



Modélisation hydrologique des petits bassins versants en milieu rural

Forum de transfert des travaux de recherche
sur l'environnement rural

François Anctil & Peter Vanrolleghem

Trois-Rivières
7 avril 2009

Équipe de recherche

- Anctil, François, responsable, *Université Laval*
- Leconte, Robert, *École de Technologie Supérieure*
- Cyr, Jean-François, *CEHQ*
- Godin, François, *CEHQ*
- Beaulieu, Berthier, *Université Laval*
- Fortin, Josée, *Université Laval*
- Giroux, Isabelle, *MDDEP*
- Patoine, Michel, *MDDEP*
- Gangbazo, Georges, *MDDEP*
- Lessard, Paul, *Université Laval*
- Vanrolleghem, Peter, *Université Laval*

Disciplines

- *Hydrologie*
- *Agronomie*
- *Climatologie*
- *Géomatique*
- *Législation*
- *Biologie*



Partenaires

- Cemagref – *Julien Tournebize*
- UNESCO-IHE – *Ann van Griensven*
- IRDA – *Aubert Michaud et Isabelle Beaudin*
- Ouranos – *René Roy et Georges Desrochers*
- PRISME – *Julie-Andrée Gagnon et Abdenour Boukalfa*
- Horizon Vert Centre du Québec – *Jean-François Ménard*



Chercheurs-étudiants

- Eddib, Mustapha (Ph.D. abandon), *Université Laval*
- Charest, Élisabeth (M.Sc.), *École de Technologie Supérieure*
- Messier, Frédéric (M.Sc.), *Université Laval*
- Razafimahefa, Herizo L. (Ph.D. en cours), *Université Laval*
- Fillion, Mélanie (M.Sc.), *Université Laval*
- Lévesque, Étienne (M.Sc.), *Université Laval*
- Haguma, Didier (M.Sc.), *Université Laval* et *UNESCO-IHE*
- Umuhire, Flora (M.Sc.), *Université Laval* et *UNESCO-IHE*
- Rasolomanana, Santatriniaina D. (Ph.D. en cours), *Université Laval*



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Débits

Qualité de l'eau

Pesticides



Objectifs

- Réalité québécoise:
 - Bassins versants de petite taille (1 à 100 km²)
 - Aucun suivi hydrologique
 - Réalité budgétaire
- Défis:
 - Détermination du niveau minimal de connaissances nécessaires
 - Renforcement d'observations sur les pesticides



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Débits

- (1) Estimation de la crue moyenne
- (2) Simulation de la lame d'eau de fonte
- (3) Simulation des débits



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Débits

(1) Estimation de la crue moyenne

(2) Simulation de la lame d'eau de fonte

(3) Simulation des débits



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Qualité de l'eau

- (4) Évaluation du modèle SWAT – débits
- (5) Évaluation du modèle SWAT – charges
- (6) Pertinence de RN – charges journalières



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Qualité de l'eau

(4) Évaluation du modèle SWAT – débits

(5) Évaluation du modèle SWAT – charges

(6) Pertinence de RN – charges journalières



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Pesticides

**(7) Détermination de la nature des pesticides
cultures maraîchères sur terres noires**



Objectifs

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Débits

(1) Estimation de la crue moyenne

(2) Simulation de la lame d'eau de fonte

(3) Simulation des débits



(1) Estimation de la crue moyenne

Crue moyenne:

- ❖ Moyenne du débit journalier maximal annuel
- ❖ Période de retour de 2 ans

Ligne des hautes eaux:

