



CONGRÈS 2016 | 15-16 SEPTEMBRE



Aubert Michaud, PhD
Institut de recherche et développement en agroenvironnement
Bloc F

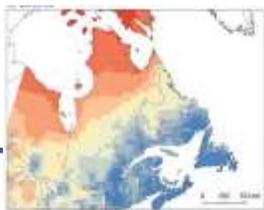
Les enjeux de la gestion de l'eau en climat futur

Les enjeux de la gestion de l'eau en climat futur

Plan de la présentation

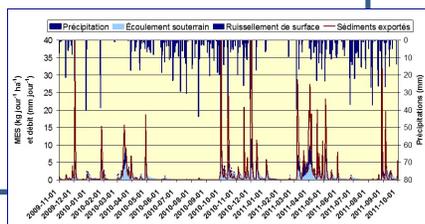
Les changements climatiques:

- Précipitations
- Température



Distribution disponibilité de l'eau:

- Les excédents
- Les déficits



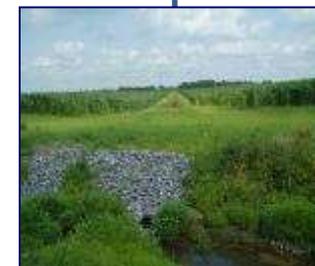
Les enjeux:

- Ruissellement, érosion, inondation
- Déficits hydriques
- Disponibilité de l'eau
- Qualité de l'eau



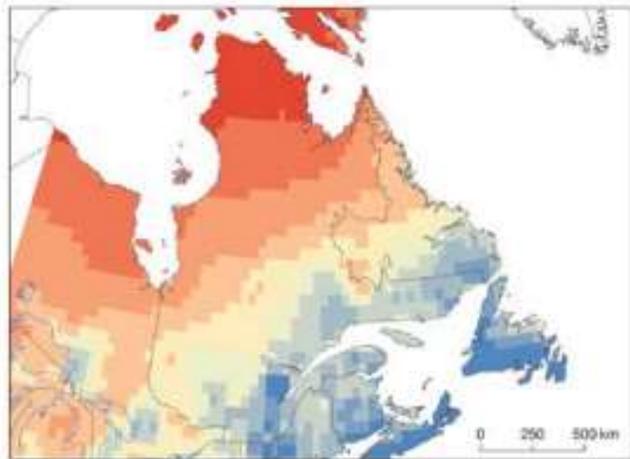
Les mesures d'adaptation:

- Aménagement des terres et des cours d'eau
- Pratiques culturales
- Fertilisation
- Drainage contrôlé et irrigation



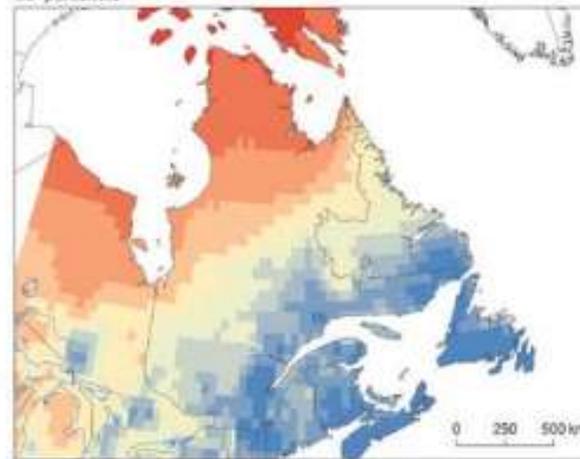
Les changements climatiques Distribution des précipitations en climat futur

Observations : 1971 à 2000 (CRU TS 3.21)

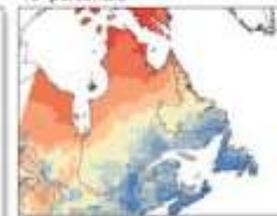


Horizon 2050 : RCP 8.5

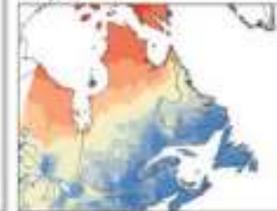
50^e percentile



10^e percentile



90^e percentile



Précipitations totales (mm) : ANN

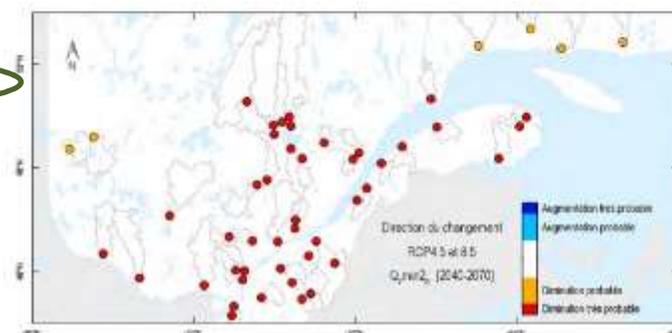
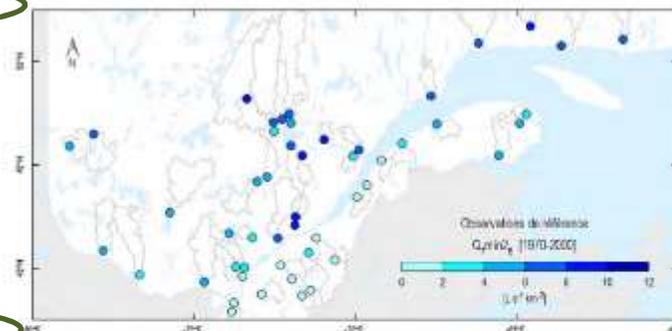


Source: Ouranos (2015)

Les effets sur le gradient et la disponibilité de l'eau: Les effets à l'échelle provinciale

Tendances à l'horizon 2050	Niveau de confiance
Les crues printanières seront plus hâtives.	Élevé
Le volume des crues printanières diminuera au sud du Québec méridional.	Modéré
La pointe des crues printanières sera moins élevée au sud du Québec méridional.	Modéré
La pointe des crues estivales et automnales sera plus élevée sur une large portion du Québec méridional.	Modéré
Les étiages estivaux seront plus sévères et plus longs.	Élevé
Les étiages hivernaux seront moins sévères.	Élevé
L'hydraulicité hivernale sera plus forte.	Élevé
L'hydraulicité estivale sera plus faible.	Élevé
L'hydraulicité à l'échelle annuelle sera plus forte au nord du Québec méridional et plus faible au sud.	Modéré

Étiage estival Débit moyen sur 7 jours, récurrence 2 ans



Source: Atlas hydroclimatique. CEHQ (2015)

Prédire les effets des changements climatiques sur la distribution et la disponibilité de l'eau en milieu agricole



Mesurer : Météo et hydrométrie



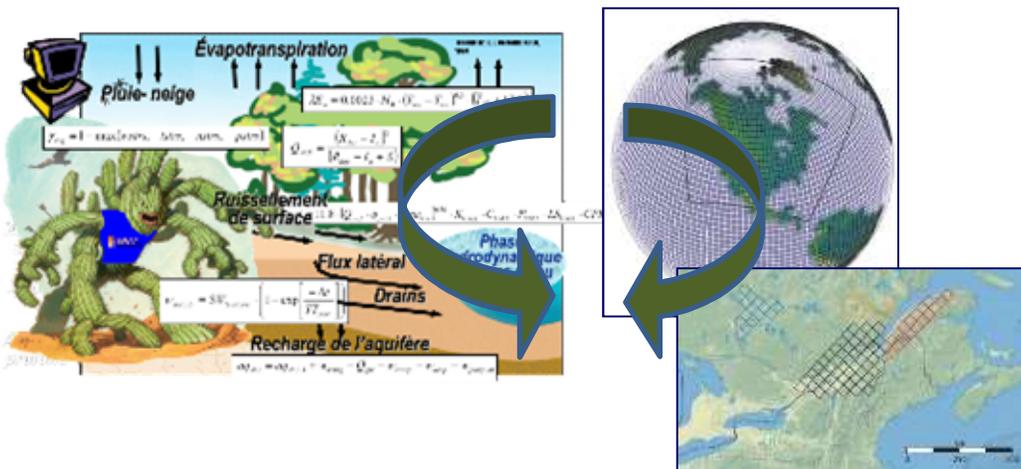
Modéliser l'hydrologie en climat historique



Générer les scénarios de climat futur

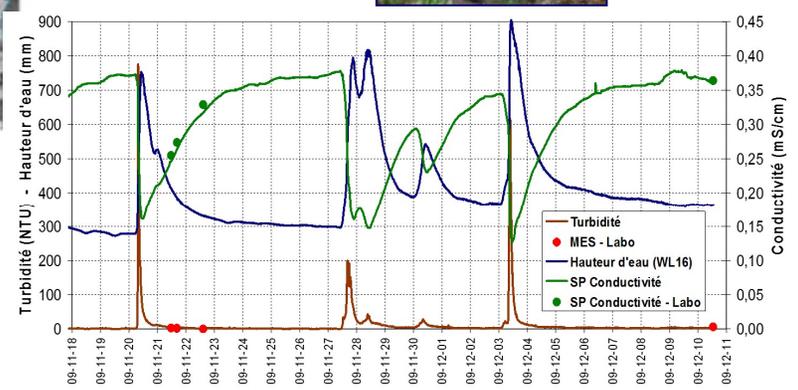
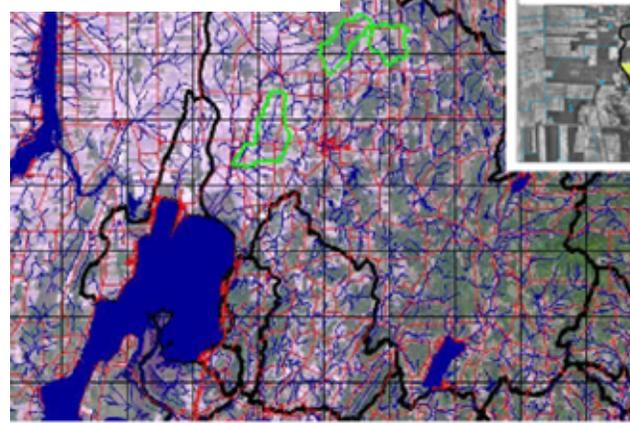
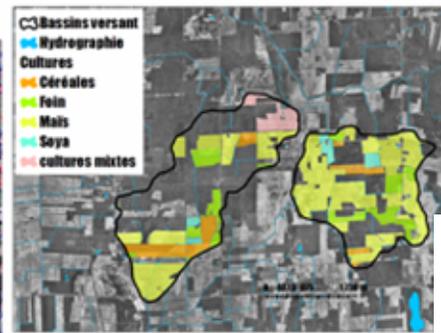
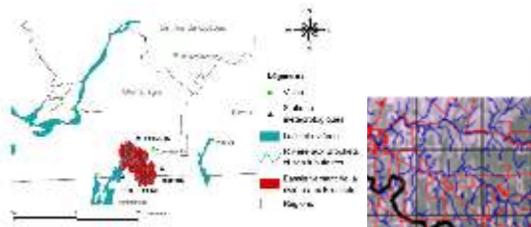


