

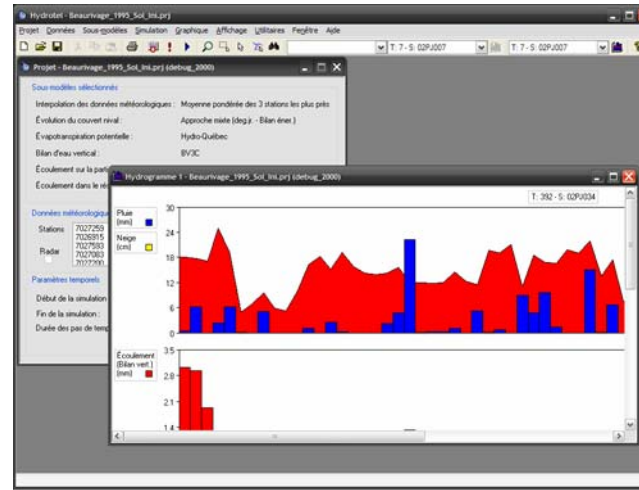
CRSNG-RDC/Ouranos/Hydro-Québec
2006 – 2009

Adaptation du Modèle Hydrologique HYDROTEL au Milieu Boréal Québécois

Séminaire Ouranos du 28 mai 2008, Montréal

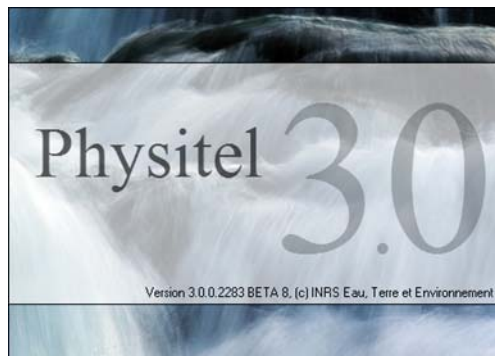
Organisation du Séminaire

- (i) Rappel Sommaire du Contexte et des Objectifs
- (ii) Présentation des Réalisations
- (iii) Liens avec Autres Projets en Cours, en Développement, ou en Exploration...



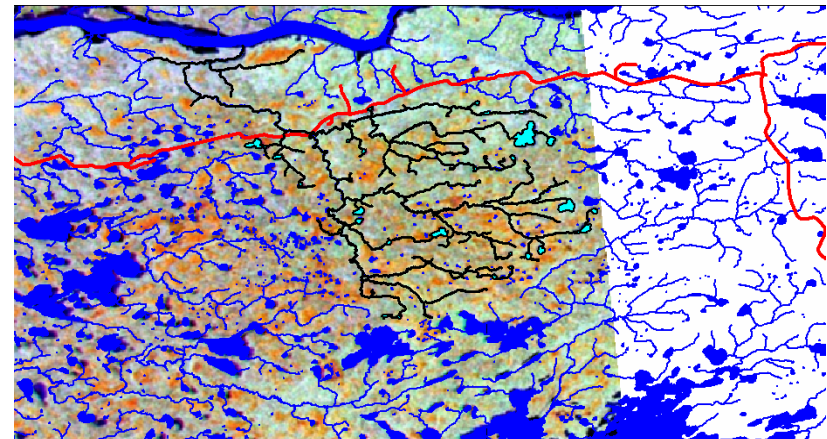
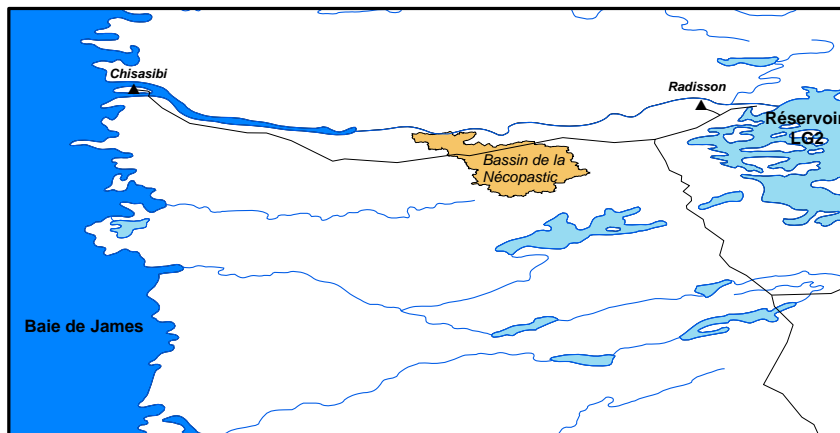
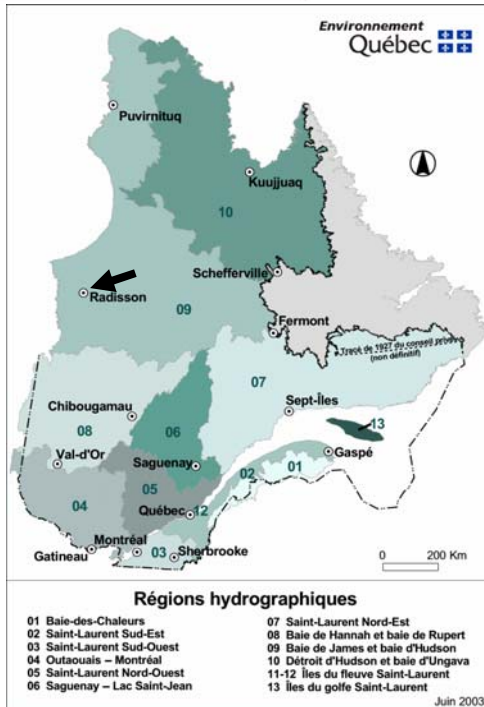
Contexte et des Objectifs

- Appliquer et Adapter le modèle HYDROTEL au Milieu Boréal Québécois afin de mieux Comprendre les Comportements Hydrologiques Historiques & Futures des Bassins Versants du Moyen Nord



Bassin de la Nécopastic

- 250 km² de Superficie
- Région Hydrographique des Baies de James et d'Hudson
- Forêt Coniférienne Boréale, sur la Rive Sud de La Grande Rivière entre les Centrales LG1 et LG2 (latitude/longitude : 53°43'36"N / 78 °13'59"O), Situé près de Radisson.
- Milieux Humides & Lacs



Activités de Travail

- (i) Application PHYSITEL/HYDROTEL
- (ii) Adaptation de la Modélisation Hydrologique
- (iii) Calage d'HYDROTEL
- (iv) Simulations des Comportements Hydrologiques
Historiques et Futures

AT1 - Application **PHYSITEL/HYDROTEL**

1. Poursuite des Travaux Entrepris à l'IREQ/Ouranos (Resp.: *A.N. Rousseau & S. Jutras*; Coll.: *I. Chartier, D. Tremblay*)

AT1 - Application **PHYSITEL/HYDROTEL**

1. Poursuite des Travaux Entrepris à l'IREQ/Ouranos (Resp.: *A.N. Rousseau & S. Jutras*; Coll.: *I. Chartier, D. Tremblay*)
2. Évolution de la Connectivité au Réseau de Drainage des Tourbières Minérotrophes & Ombotrophes, à Partir d'Analyse d'Images Satellitaires (Resp.: *M. Bernier & A.N. Rousseau*; Coll.: *F. Gauthier, M. Dissanska, S. Jutras, Y. Gauthier*)

AT1 - Application **PHYSITEL/HYDROTEL**

1. Poursuite des Travaux Entrepris à l'IREQ/Ouranos (Resp.: *A.N. Rousseau & S. Jutras*; Coll.: *I. Chartier, D. Tremblay*)
2. Évolution de la Connectivité au Réseau de Drainage des Tourbières Minérotrophes & Ombotrophes, à Partir d'Analyse d'Images Satellitaires (Resp.: *M. Bernier & A.N. Rousseau*; Coll.: *F. Gauthier, M. Dissanska, S. Jutras, Y. Gauthier*)
3. Ajout des Projections Lambert et Stéréopolaire à PHYSITEL (HYDROTEL) (Resp.: *A.N. Rousseau & A. Royer, P. Boucher, D. Kintz*; Coll.: *J.-P. Fortin*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

1. Évaluation de la Performance de Différentes Équations d'Évaporation & d'Évapotranspiration (Resp.: *A.N. Rousseau* ; Coll.: *A. Ciobanas*, *J.-P. Fortin*, *M. Slivitzky*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

1. Évaluation de la Performance de Différentes Équations d'Évaporation & d'Évapotranspiration (Resp.: *A.N. Rousseau* ; Coll.: *A. Ciobanas, J.-P. Fortin, M. Slivitzky*)
2. Modélisation du Gel/Dégel du Sol (Resp.: *A.N. Rousseau* ; Coll.: *A. Ciobanas, J.-P. Fortin, S. Savary*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

1. Évaluation de la Performance de Différentes Équations d'Évaporation & d'Évapotranspiration (Resp.: *A.N. Rousseau* ; Coll.: *A. Ciobanas, J.-P. Fortin, M. Slivitzky*)
2. Modélisation du Gel/Dégel du Sol (Resp.: *A.N. Rousseau* ; Coll.: *A. Ciobanas, J.-P. Fortin, S. Savary*)
3. Évaluation de la Performance du Modèle Unicouche Mixte Degrés-Jours – Bilan d'Énergie Thermique d'HYDROTEL en Comparant les Résultats avec ceux Produits par le Modèle CROCUS (Resp.: *A.N. Rousseau*; Coll.: *A. Ciobanas, S. Savary, J.-P. Fortin, R. Turcotte*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

4. Recension de la Littérature sur les Modèles de Sous-Captage des Précipitations en Fonction du Vent & de la Sublimation (Resp.: *A. St-Hilaire & S. Jutras*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

4. Recension de la Littérature sur les Modèles de Sous-Captage des Précipitations en Fonction du Vent & de la Sublimation (Resp.: *A. St-Hilaire & S. Jutras*)
5. Différentiation des Écoulements et des Types de Sol de Chacune des Couches de Sol (Resp.: *A. N. Rousseau & C. Paniconi*; Coll.: *S. Jutras, S. Ricard, G. Levrel, J.-P. Fortin & A. Royer*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

4. Recension de la Littérature sur les Modèles de Sous-Captage des Précipitations en Fonction du Vent & de la Sublimation (Resp.: *A. St-Hilaire & S. Jutras*)
5. Différentiation des Écoulements et des Types de Sol de Chacune des Couches de Sol (Resp.: *A. N. Rousseau & C. Paniconi*; Coll.: *S. Jutras, S. Ricard, G. Levrel, J.-P. Fortin & A. Royer*)
6. Modélisation des Écoulements dans les Milieux Humides (Resp.: *A.N. Rousseau*; Coll.: *S. Jutras, C. Clerc & J.-P. Fortin & A. Royer*)

AT2 - Adaptation de la Modélisation

4. Recension de la Littérature sur les Modèles de Sous-Captage des Précipitations en Fonction du Vent & de la Sublimation (Resp.: *A. St-Hilaire & S. Jutras*)
5. Différentiation des Écoulements et des Types de Sol de Chacune des Couches de Sol (Resp.: *A. N. Rousseau & C. Paniconi*; Coll.: *S. Jutras, S. Ricard, G. Levrel, J.-P. Fortin & A. Royer*)
6. Modélisation des Écoulements dans les Milieux Humides (Resp.: *A.N. Rousseau*; Coll.: *S. Jutras, C. Clerc & J.-P. Fortin & A. Royer*)
7. Modélisation des Écoulements dans les Lacs et Réservoirs (Resp.: *A.N. Rousseau*; Coll.: *R. Bourdillon, Y. Secretan, R. Turcotte, J. Lafleur, L. Roy & A. Royer*)

AT3 – Stratégie de Calage d'HYDROTEL

1. Sur la Base des Travaux de Calage Effectués à l'IREQ et l'INRS/CEHQ, Mise en Place d'une Méthode de Calage pour la Version Adaptée d'HYDROTEL
 - Développement d'un Interface Graphique pour Supporter le Calage Manuel d'HYDROTEL (Resp.: *A.N. Rousseau*; Coll.: *R. Turcotte, B. Konan, M.-P. Lavigne, A. Royer*)

AT4 - Simulations des Comportements Hydrologiques Historiques et Futures

1. Détermination du Potentiel d'Utilisation du MRCC pour Alimenter HYDROTEL (Resp.: *A.N. Rousseau & B. Konan*; Coll.: *P. Gagnon, D. Caya, A. Frigon, M. Slivitzky*)


AT4 - Simulations des Comportements Hydrologiques Historiques et Futures

1. Détermination du Potentiel d'Utilisation du MRCC pour Alimenter HYDROTEL (Resp.: *A.N. Rousseau & B. Konan*; Coll.: *P. Gagnon, D. Caya, A. Frigon, M. Slivitzky*)
2. Utilisation d'HYDROTEL sur la Nécopastic pour Simuler les Comportements Hydrologiques Historiques et Futures - Données d'Expériences de Scénarios de CC Disponibles chez Ouranos ou les Sorties du MRCC (Resp.: *A.N. Rousseau & B. Konan*; Coll.: *S. Jutras, A. Frigon, M. Slivitzky*)

INRS

Université d'avant-garde





HYDROTEL sur la Nécopastic : Diagnostic et constat

Sylvain Jutras, ing.f., Ph.D.
Stagiaire postdoctoral, INRS-ETE

HYDROTEL sur la Nécopastic

Travaux préliminaires

- Isabelle Chartier (Nov. 2005)
- Peu de données météorologique et hydrologique
- Besoin de plus d'information cartographique

Printemps 2006

- Jutras et Chartier
- Mêmes constats...
- Réflexion sur les équations du BV3C

Mieux connaître le territoire

Recherche des informations cartographiques

- Modèle numérique d'altitude
- Réseau hydrographique
- Type de sol
- Occupation du sol

Modèle numérique d'altitude

Sources :

BNDT 1:50 000

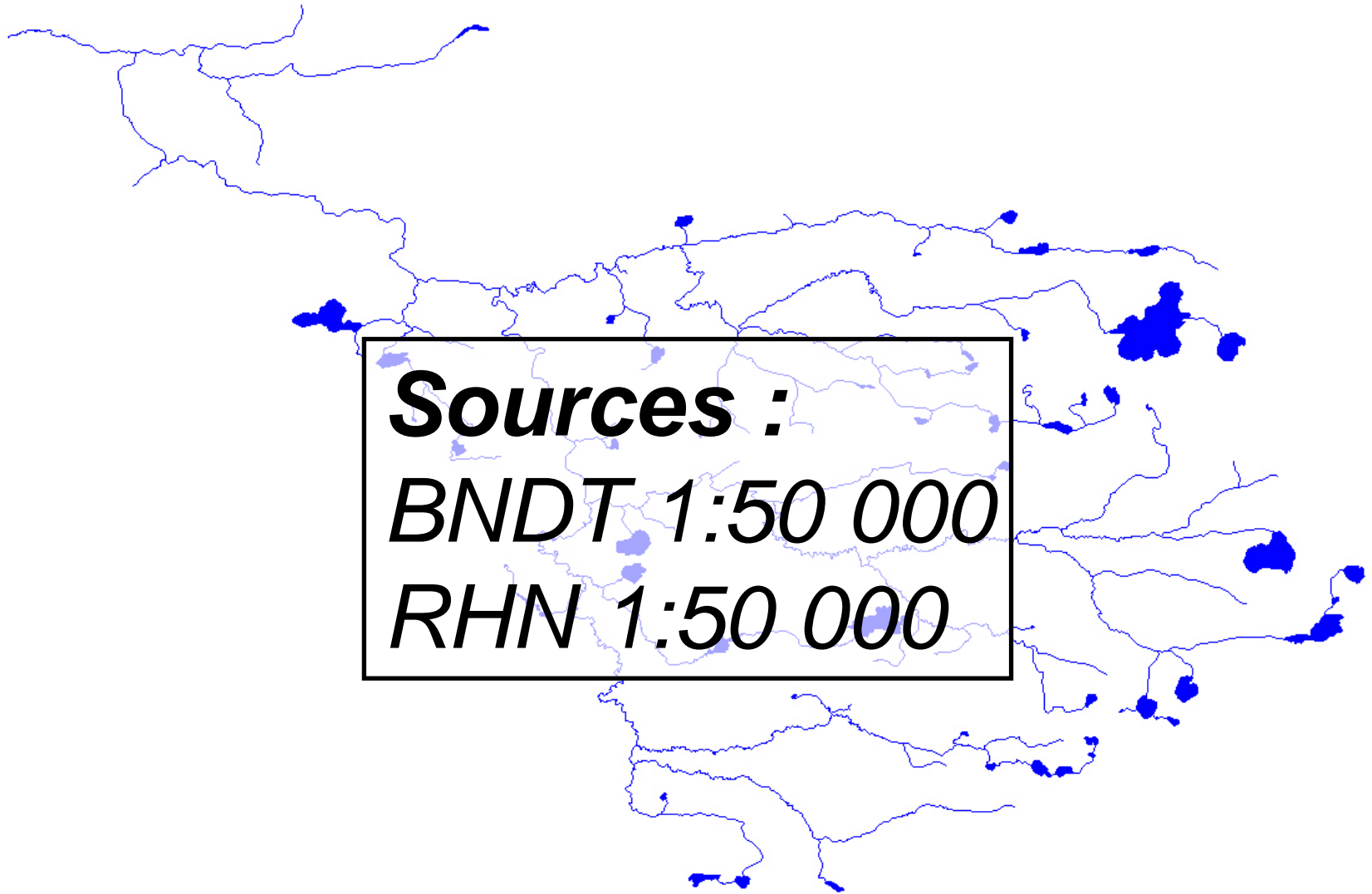
DNEC (90 m X 90 m)

*Mauvaise jonction des feuilletts
Imprécis dans les milieux plats*

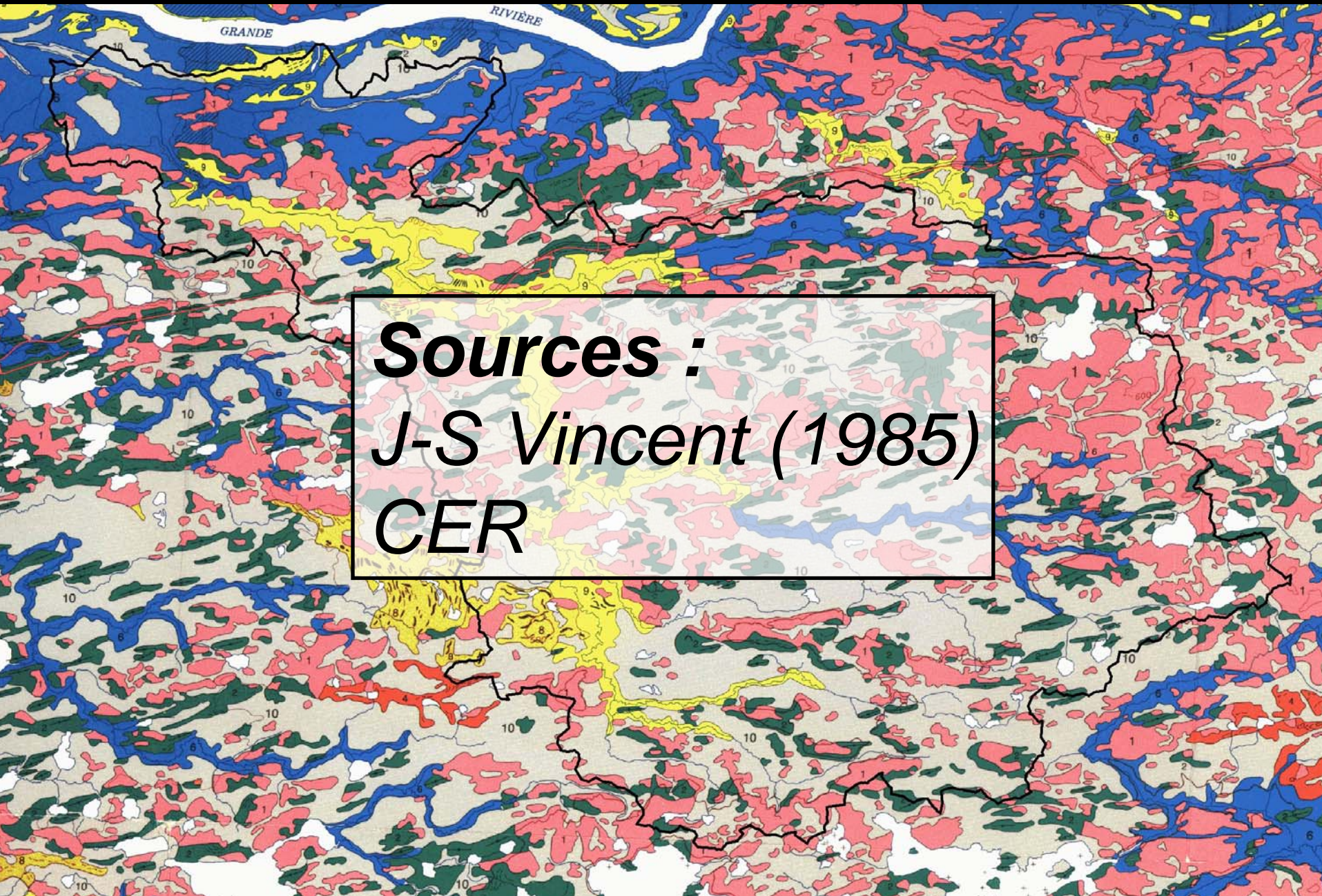
SRTM (90 m X 90 m)

*Jonction parfaite des feuilletts
Excellent dans les milieux plats*

Réseau hydrographique

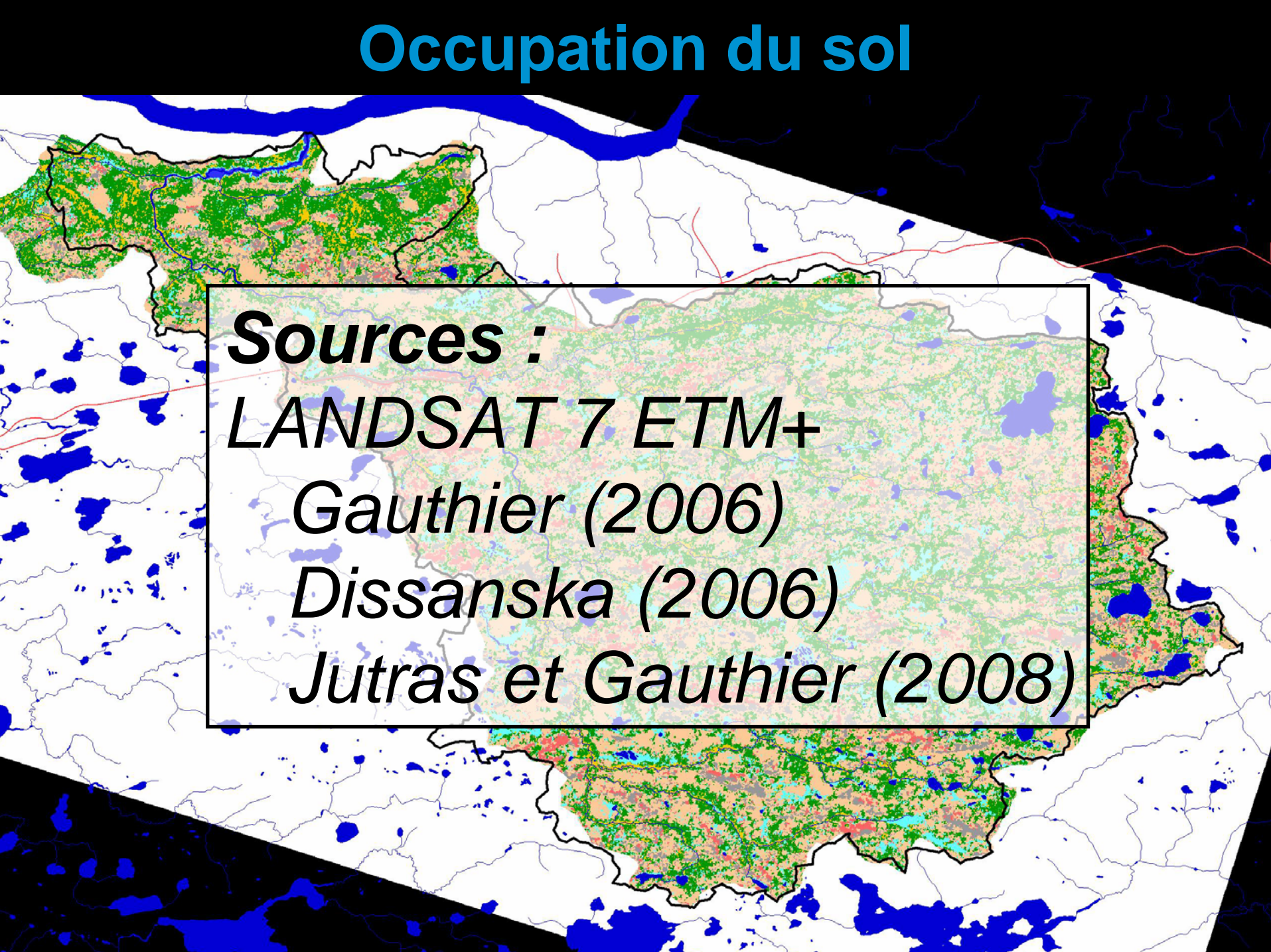


Type de sol



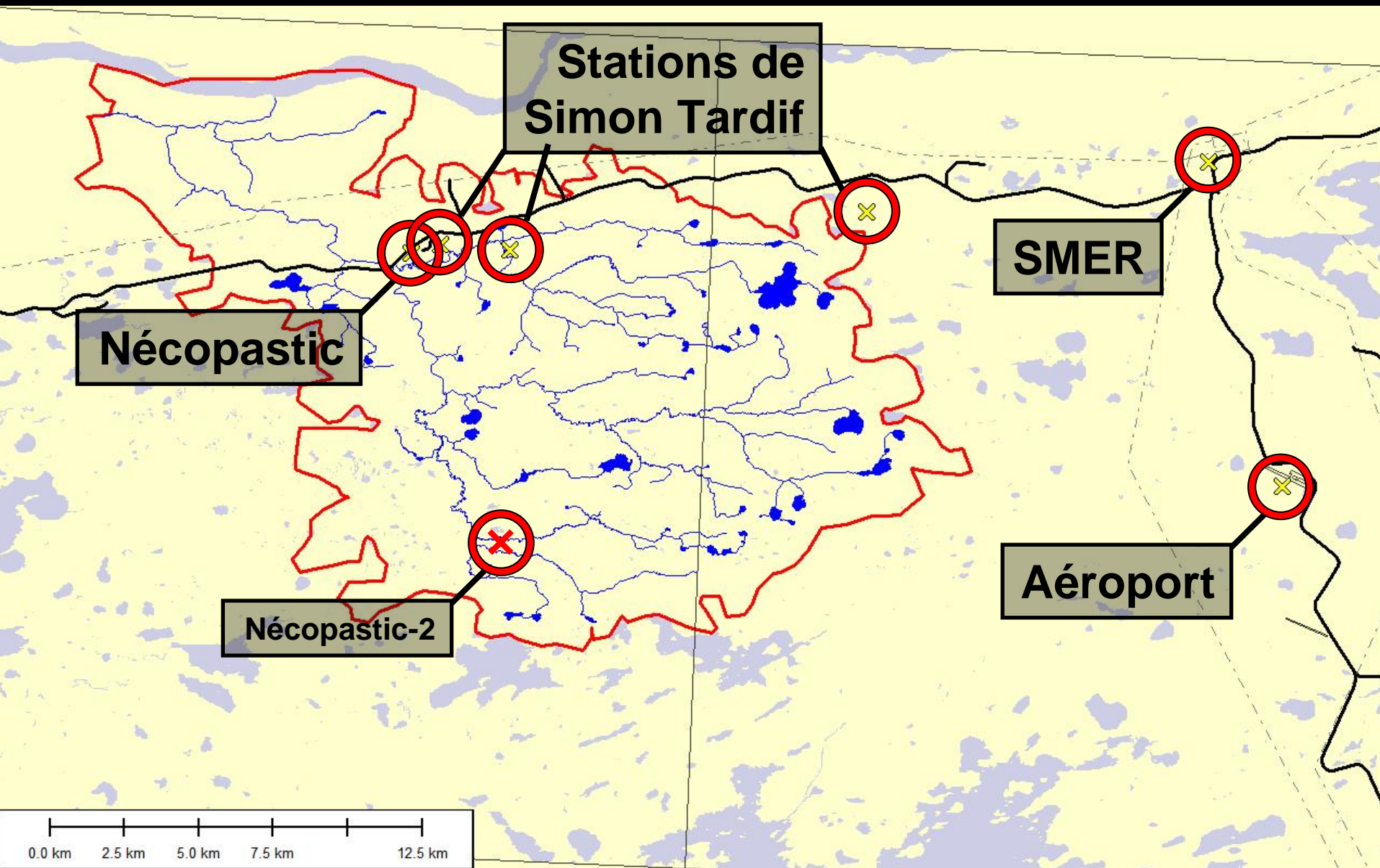


Occupation du sol

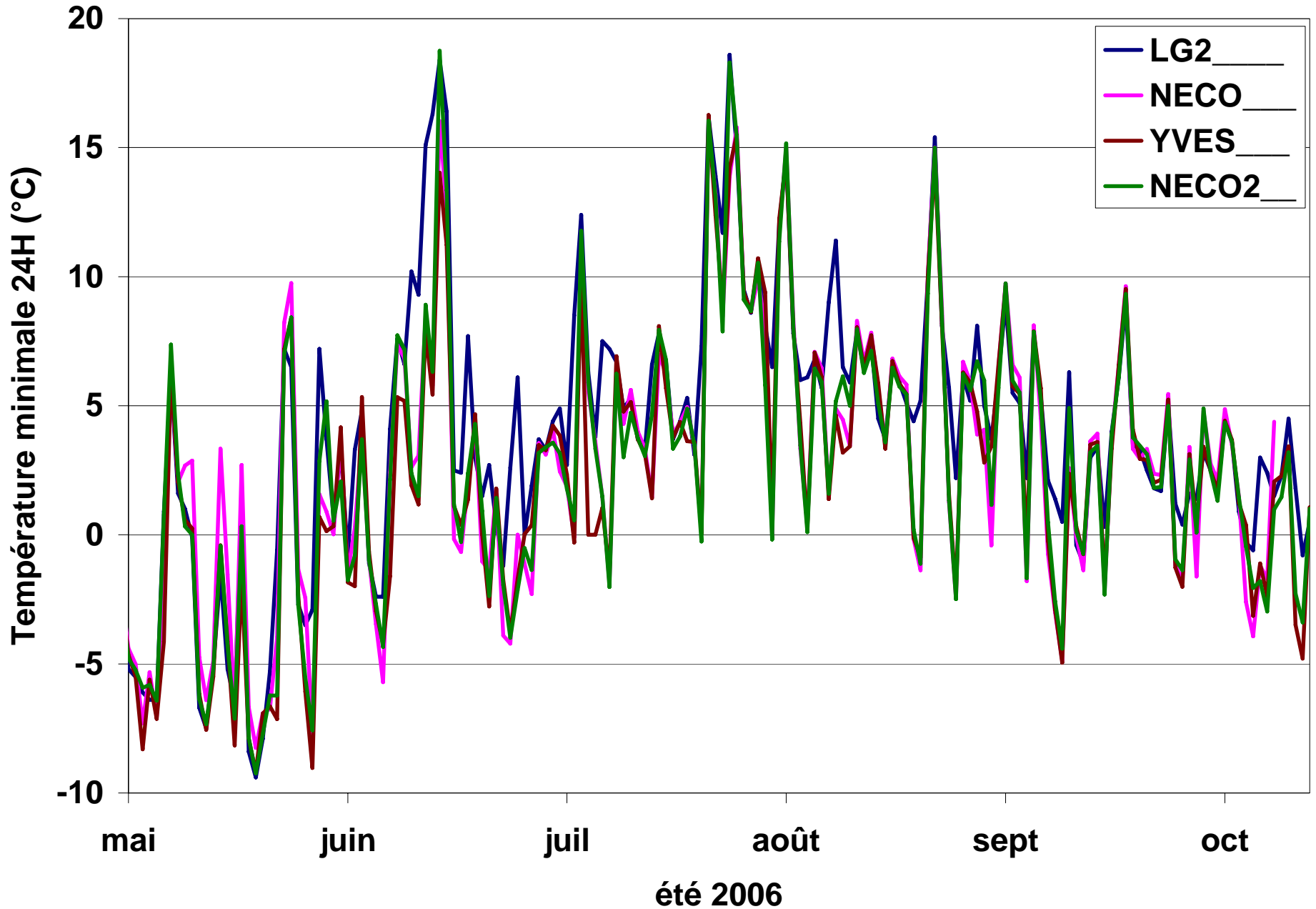


Sources :
LANDSAT 7 ETM+
Gauthier (2006)
Dissanska (2006)
Jutras et Gauthier (2008)