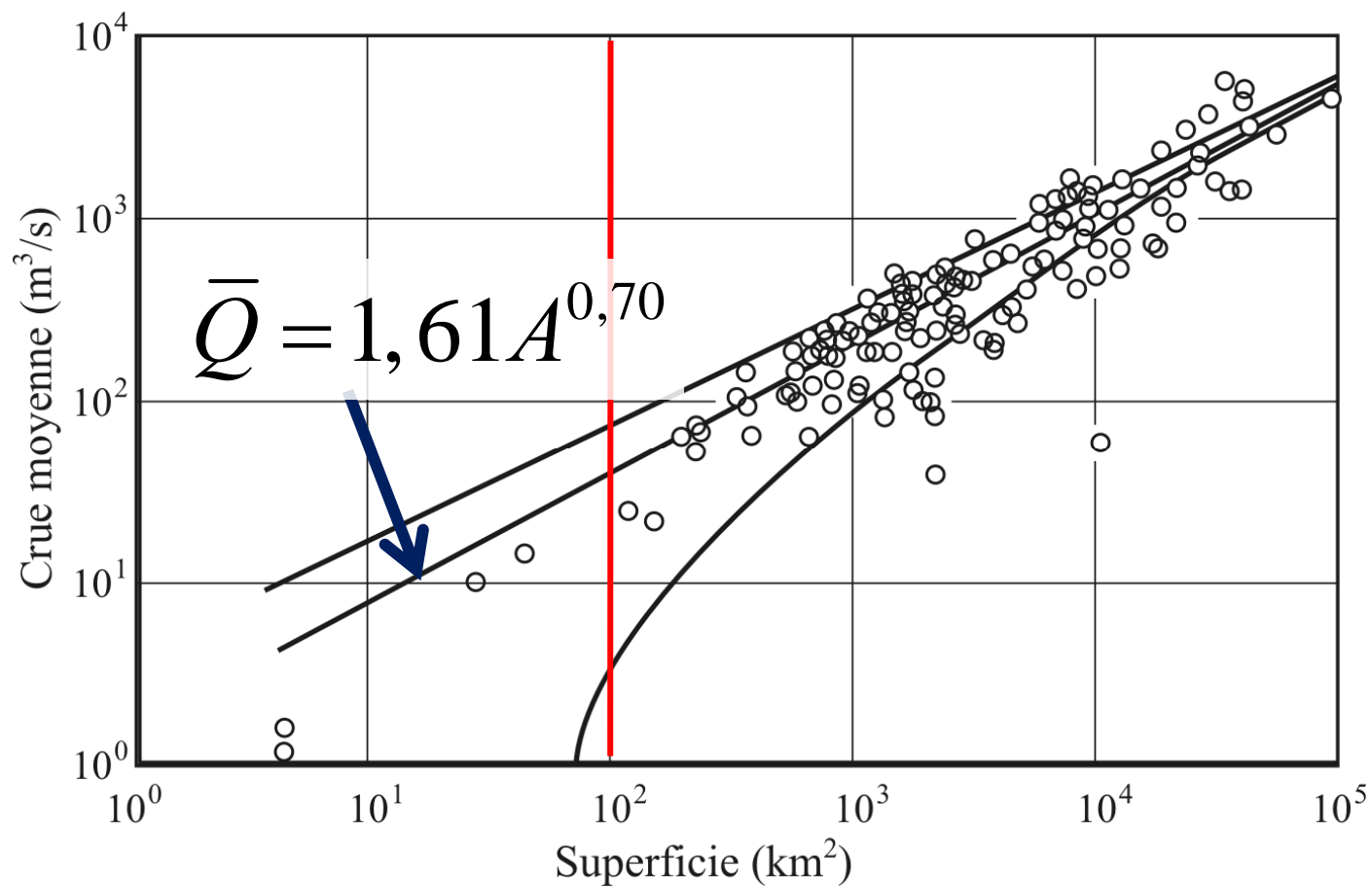
- ❖ Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables mise en place par le gouvernement du Québec
- ❖ Régis les interventions touchant la partie des terres riveraines délimitées par la ligne des hautes eaux

(1) Estimation de la crue moyenne

Ancil et al. (1998) ont lié la crue journalière moyenne et l'aire du BV, pour 136 rivières de taille principalement supérieure à 100 km² :

$$\bar{Q} = 1,61A^{0,70}$$

(1) Estimation de la crue moyenne



Anctil et al., 1998

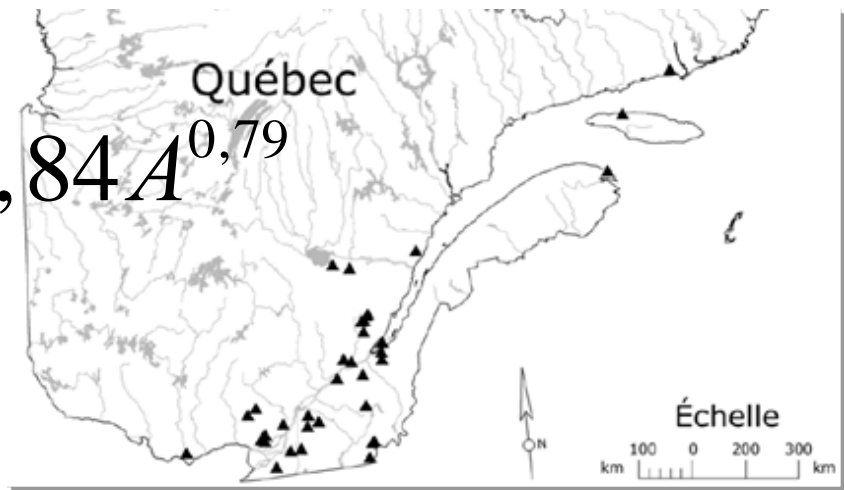
(1) Estimation de la crue moyenne

Ancil et al. (1998) ont lié la crue journalière moyenne et l'aire du BV, pour 136 rivières de taille principalement supérieure à 100 km² :