Modéliser l'hydrologie en climat futur



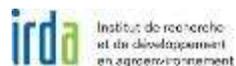
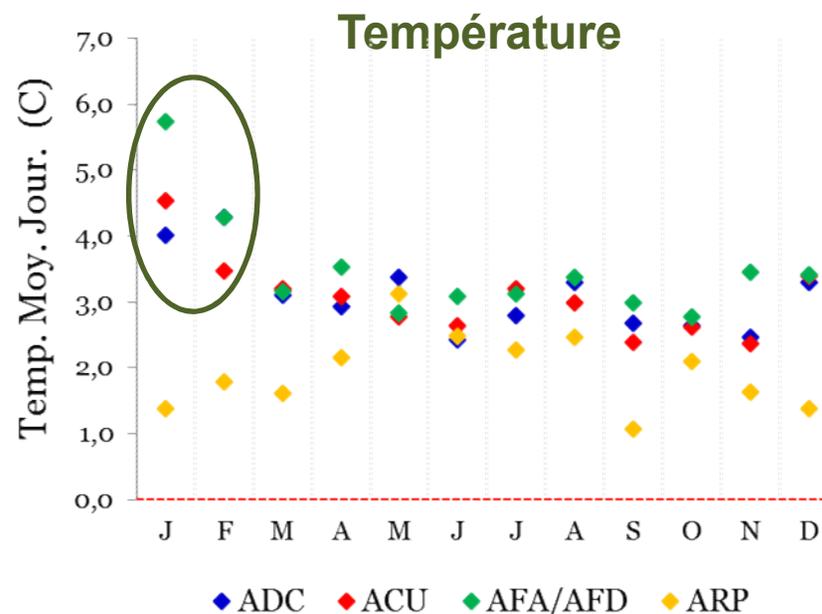
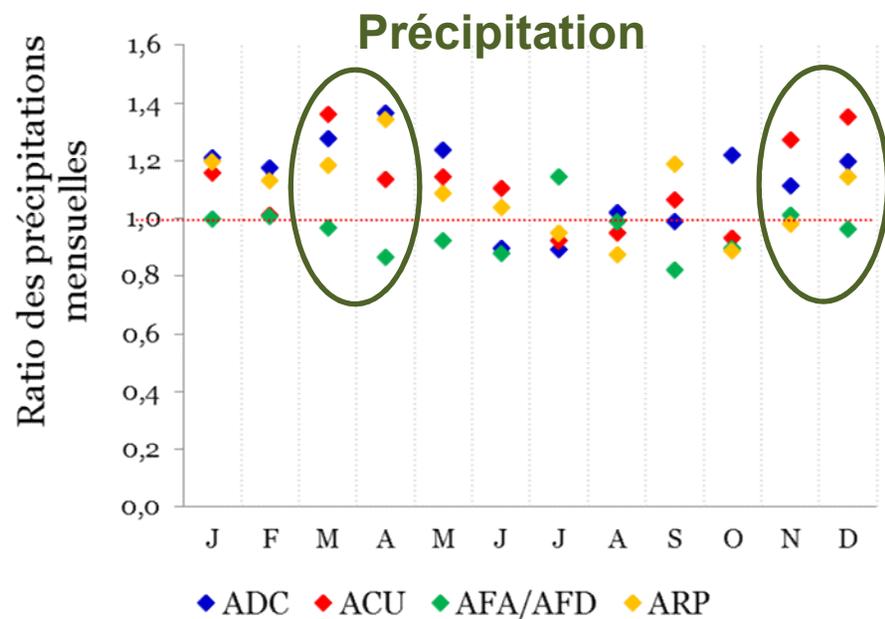
Les effets des changements climatiques sur la distribution et la disponibilité de l'eau

Mesurer : Météo et hydrométrie



Générer les scénarios de climat futur

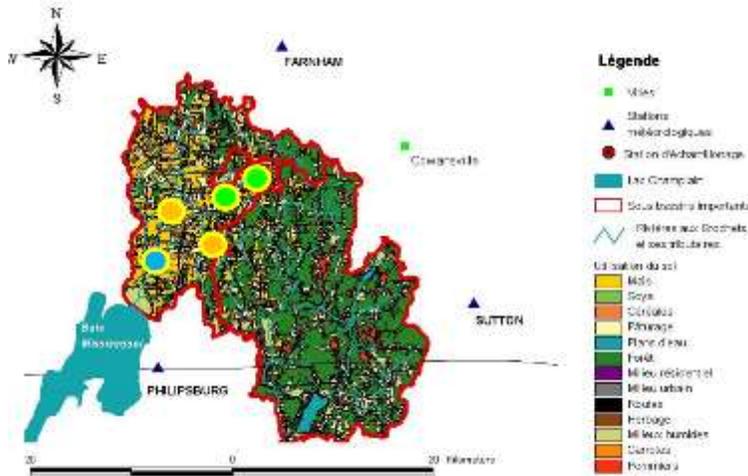
Changements dans les précipitations et les températures



Les effets des changements climatiques sur la distribution et la disponibilité de l'eau

Modéliser l'hydrologie en climat historique et futur

Bassin versant de la rivière aux Brochets



Stations hydrométriques: 4 micro-bassins (8-30 km²) et bassin Brochets (230 km²)
Périodes: historique 1971-2000 et future: 2041-2070

Débits

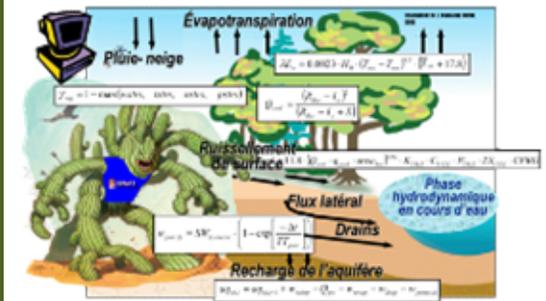
● C : Nov 2001-Mai 2003
 ● V: Nov 2004-Mai 2006

Débits et qualité de l'eau

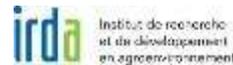
● C : Nov 2001-Mai 2003
 ● V: Nov 2004-Mai 2006

Débits, sédiments et PT

● V: 1980 -2000

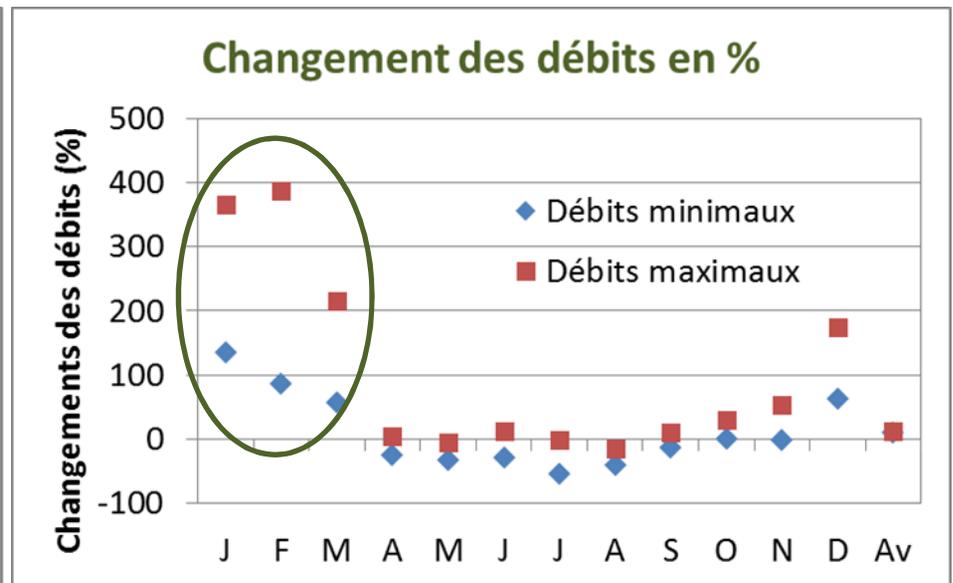
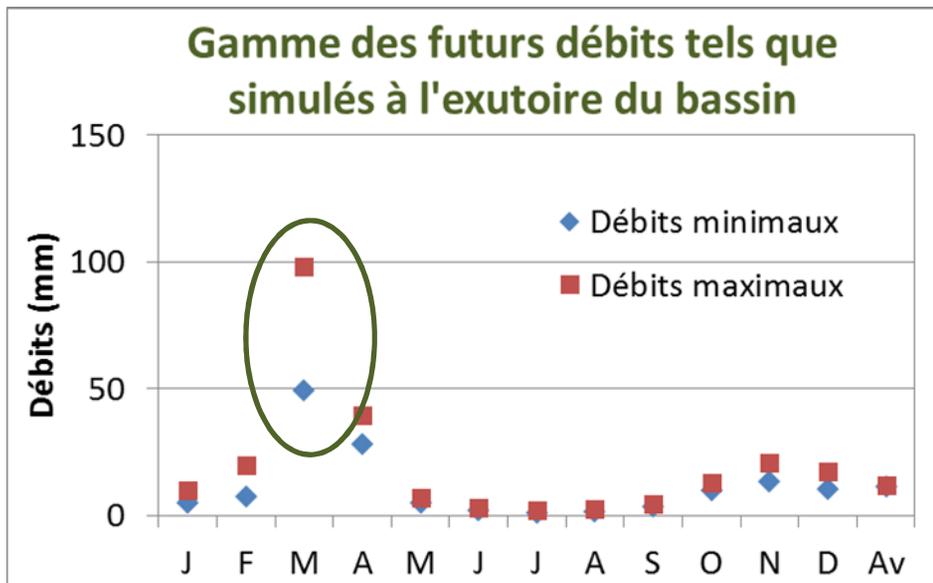


Gombault, Sottile, Beaudin, Chikhaoui, Ngwa, Michaud et Madramootoo.
 CWRJ et CISS, 2015



Modéliser l'hydrologie en climat futur

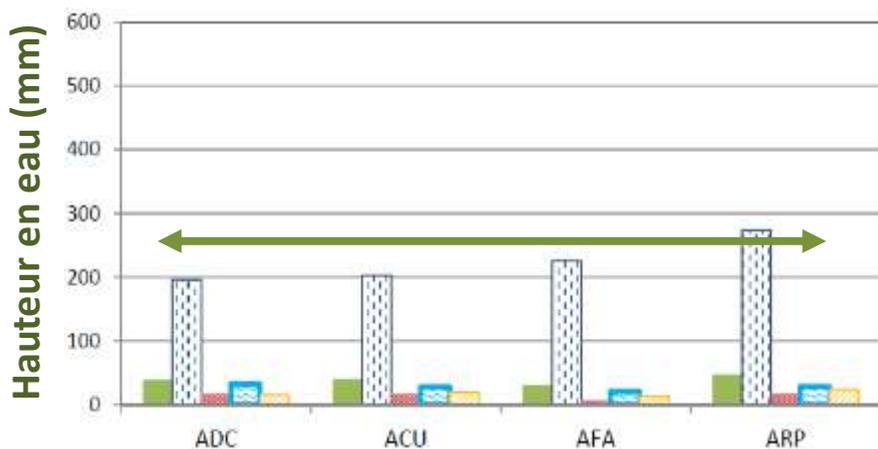
Changements dans les débits, base mensuelle



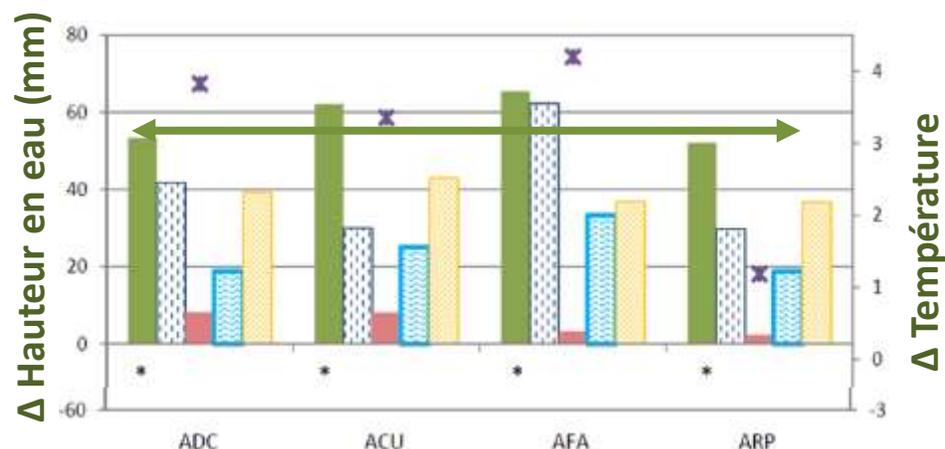
Modéliser l'hydrologie en climat futur

Changements dans les bilans hydriques: HIVER (Dec.-Fév.)