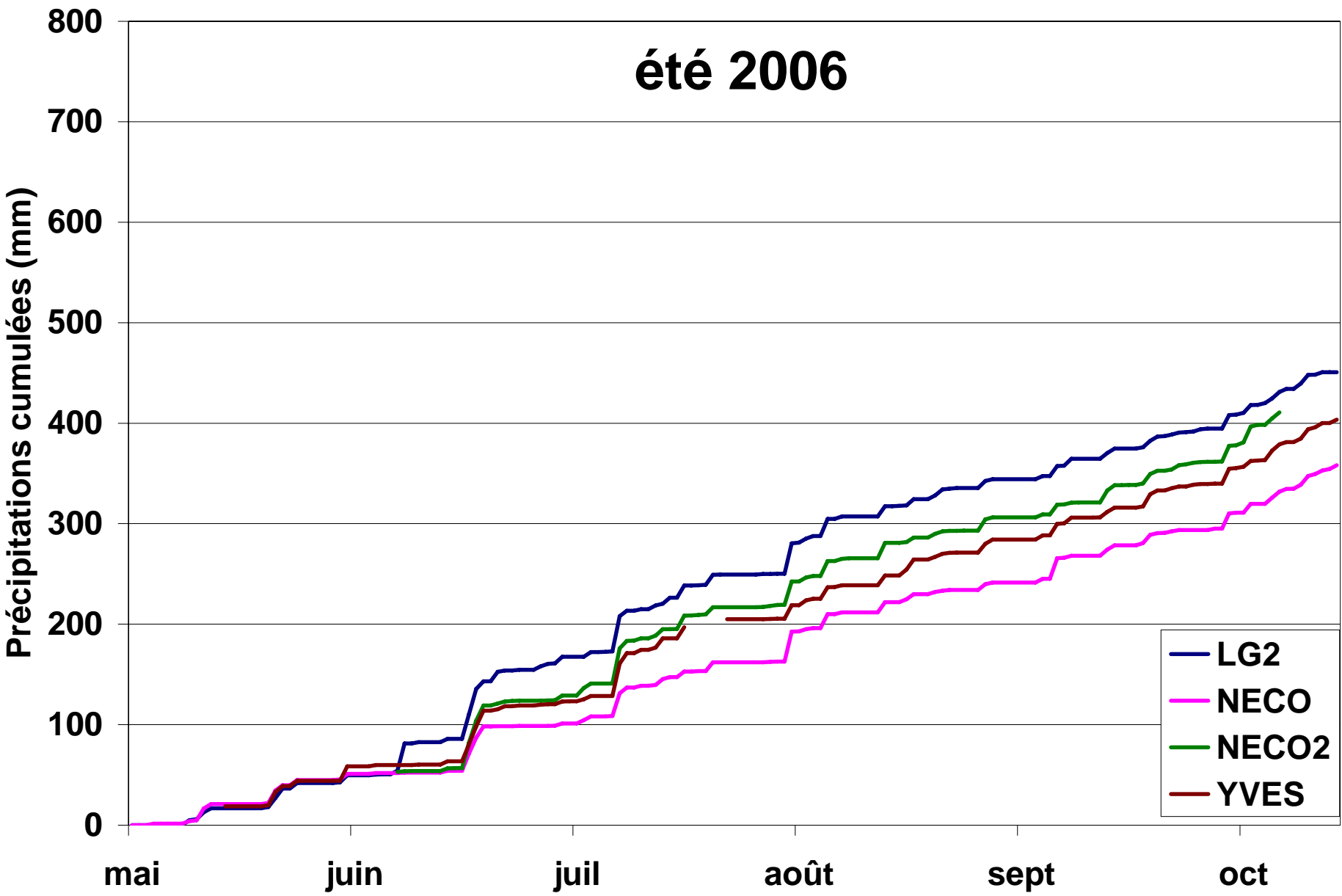
Réseau des stations météorologiques



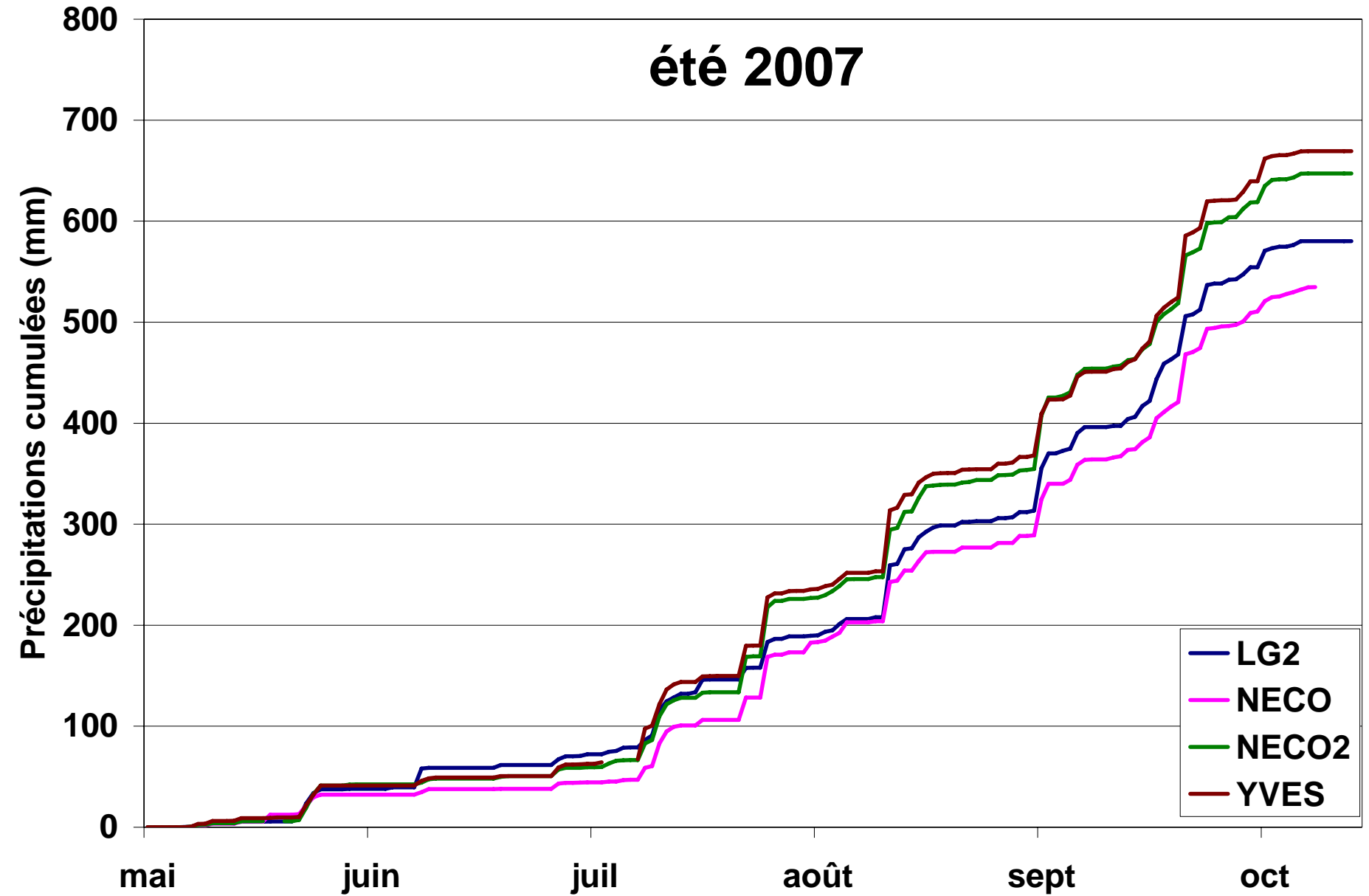
Données recueillies



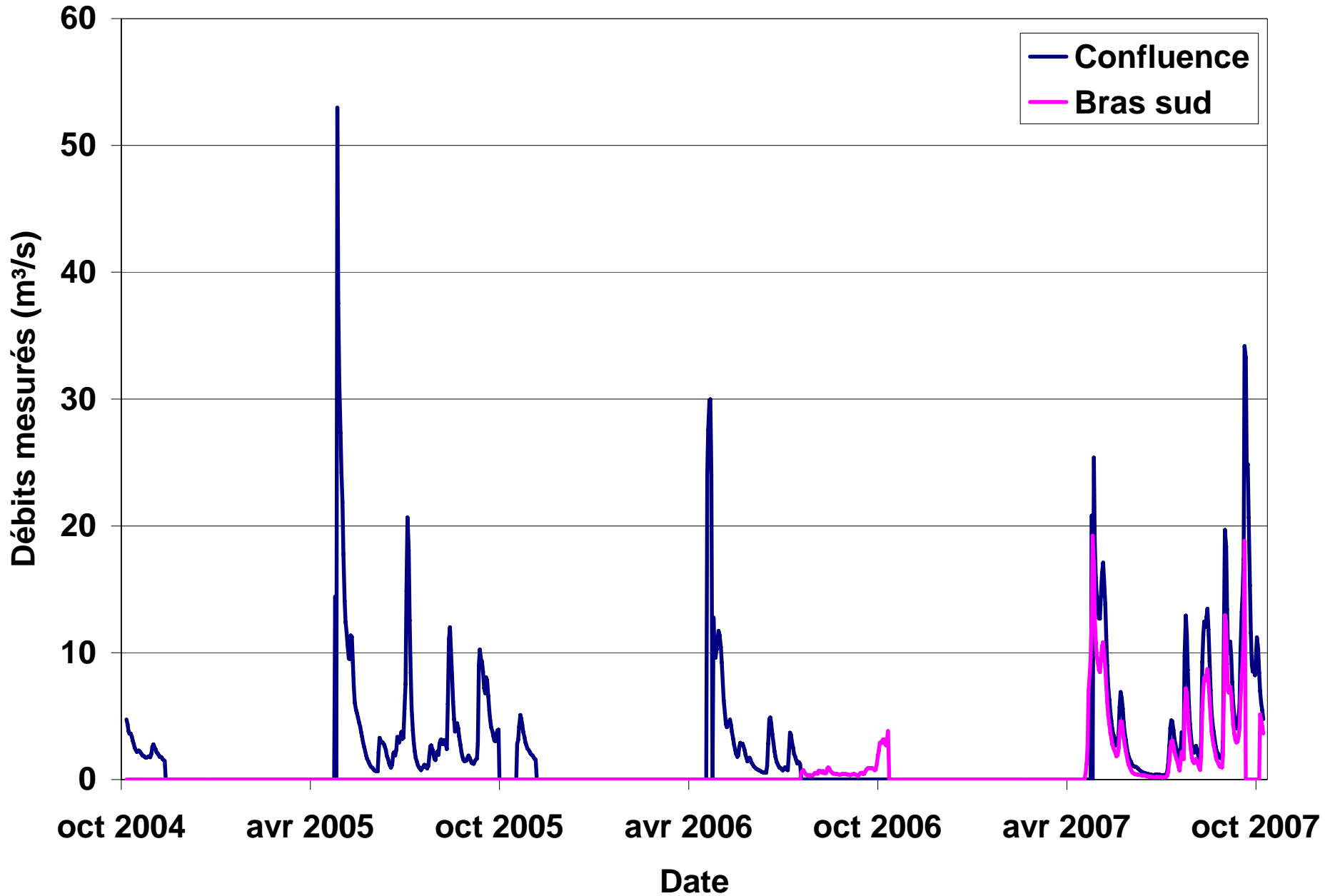
Précipitations cumulées – 2006



Précipitations cumulées - 2007



Débits mesurés



Connectivité physique des tourbières

Pergélisol discontinu

Quinton et al. 2003

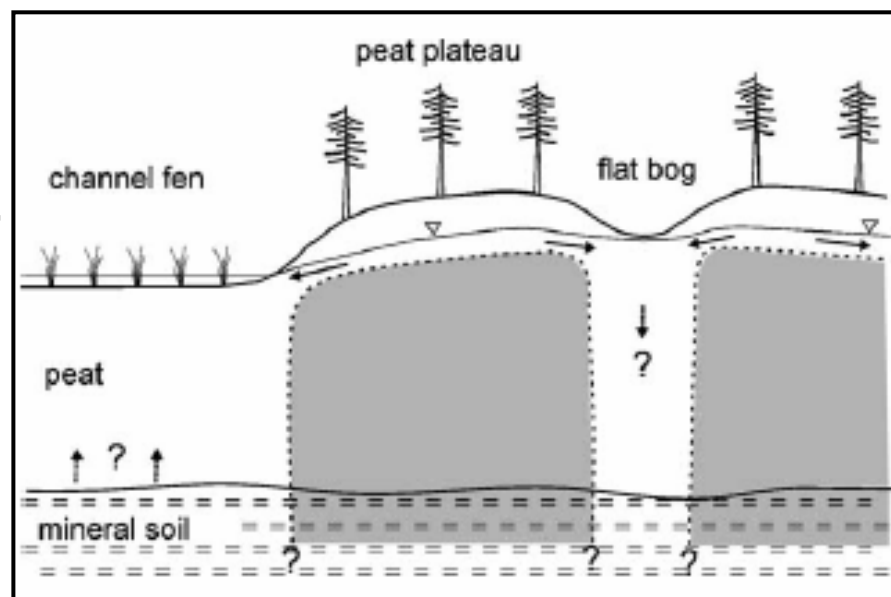
- Télédétection
- IKONOS et LANDSAT

Hayashi et al. 2004

- Isotopie et traceurs

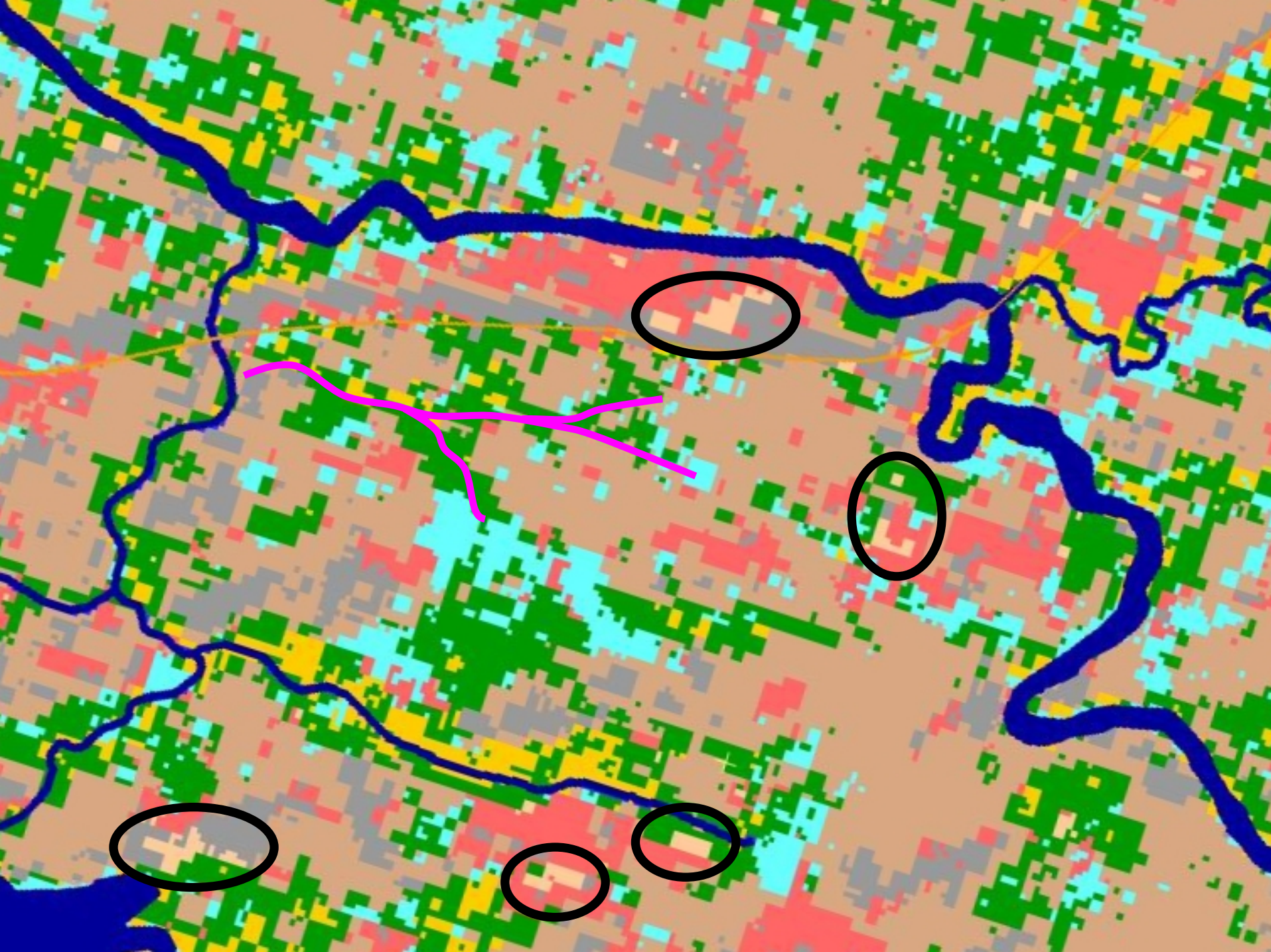
Résultats

Tourbières ombrotrophes + Pergélisol = Isolement

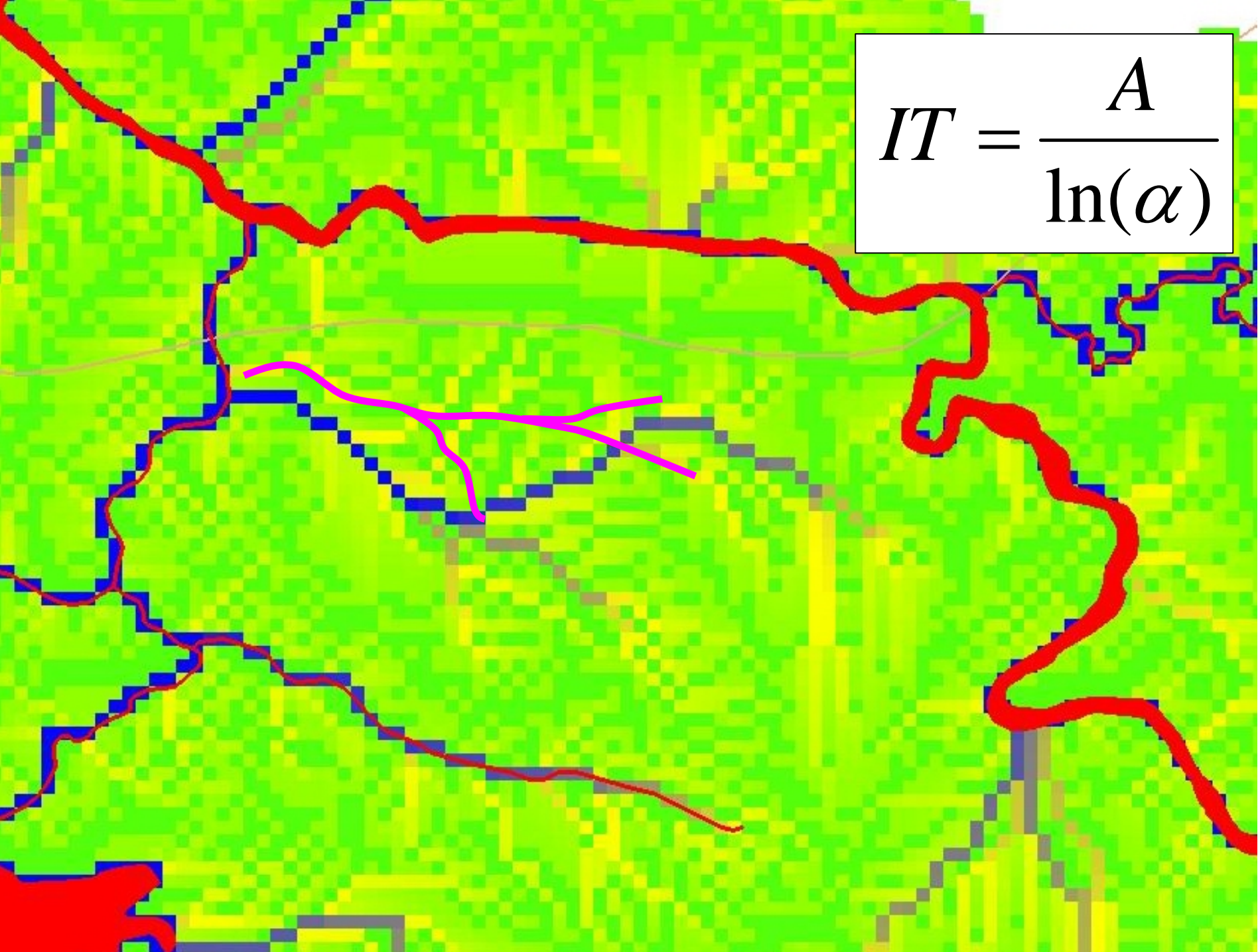


Résultats

	Gauthier	Dissanska
Eau	2.7	4.9
Fen	10.5	8.5
Bog connectés	40.4	38.7
Bog isolés	0.5	1.4
Forêt	25.8	16.0
Végétation riveraine	5.1	13.4
Affleurements et brulis	14.9	16.8



$$IT = \frac{A}{\ln(\alpha)}$$



Bilan vertical 3 Couches

Trois couches de sol

Épaisseur variables

Infiltration et ruissellement

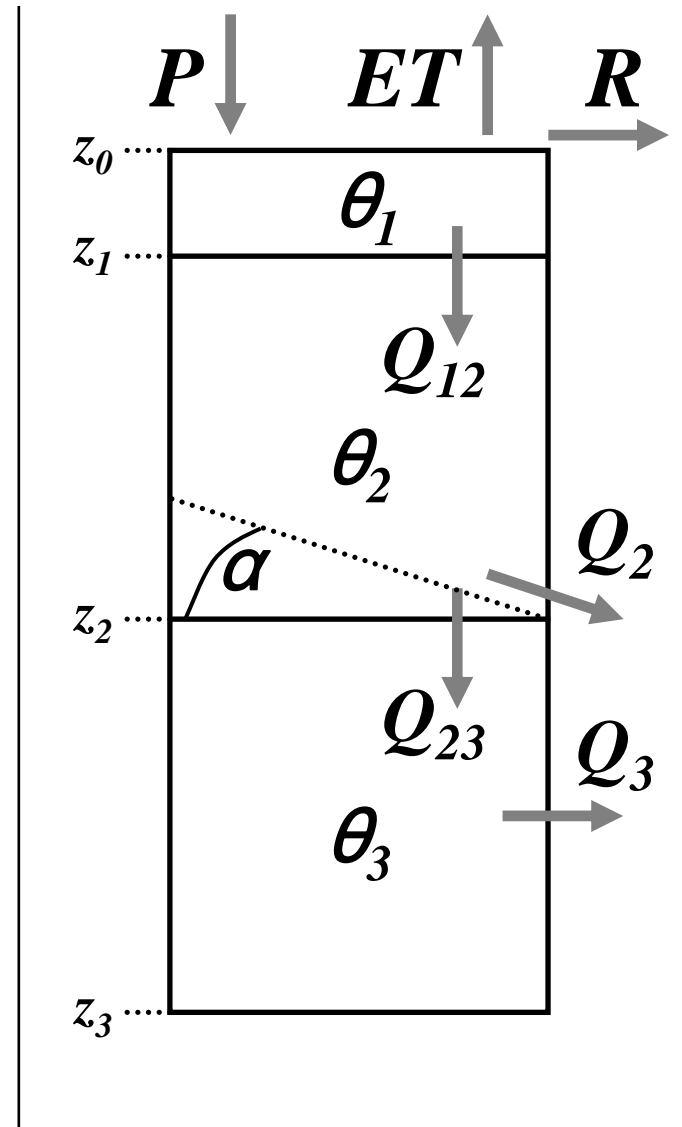
Migration de l'eau

Propriétés hydrauliques

- K_s , θ_s , θ_{cc} , θ_{pf} , ψ_s , λ
- Rawls et Brakensiek (1989)

Équations de migration

- Classiques, mais basées sur sols minéraux



Contre-indications

Les sols organiques

- Structure verticale des couches de sols
 K_s très variable (jusqu'à 5 ordres de grandeur)
- Plusieurs équations utilisées non conçues pour les sols organiques
- Non recommandé de décrire les sols organiques avec des paramètres de sols minéraux (Letts et al. 2000)

Le BV3C n'est pas conceptuellement valide pour les sols organiques

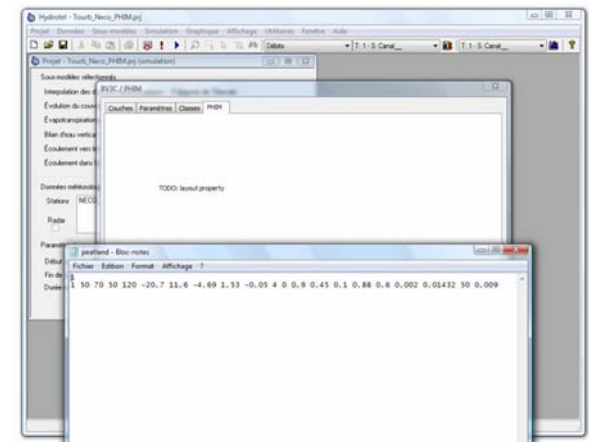
Piste de solution

BV3C modifié

- Paramètres différents pour chaque couche
 - Propriétés physiques de la tourbe
- Validation des équations pour les sols organiques
 - Gregor Levrel

Ajouter d'autres sous-modèles

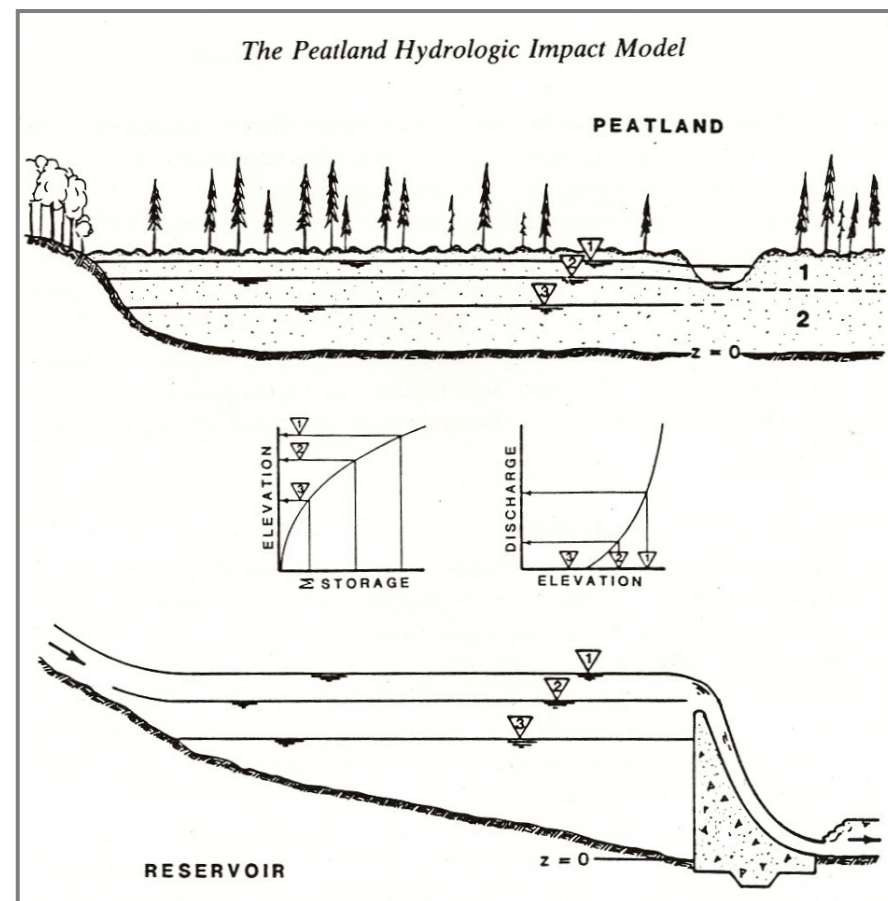
- PHIM
 - Peatland Hydrologic Impact Model (Guertin et al. 1987)