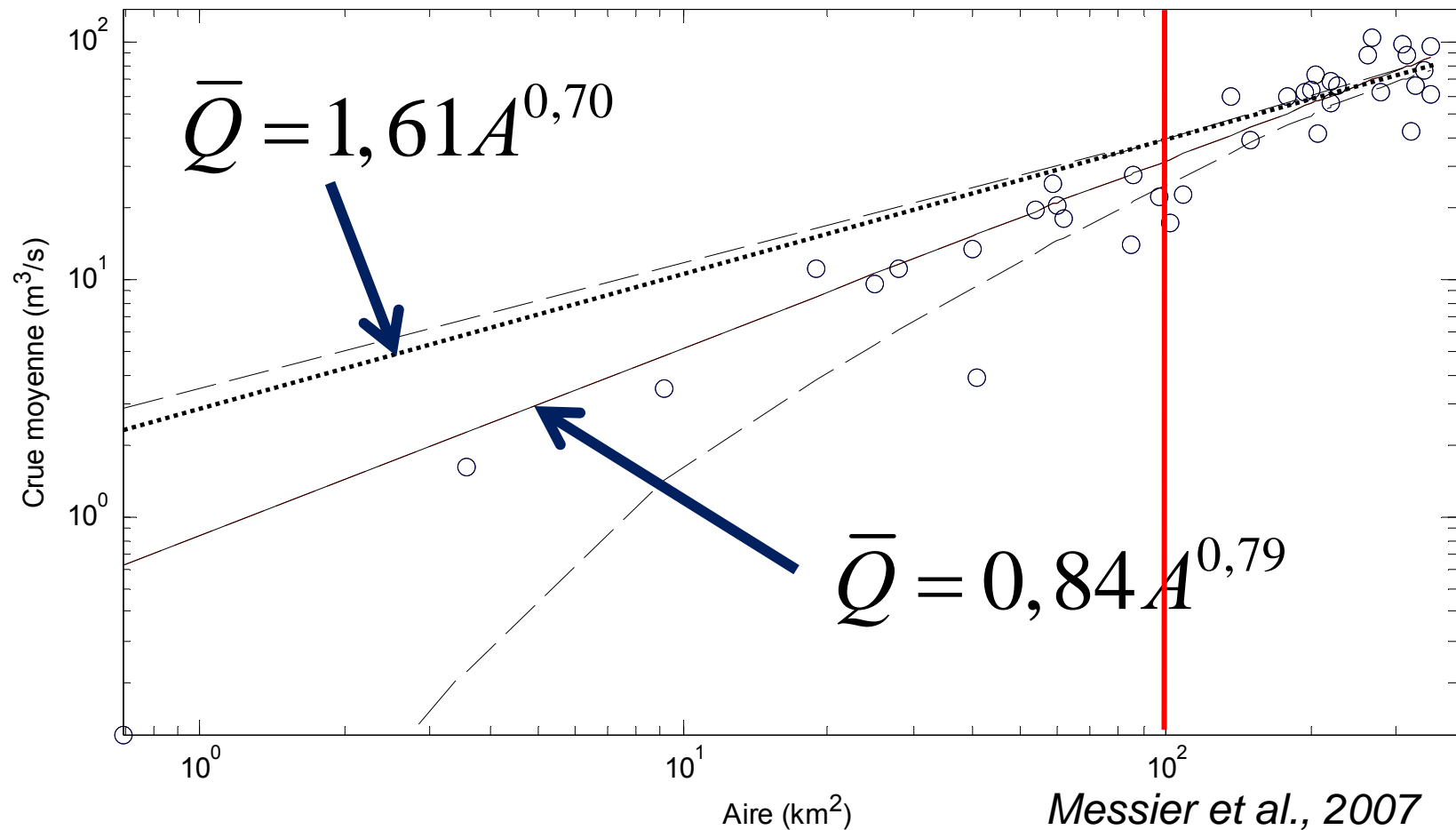
$$\bar{Q} = 1,61A^{0,70}$$

Ce travail a été repris ici (Messier et al., 2007) pour 37 rivières drainant moins de 360 km² :

$$\bar{Q} = 0,84A^{0,79}$$



(1) Estimation de la crue moyenne





(1) Estimation de la crue moyenne

⇒ Proposition d'une nouvelle approche mixte, avec

- ❖ équations hydrauliques

- ❖ observations d'indicateurs botaniques, morphologiques et physiques

pour déterminer la ligne des hautes eaux d'un cours d'eau non jaugé

*Facilitant l'application de la
Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
mise en place par le gouvernement du Québec*