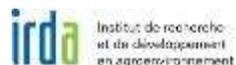
Hauteurs en eau historiques



Changements absolus moyens (30 ans)



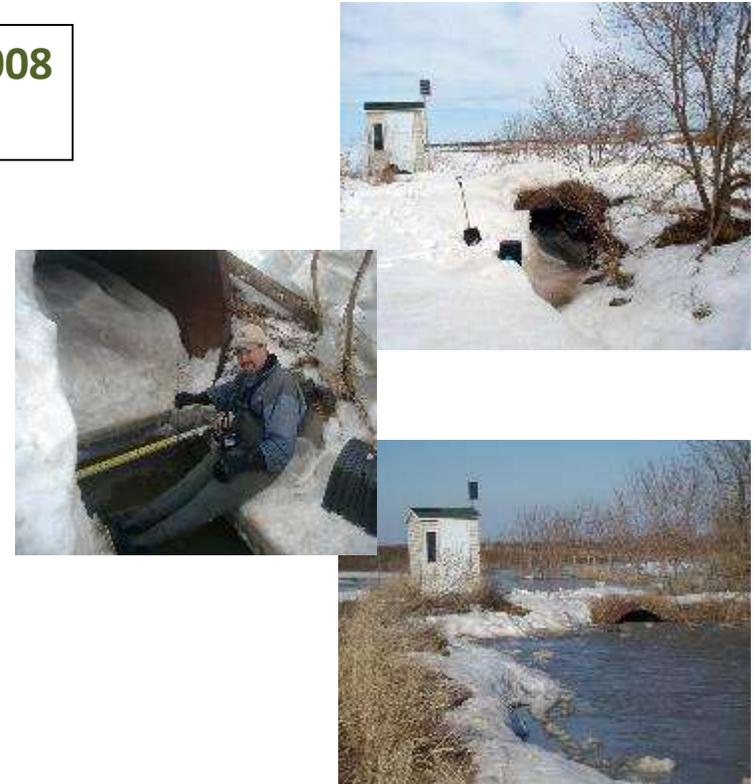
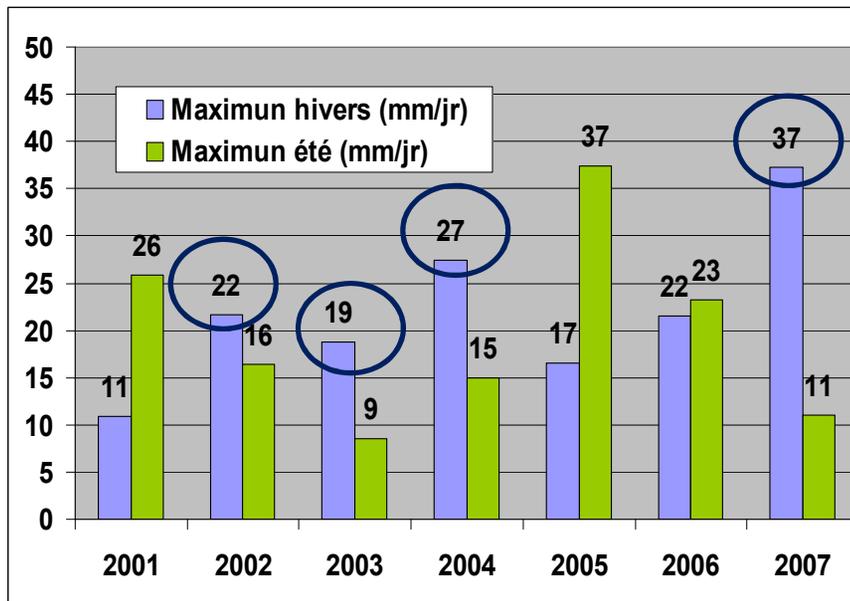
■ Δ Débit
 ■ Δ Ppt
 ■ Δ ETR
 ■ Δ Qsurf
 ■ Δ Qsouter
 ✕ Δ Temp



Adapté de Gombault, 2012 et Gombault et al. 2015 (CWRJ) McGill, IRDA, OURANOS, CRSNG

Changements dans les bilans hydriques: HIVER
IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES: Appréhender les redoux hivernaux

Hydrométrie, bassin du Ruisseau Aux Castors, 2001-2008
Distribution des maxima journaliers annuels

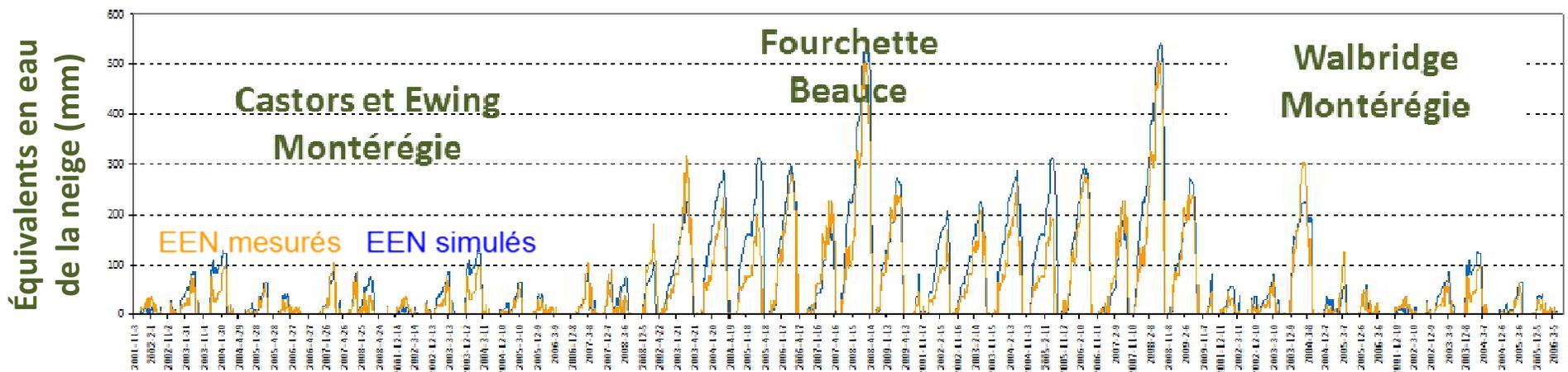


IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES: Appréhender les redoux hivernaux

Développement d'Indices d'apports verticaux

1^{ère} Étape: Modéliser l'évolution du couvert de neige

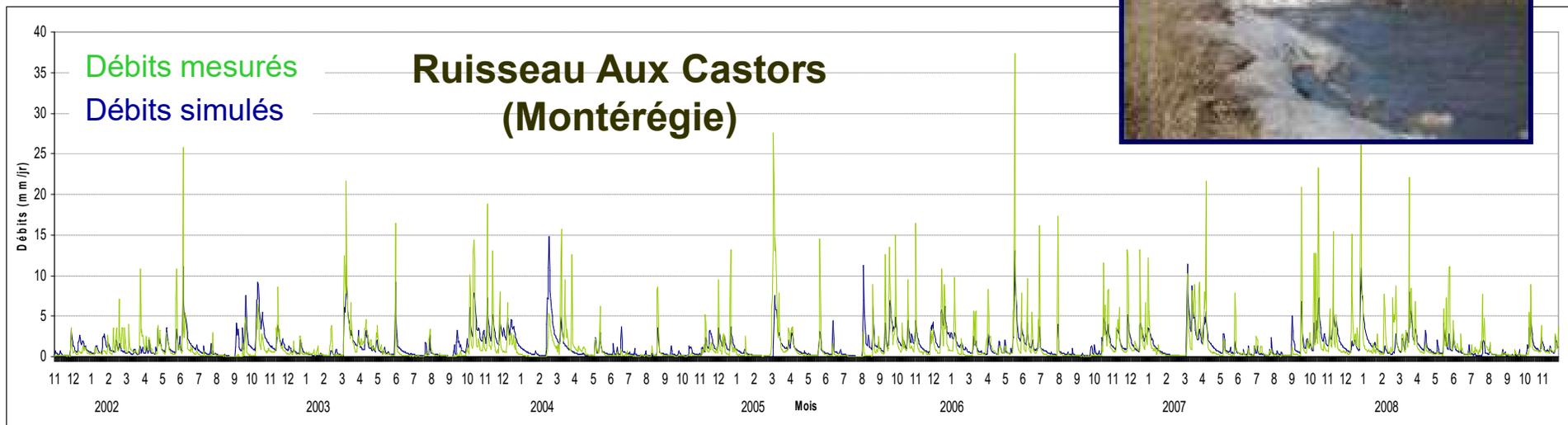
Comparaison des équivalents en eau de la neige (EEN) interpolés (mesures) et simulés par le modèle de fonte de neige CEQUEAU-modIRDA pour la Beauce et la Montérégie



IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES: Appréhender les redoux hivernaux **Développement d'Indices d'Indices de fonte et pluie hivernale**

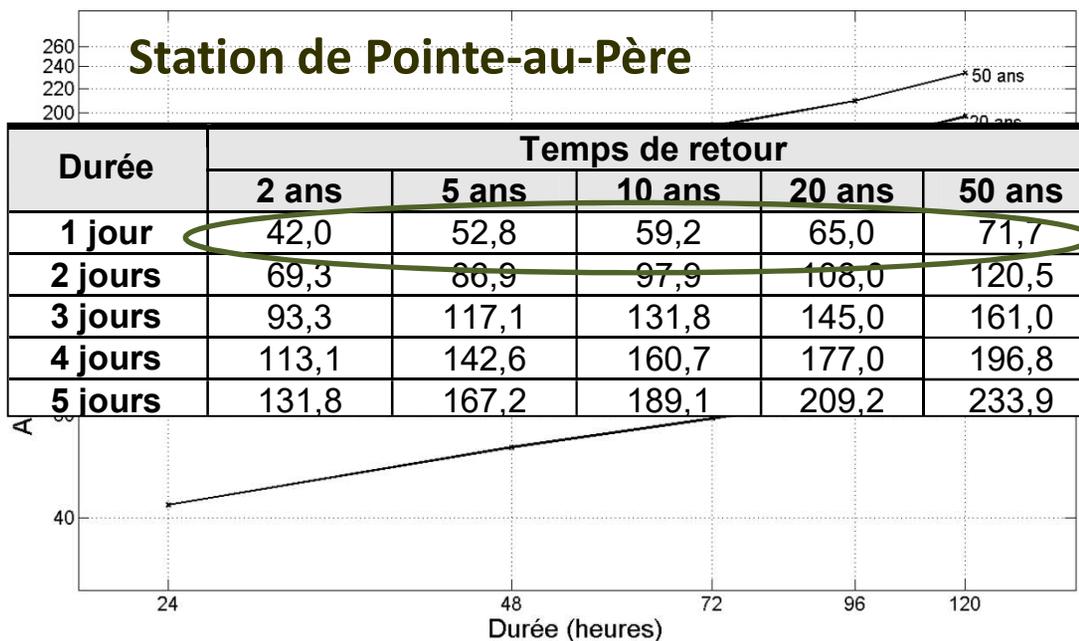
2e Étape: Modéliser les apports verticaux et les débits

Évolution des débits mesurés et des débits simulés
à partir des apports verticaux du modèle de fonte de neige



IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES: Appréhender les redoux hivernaux
Développement d'Indices de fonte et pluie hivernale