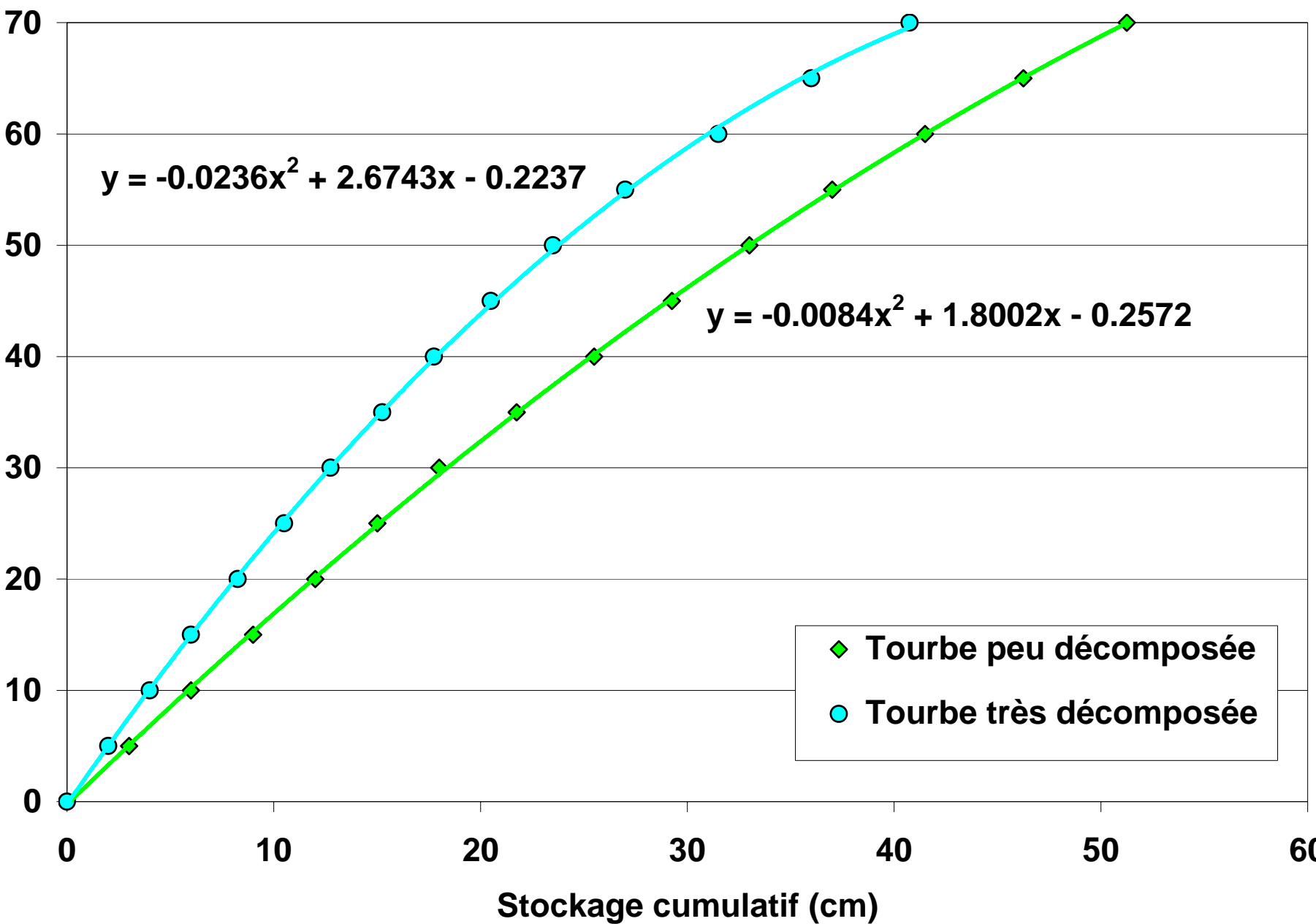
Sous-modèle pour la tourbe

Inspiré de PHIM

- K. Brooks, UMinnesota
- Spécifique aux tourbières
- Deux relations:
 - Stockage vs Nappe
 - Nappe vs Décharge



Profondeur de la nappe phréatique (cm)



$y = -0.0236x^2 + 2.6743x - 0.2237$

$y = -0.0084x^2 + 1.8002x - 0.2572$

- ◆ Tourbe peu décomposée
- Tourbe très décomposée

LOG₁₀ Élévation

1.3 1.35 1.4 1.45 1.5 1.55 1.6 1.65 1.7 1.75

0

-0.5

-1

-1.5

-2

-2.5

-3

LOG₁₀ Débit

Nappe > 10 cm

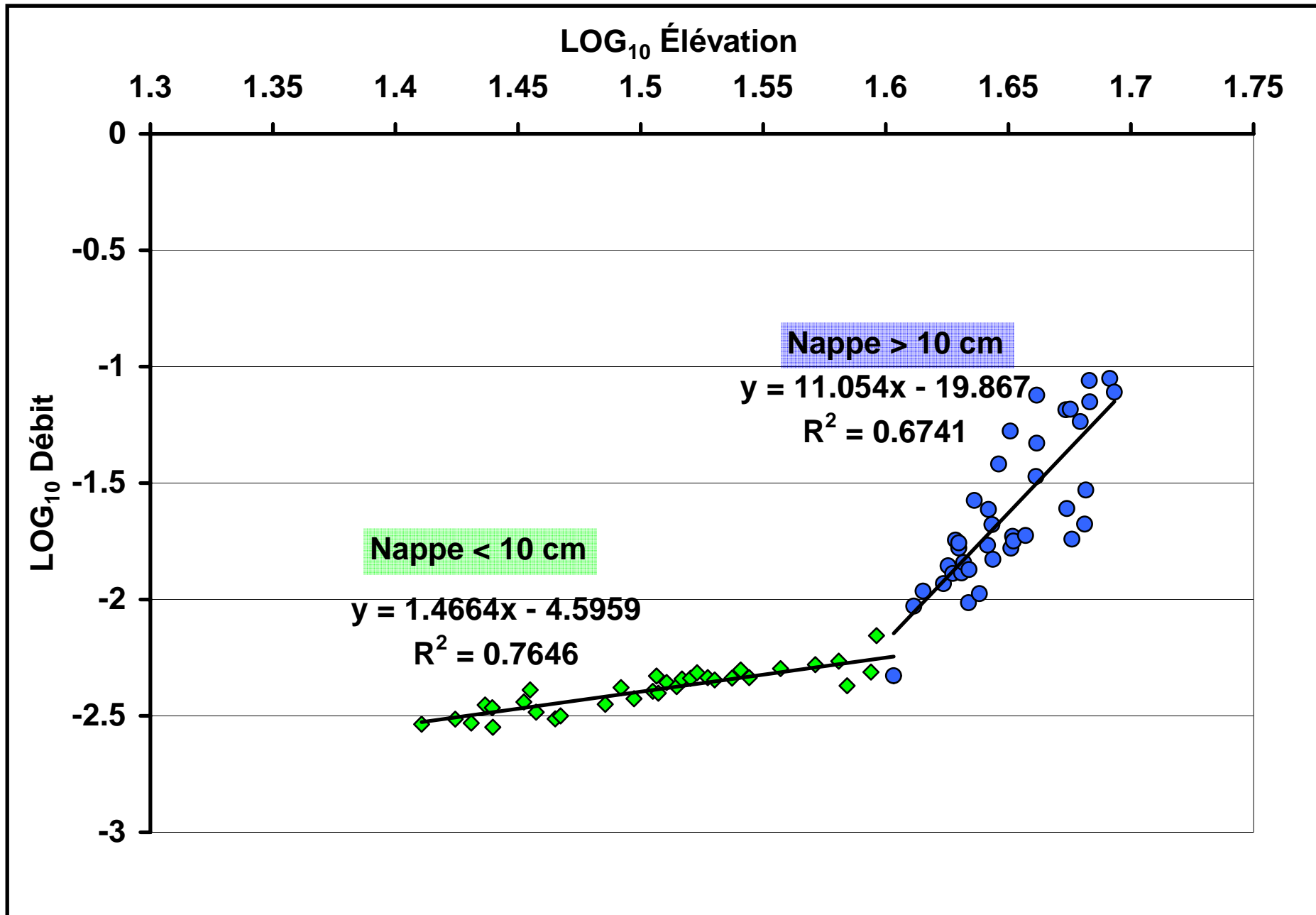
$$y = 11.054x - 19.867$$

$$R^2 = 0.6741$$

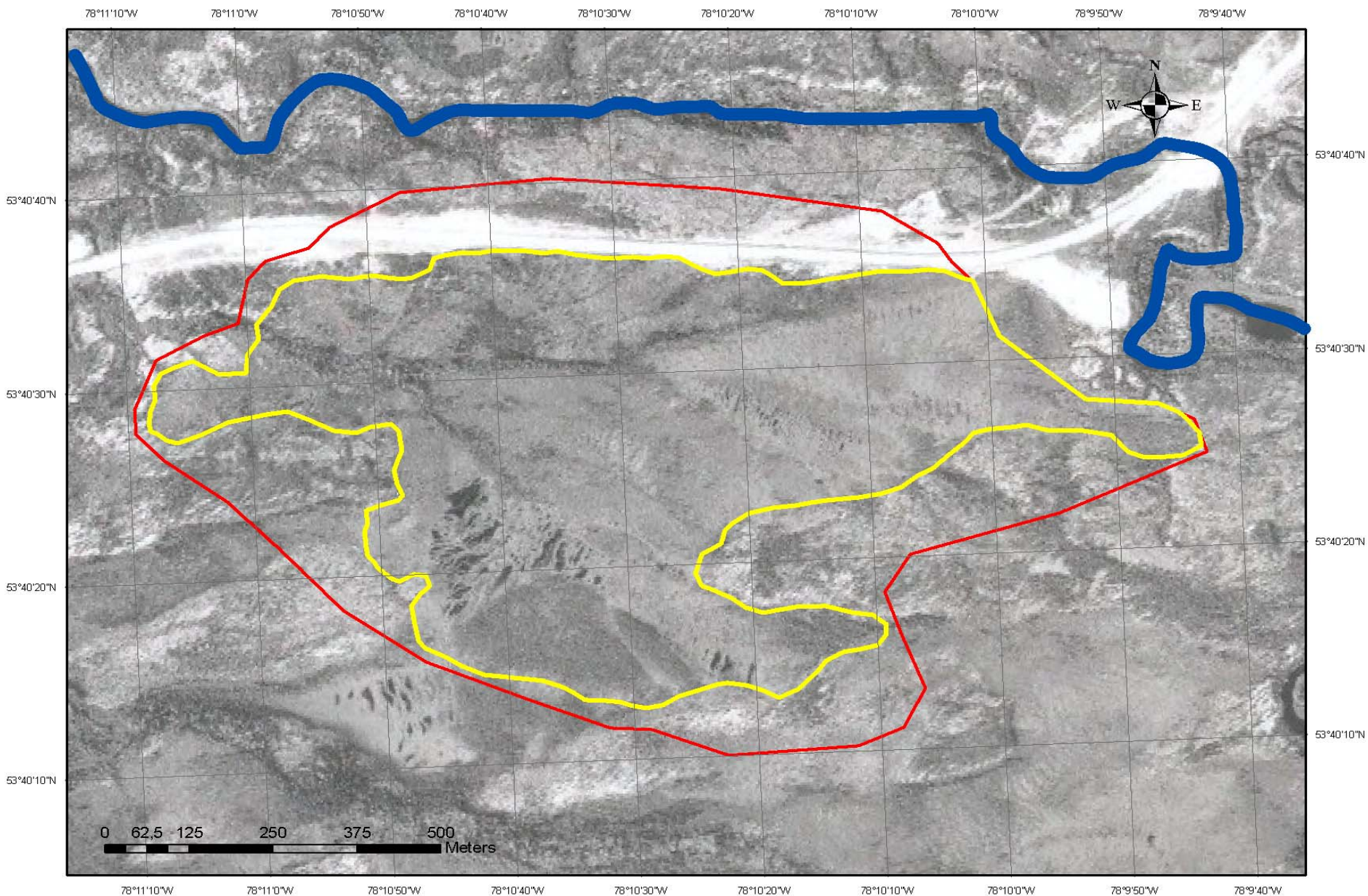
Nappe < 10 cm

$$y = 1.4664x - 4.5959$$

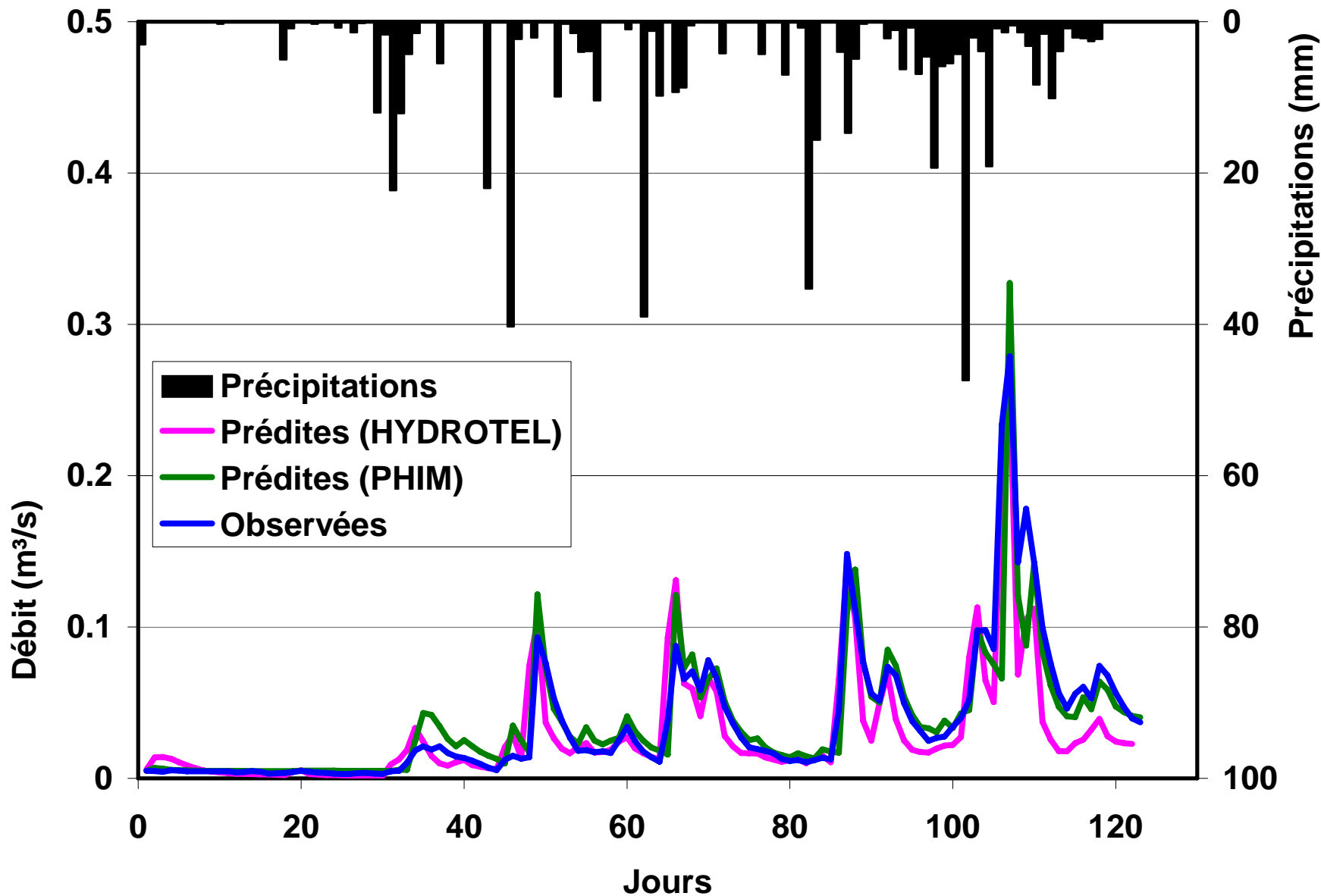
$$R^2 = 0.7646$$



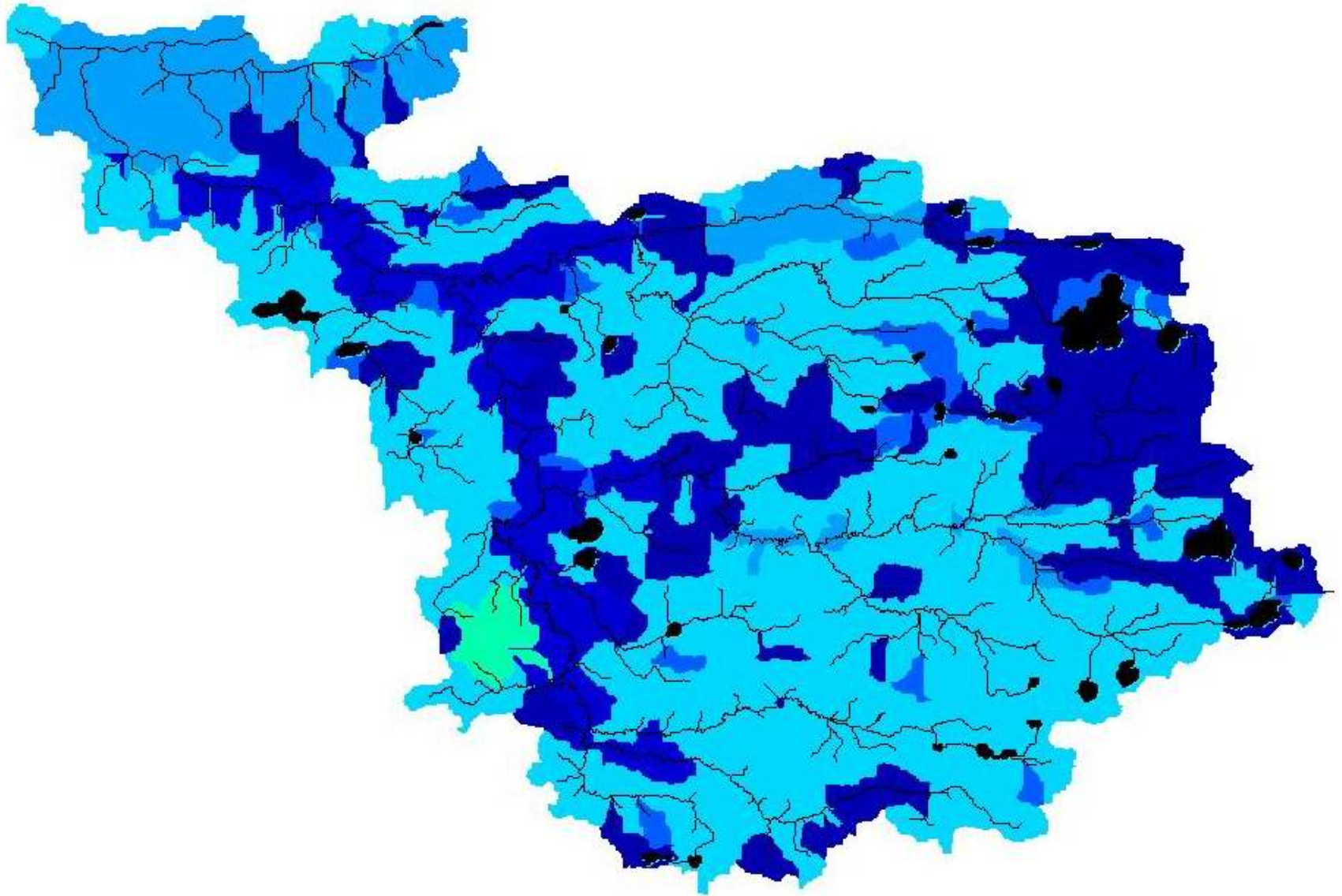
Site du pont de la Nécopastic (0.9 km²)



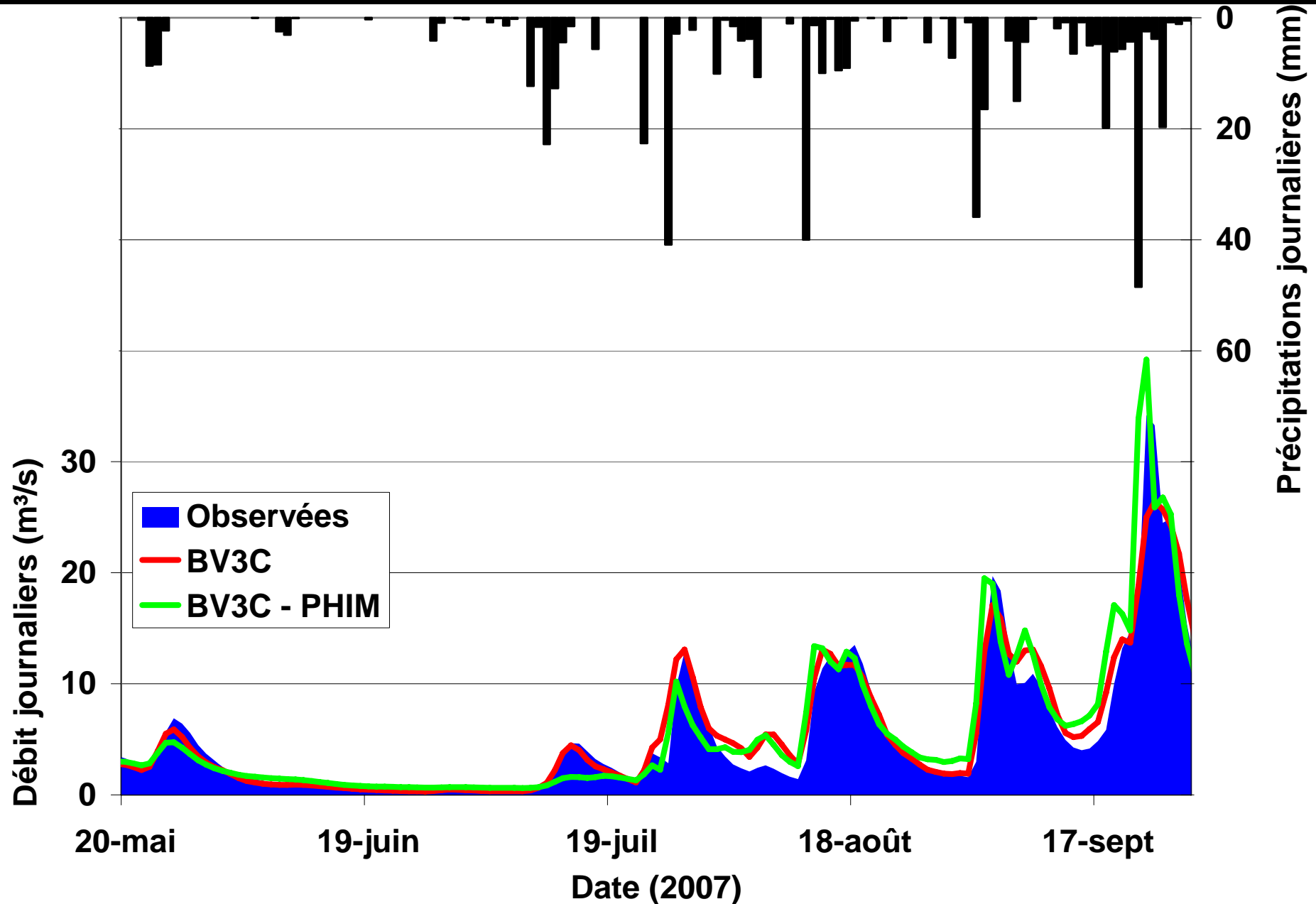
Site du pont de la Nécopastic



Le bassin versant de la Nécopastic (240 km²)



Le bassin versant de la Nécopastic



Conclusion

HYDROTEL

- BV3C représente mal les milieux tourbeux
 - Donne toutefois des prédictions réalistes
- PHIM représente mieux l'écoulement des tourbières
 - Calage plus simple et logique

La comparaison des deux méthodes reste à compléter...

Estimation de la recharge du bassin versant de la rivière Châteauguay à l'aide du modèle HYDROTEL

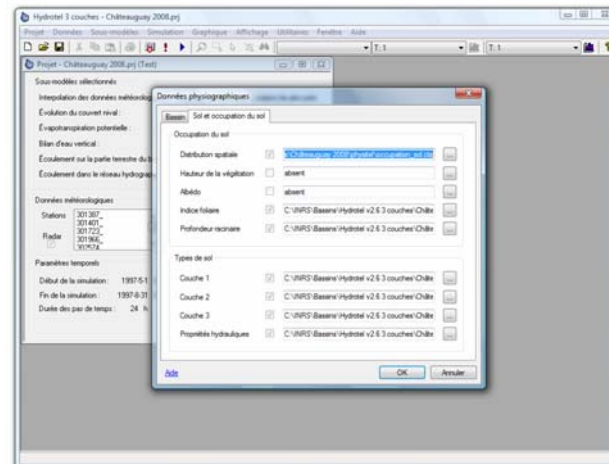
Par Simon Ricard

État d'avancement du projet CRSNG-RDC (Ouranos/Hydro-Québec)
« Adaptation du Modèle Hydrologique HYDROTEL au Milieu Boréal Québécois »

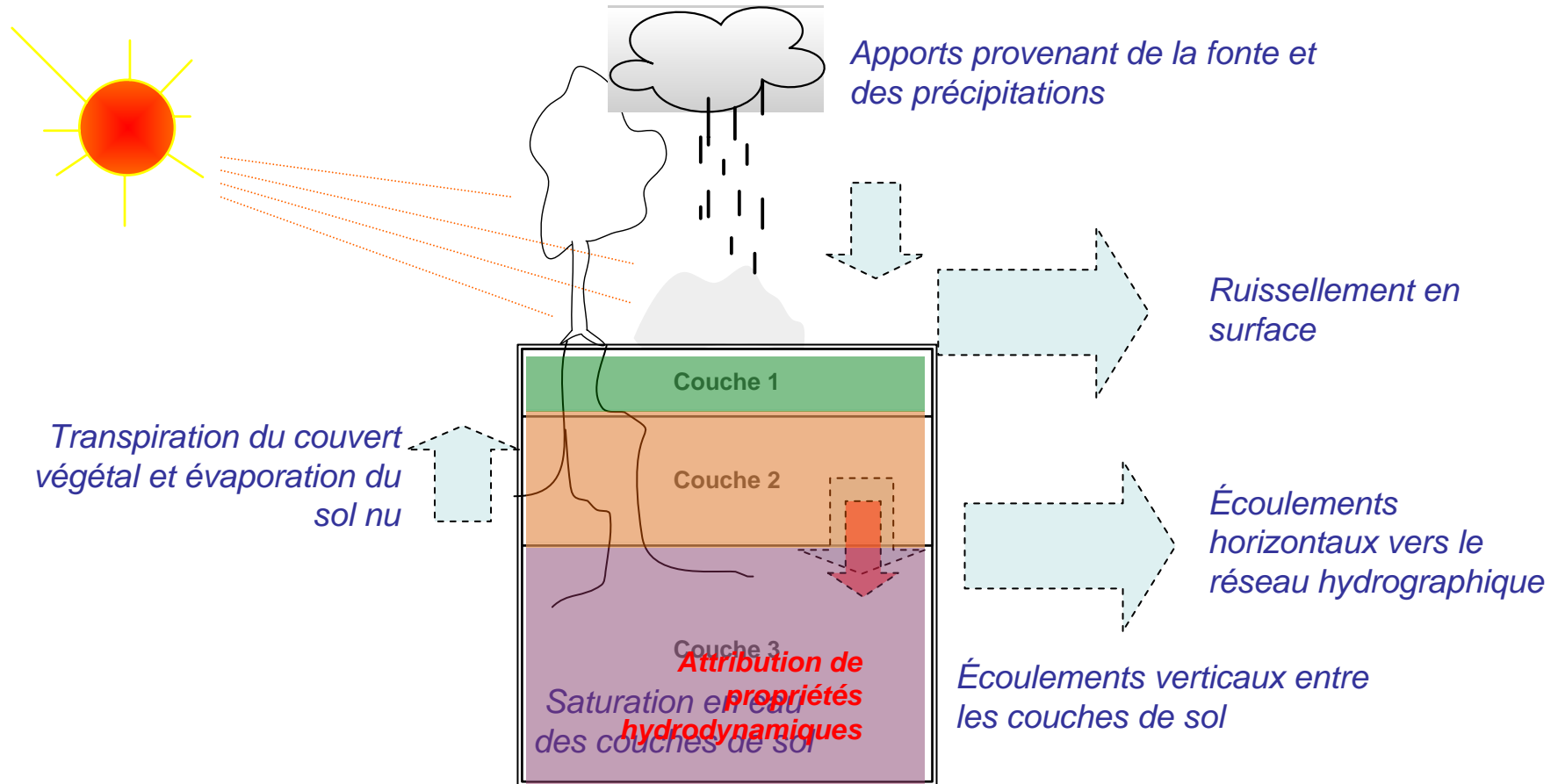
Québec, 28 mai 2008

Objectifs de recherche

1. Évaluer la cohérence et la sensibilité de BV3C par rapport aux relations eaux souterraines/eaux de surfaces.
2. Développer une approche spécifique de caractérisation spatiale des propriétés hydrodynamiques des sol.



