text{EDI}_{6m} P$
$Q_{\min,7j}$	$\text{EDI}_{9m} P$	$\sum_{4m} \text{Pluie} + \text{ETP}$
$Q_{\min30j}$	$\text{EDI}_{\text{mod},4\text{mois}} (P\text{-ETP})$	$\text{EDI}_{\text{mod},3\text{mois}} (P\text{-ETP})$

	Validation T (Béc)		Validation SP-T (Yam)	
	Hiver	Été	Hiver	Été
Q_{\max}	0,59*	0,60*	0,62*	0,62*
$Q_{\min,7j}$	0,76	0,76	0,78	0,73
$Q_{\min30j}$	0,78*	0,79*	0,75*	0,74*

Corrélations intéressantes mais régressions « non valables » en prédictif

- Crue: explication 35 à 39% de la variabilité
- Étiages 7 et 30 jours: 53 à 62%

Cependant on peut s'intéresser aux tendances des extrêmes

Atlas hydroclimatique du climat - Québec méridional

- Synthèse impacts CC sur régime hydrique – horizon 2050 – 40 BV
- Utilisation d'HYDROTEL, 22 modèles globaux, 7 modèles régionaux, 89 simulations, 4 post-traitement, 445 scénarios climatiques
- Analyse des crues (pointe, V, date), étiages (sévérité, longueur) et hydraulité

Étiages horizon 2050

- Étiages automnaux et estivaux
 - fort probablement plus longs
- Nb jours sous $Q_{2,7}$
 - ↗ moyenne de 15 à 30 jours sur le sud
 - 0 à 15 jours au nord du Québec méridional
- direction du changement (augmentation)
 - Consensus très fort sur le sud
 - modéré au nord du Québec méridional

Direction	Consensus des scénarios
↗ très probable	↗ : >90% scénarios
↗ probable	↗ : 66-90% scénarios
?	↗ ↘ : 33-66% scénarios
↘ probable	↘ : 66-90% scénarios
↘ très probable	↘ : >90% scénarios

¹ CEHQ (2013a), Atlas hydroclimatique du Québec méridional - Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulité à l'horizon 2050. Québec, 21 pp.; ² CEHQ (2013b)

Résultats – Tendances des extrêmes

Est-ce que les tendances des extrêmes hydrologiques sont reproduites par les indicateurs météorologiques?

Test de Mann-Kendall

- H₀: suppose l'absence de tendance
- H_a: présence d'une tendance dans la série
- Test non paramétrique: pas de supposition sur la distribution des données

Deux séries de test pour 10 simulations et 2 bassins (seuils 5 et 10%)

- Indicateurs hydrologiques (6 au total)
- Indicateurs météorologiques (6)
- 240 tests au total

Résultats – Tendances des extrêmes

Étude des tendances temporelles (test de Mann Kendal)

- Obtention d'un score de concordance hydro/météo

$$Score = \sum_{sim=1}^{10} concord(hydro/météo)$$

$$Score \in \llbracket 1,10 \rrbracket$$

- p1 significativité de la tendance indicateurs hydro
- p2 significativité de la tendance indicateurs météo
- Résultats indiquant une tendance de même signe

	p2<=0,05	0,05<p2<=0,1	p2>0,1
p1<=0,05	1	0,5	0
0,05<p1<=0,1	0,5	0,5	0
p1>0,1	0	0	1

Résultats – Tendances des extrêmes

H I V E R	SCORE*	Béc	Yam	↗/↘
	Crue	5,5	5,5	↘
	Étiage 7j	10	10	↗
	Étiage 30j	10	10	↗

É T E	SCORE*	Béc	Yam	↗/↘
	Crue	5,5	5,5	↗
	Étiage 7j	8,5	8,5	↘
	Étiage 30j	7	7,5	↘

- Étiages hivernaux moins sévères
 - Durée des hivers à la baisse
 - Nombre de redoux ($T^{\circ} > 2^{\circ} C$) ↗ en proportion durée hivernale

- Étiages estivaux plus sévères
 - ↗ importante des jours estivaux sans pluie
 - Bécancour: 7,5 et 20% (rapport H1)
 - Yamaska: 6,7 et 17% (rapport H1)

	Bécancour			Yamaska		
	1961-1999	2000-2049	2050-2099	1961-1999	2000-2049	2050-2099
Proportion de redoux (%)	58	63	70	60	65	72
Longueur hiver (j)	169	153 (↘11%)	130 (H1:↘23%)	155	138 (↘11%)	115 (H1:↘26%)