Objectifs



Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Qualité de l'eau

(4) Évaluation du modèle SWAT – débits

(5) Évaluation du modèle SWAT – charges

(6) Pertinence de RN – charges journalières

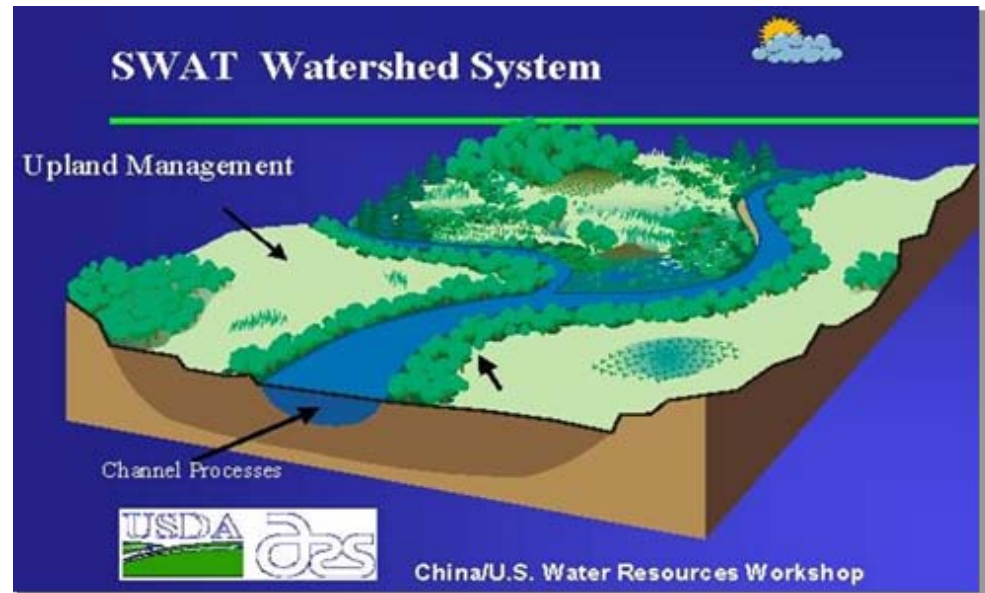
(4) Modèle SWAT – débits

■ Méthodologie

- SWAT vs. 2005 (Soil & Water Assessment Tool)
- Étude de sensibilité des paramètres
- Calage automatique
- Performance (Nash)

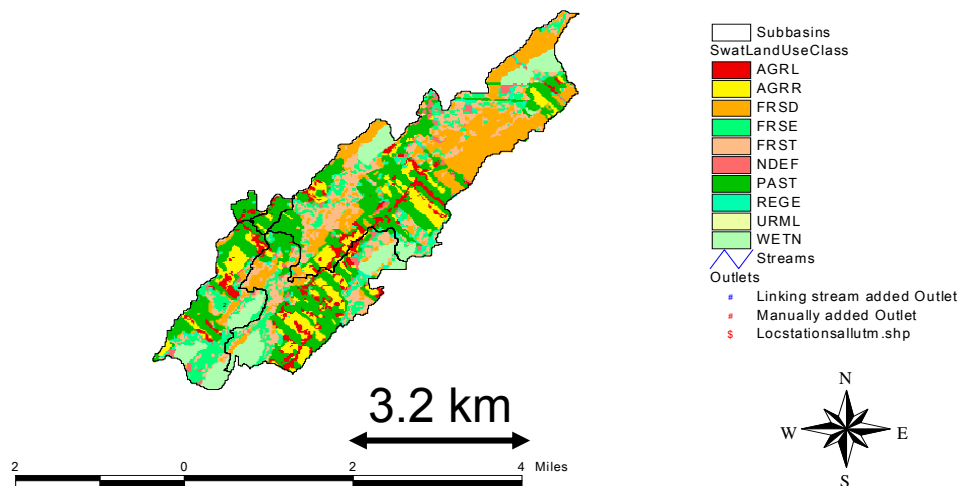
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$(-\infty < NS < 0 < NS < 1)$$