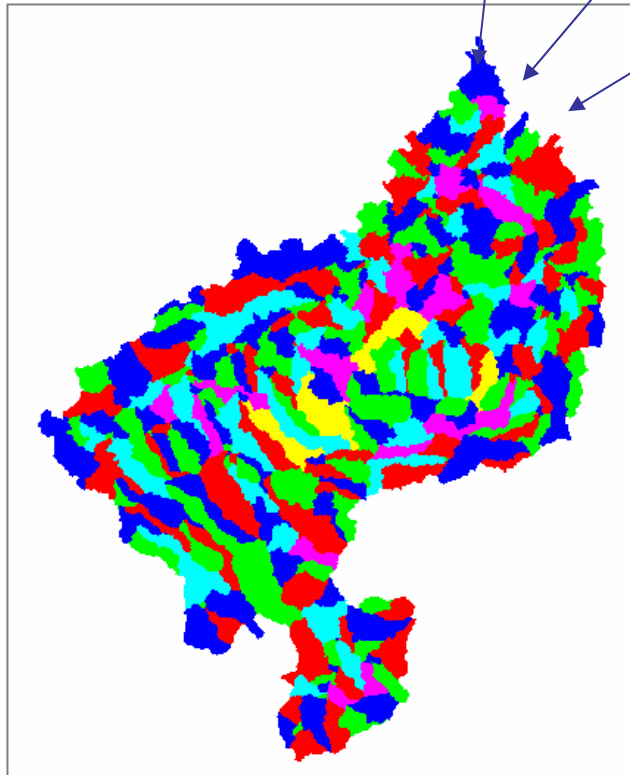
Le sous-modèle d'écoulement vertical – BV3C



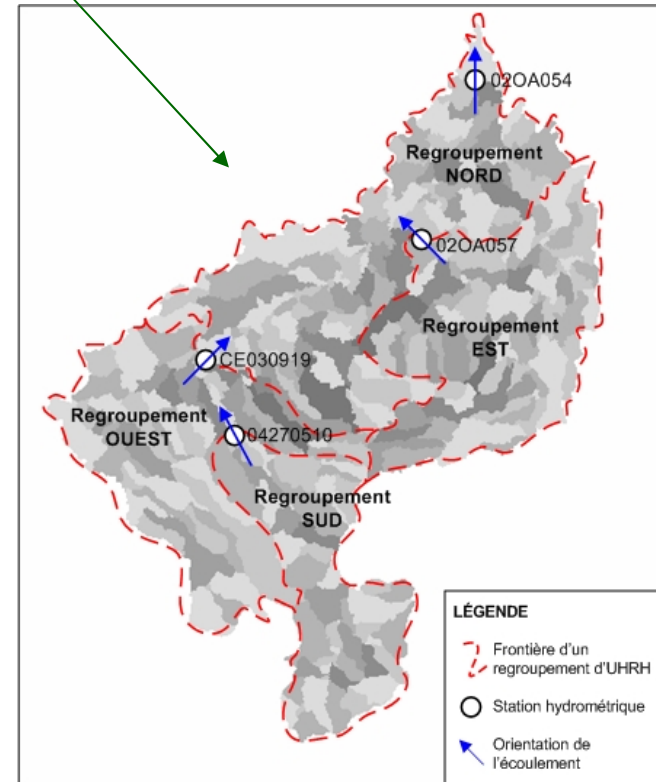
$$q_{2,3} = K_{2,3} \left(2 \frac{\Psi(\theta_3) - \Psi(\theta_2)}{(Z_2 - Z_1) + (Z_3 - Z_2)} + 1 \right)$$

Caractérisation spatiale des propriétés hydrodynamiques du sol

$$q_{2,3} = K_{2,3} \left(2 \frac{\Psi(\theta_3) - \Psi(\theta_2)}{Z_{22} + Z_{33}} + 1 \right)$$



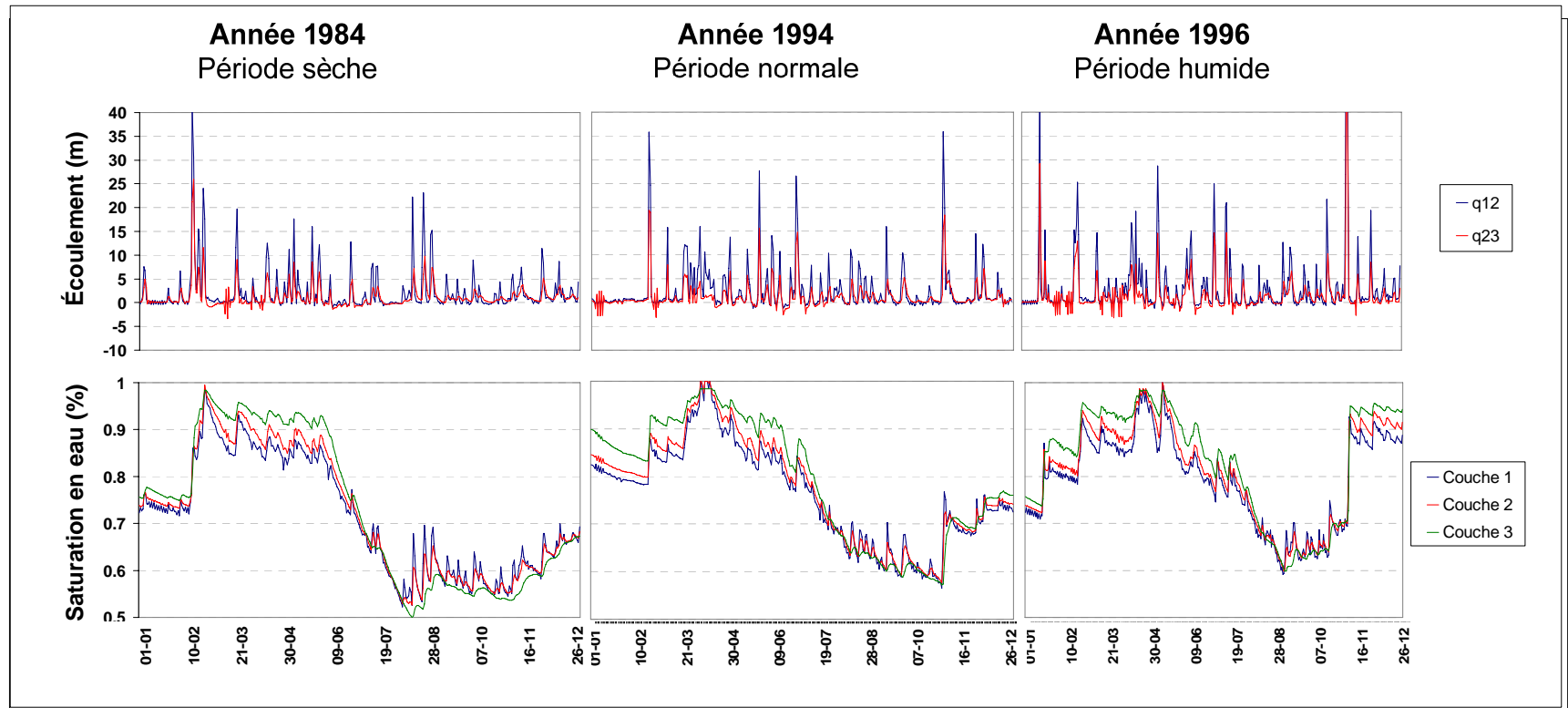
Unités spatiales de calculs (UHRH)



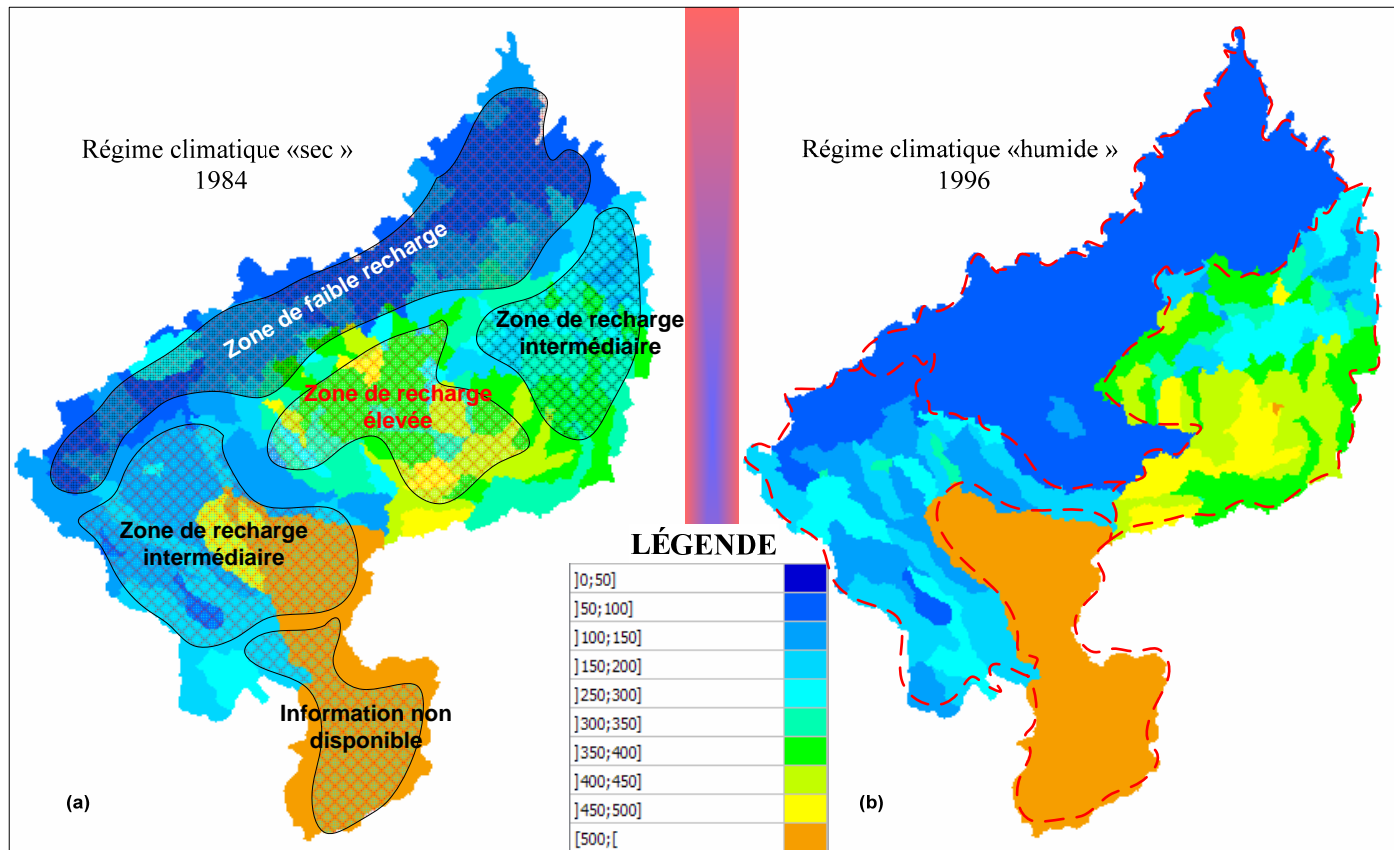
Regroupement d'UHRH

Cohérence du modèle

Régime climatique aride → Régime climatique humide

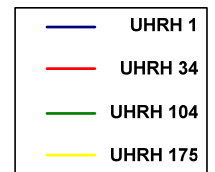
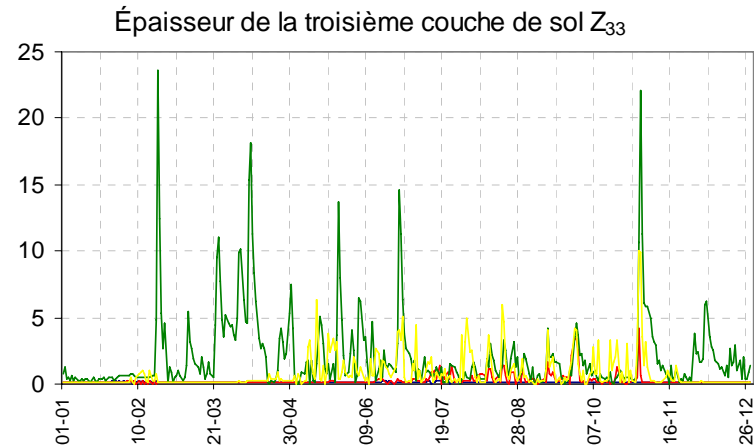
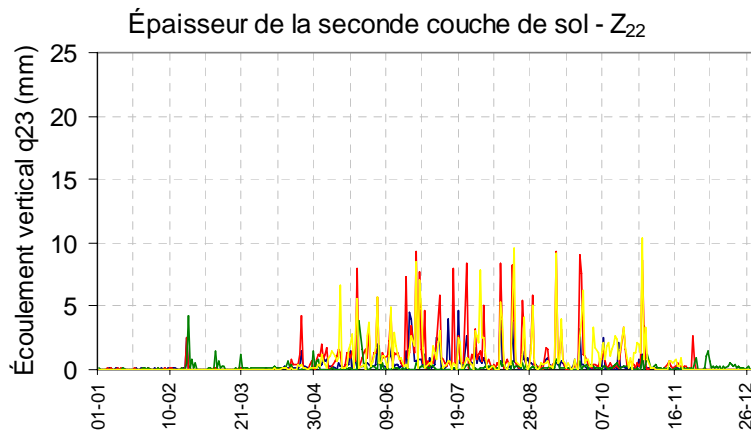
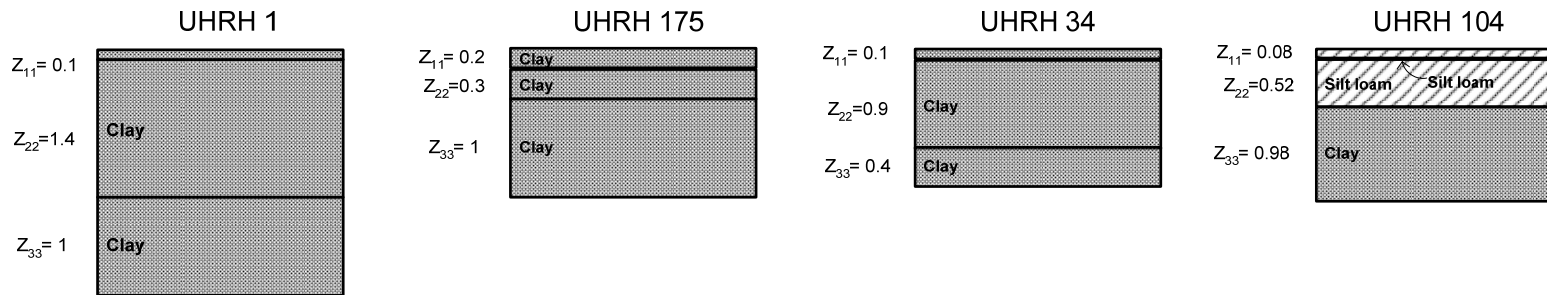


Distribution des zones de recharge



$$\bar{R}_{UHRH} = \sum_a q_{23}$$

Sensibilité absolue



Conclusions

1. **Une caractérisation adéquate des propriétés hydrodynamiques améliore la cohérence globale d'HYDROTEL.**
2. **BV3C est sensible et relativement cohérent face aux régimes climatiques, malgré rapport ambigu entre les paramètres physiques et conceptuels.**
3. **Distribution des zones de recharge démontrent un bon potentiel, recherche d'un équilibre entre validité et robustesse.**

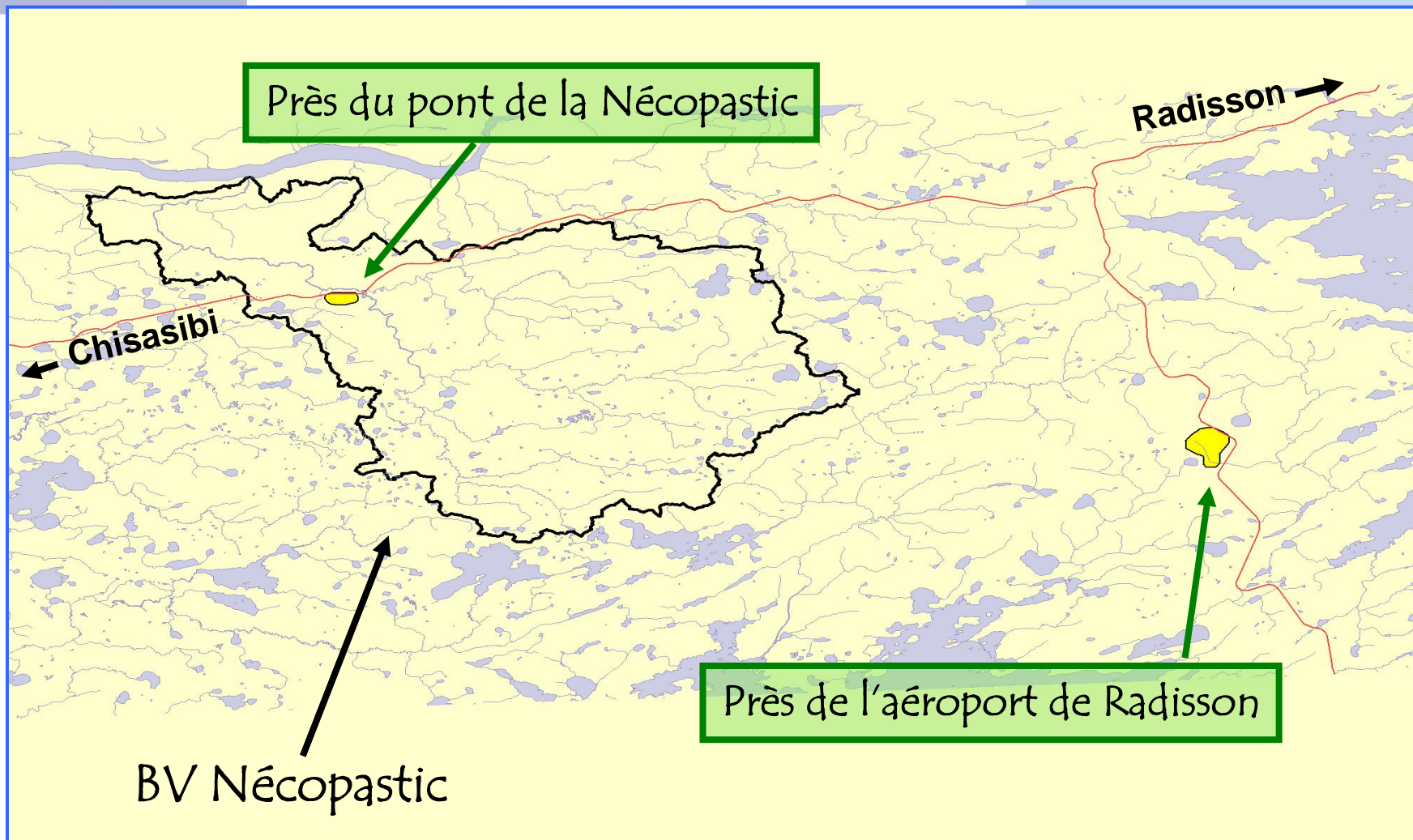
Suivi de la *Nappe*, de la *Recharge* et de l'*Écoulement* de tourbières ombrotrophes à l'aide de méthodes *in situ* (Baie de James)

Ouranos

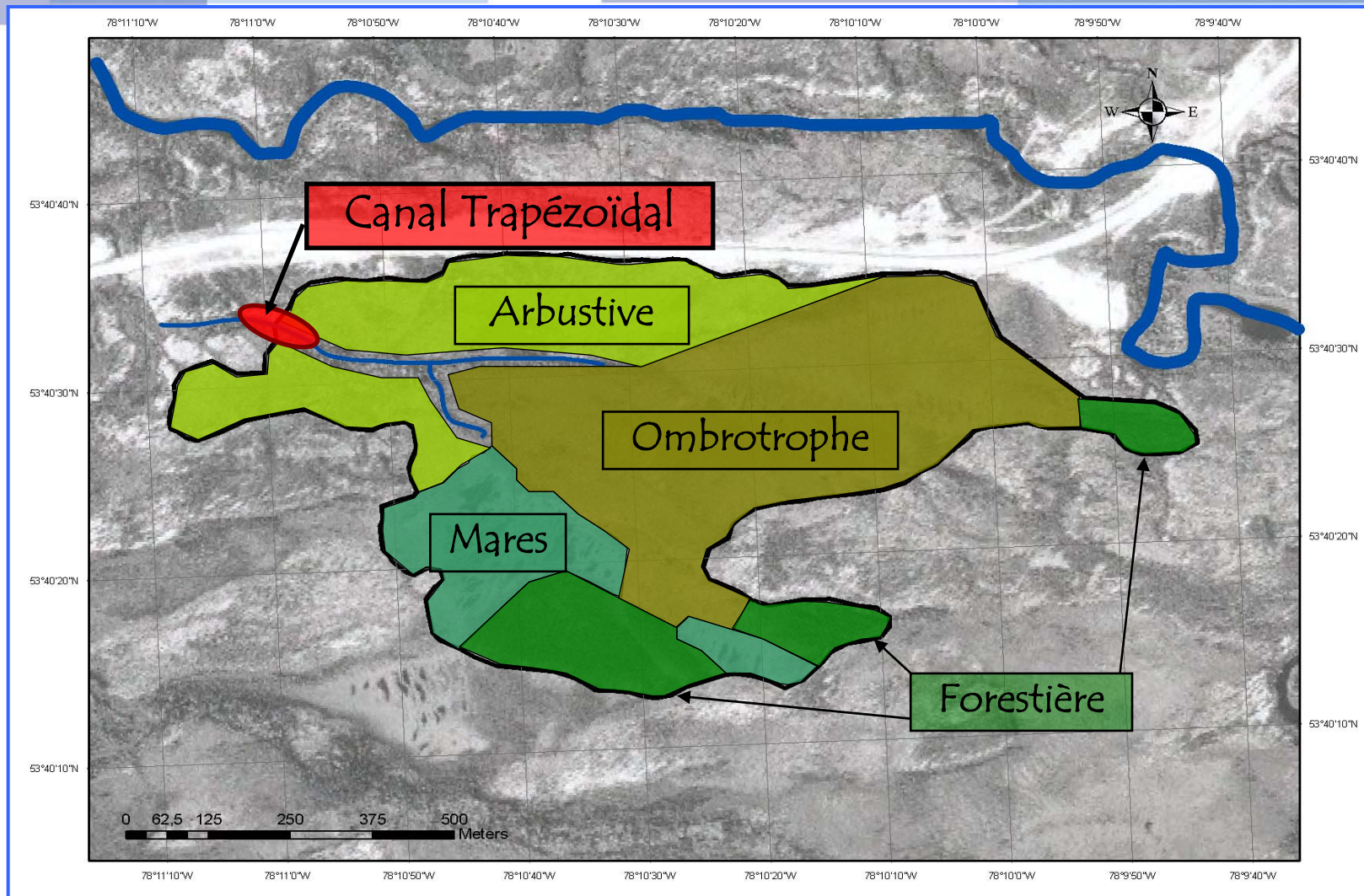
28 Mai 2008



Clément Clerc



Sites d'études : 2 tourbières étudiées



Tourbière Nécopastic : 63 % du BV

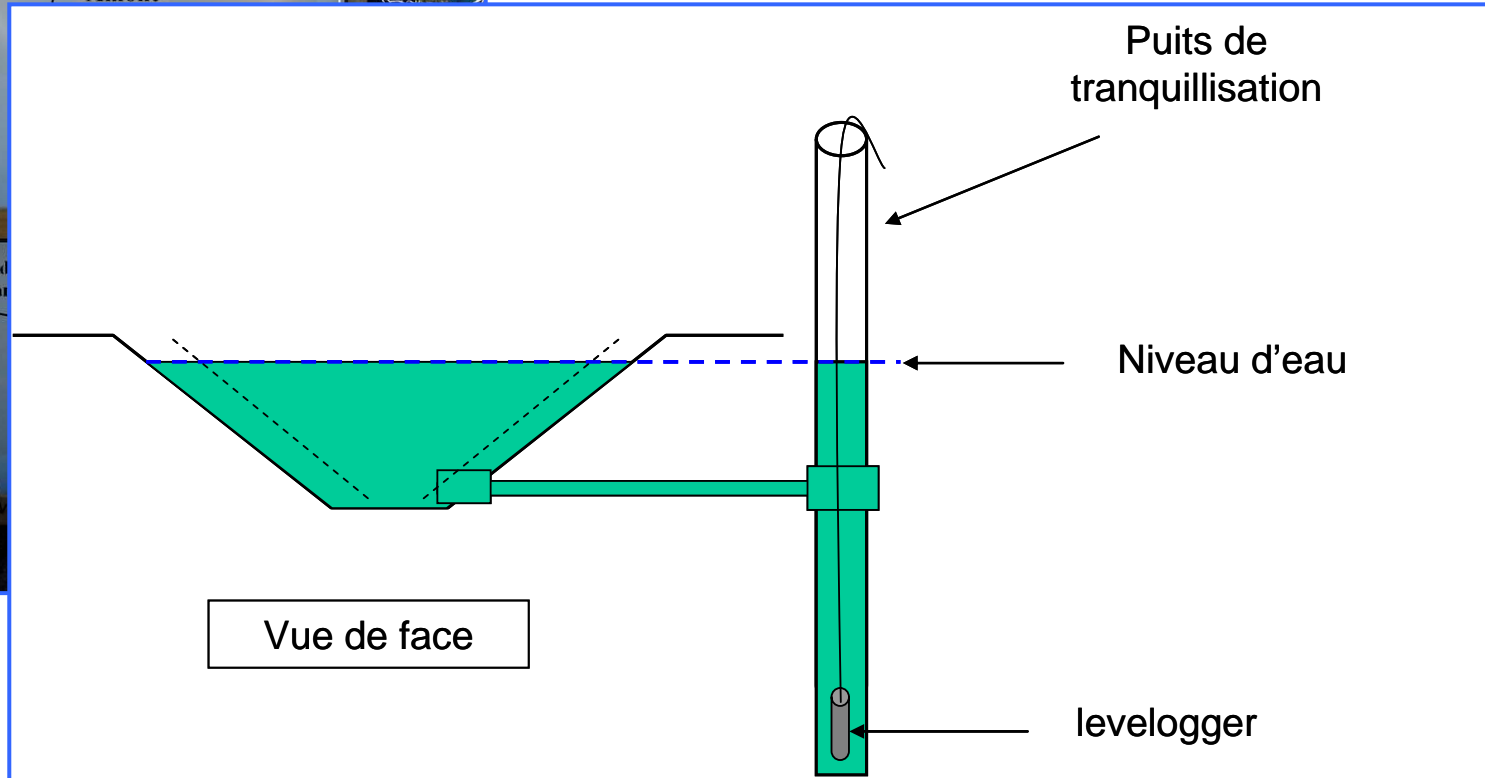
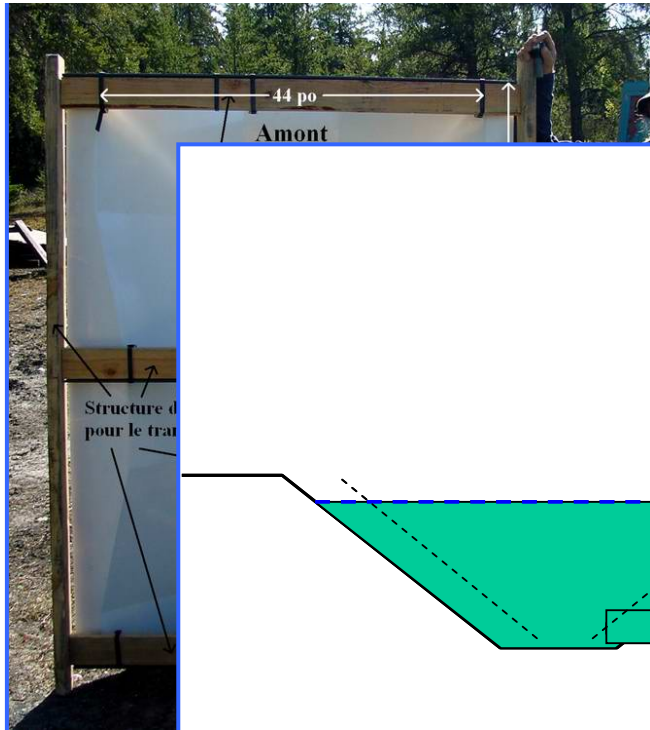


Schéma du canal trapézoïdal



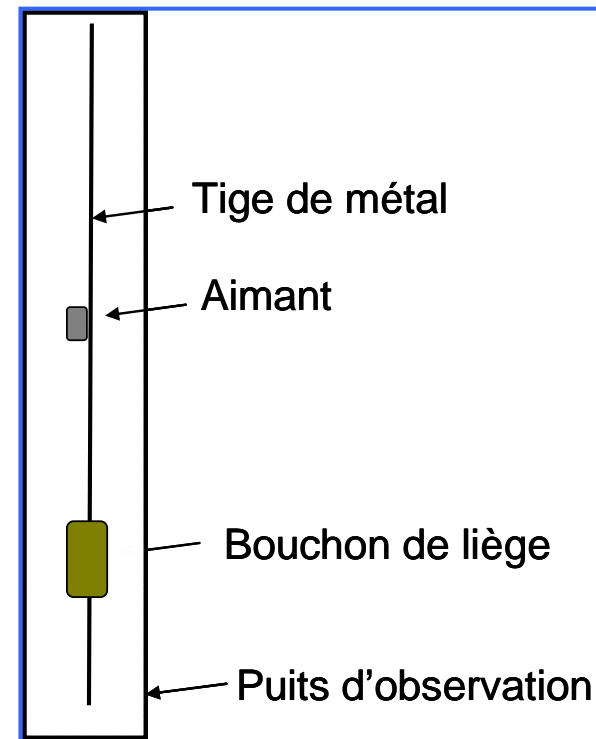
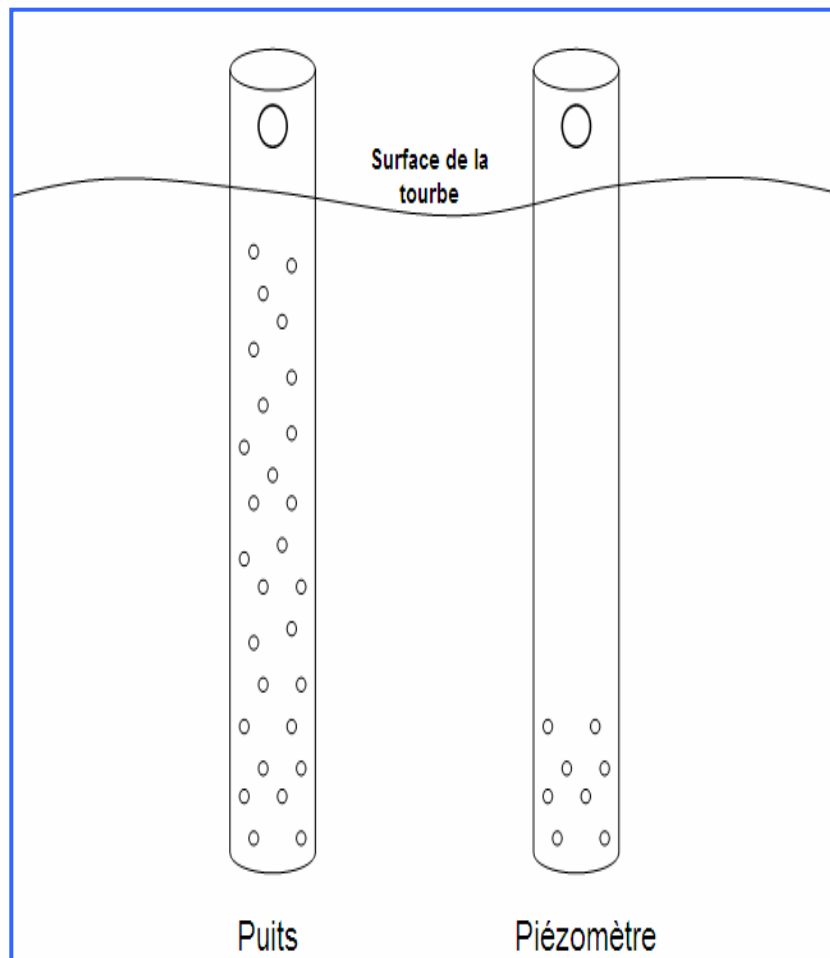
Juin 2007 : débit faible