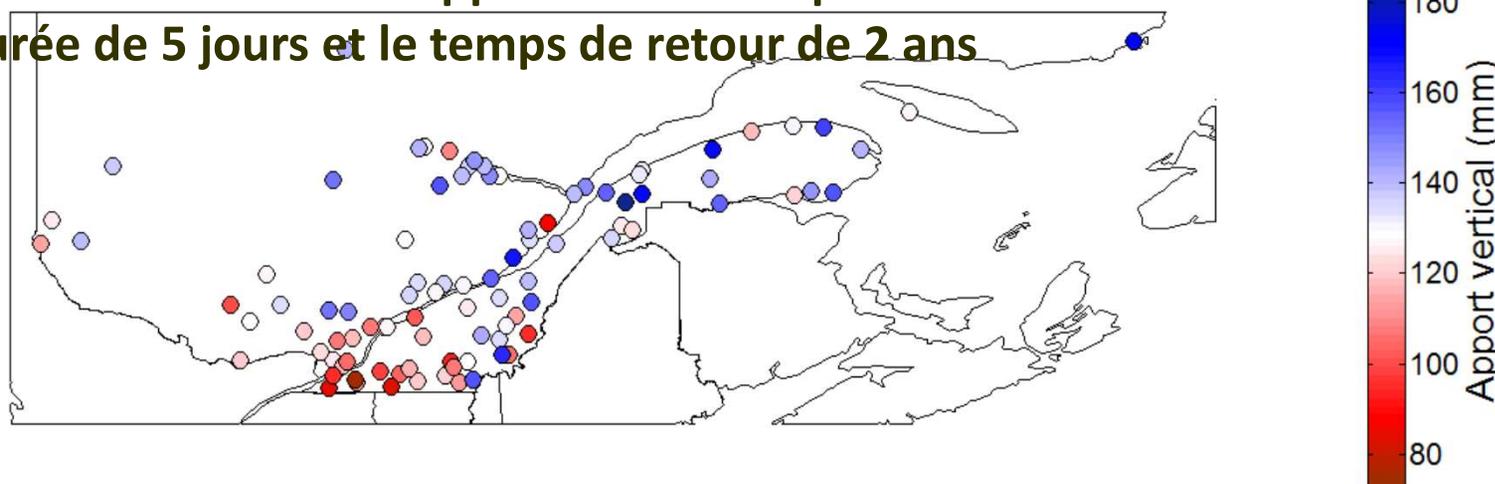
3e Étape: Générer les courbes Hauteurs-Durée-Fréquence de distribution



IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES: Appréhender les redoux hivernaux
Développement d'Indices de fonte et pluie hivernale

3e Étape: Générer les courbes Hauteurs-Durée-Fréquence de distribution

**Estimateurs HDF des apports verticaux pour la
durée de 5 jours et le temps de retour de 2 ans**

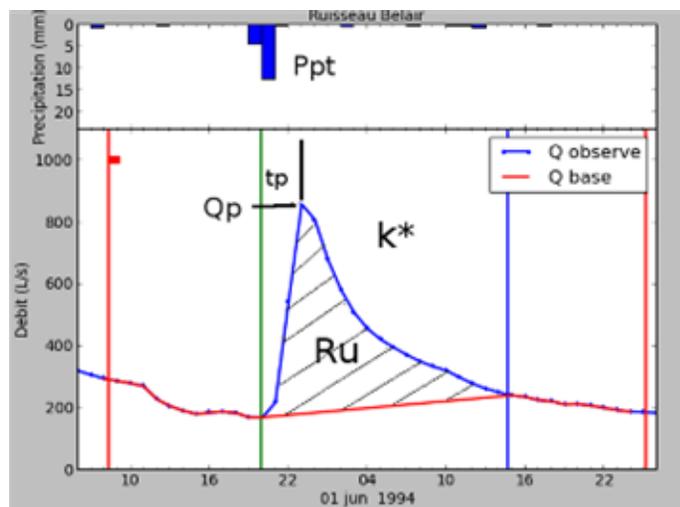


Réalisation: IRDA, INRS-ETE, MDDELCC

<http://www.irda.gc.ca/fr/publications/mise-a-jour-des-normes-et-procedures-de-conception-des-ouvrages-hydro-agricoles-dans-un-contexte-de-changements-climatiques/>

Les excédents hydriques en période hivernale/printanière
Enjeux et mesures d'adaptation: Aménagement des terres et des cours d'eau

Développer les critères de conception des ouvrages hydrauliques adaptés aux fontes et pluies hivernales



$$Q_p = k^* \frac{Ru}{t_c} A$$

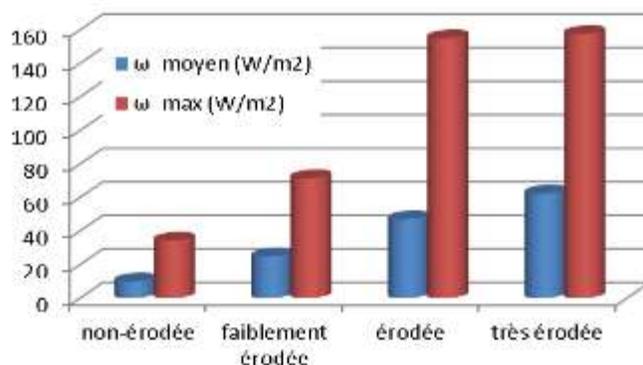
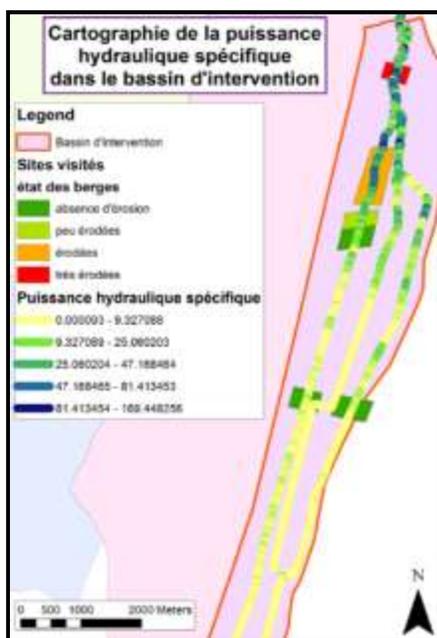
- Qp: Débit de pointe
- K: Paramètre de forme de l'hydrogramme
- C: coefficient de ruissellement
- Pte: Précipitation
- Tc: Temps de concentration
- A: Superficie du bassin



Logiciel d'analyse hydrologique VisuHydro. Lagacé (2012)

Les excédents hydriques en période hivernale/printanière
Enjeux et mesures d'adaptation: Aménagement des terres et des cours d'eau

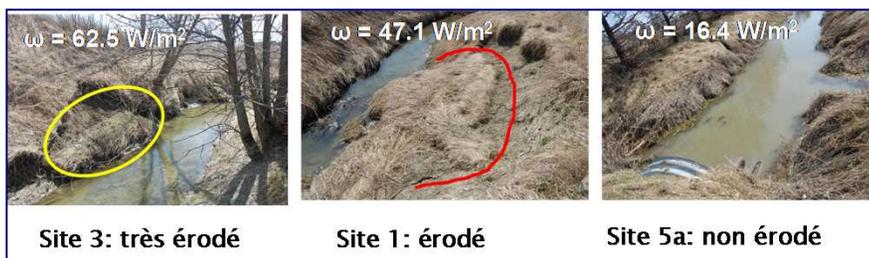
Rendre à certains cours d'eau leur espace de liberté



Aménagement des cours d'eau en milieu agricole:

- Augmentation des densités de drainage de 1,0 km/km² jusqu'à 1,7-2,1 km/km²
- Augmentation des vitesses et débits de pointe de 25% à 75%

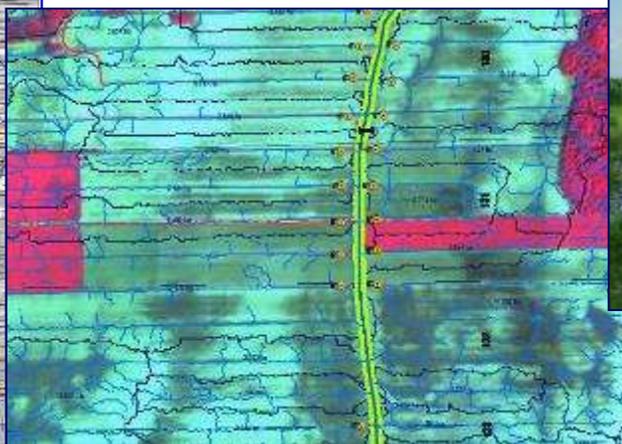
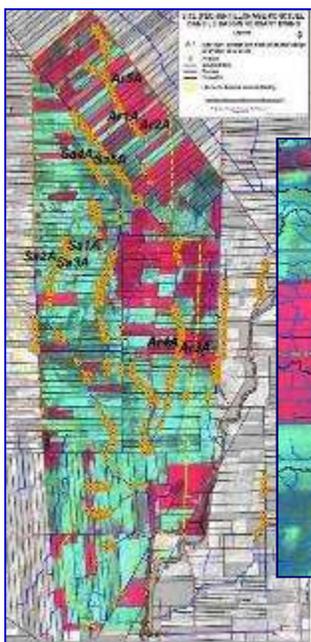
Beaulieu, 1999



Portrait hydrogéomorphologique de la Baie de Lavallière. C. Roux, P. Biron et A. Michaud; 2012

Les excédents hydriques en période hivernale/printanière
Enjeux et mesures d'adaptation: Aménagement des terres et des cours d'eau

Intégrer l'aménagement du cours d'eau, du milieu riverain
et des terres agricoles



Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière Au Brochet et MAPAQ, 2009; Photos: Richard Lauzier.

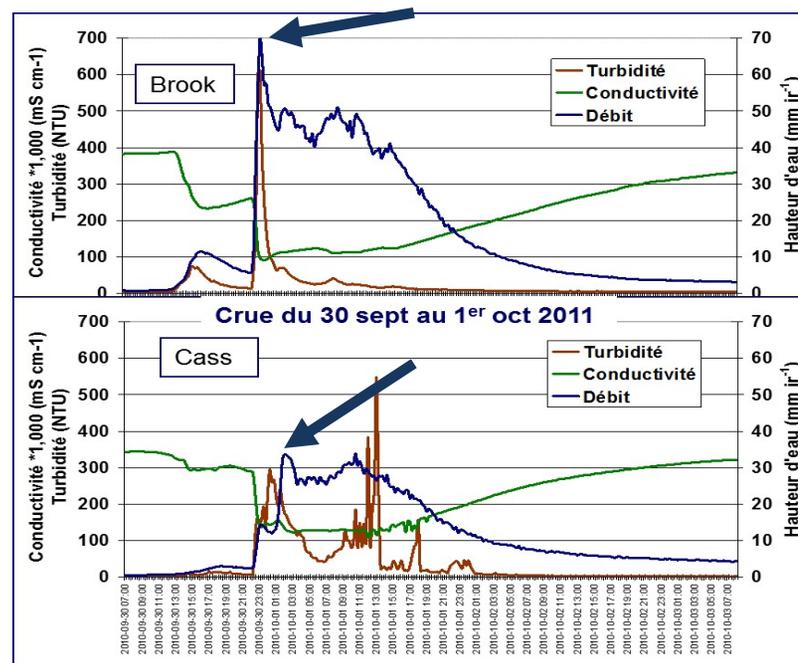
Les excédents hydriques en période hivernale/printanière
Enjeux et mesures d'adaptation: Aménagement des terres et des cours d'eau

Valoriser les plaines inondables et les milieux humides

Milieux humides du ruisseau Cass,
 Estrie



Observatoire de la qualité de l'eau de surface. Michaud et col., 2012.