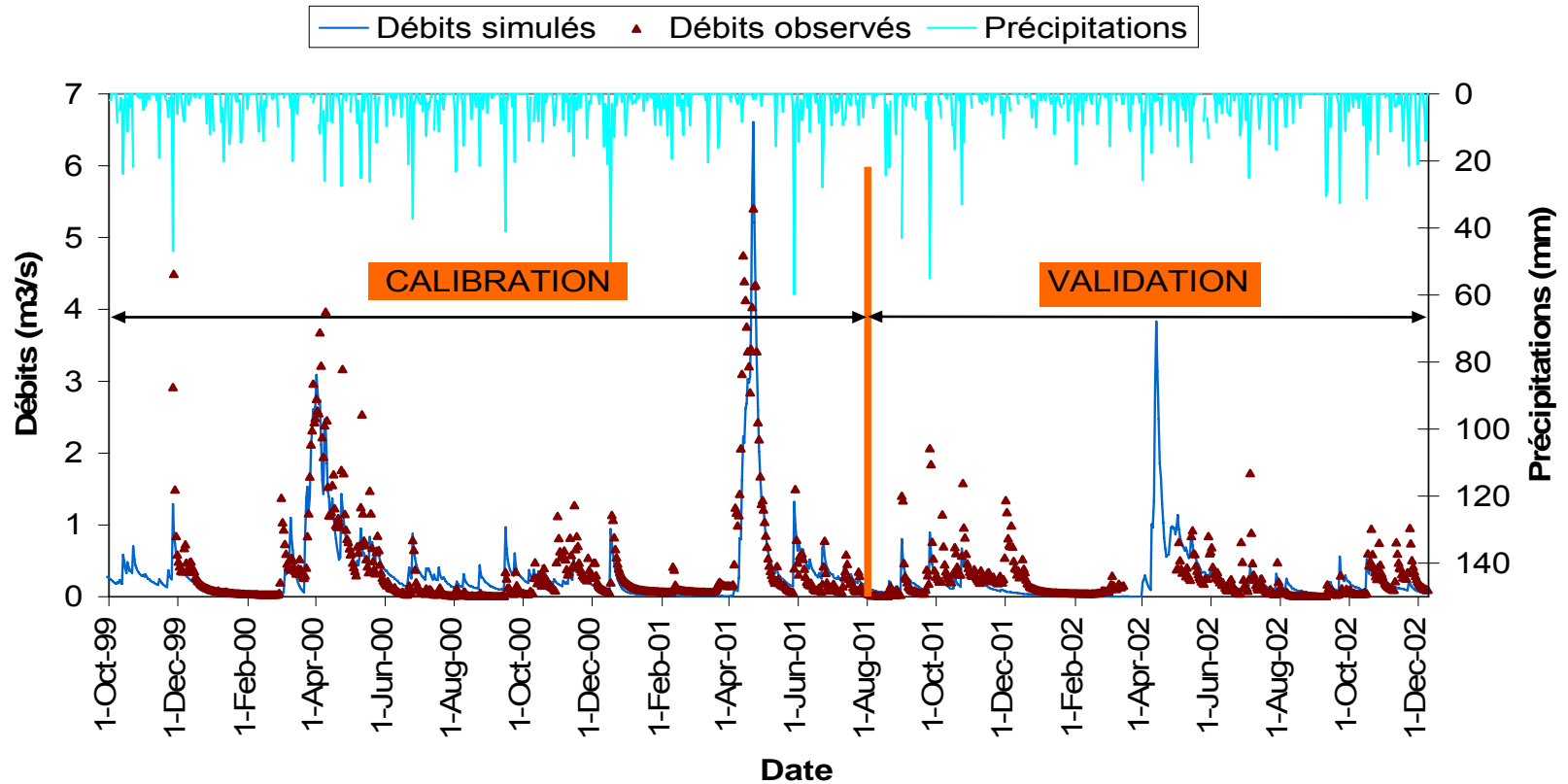


(4) Modèle SWAT – débits

Principales occupations du territoire (% BV occupé)				
Superficie (km ²)	Prairie	Marais	Forêts	Agriculture
21.4	27	10	42	16