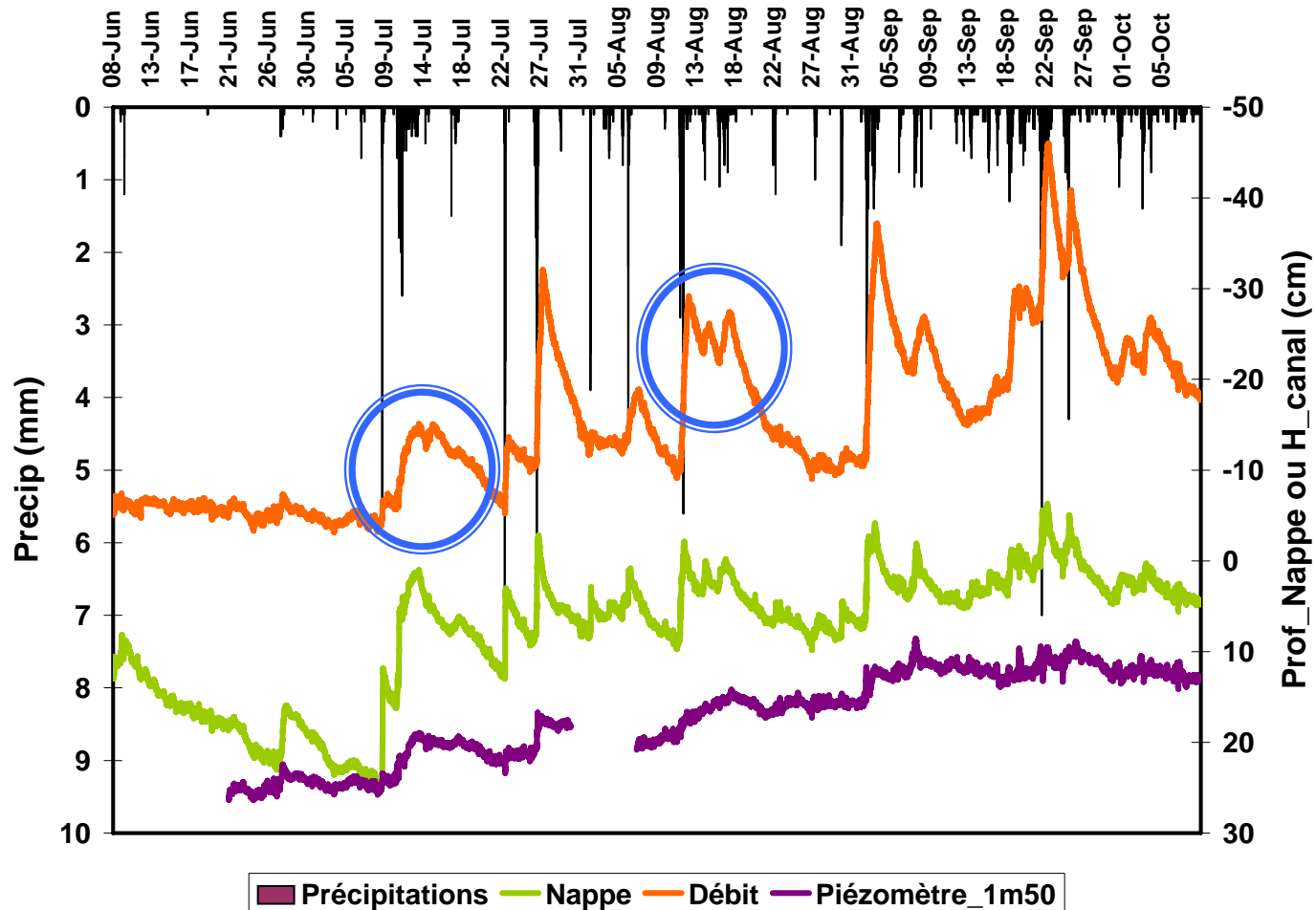
Août 2007 : débit fort



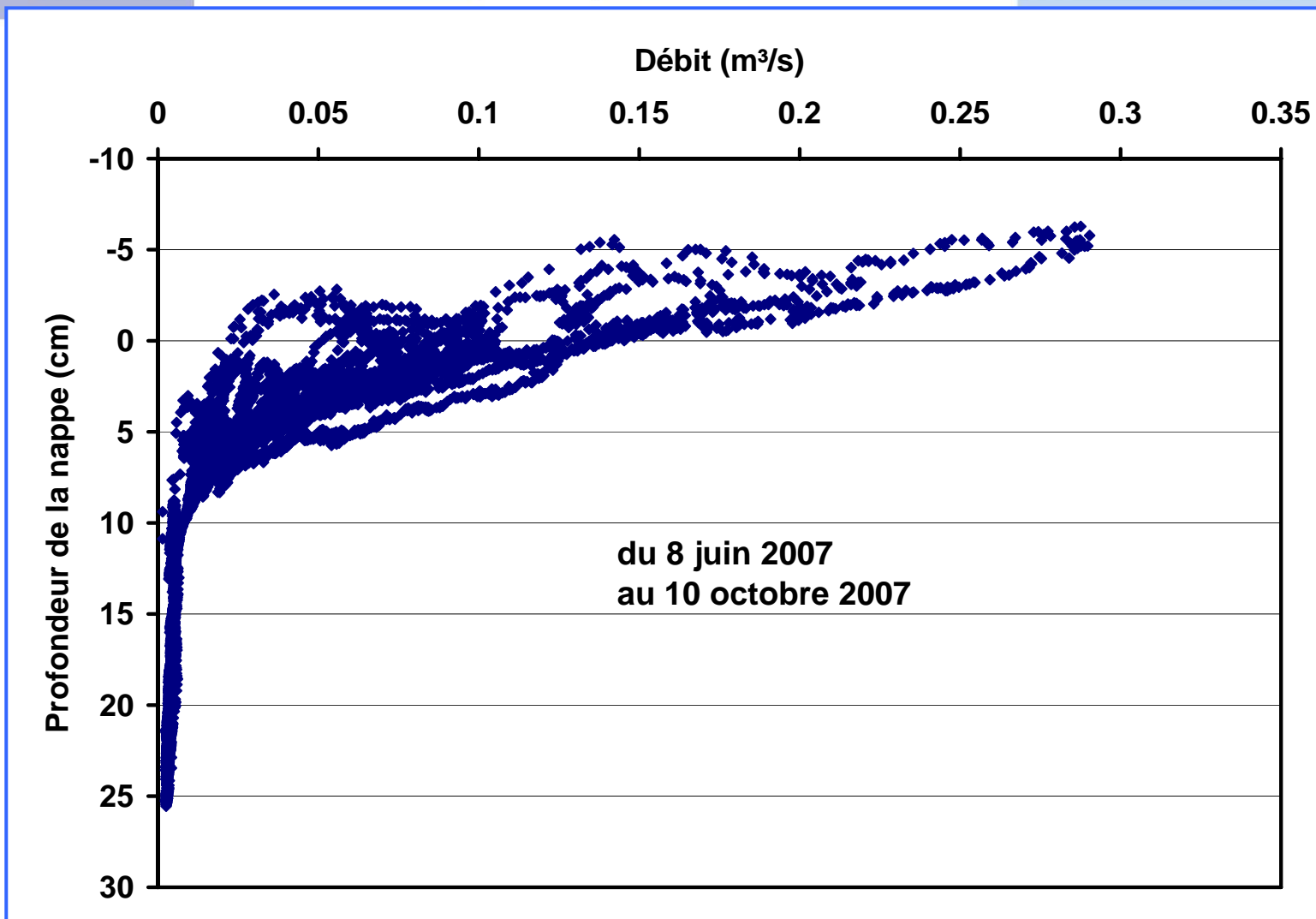
Continu



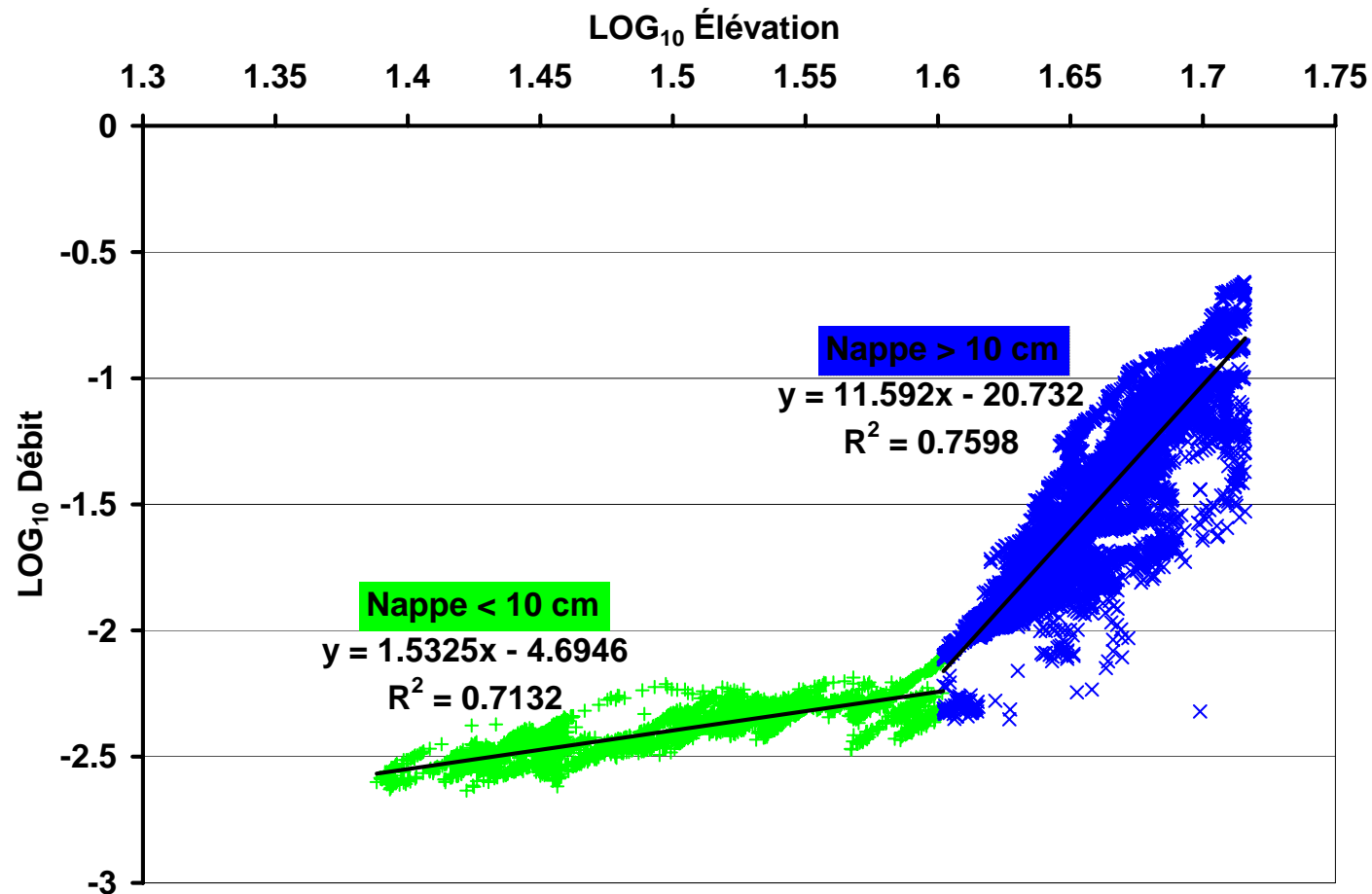
Périodique



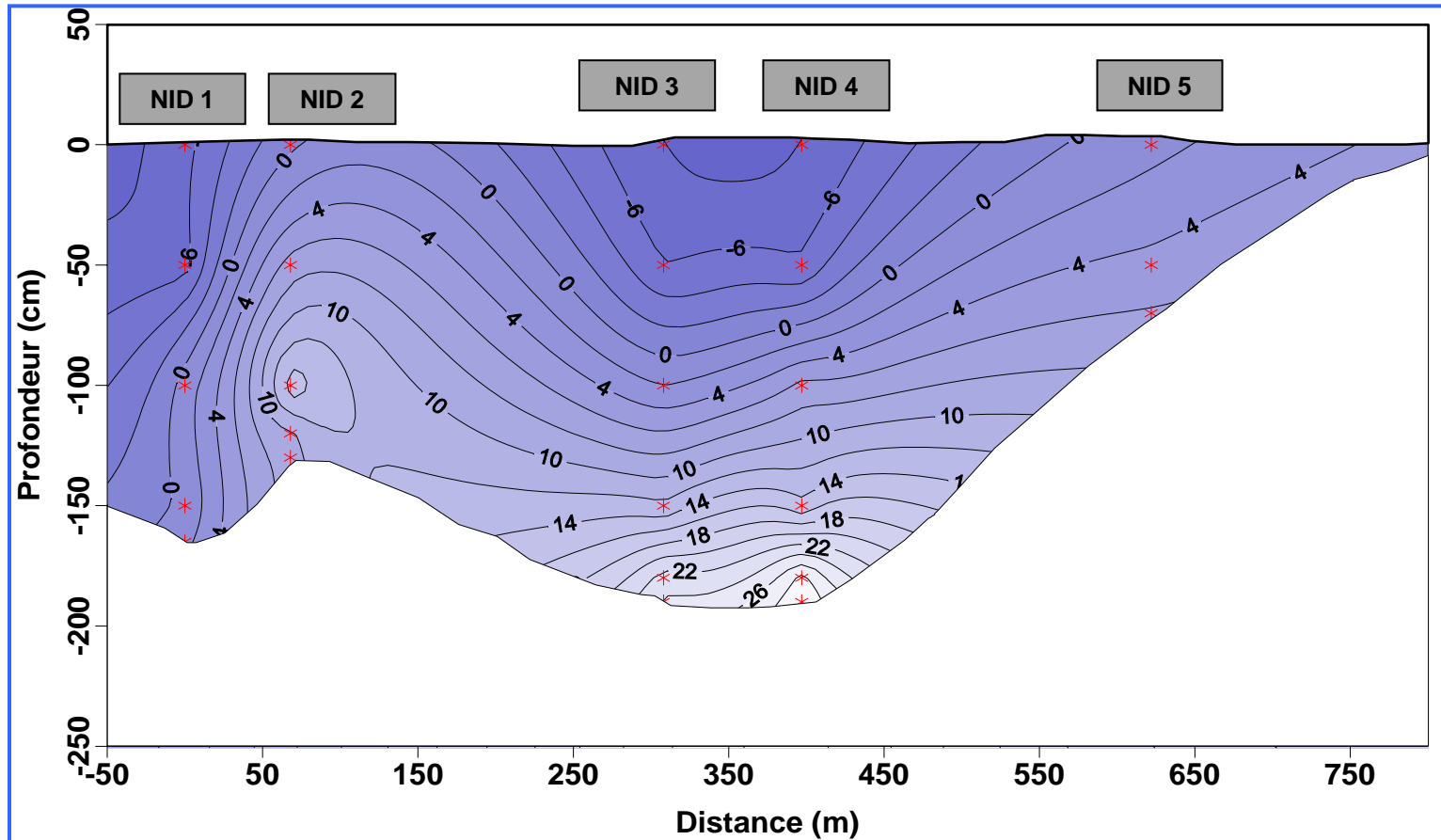
Suivi de la nappe et du débit
en fonction des précipitations : tourbière Nécopastic



Hystérèse



Log(Débit)=f(Log(Élévation)) pour la tourbière Nécopastic



Profil Nord-Sud

Conclusion :

- ✓ Dispositif expérimental permet de **quantifier efficacement l'écoulement** d'une tourbière ombrotrophe (i.e sans approximations).
- ✓ La **relation Hauteur de Nappe vs Débit** permet de faire fonctionner un modèle propre au milieu humide (**PHIM**) et de l'incorporer à HYDROTEL.

Cependant :

- ✓ Problèmes lorsque la **nappe est basse**
- ✓ **2007** a été une année **extrêmement pluvieuse** : 6ème depuis 1976

Prise en compte par le logiciel HYDROTEL des lacs et réservoirs à sorties multiples

Par Rémy Bourdillon, étudiant à la maîtrise de recherche

Directeur: Alain N. Rousseau

Codirecteur: Yves Secretan

28 Mai 2008

Introduction

Il existe des lacs qui présentent plusieurs sorties

Les sorties peuvent être :

- Permanentes
Ex : Lac Kenogami
- Temporaires
(saisonniers)
selon la période

Objectif: adapter les modèles pour prendre en compte



un cours d'eau (en crue)

capable de

Les lacs se

La superficie A in
Vari

Les paramètres
définit la courbe

En mettant autar
de sorties, on es

Résolution par la méthode de Newton-Raphson du premier ordre

Lac à sortie multiple

Nombre de sorties:

Niveau initial:

Déterminer le niveau initial automatiquement

Algorithme

Méthode CEQEAU

Méthode Bourdillon

Sorties

	Seuil d'écoulem...	Paramètre C	Paramètre k
1	12.000000	17.500000	1.500000
2	10.000000	22.000000	0.500000
3	11.000000	22.000000	0.500000
*			

Niveaux

Surface constante:

	Niveau	Surface
1		200000.000000
2		209999.984375
3		220499.968750
4		231524.953125
5		243101.187500

OK Annuler

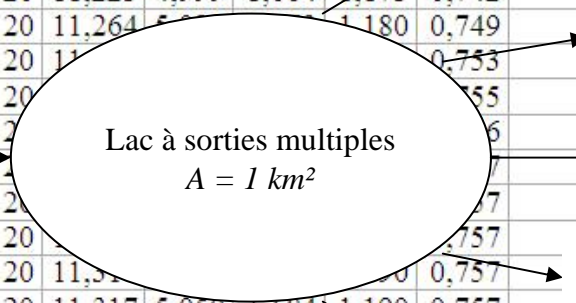
sort

au/débit, qui

C_i et k_i) que
orties

Exemple: cas théorique à cinq sorties en régime permanent

Pas de temps	Débit amont [m³/s]	Débit sortant [m³/s]					Débit total sortant [m³/s]	Niveau du lac [m]
		1	2	3	4	5		
0	20	0	0	0	0	0	0	100
1	20	1,830	0,567	0,001	0	0	z = 100,4	100,203
2	20	4,507	1,673	0,351	0,0	0	C = 5	100,370
2	z = 100,0	z = 100,0	z = 100,2	z = 100,4	z = 100,7	z = 100,8	k = 1,5	100,491
2	C = 20	C = 10	C = 5	C = 5	C = 5	C = 5		100,570
2	k = 1,5	k = 1,8	k = 1,5	k = 1,5	k = 1,5	k = 1,5		100,618
7	20	10,190	4,768	1,574	1,092	0,673	16,678	100,646
8	20	11,018	4,890	1,622	1,135	0,700	18,897	100,663
9	20	11,149	4,959	1,649	1,159	0,700	19,374	100,672
10	20	11,223	4,999	1,664	1,173	0,712	19,646	100,677
11	20	11,264	5,000	1,666	1,178	0,719	19,821	100,680
12	20	11,264	5,000	1,666	1,180	0,749	Q _{s1} 38	100,682
13	20	11,264	5,000	1,666	1,180	0,753	Q _{s2} 37	100,683
14	20	11,264	5,000	1,666	1,180	0,755	Q _{s3} 36	100,683
14	Q _e = 20 m³/s	11,264	5,000	1,666	1,180	0,756	Q _{s4} 35	100,684
17	20	11,264	5,000	1,666	1,180	0,757	19,997	100,684
18	20	11,317	5,050	1,684	1,190	0,757	Q _{s5} 998	100,684
19	20	11,317	5,050	1,684	1,190	0,757	Q _{s4} 999	100,684
20	20	11,317	5,050	1,684	1,190	0,757	19,999	100,684
21	20	11,318	5,050	1,684	1,190	0,757	20,000	100,684
22	20	11,318	5,050	1,684	1,190	0,757	20,000	100,684
23	20	11,318	5,050	1,684	1,190	0,757	20,000	100,684

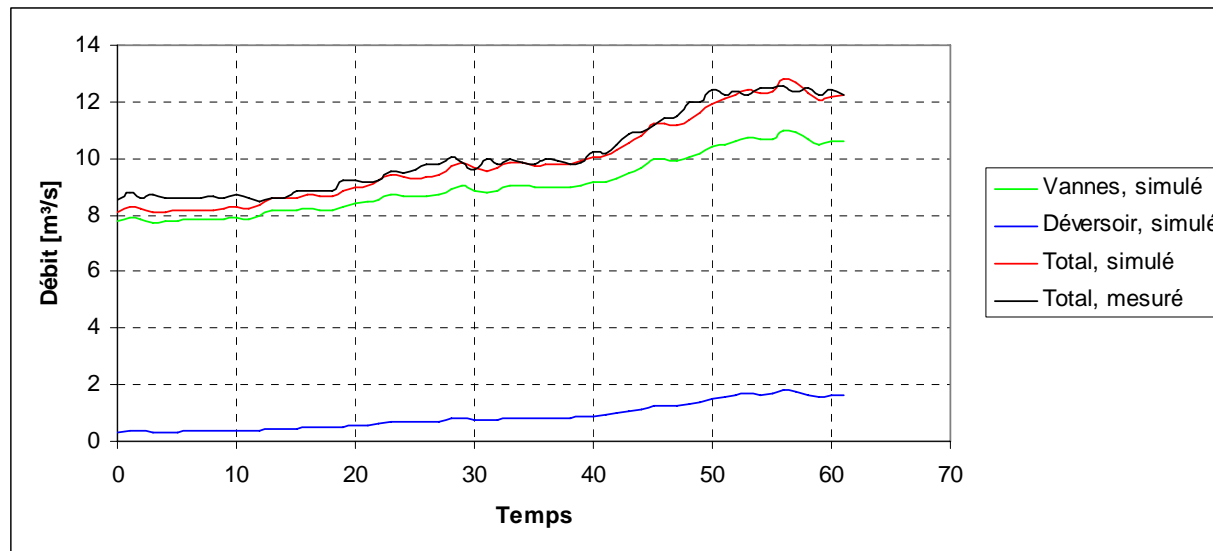


Test du programme

Série temporelle sur le lac Ludger (Laurentides)

2 sorties : Vannes à bascule + Déversoir lorsque niveau important

Séquence de simulation de 61 pas de temps horaires



Erreur maximale de 7% sur l'ensemble de la séquence

Comment connaître les paramètres de la section de sortie?

Hypothèse: sur un seuil, en sortie de lac, $Q = Ch^k$

Mais comment trouver C et k ?

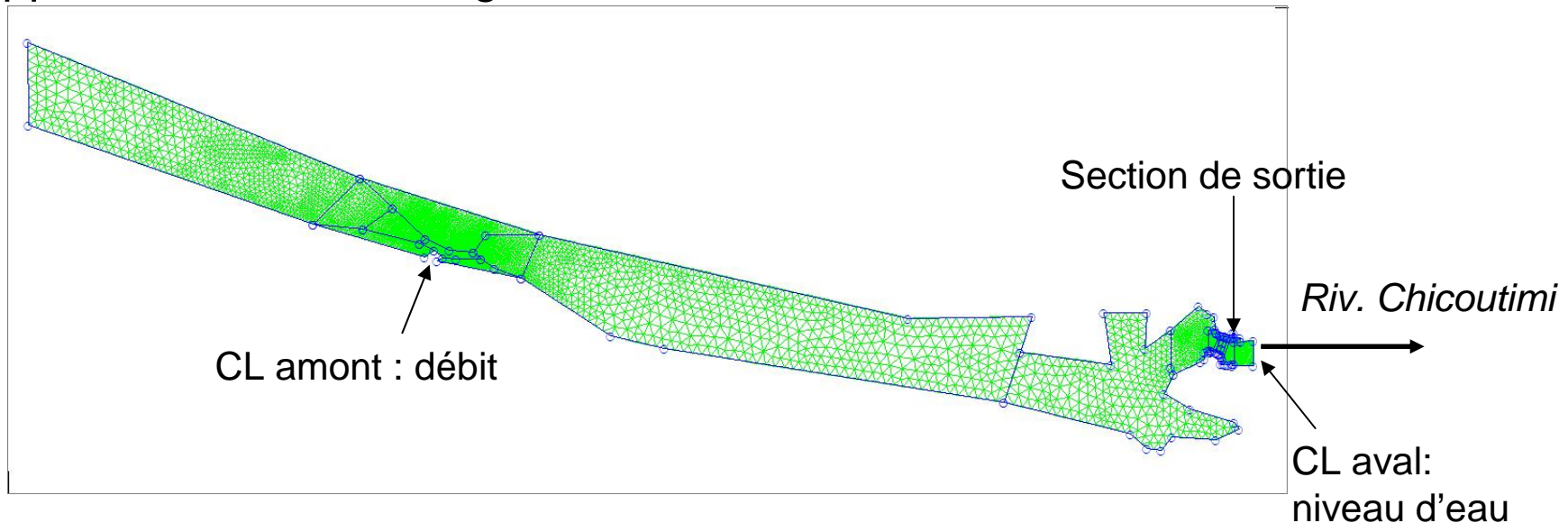
- Par des campagnes de terrain (plusieurs mesures du niveau et du débit, et déduction d'une courbe de tarage)
- Par une formule (pour les sections à forme géométrique simple)
Ex.: seuil rectangulaire $Q = 1,67Lh^{1,5}$, triangulaire $Q = 1,32\tan(\theta/2)h^{2,5}$
Avec éventuellement validation sur le terrain
- Autre possibilité : modélisation hydrodynamique 2D

Détermination d'une relation niveau/débit

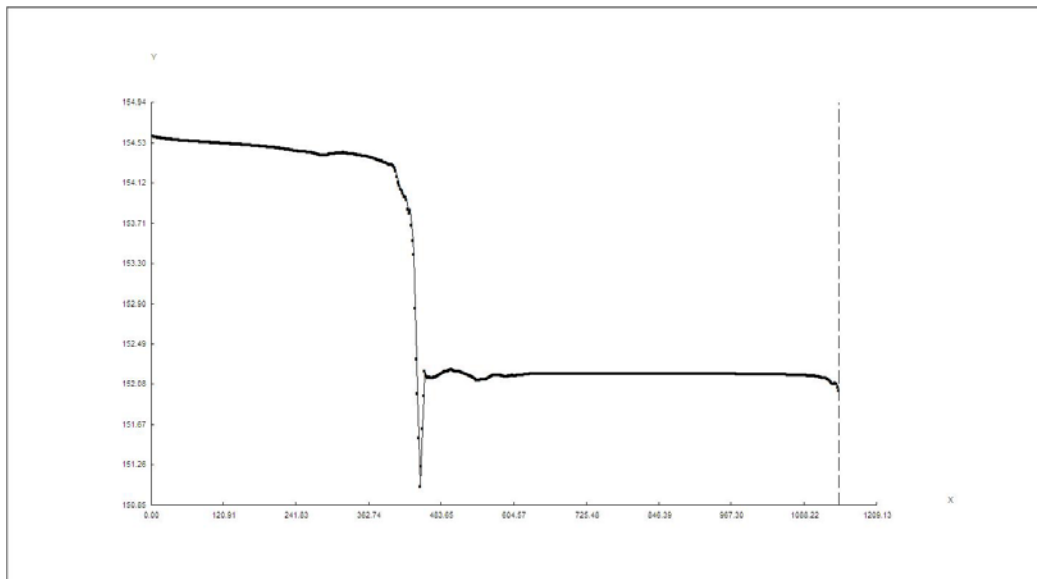
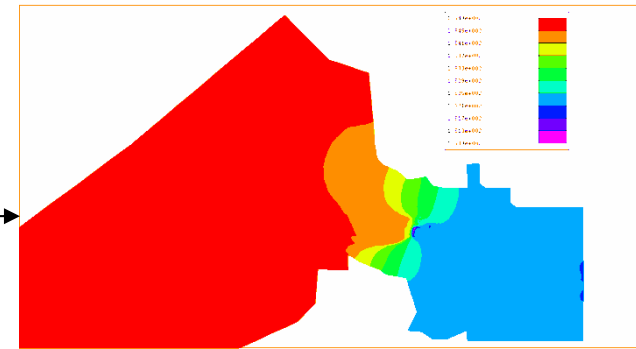
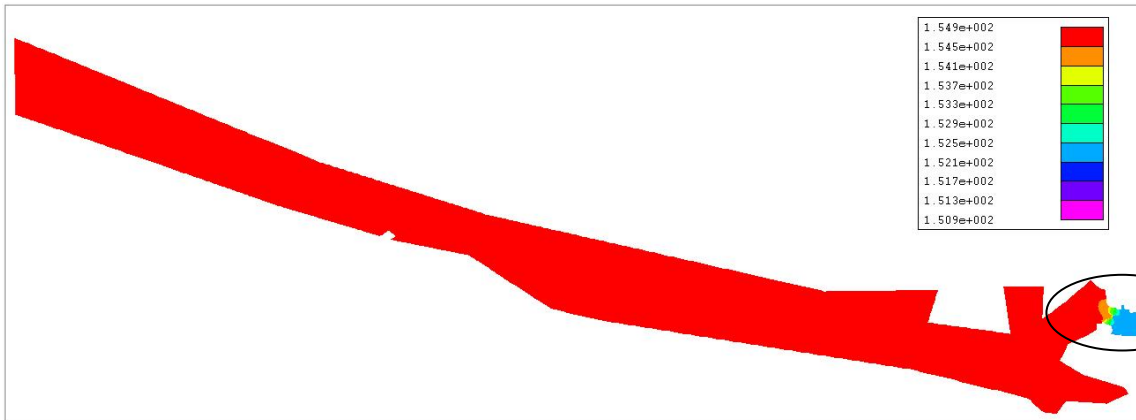
Modèle utilisé : MODELEUR/HYDROSIM (Heniche *et al.*, 2000)

Discrétisation des équations de Saint-Venant dans le plan horizontal, simulation en régime permanent