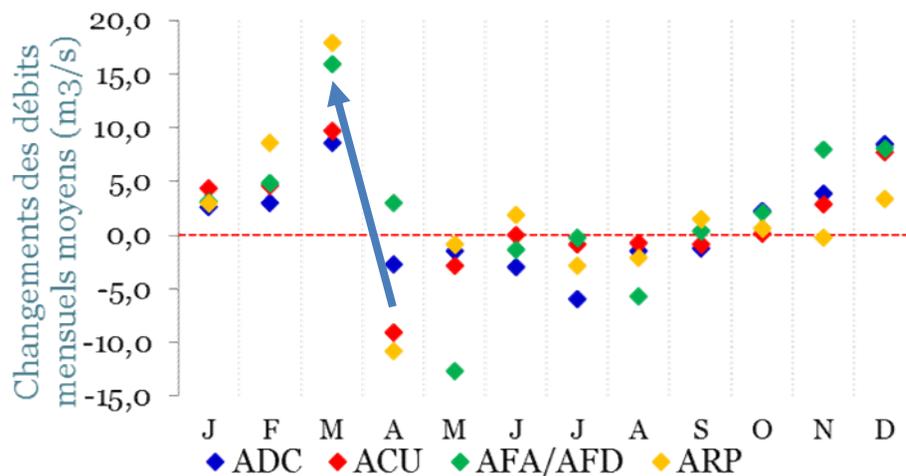


Modéliser l'hydrologie en climat futur

Changements dans les bilans hydriques: PRINTEMPS (Mars-Avril-Mai)

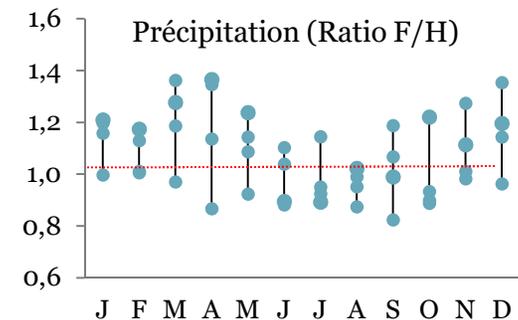
Month	ADC	ACU	AFA	ARP
J	○	○	○	○
F	○	○	○	○
M	○	○	○	○
A		○		
M		○	○	
J	○			
J	○			
A			○	
S				
O				
N			○	
D	○	○	○	○
Annuel			○	

Changements dans les débits mensuels (m3/s)



O: Changement significatif en climat futur

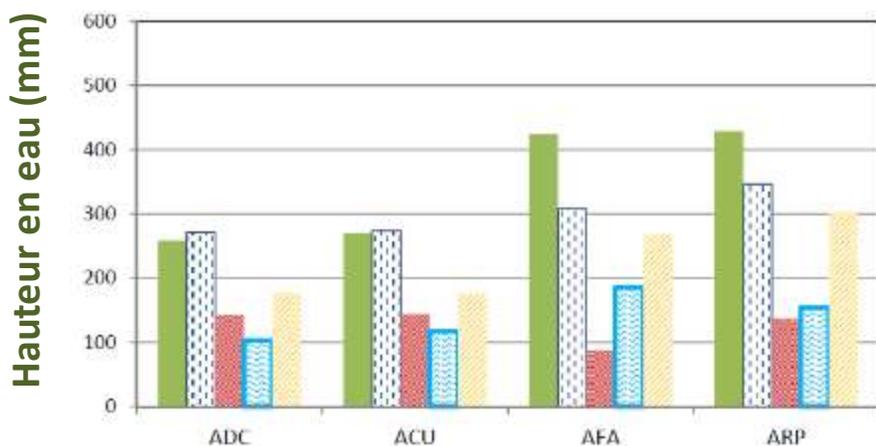
Bassin versant de la rivière aux Brochets



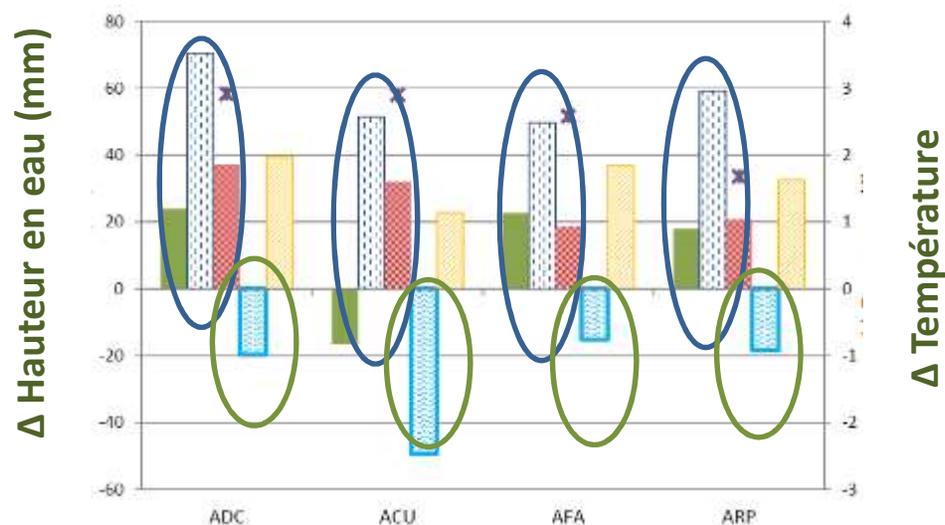
Modéliser l'hydrologie en climat futur

Changements dans les bilans hydriques: PRINTEMPS (Mars-Avril-Mai)

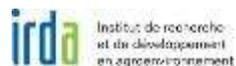
Hauteurs en eau historiques



Changements absolus moyens (30 ans)



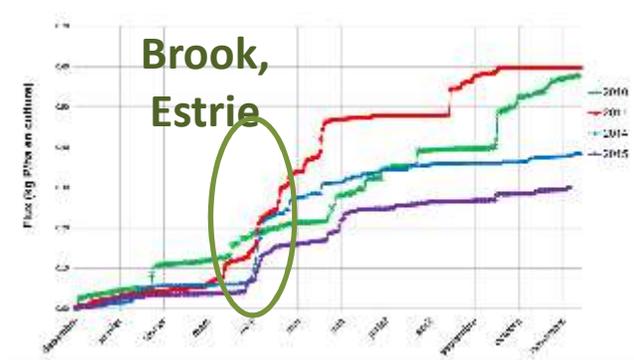
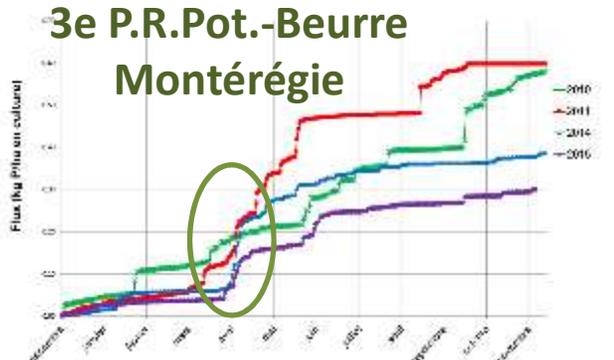
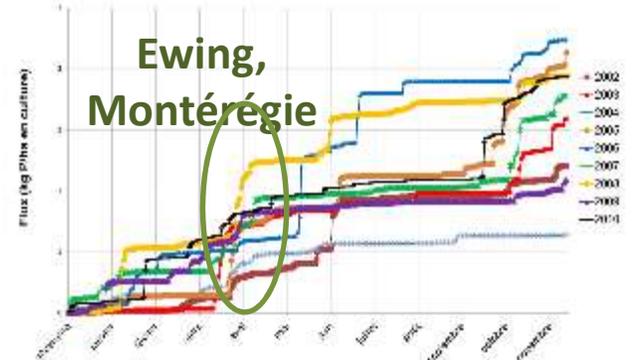
■ Δ Débit
 ■ Δ Ppt
 ■ Δ ETR
 ■ Δ Qsurf
 ■ Δ Qsouter
 ✕ Δ Temp



Adapté de Gombault, 2012 et Gombault et al. 2015 (CWRJ) McGill, IRDA, OURANOS, CRSNG

Changements dans les bilans hydriques: PRINTEMPS
Implications opérationnelles: Érosion et Phosphore

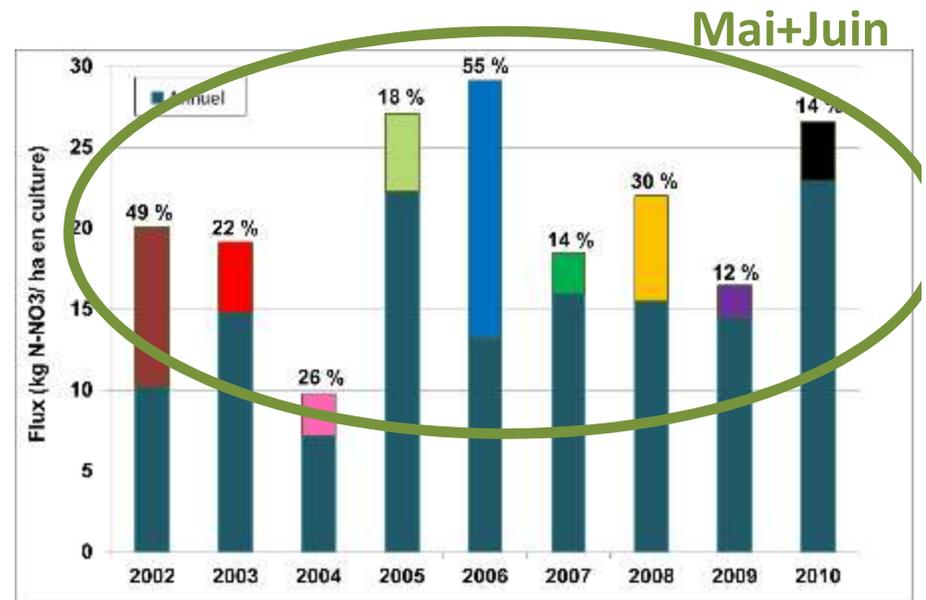
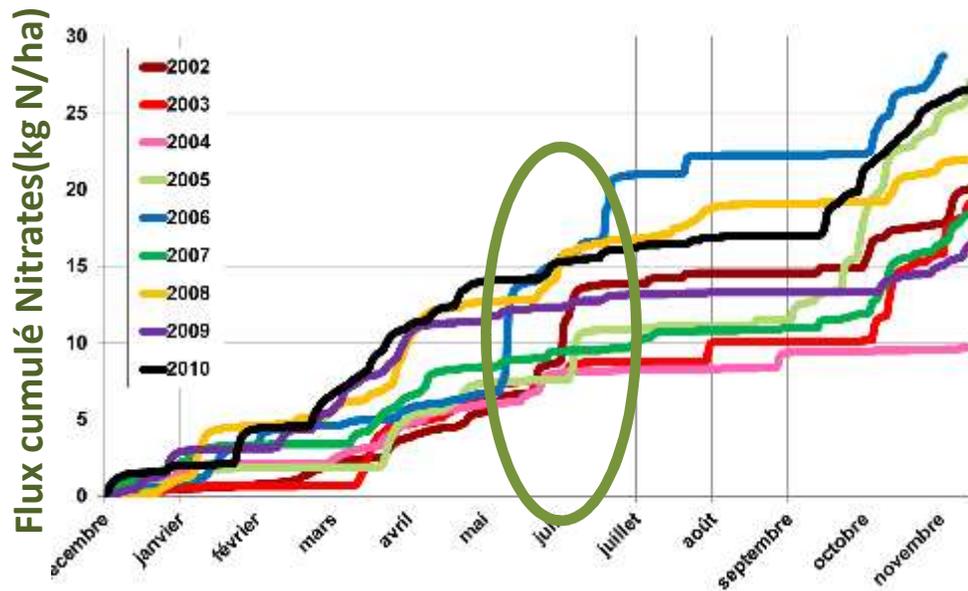
Flux cumulé de phosphore total
 (kg P/ha)



Distribution des flux cumulés de phosphore aux exutoires de petits bassins versants