(4) Modèle SWAT – débits

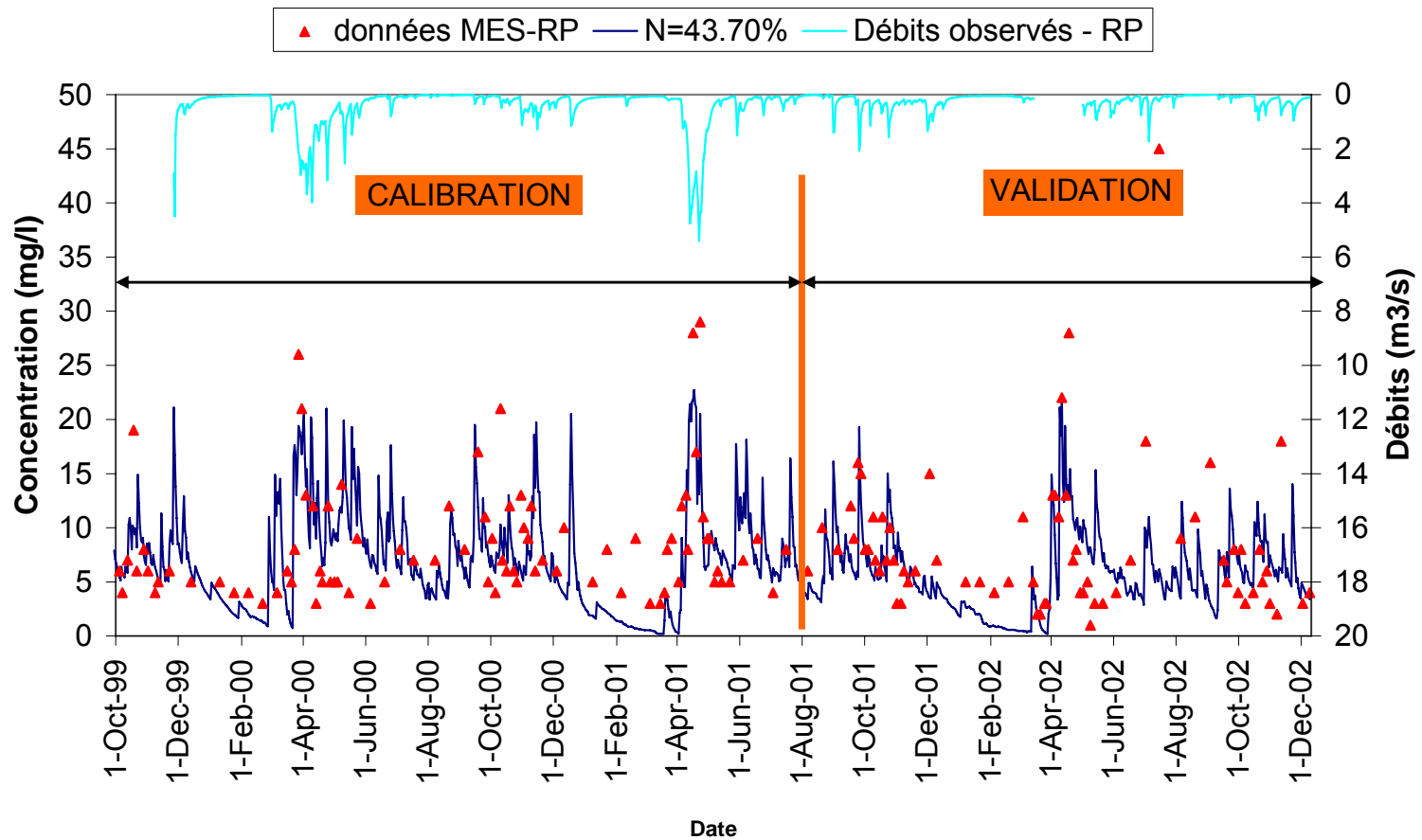


(4) Modèle SWAT – débits

■ Résultats

- Protocole de mise en place du modèle SWAT au QC
- Bonne performance de simulation des débits
- Difficile de trouver un jeu de paramètres qui convient à la fois à la crue printanière et aux écoulements estivaux et automnaux
 - De meilleures performances sont obtenues en optimisant séparément ces deux conditions hydrologiques
 - Incertitude dans l'observation des débits hivernaux pourrait en bonne partie être responsable de ces écarts

(5) Modèle SWAT – charges



(5) Modèle SWAT – charges

■ Résultats

□ Méthodologie de modélisation améliorée

- Calage journalier (↔ mensuel)
- Calage multi-objectifs (↔ 1. débit, 2. MeS, 3. phosphore)

$$OF = w_Q \frac{SSQ_Q * nobs_Q}{SSQ_{Q,min}} + w_{MES} \frac{SSQ_{MES} * nobs_{MES}}{SSQ_{MES,min}} + w_P \frac{SSQ_P * nobs_P}{SSQ_{P,min}}$$

- Très bonne performance journalière (Q, MeS)
- Utilisation de SWAT pour évaluer les pratiques agricoles