Bilan et Perspectives

Bilan

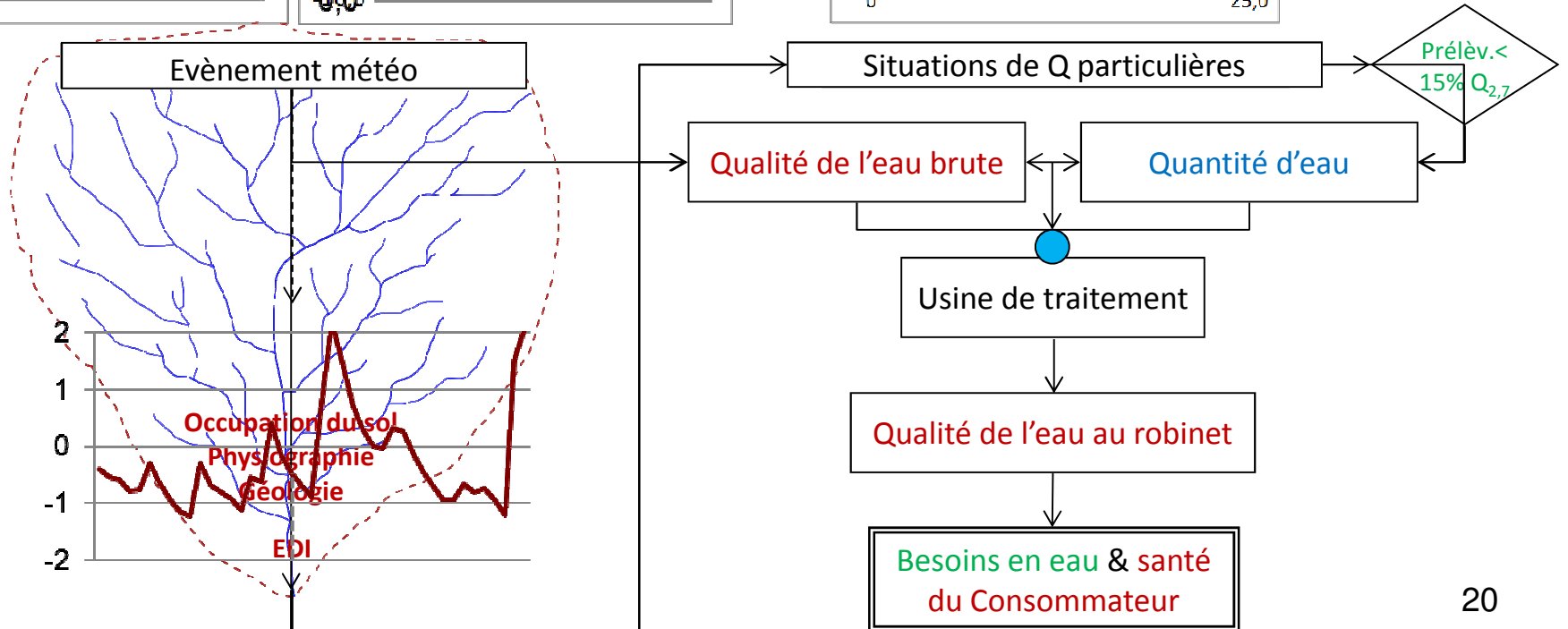
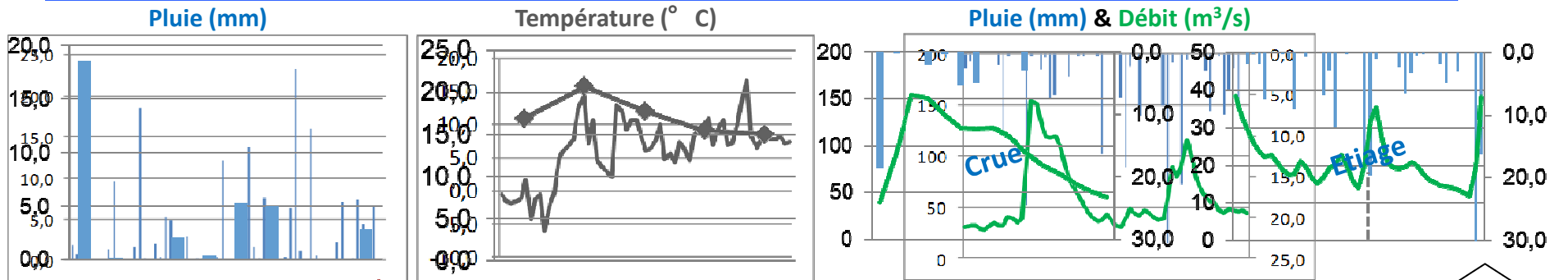
Lien tangible météo/débits en CC des extrêmes

- Explication directe (corrélations)
- Même direction de changement (tendances)

Évolution hydrologique détectée sans intermédiaire de modélisation hydrologique

- Applicabilité améliorée et rapide
- Gain de temps et d'argent
- Méthode utilisable en première instance:
 - Un bassin versant est-il à risque face aux CC?
 - Fournit de l'information rapide
 - Méthode non destiné au remplacement de la modélisation hydrologique

Bilan - Vue d'ensemble



Perspectives

Méthode applicable aux BV amont des stations d'approvisionnement en eau

- Pré-sélection des systèmes vulnérables
- Comment cette vulnérabilité évoluera-t-elle avec les CC

Bonification de la méthode

- Intégration de 87 simulations de changements climatiques (CMIP3 – NARCCAP et MRCC – CGCM3)
- Possibilité d'évolution avec les simulations CMIP5 (généralisation des données continues 1850-2100)
- Intégration d'indicateurs climatiques globaux
 - Échelles interannuelles (ex: El Nino)
 - Échelles interdécadales (ex: NAO)

Création d'une fourchette d'évolution des extrêmes climatiques



INRS

Université d'avant-garde

etienne.foulon@ete.inrs.ca

Calcul du score de concordance

tendance/score	1	0,5	0
même tendance (+1/-1)	p1 et p2 <=0,05	0,05 < p1 et/ou p2 <=0,1	
absence de tendance (même signe)	p1 et p2 >0,1		
absence de tendance (signe contraire)			

	<i>Qmax estival / EDI à 15 jours P-ETP</i>				Score
	Indicateur hydrologique		Indicateur climatique		
ACU	1	0,139	1	0,427	1
ADC	1	0,002	1	0,051	0,5
ADJ	-1	0,682	-1	0,086	0
ADL	1	0,145	-1	0,746	0
AET	1	0,749	-1	0,238	0
AEV	1	0,014	1	0,029	1
AFX	1	0,022	1	0,275	0
AGR	1	0,001	1	0,009	1
AGX	1	0,357	1	0,807	1
AHA	1	0,002	1	0,005	1
TENDANCE (5%)	positive (5/10)		positive (3/10)		5,5