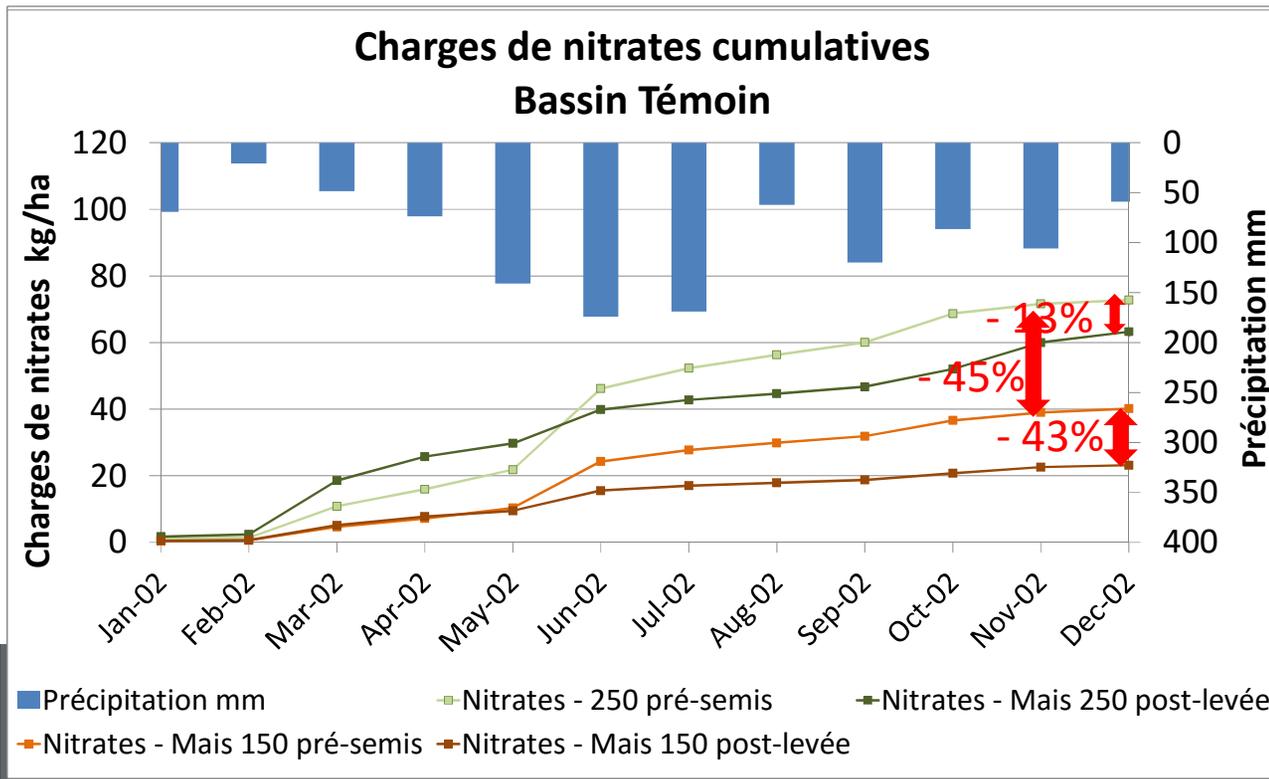
Changements dans les bilans hydriques: PRINTEMPS
Implications opérationnelles: Fertilisation Azotée

Distribution des flux cumulés de nitrates à l'exutoire du bassin Éwing, en Montérégie



Changements dans les bilans hydriques: PRINTEMPS (Mars-Avril-Mai)
Implications opérationnelles: Fertilisation Azotée

Charges cumulées de nitrates selon les scénarios de régie
Bassin Walbridge aval, Montérégie

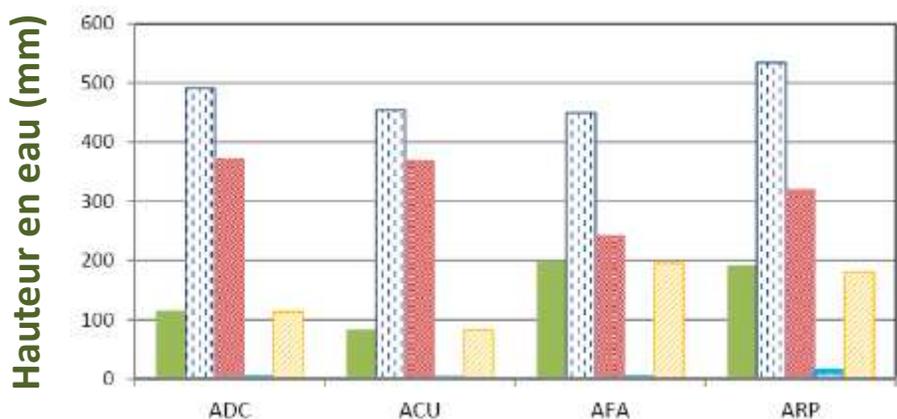


Adapté de Michaud et col., 2014.
 Projet RIZOTAGE.
<http://www.irda.qc.ca/fr/publications/rezotage-realisation-de-zones-technico-economiques-agricoles-de-gestion/>

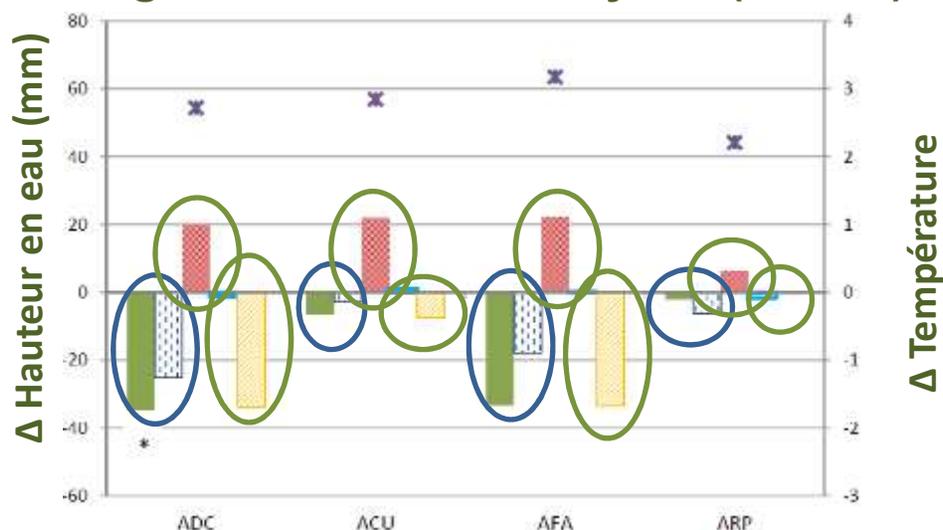
Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Changements dans les bilans hydriques: ÉTÉ (Juin-Juillet-Août)

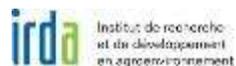
Hauteurs en eau historiques



Changements absolus moyens (30 ans)

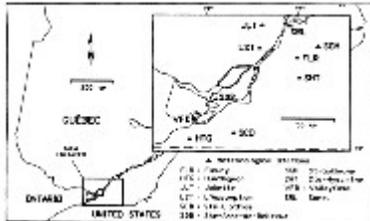


■ Δ Débit
 ■ Δ Ppt
 ■ Δ ETR
 ■ Δ Qsurf
 ■ Δ Qsouter
 x Δ Temp



Adapté de Gombault, 2012 et Gombault et al. 2015 (CWRJ) McGill, IRDA, OURANOS, CRSNG

Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques Besoins saisonniers et hebdomadaires en eau (irrigation)



Culture	Texture de sol	Besoin de pointe hebdomadaire (mm/sem)		Besoin saisonnier (mm)	
		Une année sur 10	Une année sur deux	Une année sur 10	Une année sur deux
Maïs	Loam argileux	11-16	6-11	114-173	50-97
Maïs	Loam sableux	22-27	9-18	216-302	55-116
Soja	Loam argileux	16-22	11-15	178-242	106-165
Soja	Loam sableux	25-31	12-20	293-362	83-168
Pommes de terre (hâtives)	Loam sableux	27-36	17-22	231-291	97-160

Simulation of irrigation requirements for major crops in South Western Québec

J. GALLICHAND¹, R.S. BROUGHTON¹, J. BOISVERT² and P. ROCHETTE²

¹Department of Agricultural Engineering, Macdonald College of McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue, PQ, Canada H3X 2C4; and ²Land Resource Research Centre, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, ON, Canada K1A 0C9. Received 24 January 1990; accepted 4 July 1990.

Gallichand, J., Broughton, R.S., Boisvert, J. and Rochette, P. 1991. Simulation of irrigation requirements for major crops in South Western Québec. Can. Agr. Eng. 33(8): 609. Supplemental irrigation is important in south western Québec to ensure maximum crop production. This study was conducted to determine irrigation requirements for major crops grown in this area. Soil moisture simulations were performed using the Waterloo Soil Moisture Budget version IV in order to quantify irrigation requirements for maize crops and Soja and types using meteorological records from ten stations. Weekly water deficits were determined at five probability levels. Results showed that crops grown on loamy sand exhibit a wider range of variation in peak and seasonal irrigation requirements when compared to crops grown on clay loam. Maximum rooting depth and root development affect the magnitude and distribution of water deficits within the root system. Tables of peak and seasonal irrigation requirements that can be used for irrigation system design are presented.

Le besoin d'irrigation est important dans le sud-ouest du Québec pour obtenir les rendements d'irrigation des principales cultures de cette région. Le bilan Waterloo version IV a été utilisé pour simuler la teneur en eau du sol de façon à quantifier les besoins d'irrigation de deux cultures sur trois types de sol en utilisant les données météorologiques de dix stations. Les déficits en eau hebdomadaires ont été calculés pour cinq niveaux de probabilité. Les résultats ont montré que les besoins saisonniers d'irrigation varient beaucoup plus pour les cultures sur sable limoneux que pour celles sur loam argileux. La profondeur maximale d'enracinement et le développement des racines affectent l'importance et la distribution des déficits en eau. Des tableaux présentent les besoins d'irrigation de pointe et saisonniers qui ont été développés pour servir à la conception des systèmes d'irrigation.

INTRODUCTION

The south western part of Québec is a vital area for the production of vegetables and grain crops. Figure 1 shows that supplemental irrigation is important in south western Québec to ensure maximum crop production. Quantified water deficits are essential as a planning tool for the development of water management strategies, and as a basis for design of irrigation systems and reservoirs.

Water deficits in Québec have been studied in the past 25 years by various authors (Chapman and Brown 1966; Colquhoun et al. 1968; Lake and Broughton 1969; Bator and Robertson 1970; Mason 1971; Sly and Colquhoun 1974). All these studies are based on simple soil moisture models that either do not take into account the effect of specific crops on evapotranspiration or take the actual evapotranspiration as a fixed fraction of the reference evapotranspiration. While such an approach is useful as a comparative tool in identifying areas that require

more attention, it is of limited use for design of irrigation systems and dimensioning of irrigation reservoirs.

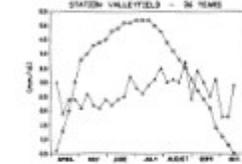


Fig. 1. Average evapotranspiration and precipitation for a station representative of south western Québec.

Only three of the above mentioned studies dealt specifically with irrigation requirements. Colquhoun et al. (1968) provided tables of weekly water deficits at various probability levels using 30 years of data for two stations in south western Québec, while Lake and Broughton (1969) analysed five stations using 18 years of data. Results of studies on peak and seasonal irrigation requirements are also presented by Bator and Robertson (1970), but none of the stations studied are located in south western Québec.

The objective of this paper is to present a method for determining weekly irrigation water requirements using improved soil moisture and evapotranspiration estimation, at major crops grown in south west

SELECTION OF STATION

Ten stations located within 80 km of this study. Their location and site is shown in Table 1. Table 1 presents general information on the time period available for an area from 22 to 72 years with eight of these 30 years of data. For stations between one and three years were shown in Table 1. Since the JL location is another, the database is

Adapté de Gallichand, Broughton, Boisvert et Rochette, 1990. Can. Agr. Eng.

Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Hauteur d'eau de pluie potentiellement valorisable par la culture (HEPPVC)



Toute la précipitation n'est pas disponible...

HEPPVC = Portion de la réserve d'eau du sol facilement utilisable (RFU plateau).

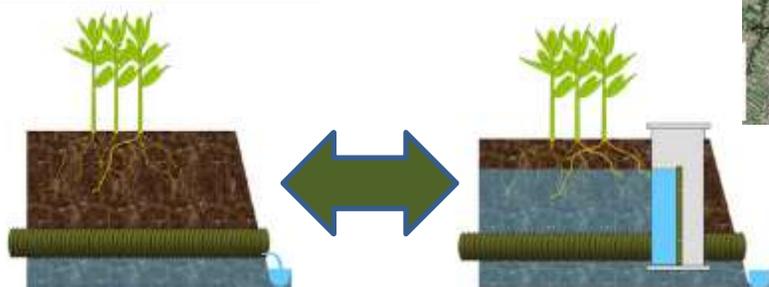


Adapté de Deschênes, Boivin, Vallée et Bergeron. IRDA et MAPAQ, 2015

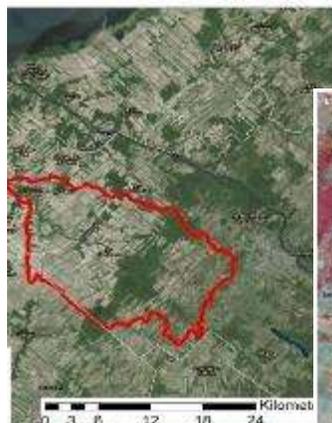
Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé

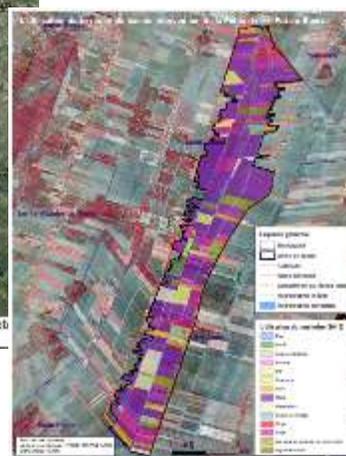
Gestion de de l'eau de drainage souterrain pour maximiser la production des cultures, l'utilisation des nutriments et la disponibilité de l'eau avec les climats actuels et futurs.



Source: AAAC en ligne



Rivière David
323 km²

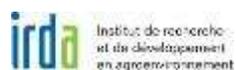


3^e P.-Riv.-Pot-Au-Beurre, 20 km²

Programme de coopération Québec-Ontario pour recherche en agroalimentaire



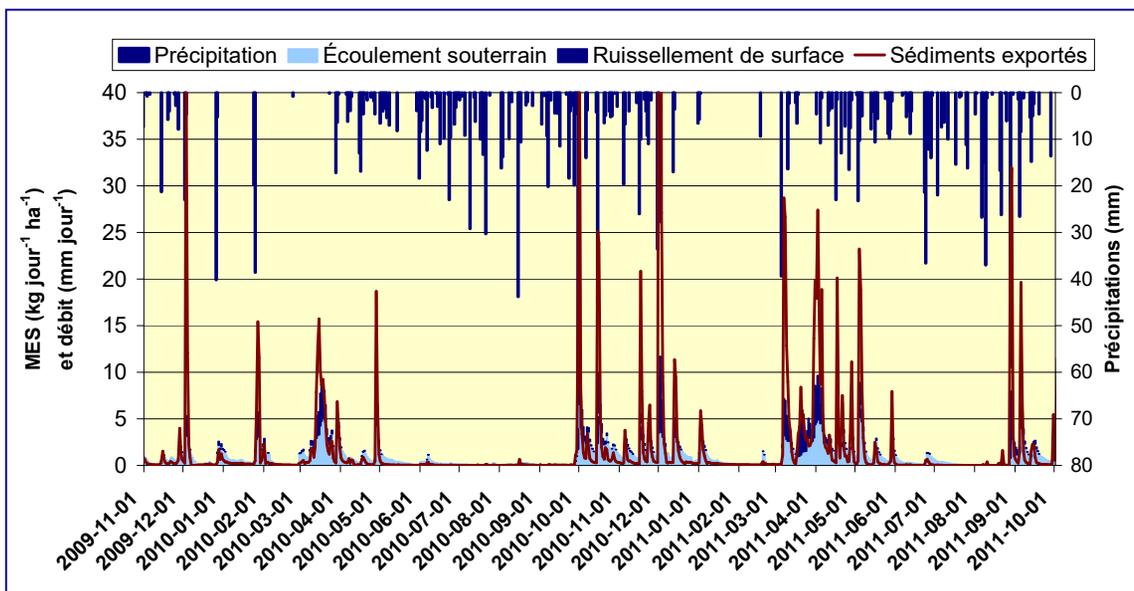
Ferme GenLouis, Yamaska



Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé

Précipitation, ruissellement, drainage et flux journalier de sédiments
3e Petit-Pot-au-Beurre, Montérégie, Québec



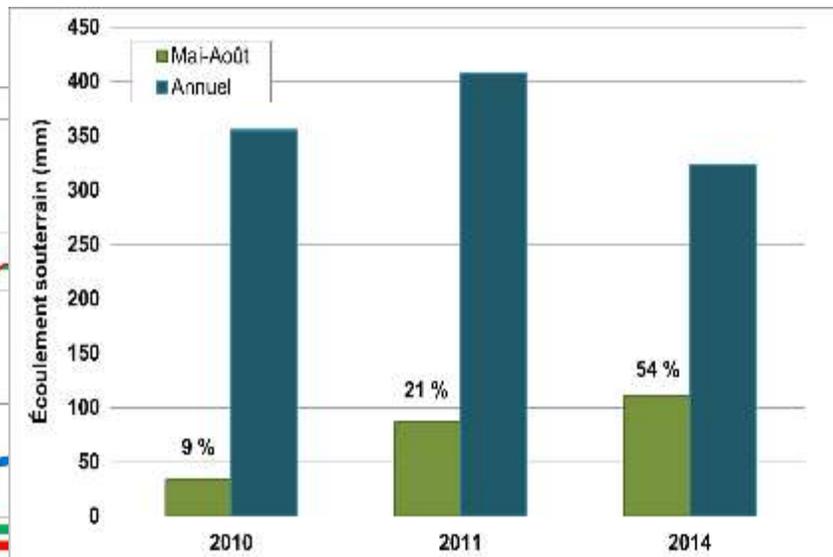
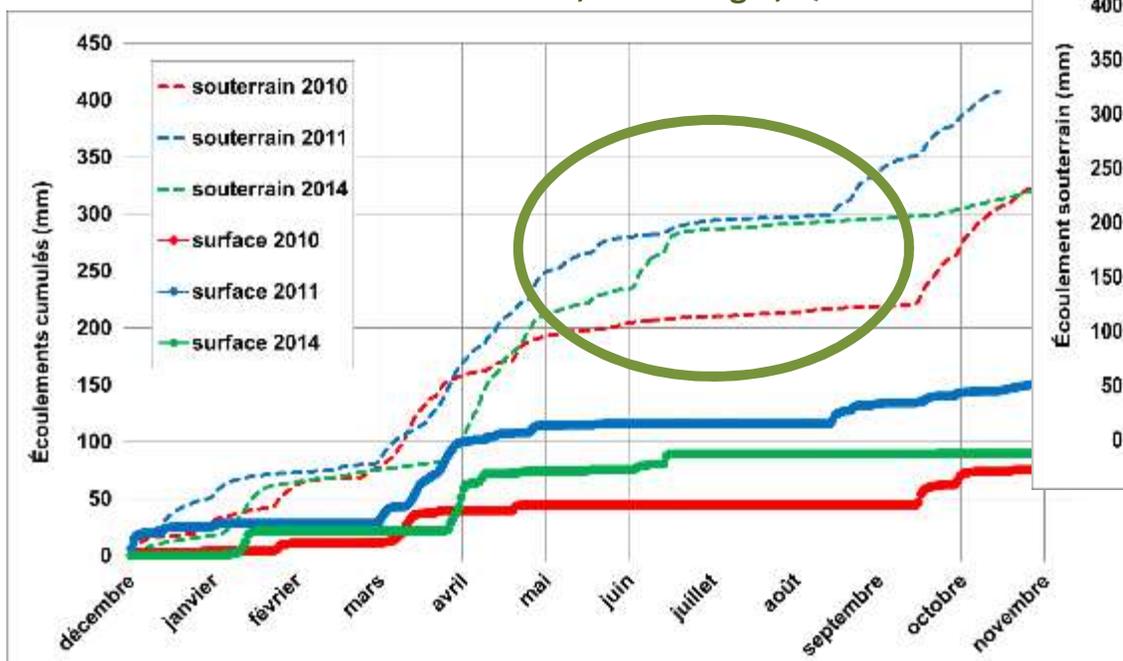
Bilan hydrologique annuel		
Précipitation	1 268 mm	
Hauteur d'eau (mm/an)	Ruissellement de surface	Total
Annuel	98	461
Mai-octobre	32	198
Novembre-avril	66	262



Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

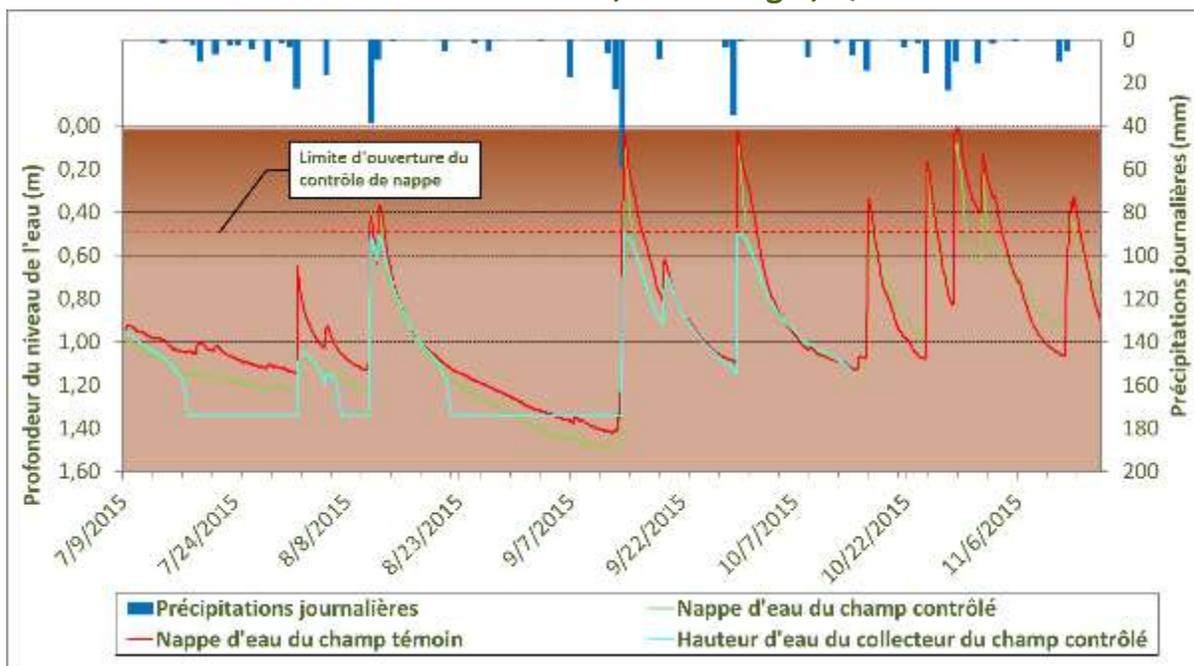
Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé

Ruissellement et écoulement souterrain cumulés
3e Petit-Pot-au-Beurre, Montérégie, Québec