Objectifs

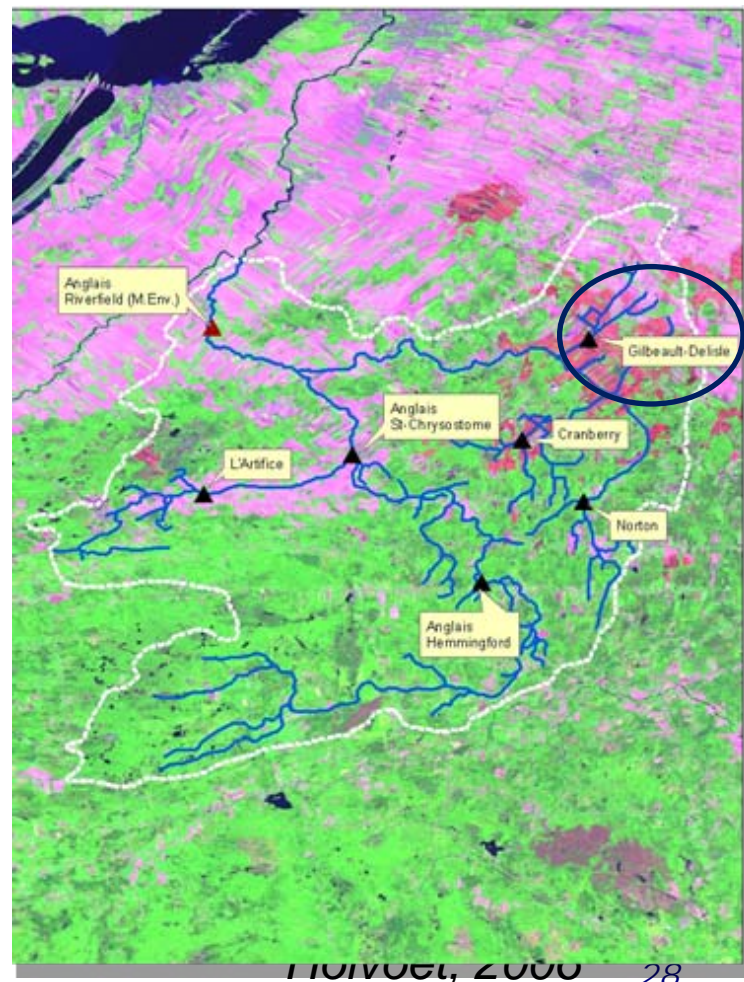
Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Pesticides

**(7) Détermination de la nature des pesticides
cultures maraîchères sur terres noires**

(7) Nature des pesticides

- Le ruisseau Gibeault-Delisle
 - BV de la rivière des Anglais
 - Terres noires
 - Cultures maraîchères