Application au lac Kénogami

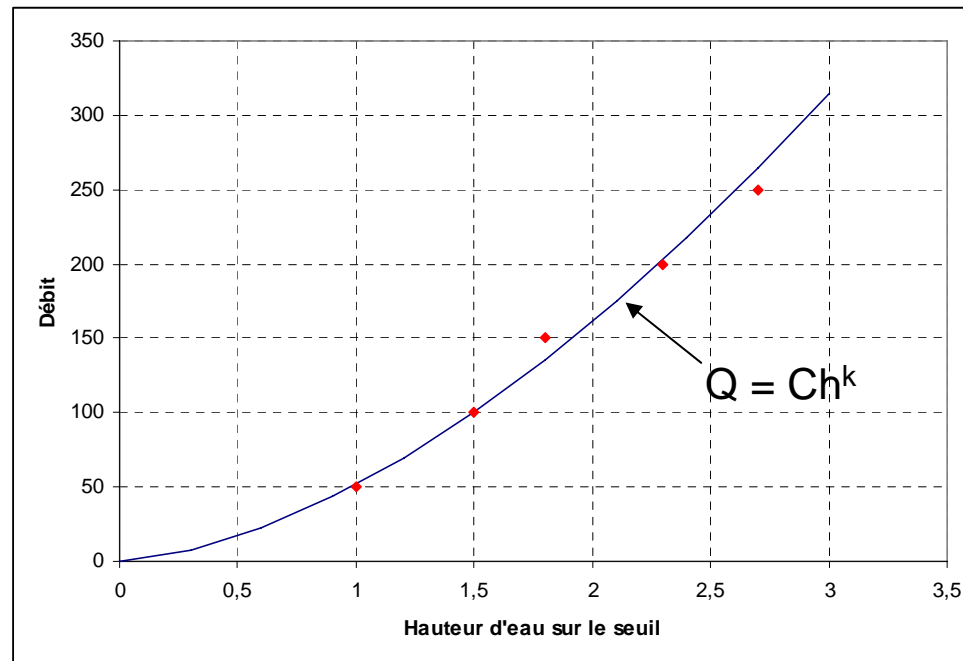


$Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$



Résultat:
Niveau dans le lac = 154,8 m

Détermination d'une relation niveau/débit



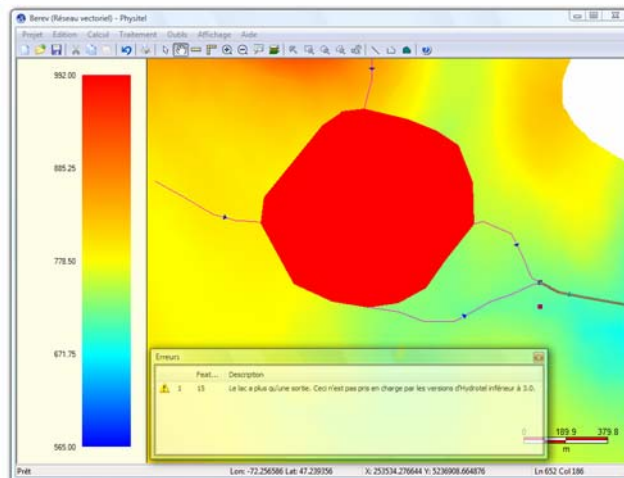
$$\log Q = \log C + k \log h$$

On en déduit C (ordonnée à l'origine) et k (pente)

Rivière Chicoutimi : C = 48 et k = 1,65

Conclusions

- Le modèle HYDROTEL est maintenant habilité à prendre en compte les lacs à sorties multiples
- Pas de changement dans le nombre de données demandées, ni dans la performance du programme
- Existence d'outils pour déterminer tous les paramètres nécessaires à la mise en place de la simulation



The screenshot shows the 'Lac à sortie multiple' dialog box. It contains the following configuration options:

- Nombre de sorties: 3
- Niveau initial: 11
- Déterminer le niveau initial automatiquement
- Algorithme:
 - Méthode CEQUEAU
 - Méthode Bourdion
- Sorties table:

	Seuil d'écoulem.	Paramètre C	Paramètre k
1	12.000000	17.500000	1.500000
2	10.000000	22.000000	0.500000
3	11.000000	22.000000	0.500000
*			

- Niveaux:
 - Surface constante: 200000
 - Niveaux table:

Niveau	Surface
1	200000 000000
2	209999 904375
3	220499 968750
4	231524 953125
5	243101 187500

Buttons: OK, Annuler

Validation météorologique du MRCC à l'échelle régionale : bassins versants des rivières Chaudière et Châteauguay

Patrick Gagnon

Brou Konan

Michel Slivitzky

Alain N. Rousseau

Adaptation du Modèle Hydrologique HYDROTEL
au Milieu Boréal Québécois, 28 mai 2008

Plan de l'exposé

- Présentation des simulations MRCC utilisées, des territoires à l'étude et méthodologie
- Résultats
 - Température minimale (stmn)
 - Température maximale (stmx)
 - Précipitation totale (pcp)

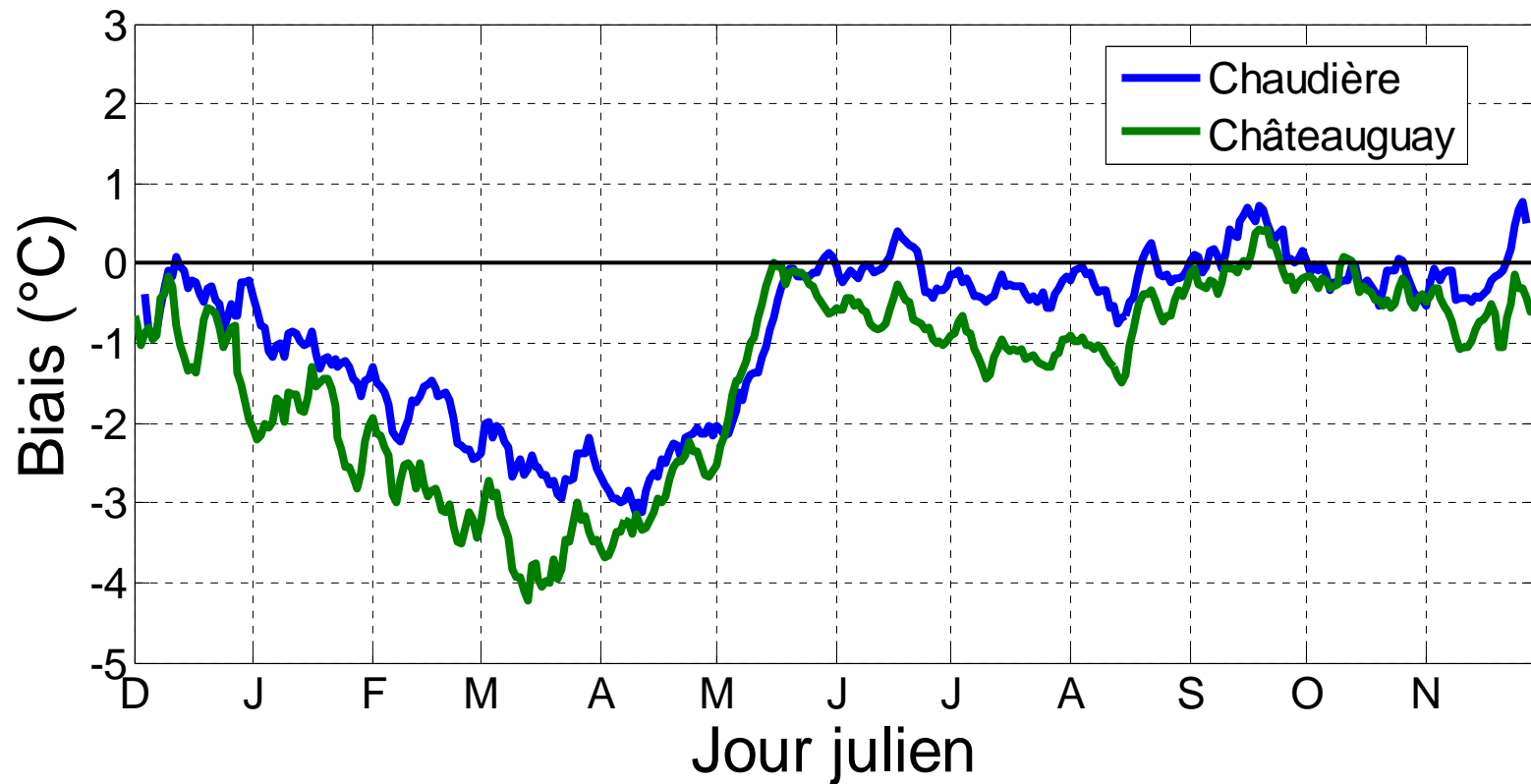
Simulations utilisées

- Version :
 - 4.0.1 pour le BV de la rivière Chaudière
 - 4.1.1 pour le BV de la rivière Châteauguayavec CLASS 2.7
- Piloté par des *réanalyses* (ERA40d)
- Domaine QC
- Point de grille = 45 km x 45 km

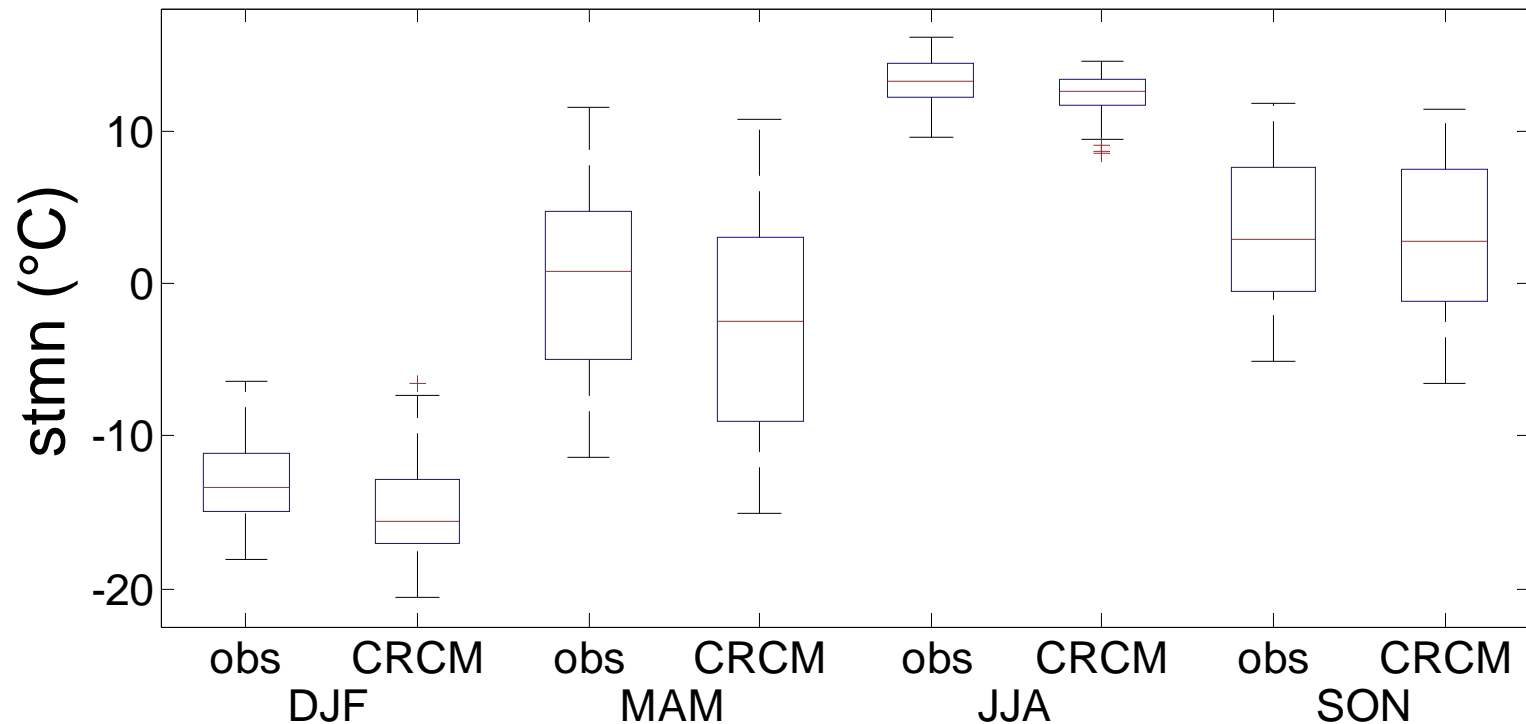
Méthodologie

- Période d'étude :
 - Chaudière = 1968-1999;
 - Châteauguay = 1963-1995.
- Valeurs mensuelles :
 - MRCC : Moyenne pondérée de Thiessen des tuiles couvrant le bassin;
 - Observations : Moyenne pondérée de Thiessen des stations.

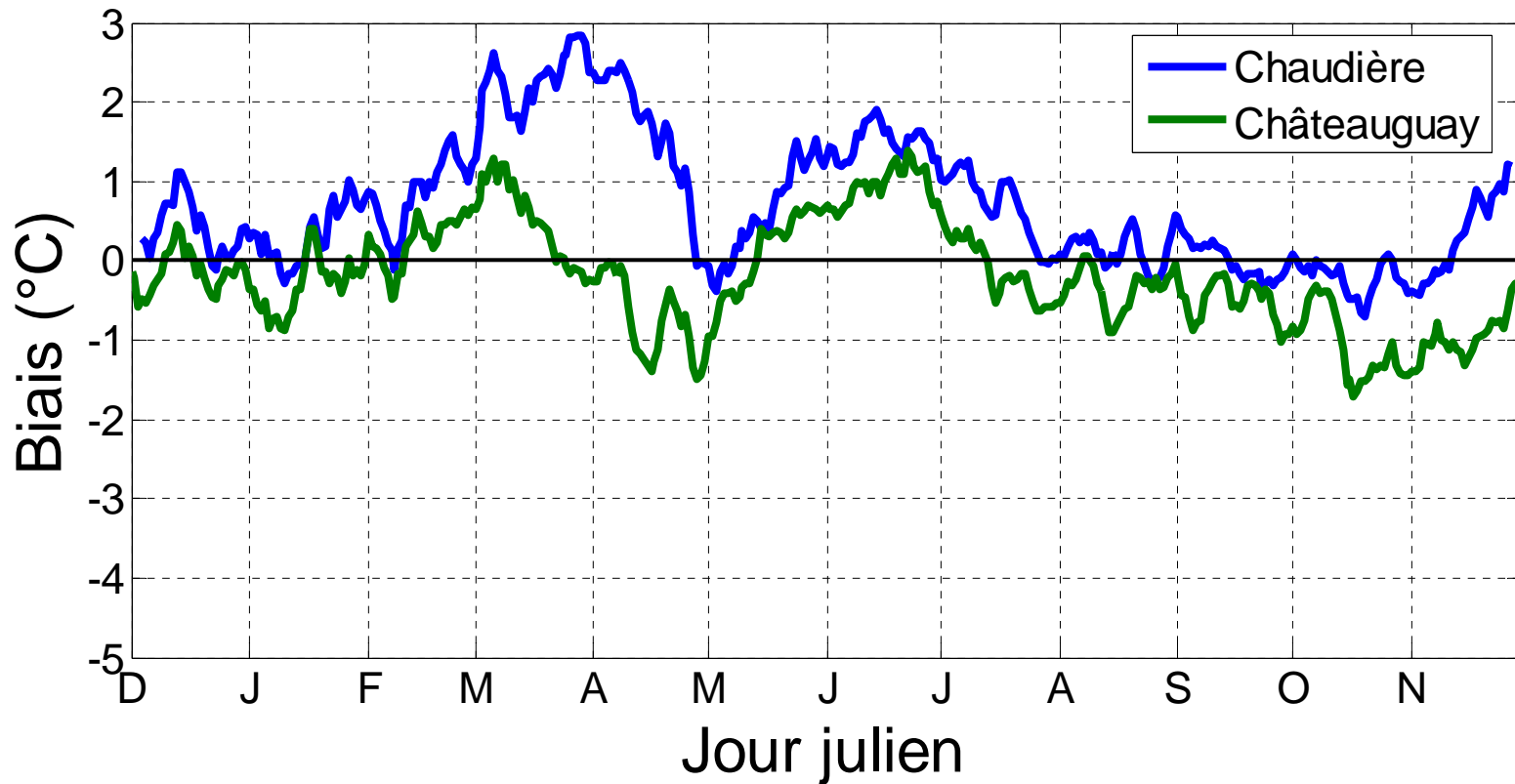
Température minimale



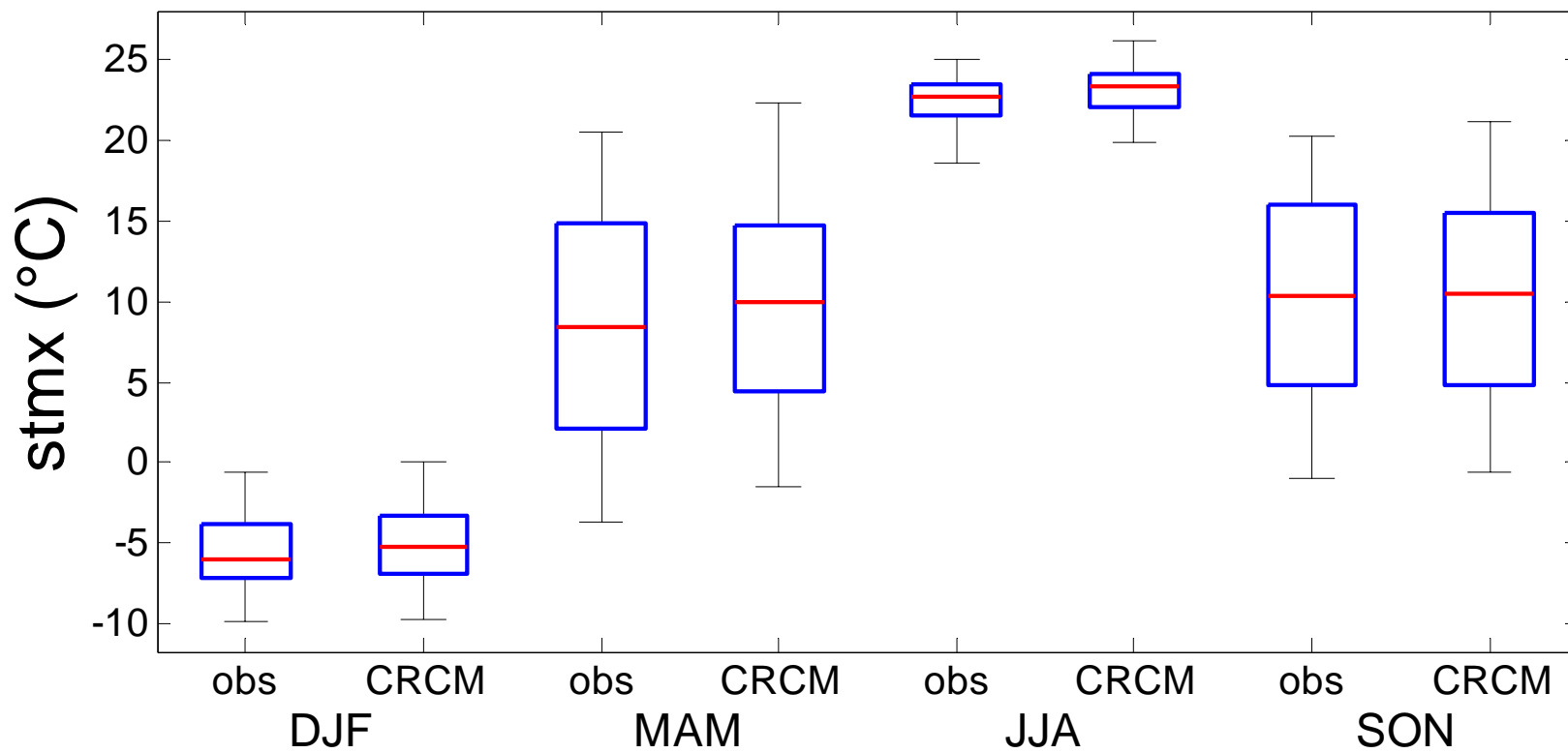
Température minimale (Châteauguay)



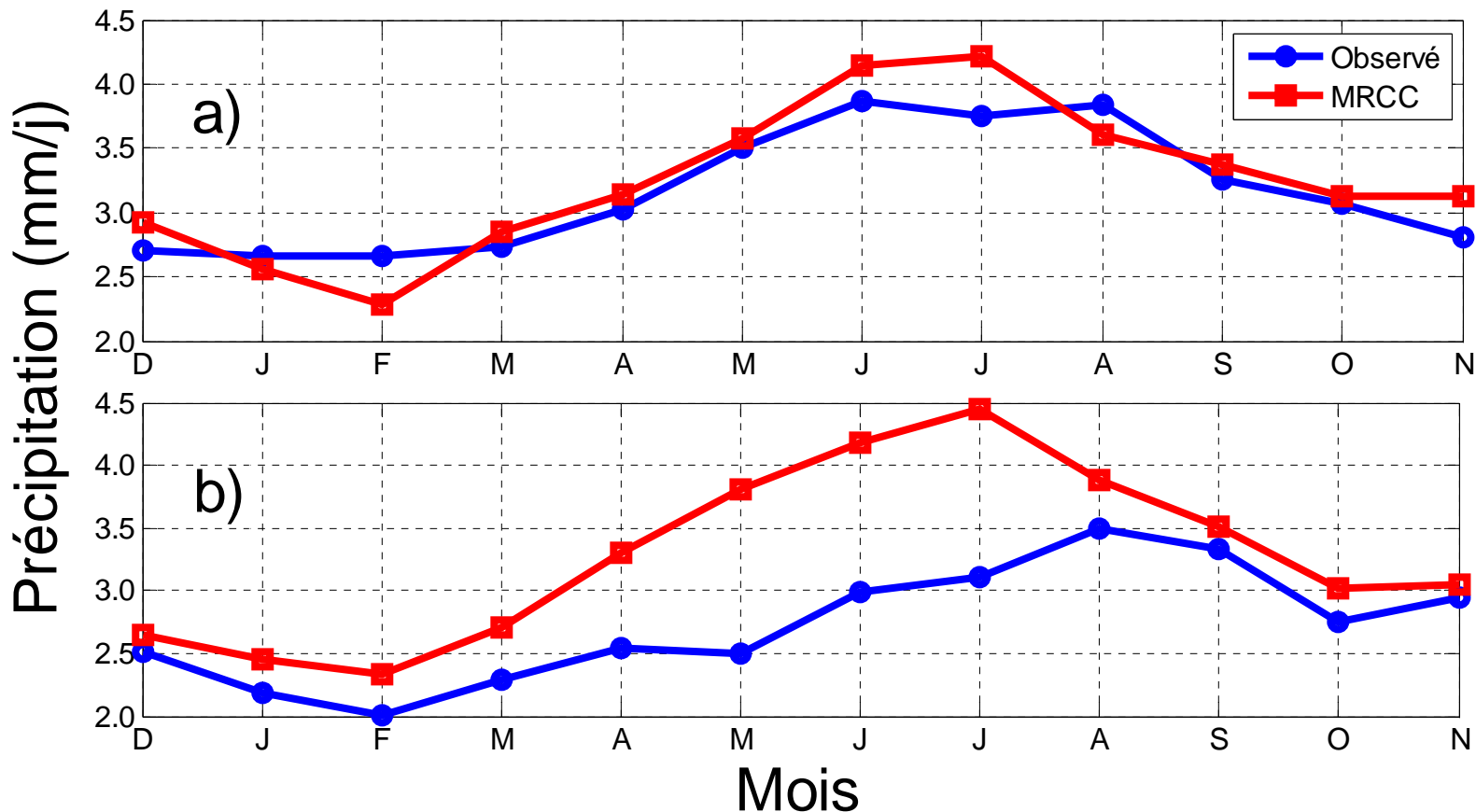
Température maximale



Température maximale (Chaudière)

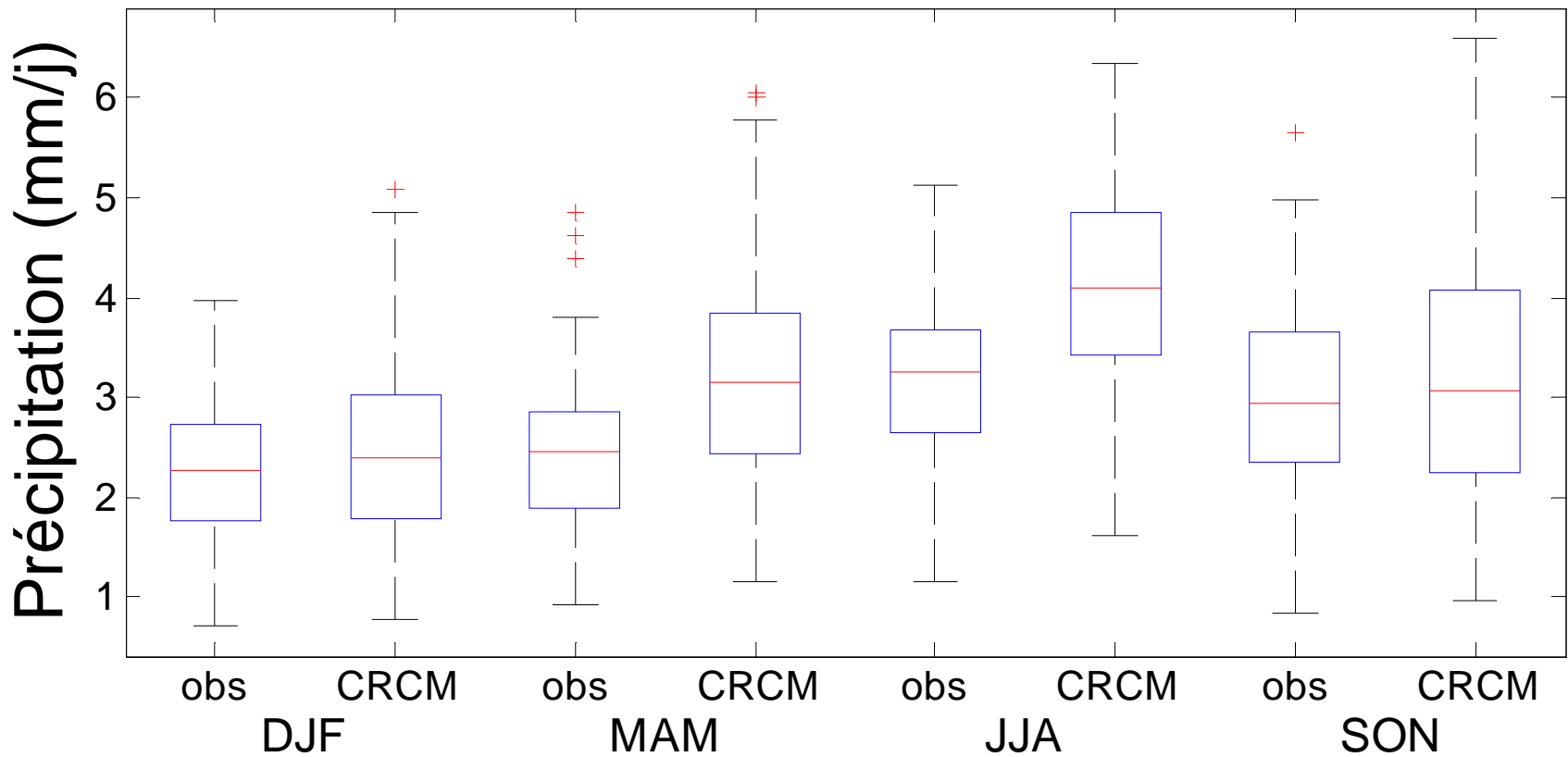


Précipitation



a) Chaudière b) Châteauguay

Précipitation (Châteauguay)



Causes potentielles des écarts

- Pilote (réanalyses ERA40)
- Faible résolution spatiale :
 - Topographie
 - Méthode d'interpolation (Thiessen)

VALIDATION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA SIMULATION

(Version 4.1.1 simulation

opérationnelle « acy » centré sur le domaine Québec) MRCC
(Modèle Régional Canadien du
Climat) AU SUD DU QUÉBEC

Centre - Eau Terre Environnement

Brou Konan
Michel Slivitzky
Alain Rousseau

INRS
Université d'avant-garde

objectifs

Évaluer le potentiel d'utilisation des sorties météorologiques du MRCC

➤ Les variables

- ❖ Températures minimales (Stmn)
- ❖ Températures maximales (Stmx)
- ❖ précipitations totales (pcp)

Méthode d'interpolation : Krigeage (Matheron, 1971; Delhomme, 1979)

Une méthode d'estimation non biaisée, de variance minimale

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

$Z^*(x_0)$ estimation au point x_0

$Z(x_i)$ point échantillonné

λ_i poids du point x_i

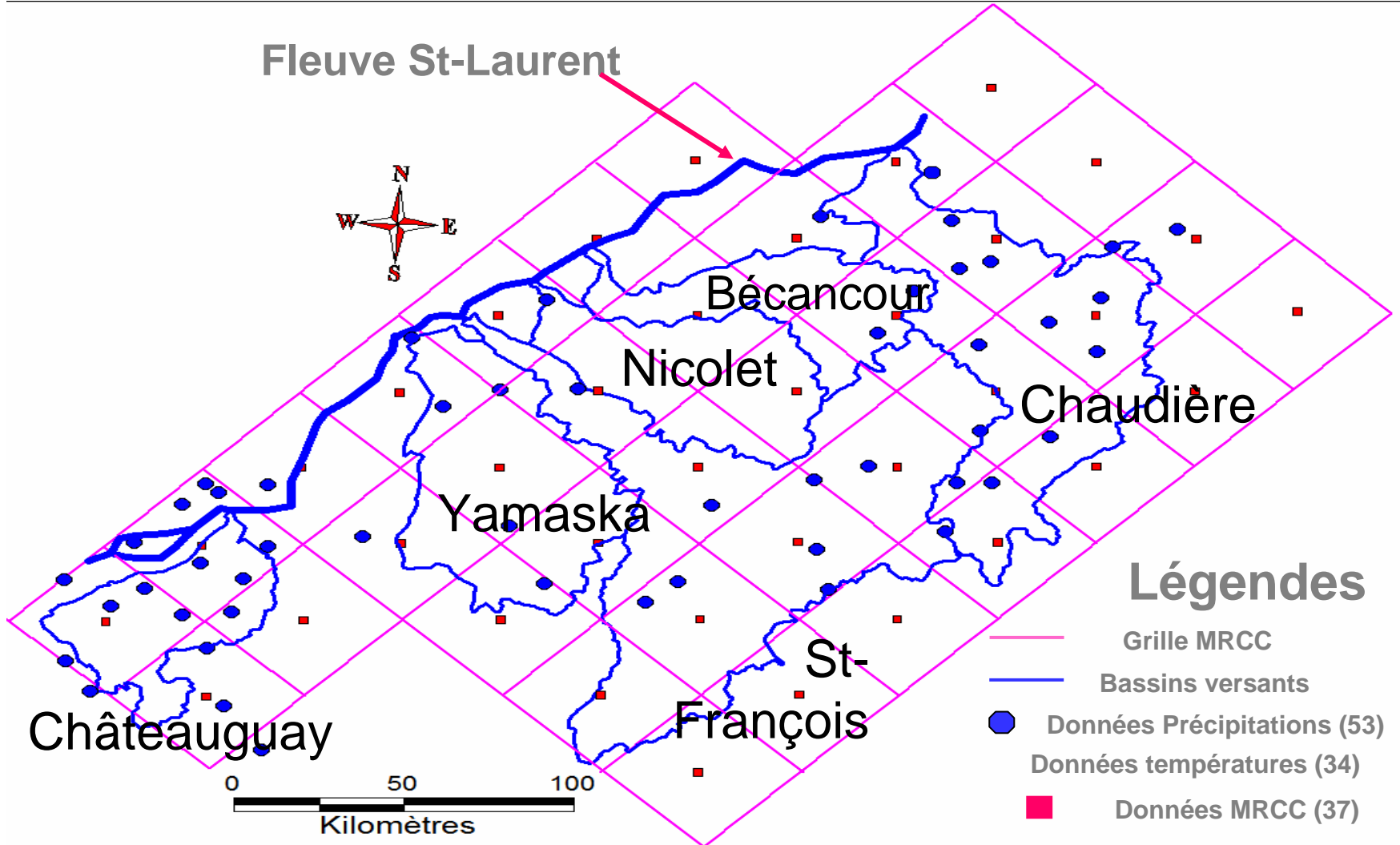
Où les λ_i sont déterminés tels que :