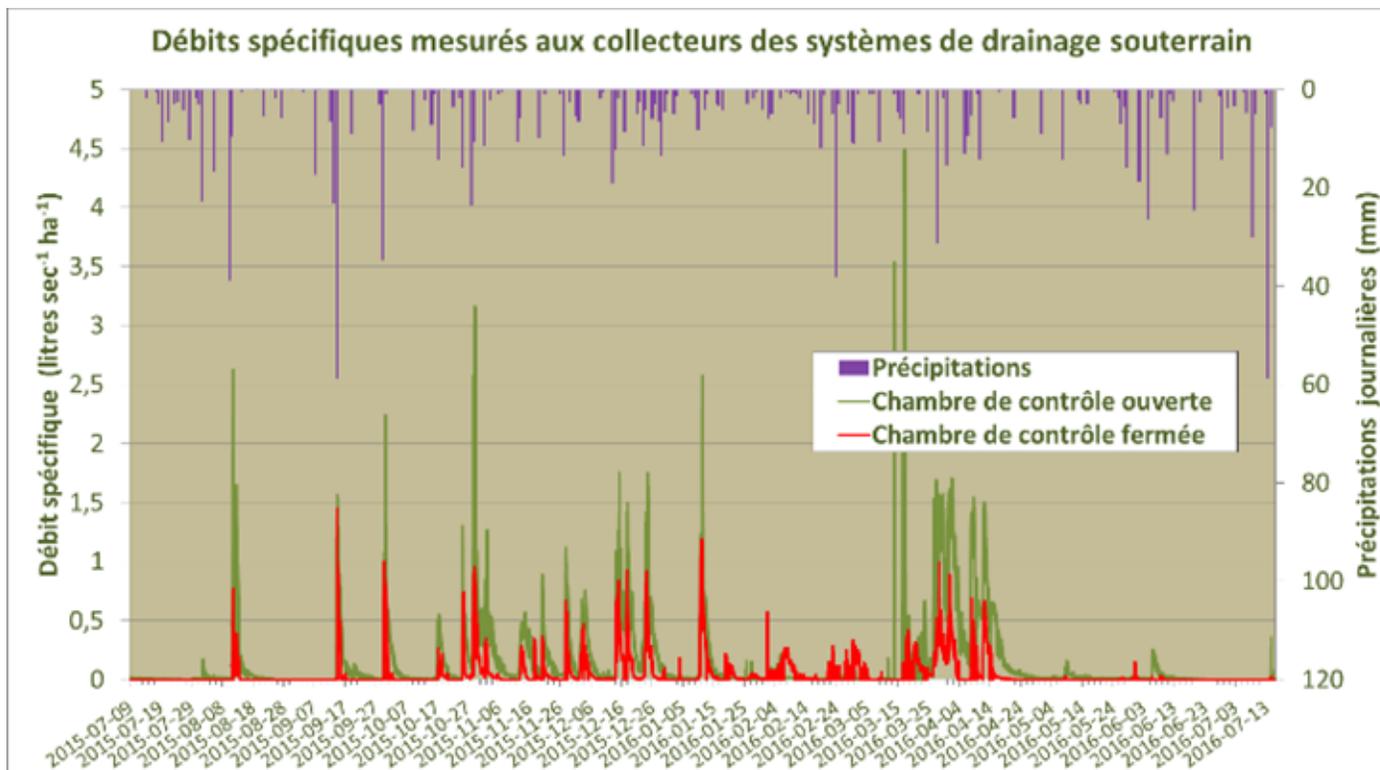
Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé

Précipitations et mouvements de la nappe des champs témoin et contrôlé
3e Petit-Pot-au-Beurre, Montérégie, Québec



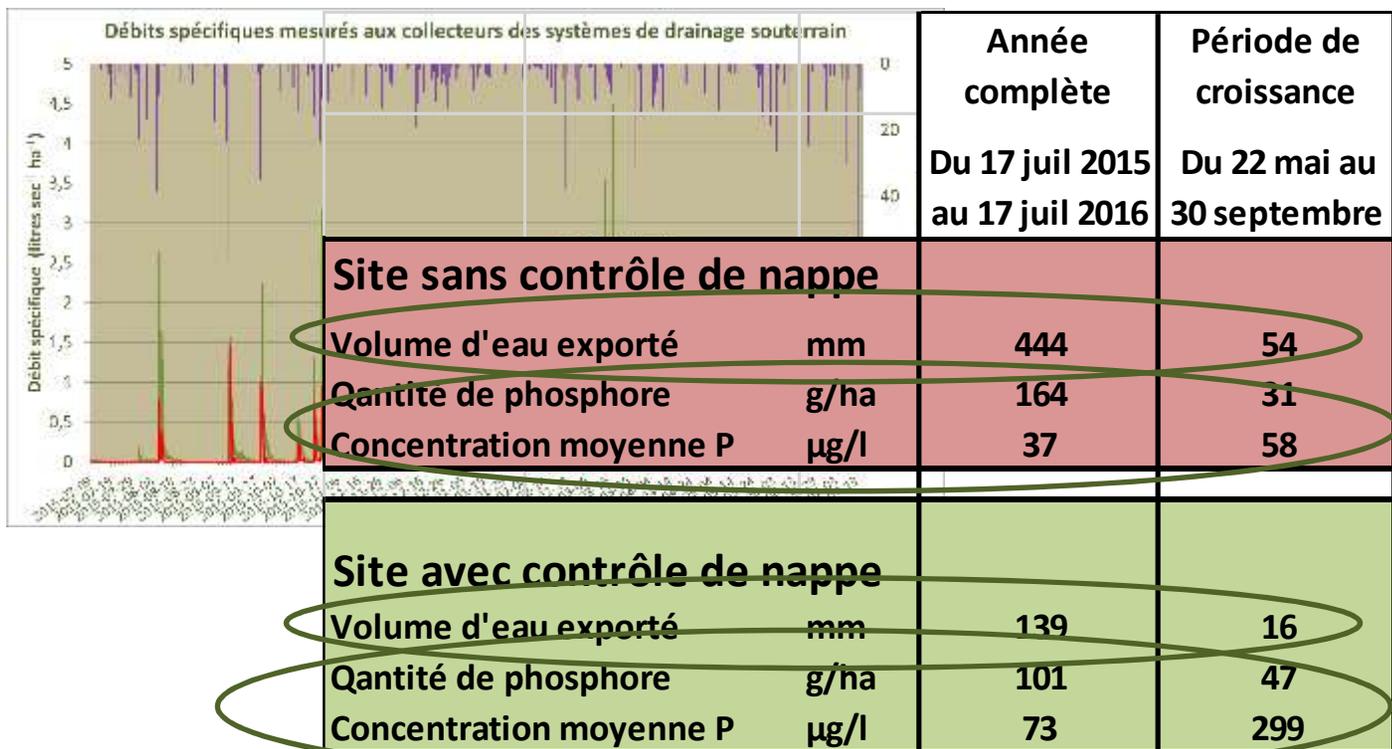
Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé



Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

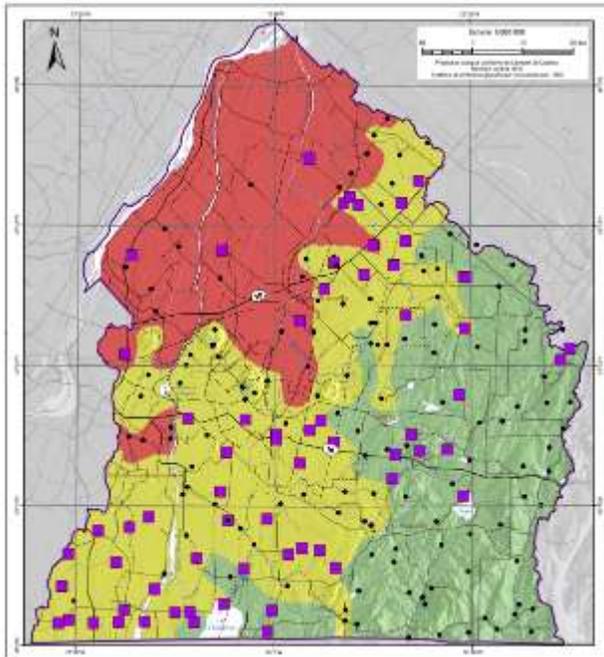
Enjeux et adaptation: Le drainage contrôlé



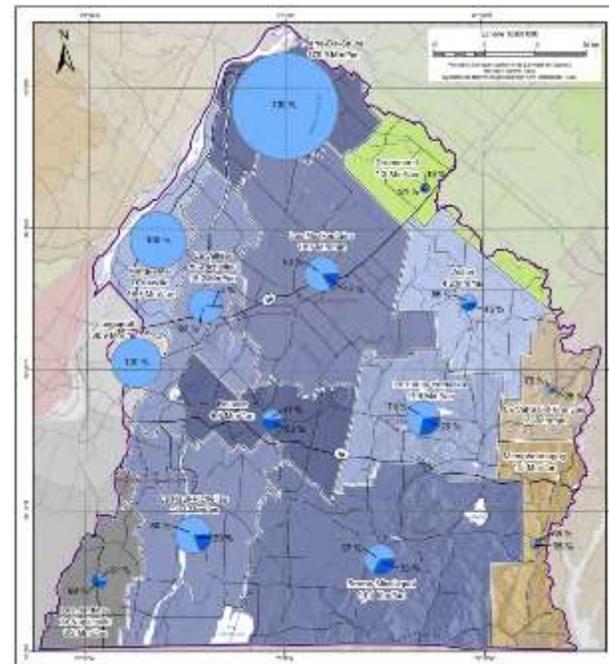
Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Enjeux et adaptation: Disponibilité de l'eau pour l'usage agricole

Dureté de l'eau souterraine
Montérégie-Est



Utilisation totale d'eau par MRC
Surface vs Souterraine



Utilisation totale d'eau par MRC

- Utilisation de l'eau de surface
- Utilisation de l'eau souterraine

PACES Montérégie Est
(Lefebvre et col., 2013)

Effets des changements climatiques sur les déficits hydriques

Enjeux et adaptation: Disponibilité de l'eau pour l'usage agricole

**Tronçon 236
Rivière Yamaska**



Projet RADEAU: Recherche participative d'Alternatives Durables pour la gestion de l'EAU en milieu agricole dans un contexte de changement climatique.

	Débit historique 1971-2000	Débit futur prédit 2041-2071
Centile	m ³ /sec	m ³ /sec
D10	8.3	7.2
D50	28	24

Distribution des débits du mois de juillet Tronçon 236 du bassin versant de la Yamaska

(Source: Atlas hydro-climatique du Québec.CEHQ, 2015)

Secteur	Débit nécessaire (m ³ /s)
Résidentiel	0.15
Industries, commerces et institutions	1.55

Besoins du secteur résidentiel et industriel en 2015 (excluant les besoins agricoles et les pertes du réseau)

(Source: MDDELCC, 2015)

AGÉCO

irda INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGRICULTURE VERTE

Environnement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques Québec

Appliqués et Adaptation Canada

PRIME-VERT

CHANGEMENTS CLIMATIQUES
RÉFLEXIONS ET ACTIONS AGRONOMIQUES

CONGRÈS 2016 | 15-16 SEPTEMBRE

Les enjeux de la gestion de l'eau en climat futur

Conclusion

Gérer les redoux hivernaux:

- Critères de conception des ouvrages hydrauliques
- Aménagement intégré et durable des terres et des cours d'eau



Profiter des Printemps hâtifs et humides:

- Préserver la condition physique des sols
- Adapter les pratiques de fertilisation



Gérer les déficits hydriques

- Préserver les milieux humides
- Irrigation sur mesure: propriétés des sols (RFU) et distribution des précipitations
- Tirer profit du drainage contrôlé sans contaminer l'eau de surface
- Assurer la cohabitation en matière d'usages de l'eau