(7) Nature des pesticides

■ Le ruisseau Gibeault-Delisle

- BV de la rivière des Anglais

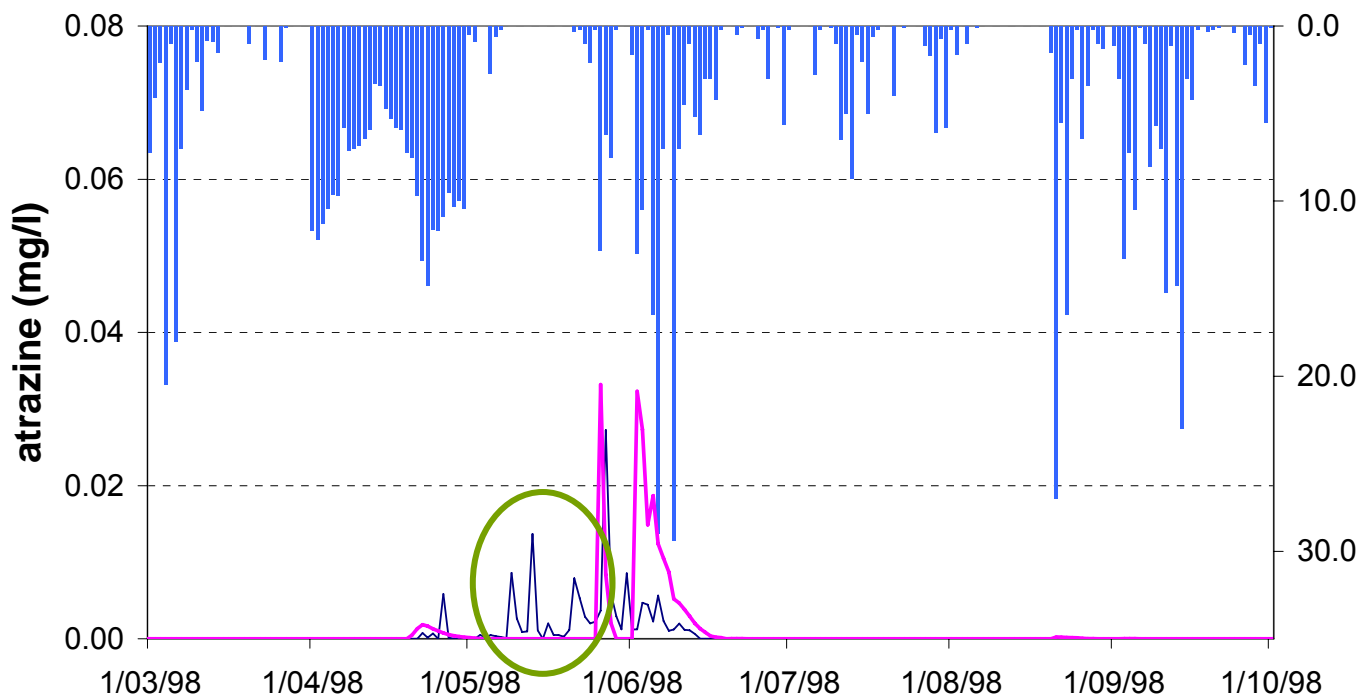
■ Prélèvements

- 3 en 2005
- 43 en 2006
- 36 en 2007



(7) Nature des pesticides

■ Étude de Holvoet (2006): petit BV (32 km²)



- Pesticides apparaissent suite à une pluie ou une application (pertes directes)



(7) Nature des pesticides

■ En 2006

- 17 herbicides
11 insecticides et
2 fongicides
ont été détectés

- La métribuzine (herbicide) et
le chlorpyrifos (insecticide)
ont été détectés dans 100% des échantillons (!)

- Les herbicides sont détectés suite à une pluie



(7) Nature des pesticides

■ En 2006

- Les critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique ont été dépassés pour
 - 4 herbicides (métribuzine, linuron, diuron et trifluraline)
 - 4 insecticides (diazinon, malathion, chlorpyrifos et diazinon)
 - 1 fongicide (chlorothalonil)

- le phosphore (eutrophisation)...



Conclusion

Modélisation hydrologique
des petits bassins versants ruraux

Débits

Qualité de l'eau

Pesticides



Conclusion

■ Retombées

- Estimation de la crue moyenne
- Méthode mixte → ligne des hautes eaux
- *Simulateur de climat → fonte de neige*
- *Module événementiel de simulation des débits*
- *Méthode de scénarisation des précipitations*
- Procédure de mise en œuvre de SWAT au Québec
- Procédure de calage de SWAT (Q, MeS, P)
- *Réseaux de neurones pour simuler les charges*
- Base de données de pesticides (échantillonnage fréquent)



Conclusion

■ Retombées

□ Personnel hautement qualifié (PHQ)

- ❖ Eddib, Mustapha (Ph.D. abandon), *Université Laval*
- ❖ Charest, Élisabeth (M.Sc.), *École de Technologie Supérieure*
- ❖ Messier, Frédéric (M.Sc.), *Université Laval*
- ❖ Razafimahefa, Herizo L. (Ph.D. en cours), *Université Laval*
- ❖ Fillion, Mélanie (M.Sc.), *Université Laval*
- ❖ Lévesque, Étienne (M.Sc.), *Université Laval*
- ❖ Haguma, Didier (M.Sc.), *Université Laval* et *UNESCO-IHE*
- ❖ Umuhire, Flora (M.Sc.), *Université Laval* et *UNESCO-IHE*
- ❖ Rasolomanana, Santatriniaina D. (Ph.D. en cours), *Université Laval*



Conclusion

■ Retombées

□ Personnel hautement qualifié (PHQ)

- ❖ Anctil, François, responsable, *Université Laval*
- ❖ Leconte, Robert, *École de Technologie Supérieure*
- ❖ Cyr, Jean-François, *CEHQ*
- ❖ Godin, François, *CEHQ*
- ❖ Beaulieu, Berthier, *Université Laval*
- ❖ Fortin, Josée, *Université Laval*
- ❖ Giroux, Isabelle, *MDDEP*
- ❖ Patoine, Michel, *MDDEP*
- ❖ Gangbazo, Georges, *MDDEP*
- ❖ Lessard, Paul, *Université Laval*
- ❖ Vanrolleghem, Peter, *Université Laval*



Modélisation hydrologique des petits bassins versants en milieu rural

Forum de transfert des travaux de recherche
sur l'environnement rural

François Anctil & Peter Vanrolleghem

Trois-Rivières
7 avril 2009