Biais $E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$

Variance de l'erreur
d'estimation

$\text{var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)]$ est minimale

Données : stations sur la période 1968-1998



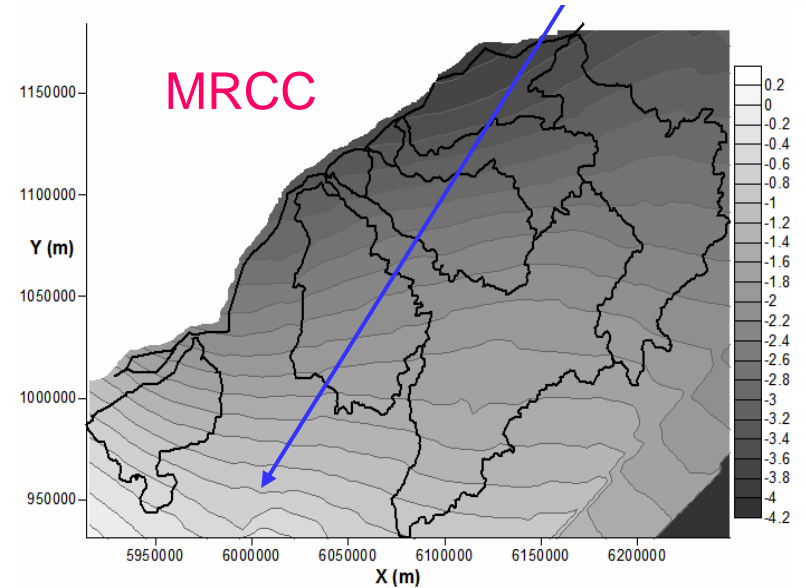
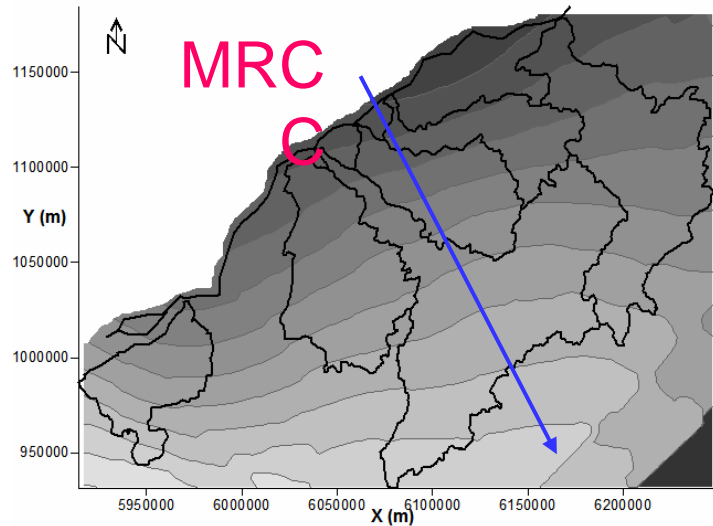
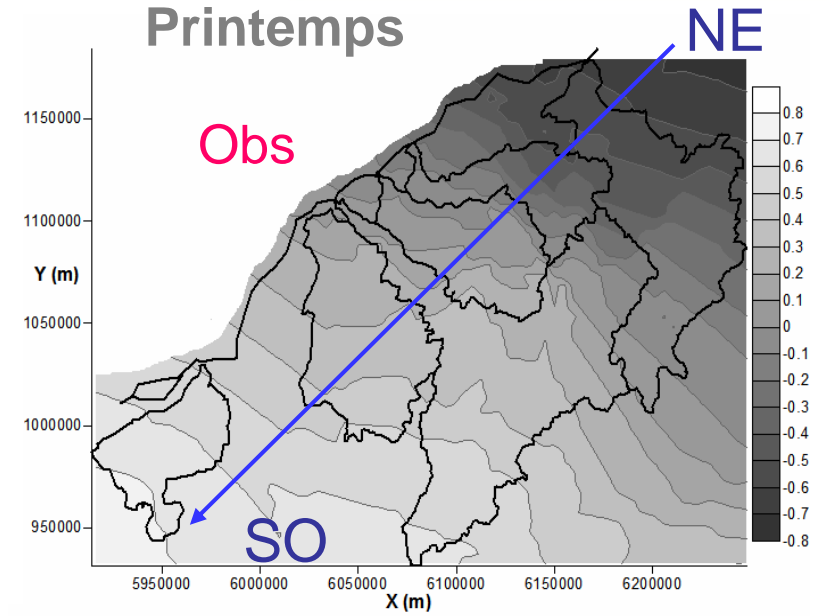
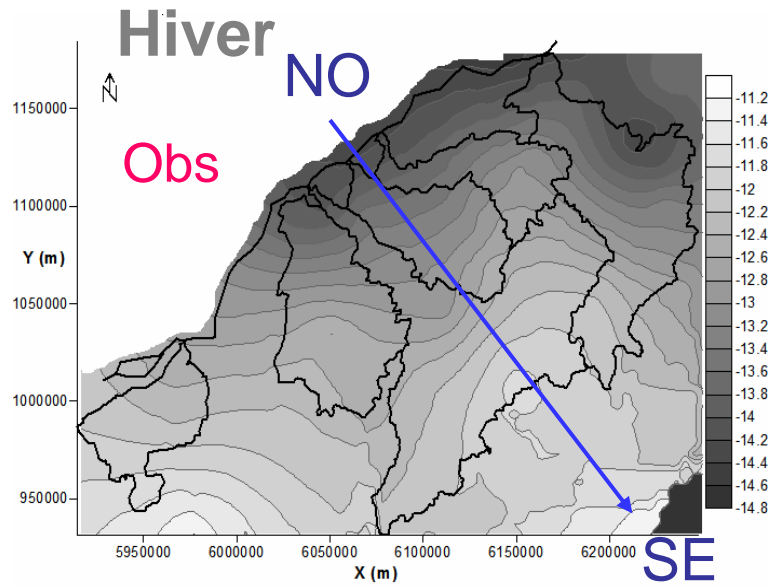
RÉSULTATS

- **Variation spatiale (palier variogramme)**
- **Les cartes d'isovaleurs**
- **Moyennes par bassin versant**

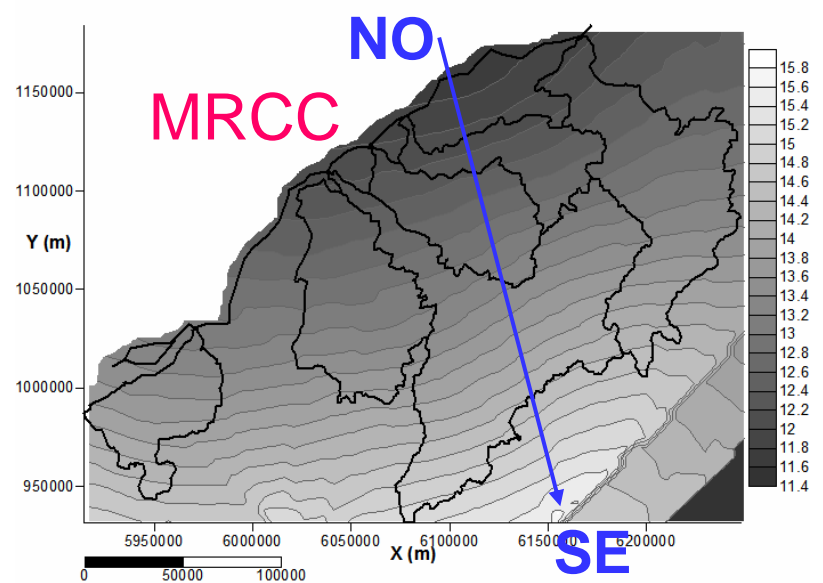
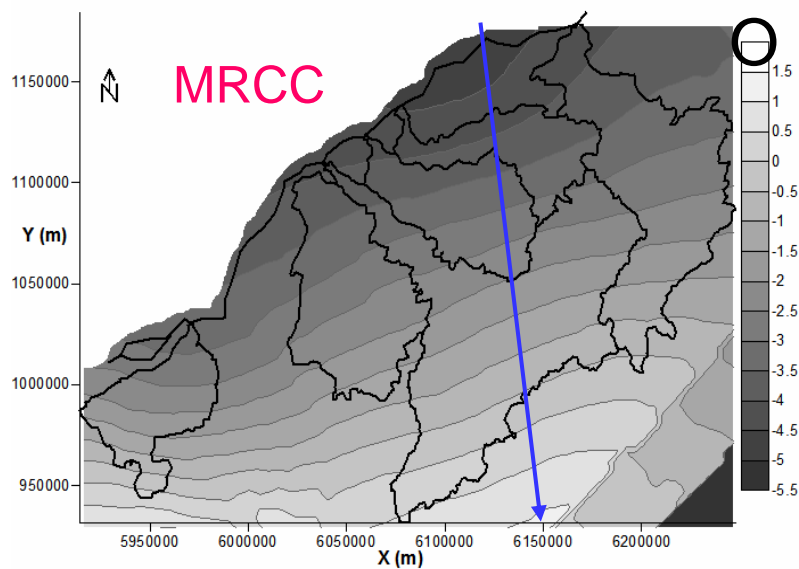
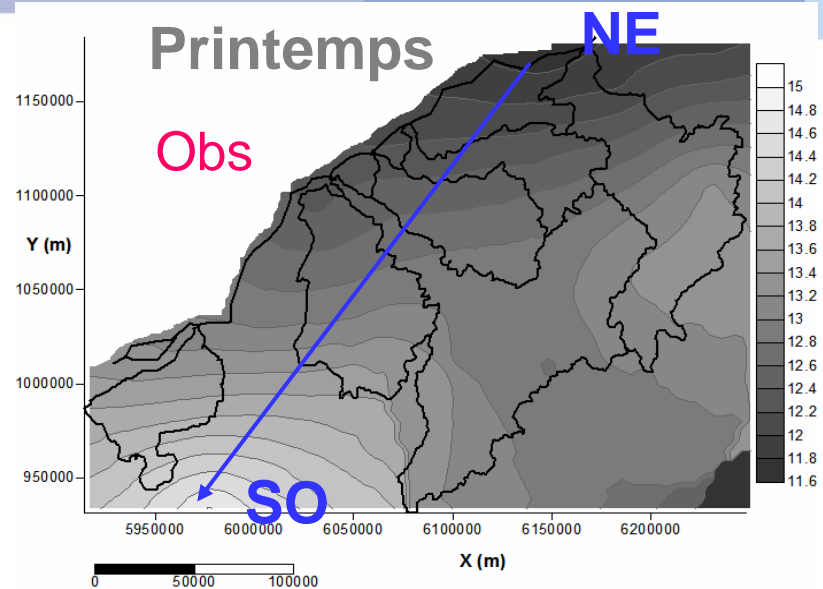
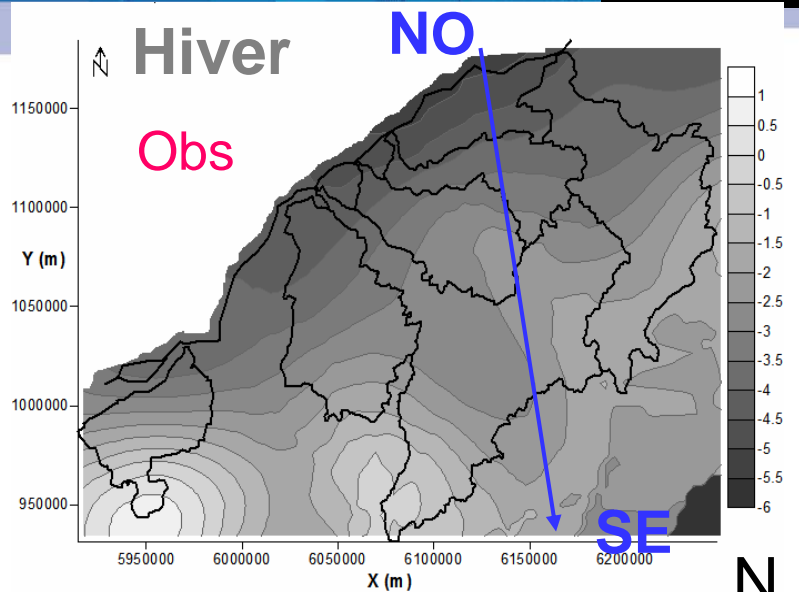
Le palier évalue la variation spatiale

		Stmn ($^{\circ}\text{C}^2$)	Stmx ($^{\circ}\text{C}^2$)	Pcp (mm^2/j)
Annuel	Observations	1,2	0,8	0,14
	MRCC	2,1	2,1	0,08
Hiver	Observations	1,5	1,5	0,26
	MRCC	3,0	4,1	0,04
<i>Printemps</i>	Observations	1,3	1,0	0,30
	MRCC	2,0	2,1	0,10
<i>Été</i>	Observations	2,4	1,9	0,32
	MRCC	2,1	2,2	0,22
Automne	Observations	1,2	2,2	0,11
	MRCC	2,0	2,1	0,09

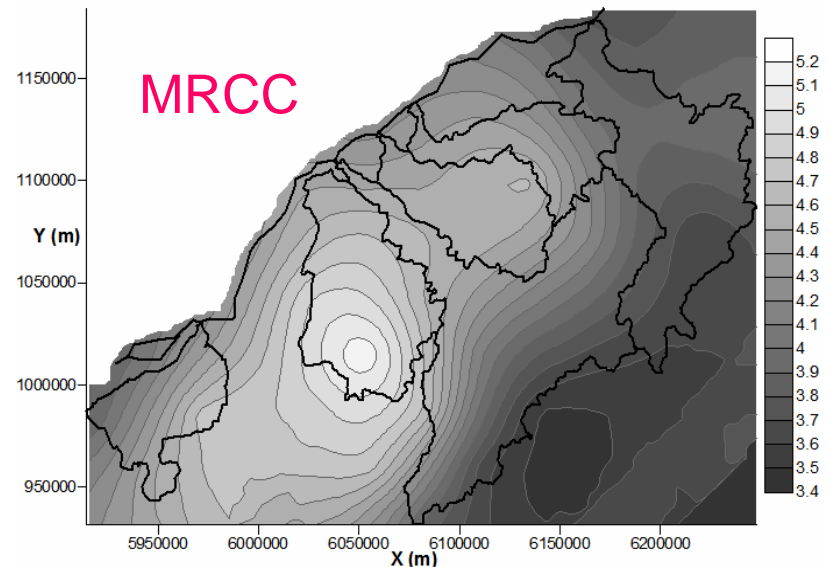
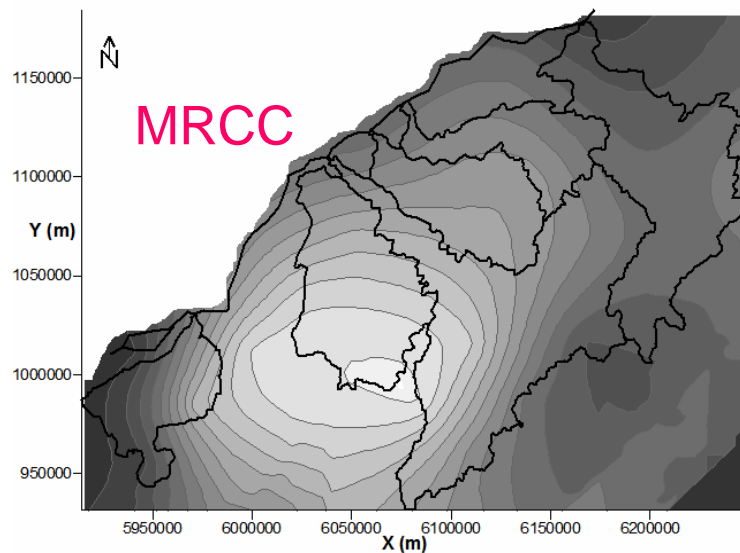
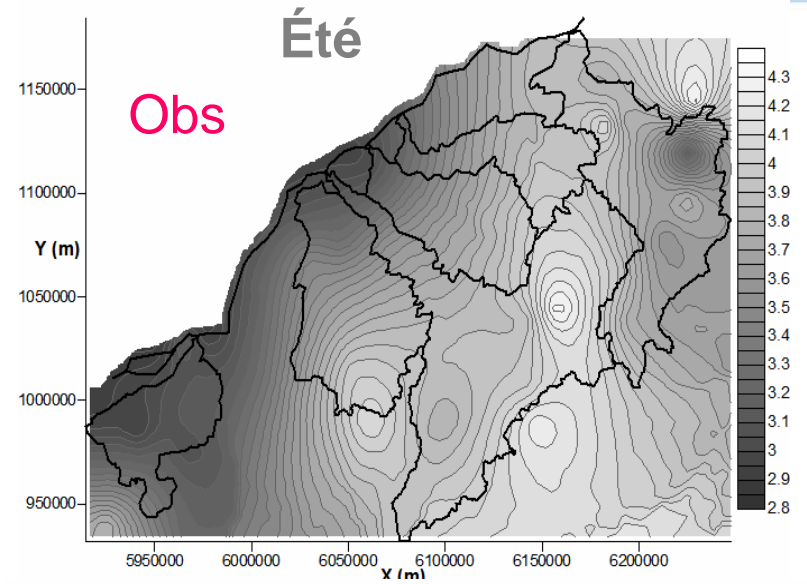
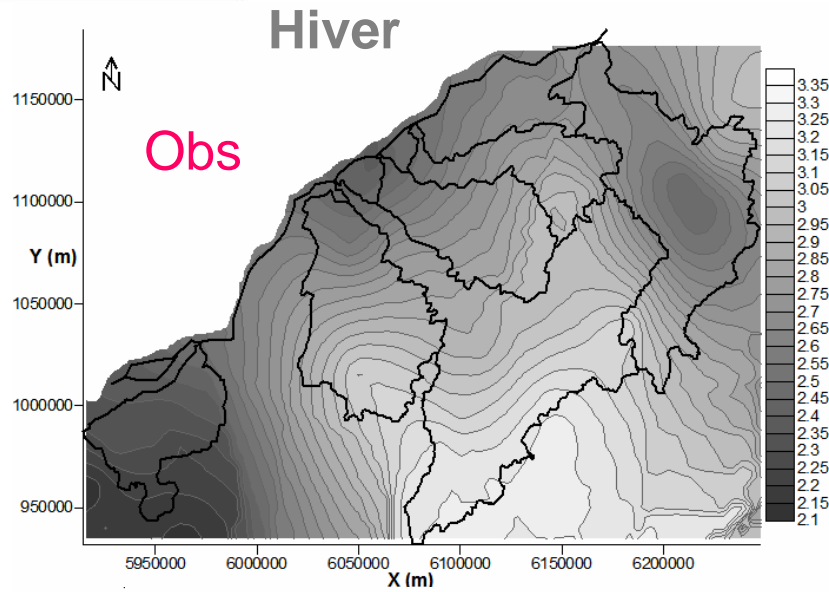
Température minimale



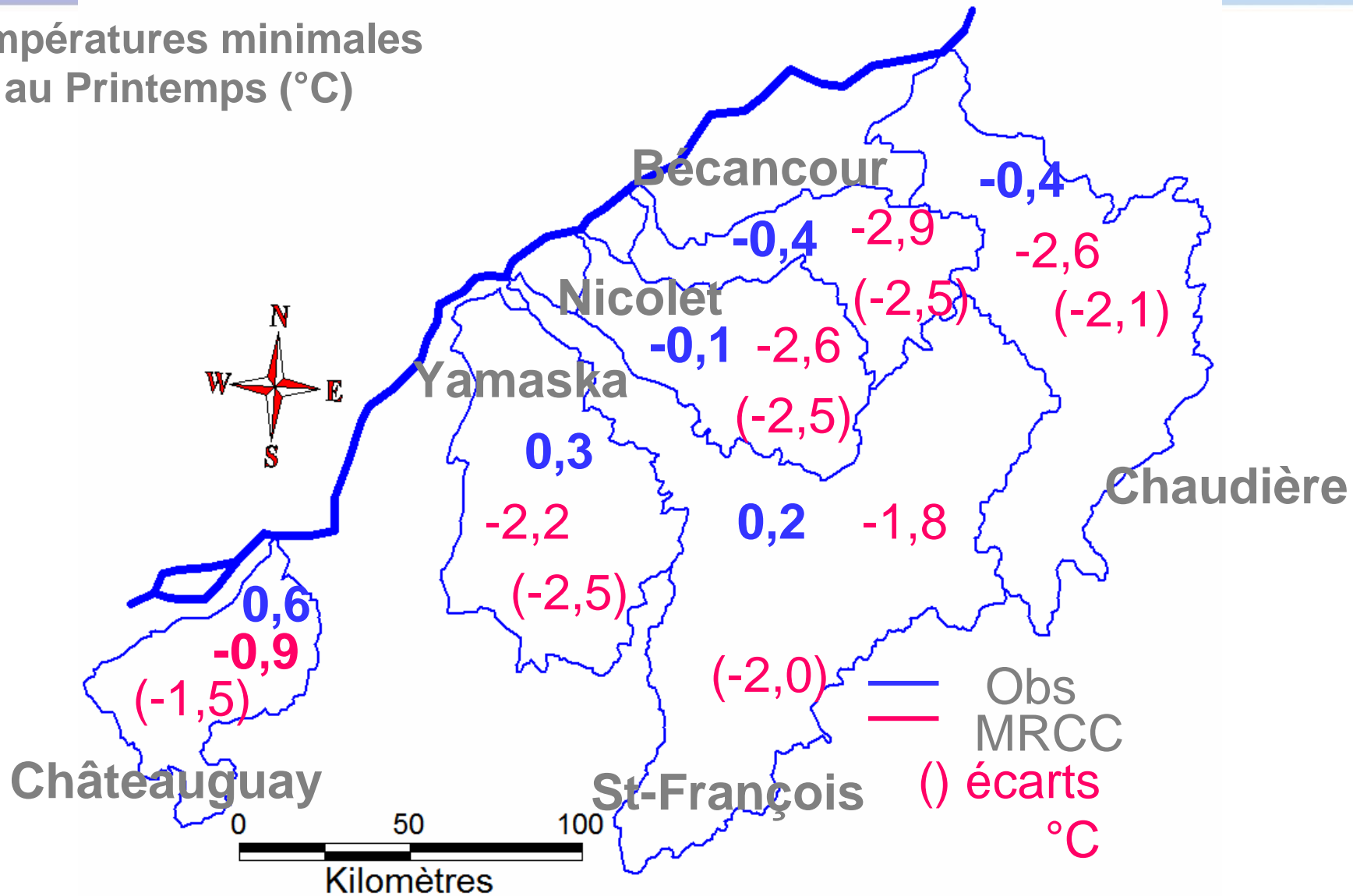
Température maximale



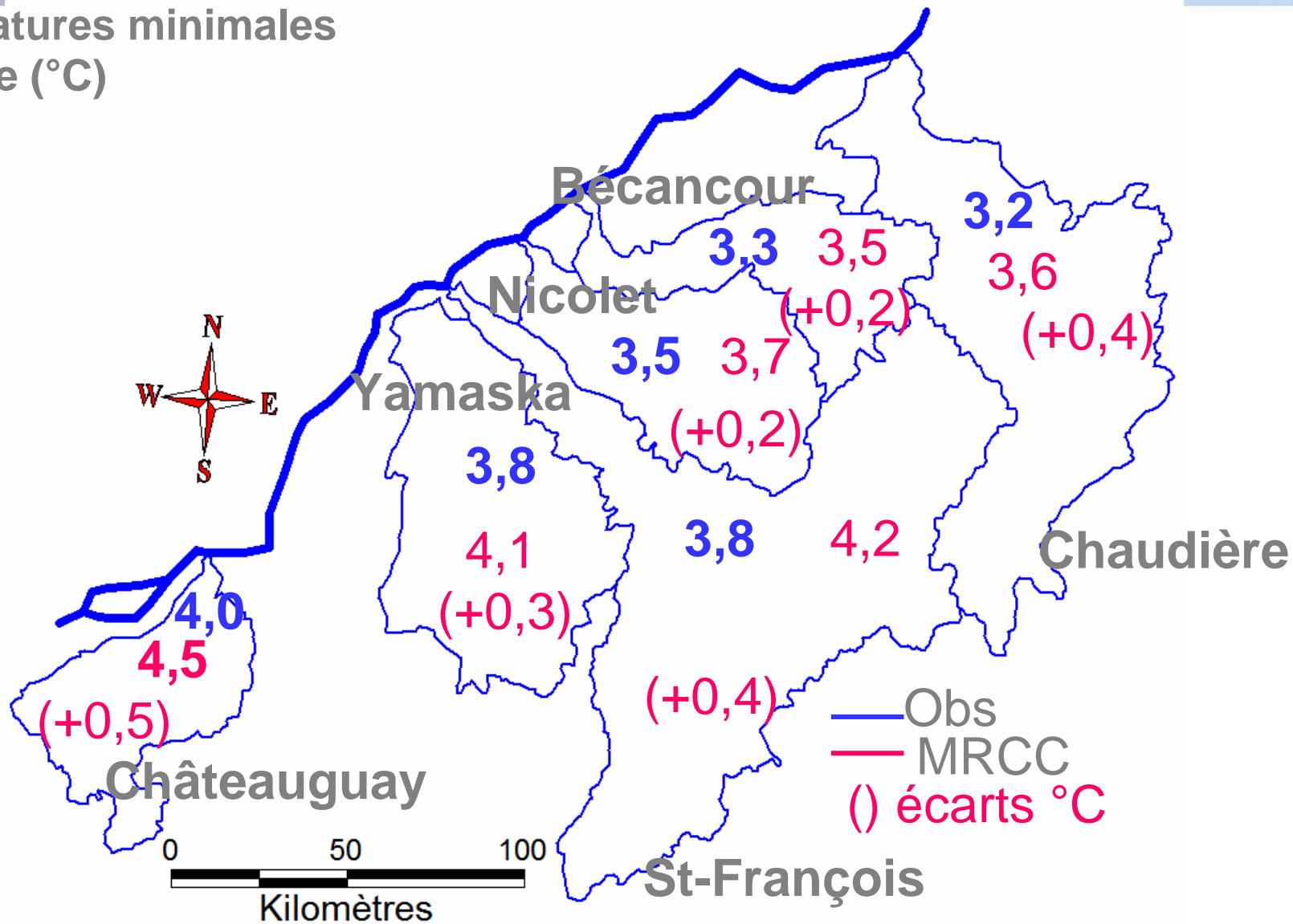
Précipitations totales



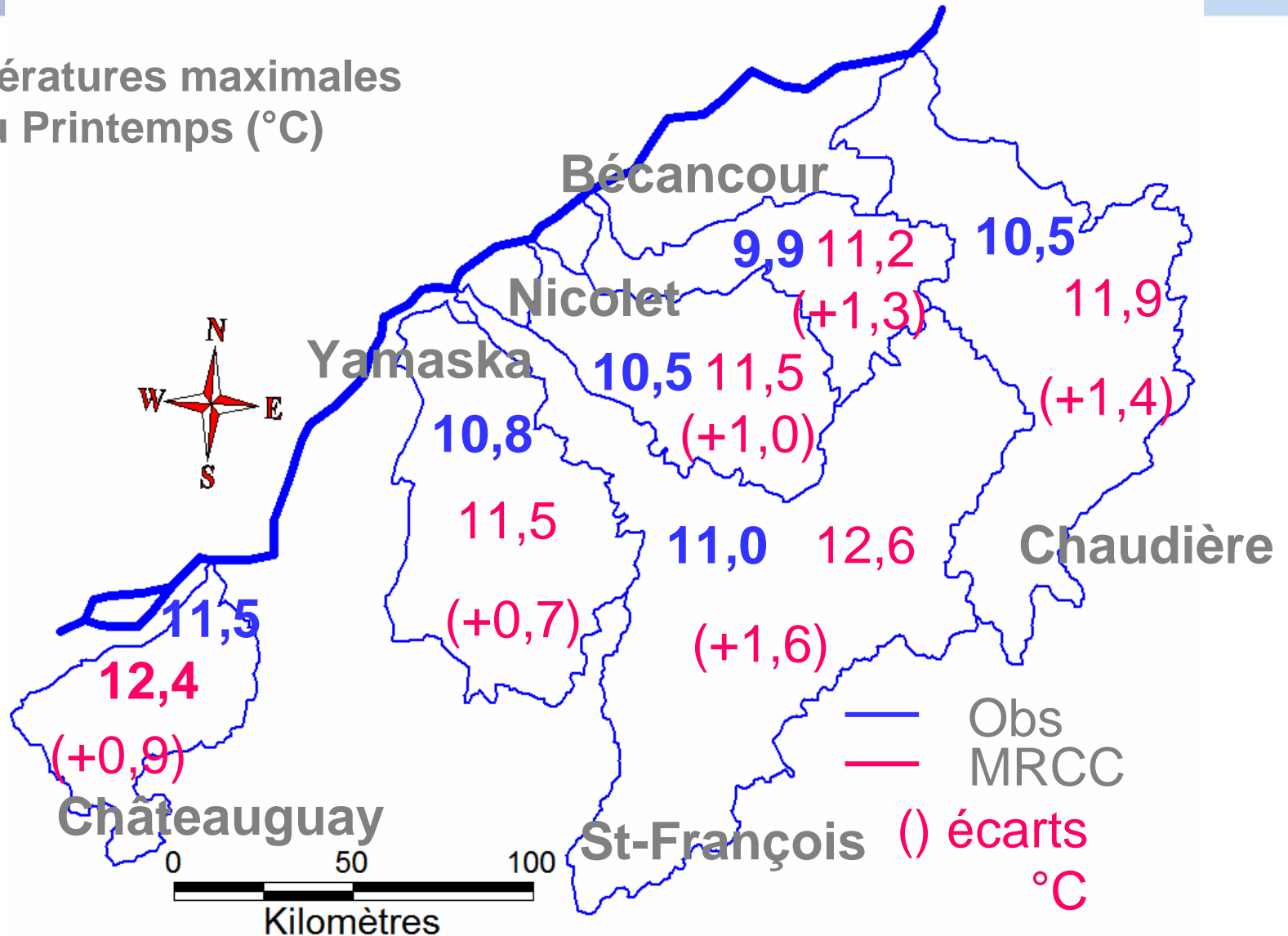
Températures minimales au Printemps (°C)



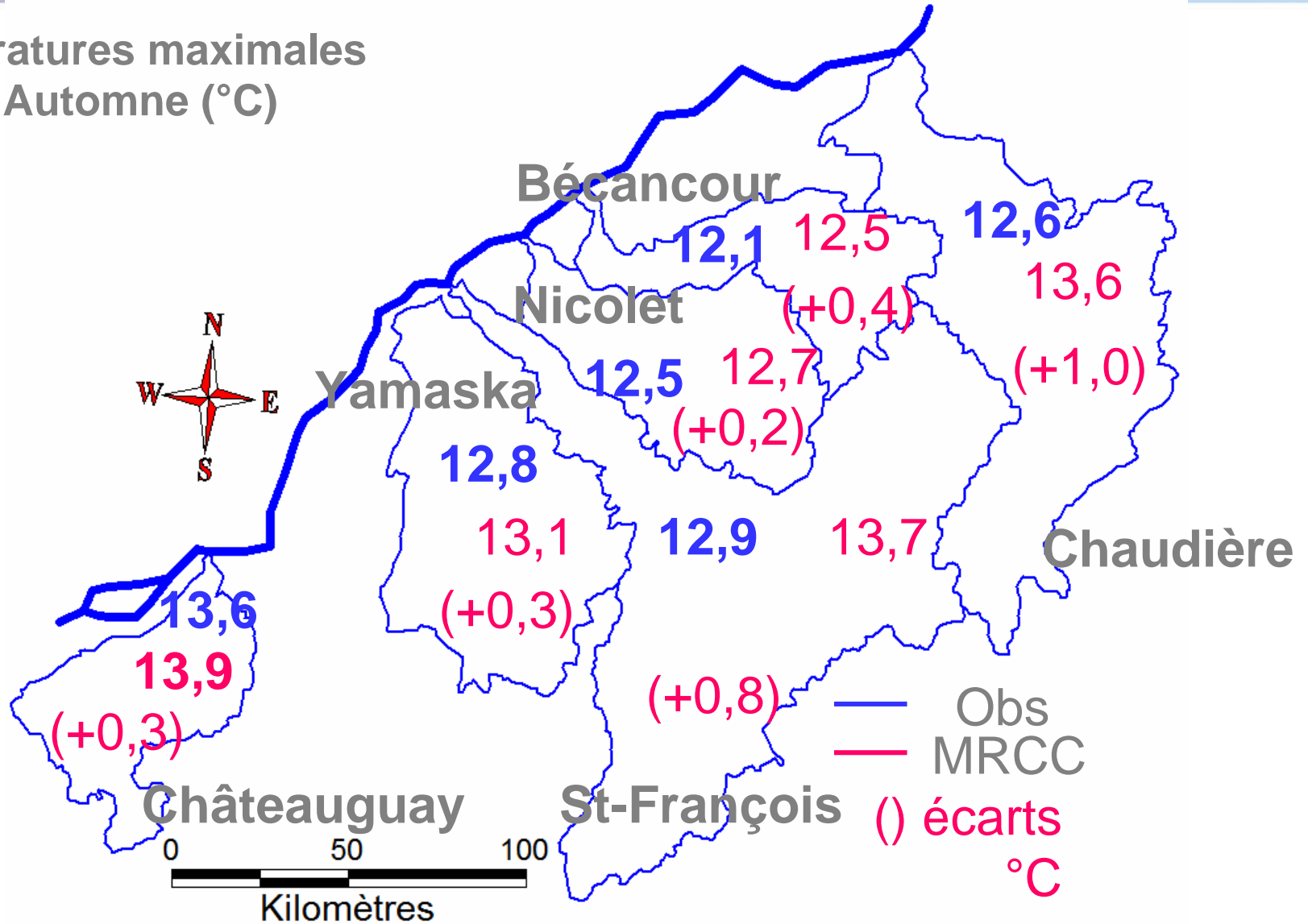
Températures minimales Automne (°C)



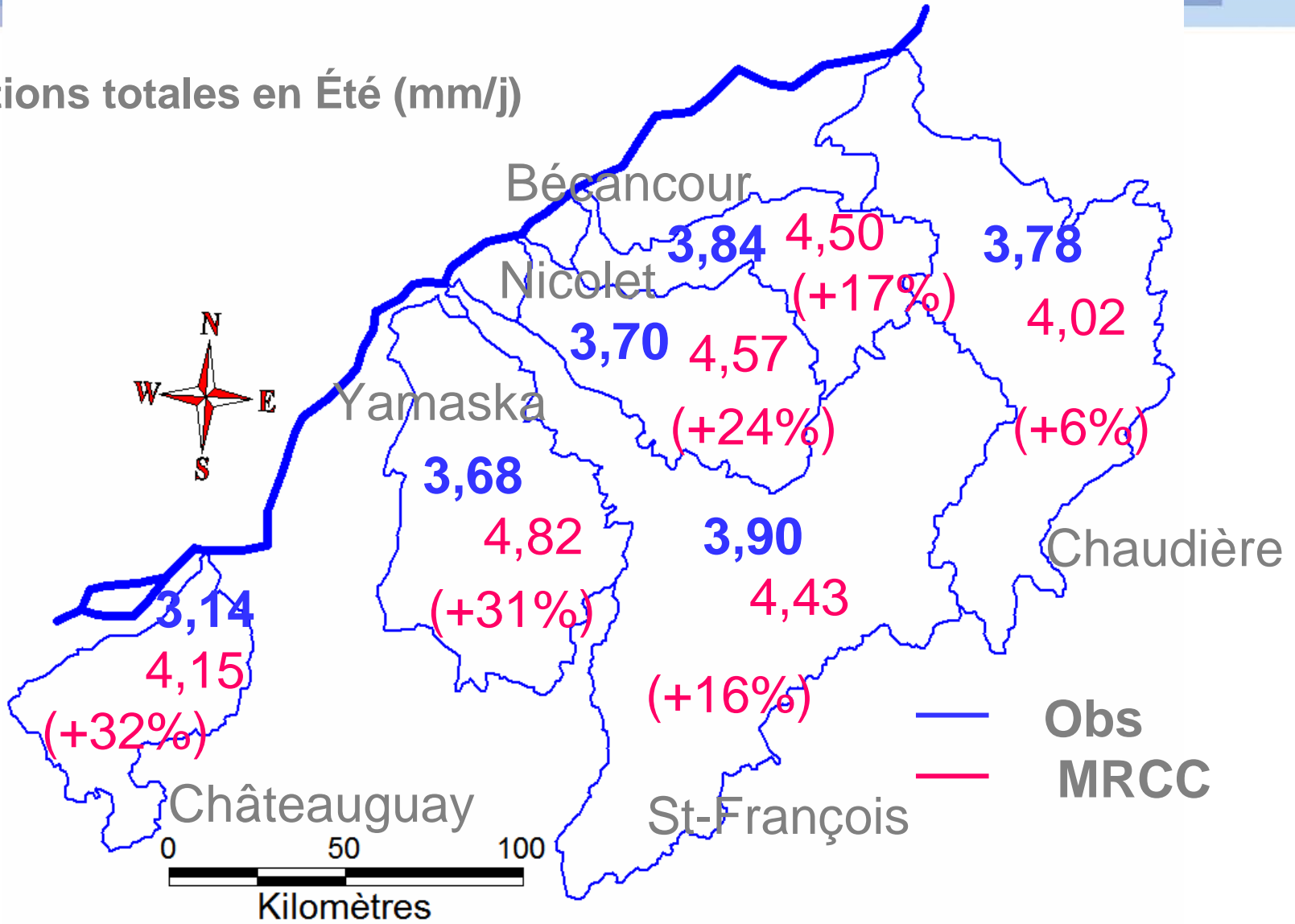
Températures maximales au Printemps (°C)



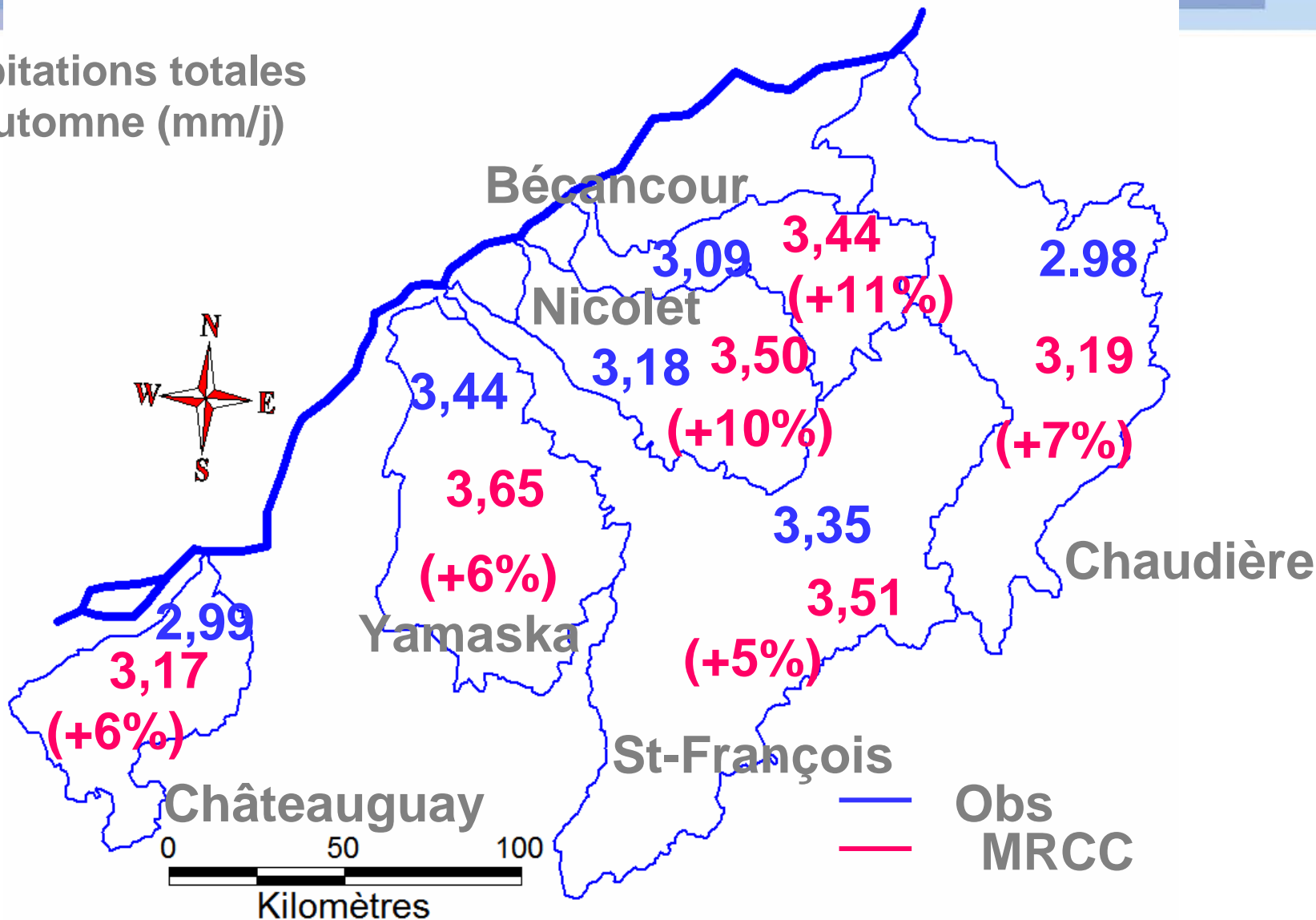
Températures maximales en Automne (°C)



Précipitations totales en Été (mm/j)



Précipitations totales en Automne (mm/j)



CONCLUSION TEMPÉRATURES MINIMALES

- Les simulations du MRCC sont plus variables dans l'espace. Elles sont plus froides, sauf en Automne;
- Écarts plus élevés en Hiver (entre -1,2 et -0,7 °C) au Printemps (entre -2,6 et -1,5 °C);
- Meilleures estimations en automne et Été (écarts entre 0,2 et 0,6 °C);
- Écarts , généralement, plus élevés sur les bassins versants de Bécancour, Nicolet et Yamaska (parmi les plus petites superficies)

CONCLUSION TEMPÉRATURES MAXIMALES

- Simulation MRCC plus variable dans l'espace et plus chaude que les observations;
- Écarts plus grands au Printemps (entre 0,7 et 1,6 °C) et en Été (entre 0,8 et 1,3°C);
- Meilleure estimation en automne;
- Écarts, généralement, plus élevés sur les bassins versants de St-François et Chaudière (plus grandes superficies)

CONCLUSION PRÉCIPITATIONS

- Simulation MRCC moins variable dans l'espace que les observations
- Simulation MRCC, généralement, plus élevée que les observations sauf en hiver
- Les moyennes sur les bassins versants
 - ❖ Meilleures estimations des précipitations sur les saisons d'hiver et d'Automne
 - ❖ Écarts plus grands au printemps et en Été surtout pour les bassins de Châteauguay, Yamaska et Nicolet
 - ❖ Les moyennes sur les bassins versants de Chaudière et St-François (grandes superficies) sont correctement estimées

Utilisation de Méthodes Statistiques pour la Distribution Spatiale de la Précipitation Simulée par le MRCC

Patrick Gagnon

Alain N. Rousseau

Daniel Caya

Adaptation du Modèle Hydrologique HYDROTEL
au Milieu Boréal Québécois, 28 mai 2008

Problématique

La variabilité spatiale de la précipitation est forte :

- Les modèles hydrologiques sont sensibles à la résolution de la précipitation (Koren et al., 1999).
- Importance d'une forte résolution pour évaluer l'impact des CC (Vrac et al., 2007).
- Répartir uniformément la précipitation à l'intérieur d'une tuile d'un MRC n'est pas réaliste.

Objectif

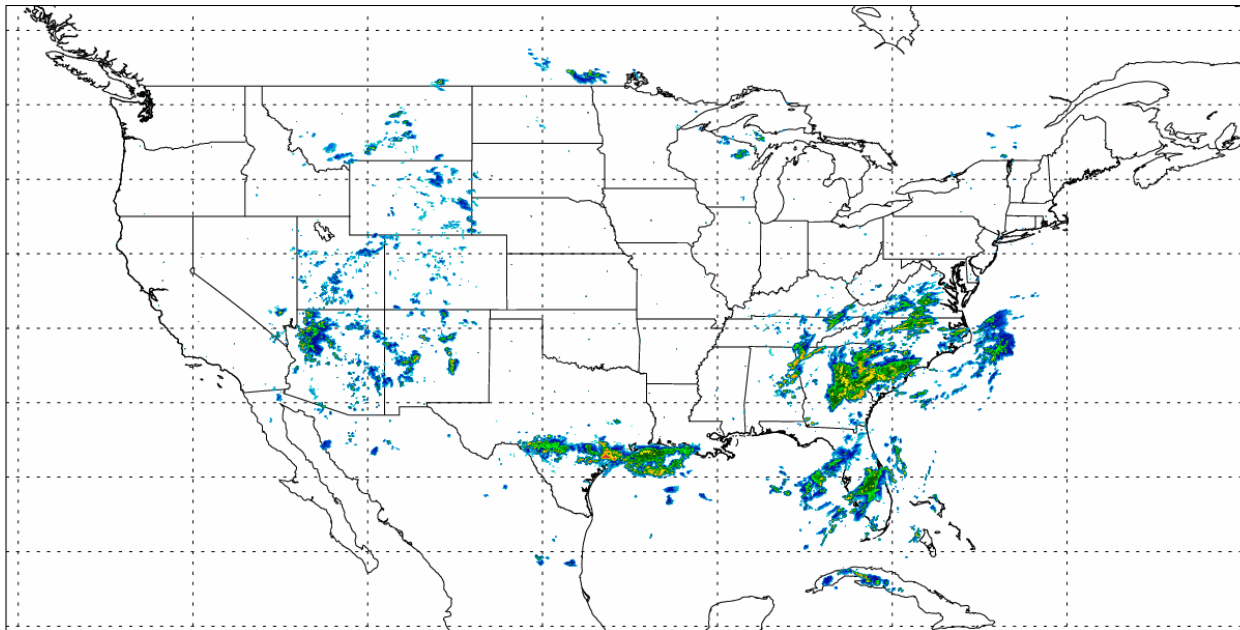
Trouver une méthode statistique capable de reproduire suffisamment bien la variabilité spatio-temporelle de la précipitation.

Évaluation de la performance : Simulation hydrologique.

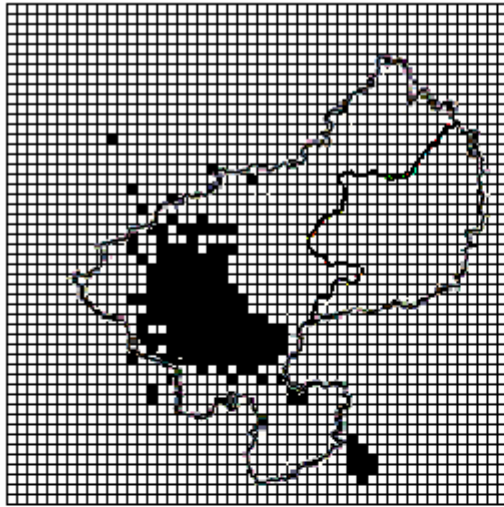
Travaux en cours

Données de radars disponibles (NOWRAD) :

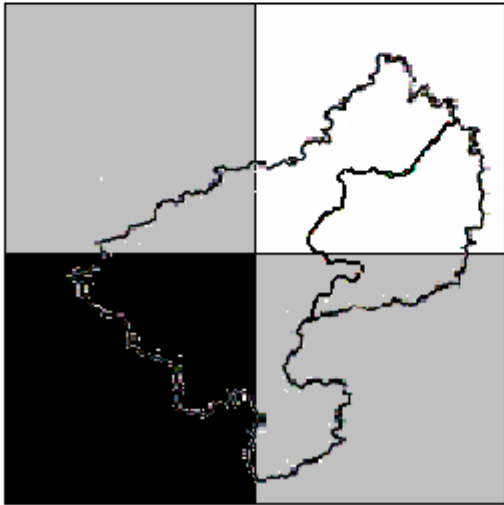
- Territoire : É.-U. (48 états)
- Période : Une photo à toutes les 15 minutes de 1995 à 2007
- Résolution spatiale = 2 km



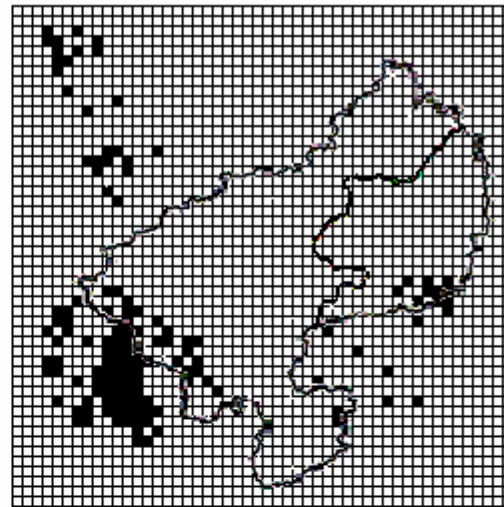
originale



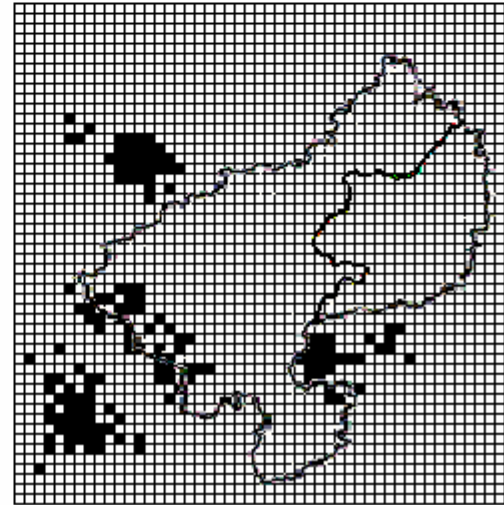
agrégée



désagrégées

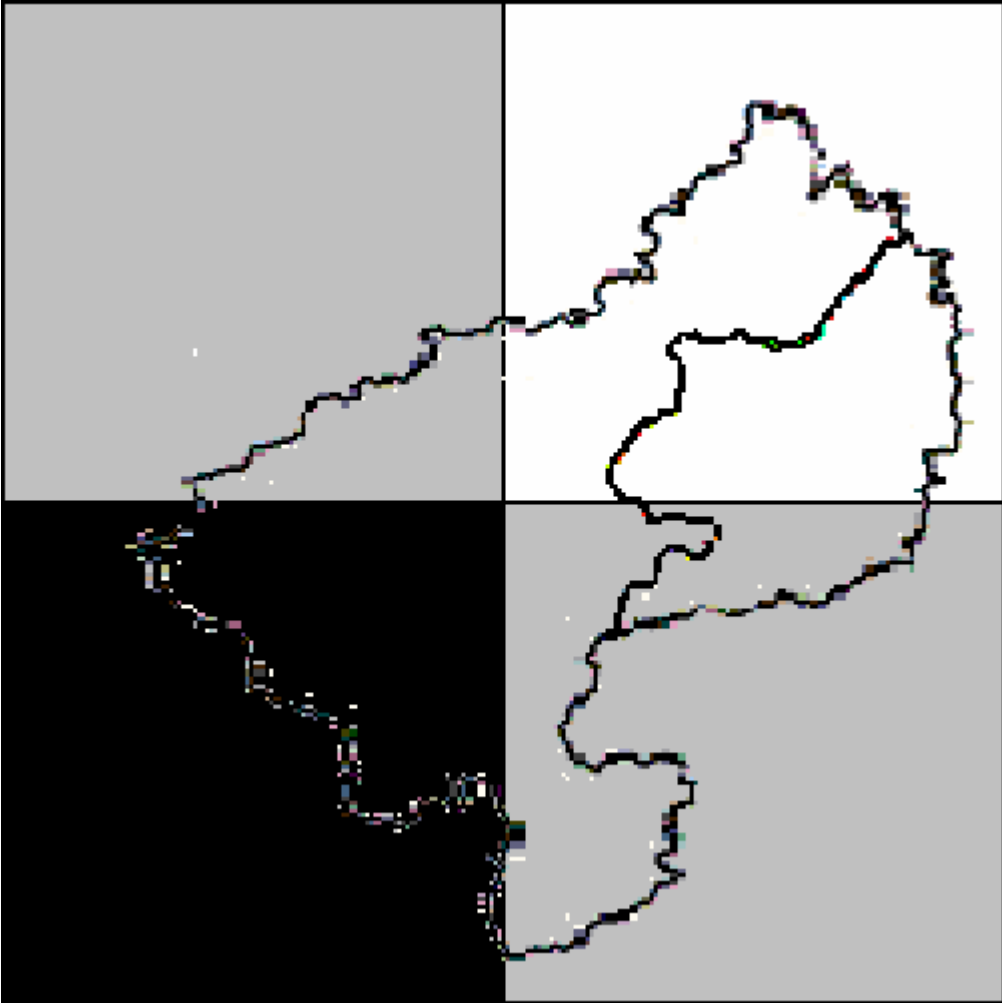


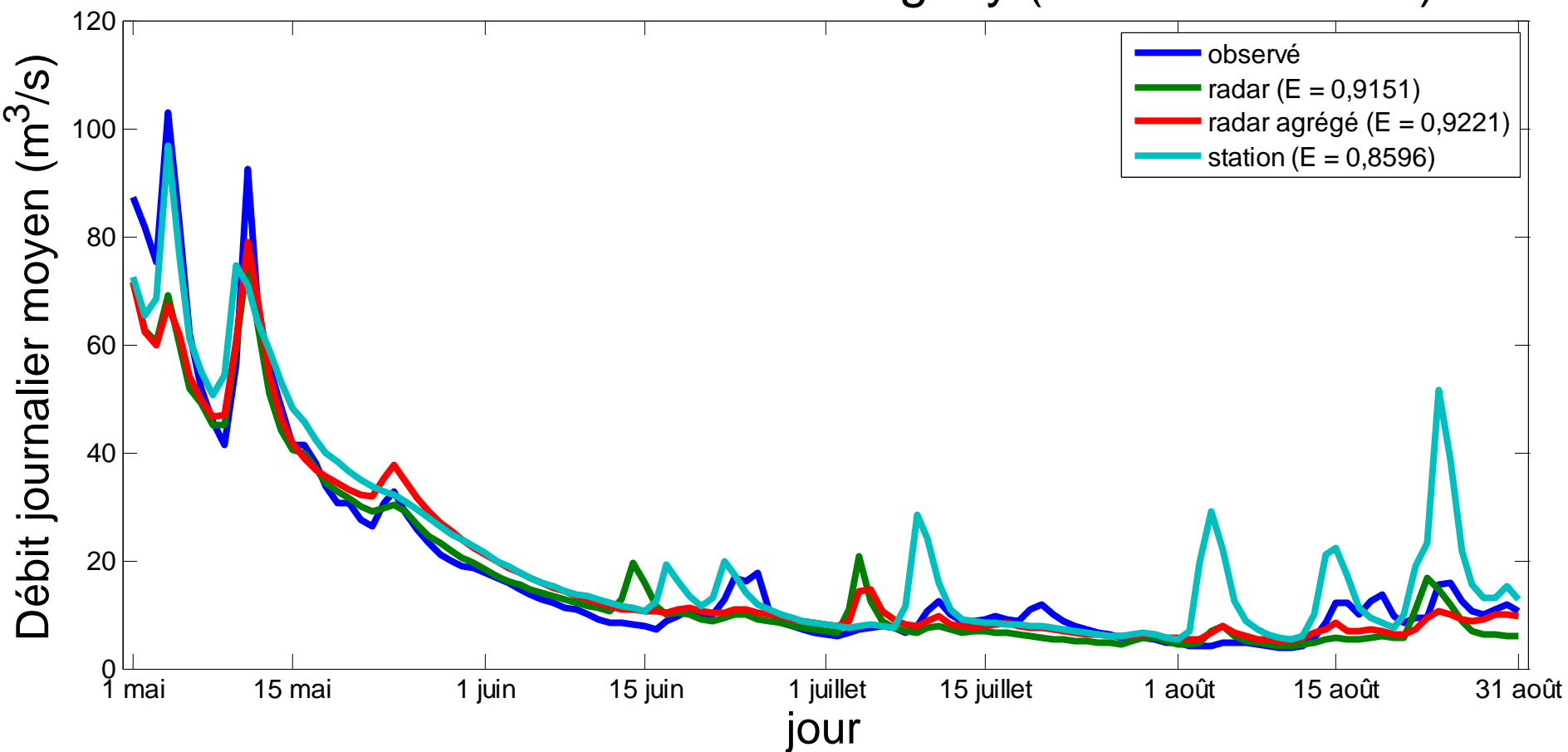
...

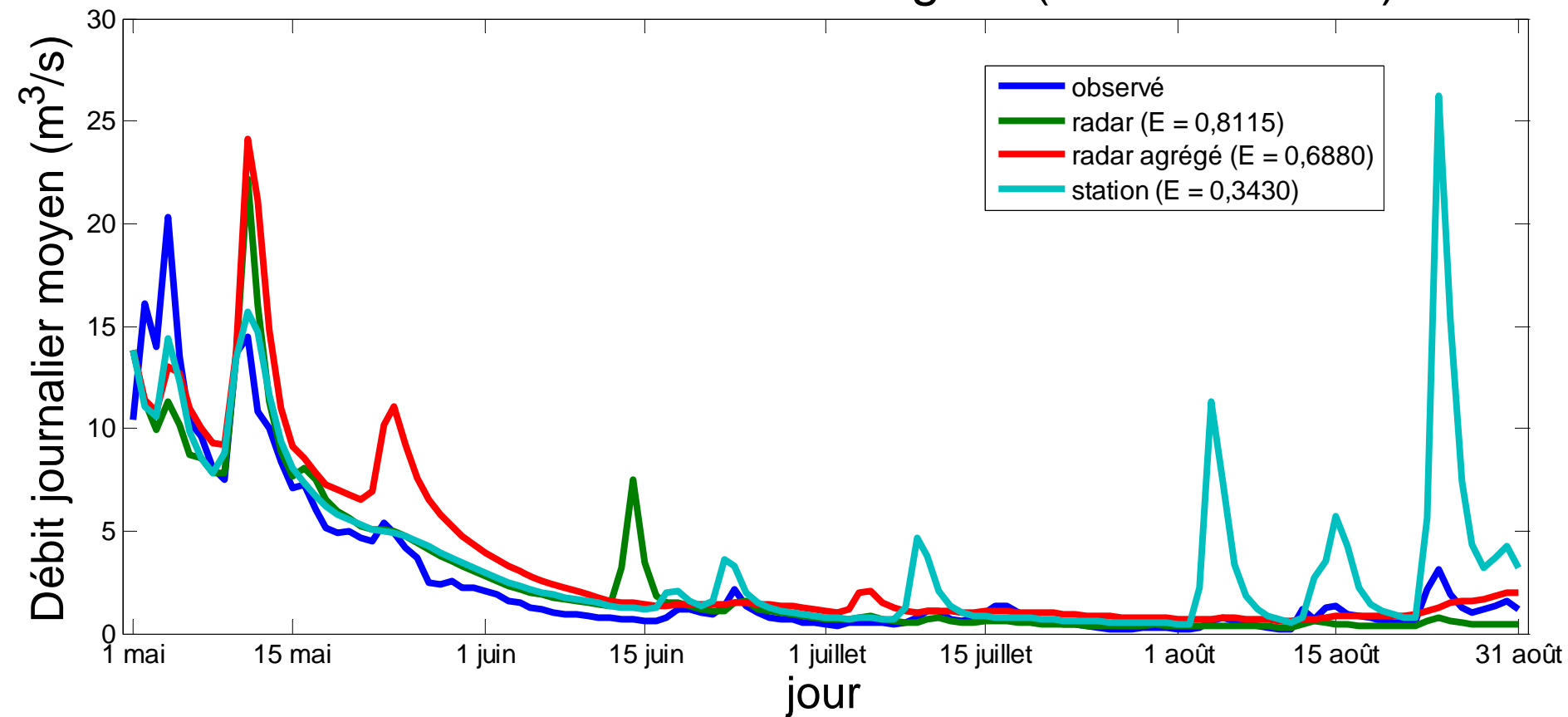


Application

- Comparaison des débits journaliers observés et simulés par HYDROTEL (Fortin *et al.*, 2001a,b; Turcotte *et al.*, 2003) des rivières Châteauguay (BV = 2 530 km²) et Des Anglais (BV = 640 km²) de novembre 1996 à août 1997.
- Données d'entrées :
 - Températures (min et max journaliers) = stations météorologiques;
 - Précipitation :
 - De novembre 96 à avril 97 = stations météorologiques;
 - De mai à août 97 = observation horaire de radars (originale, agrégée, désagrégée).



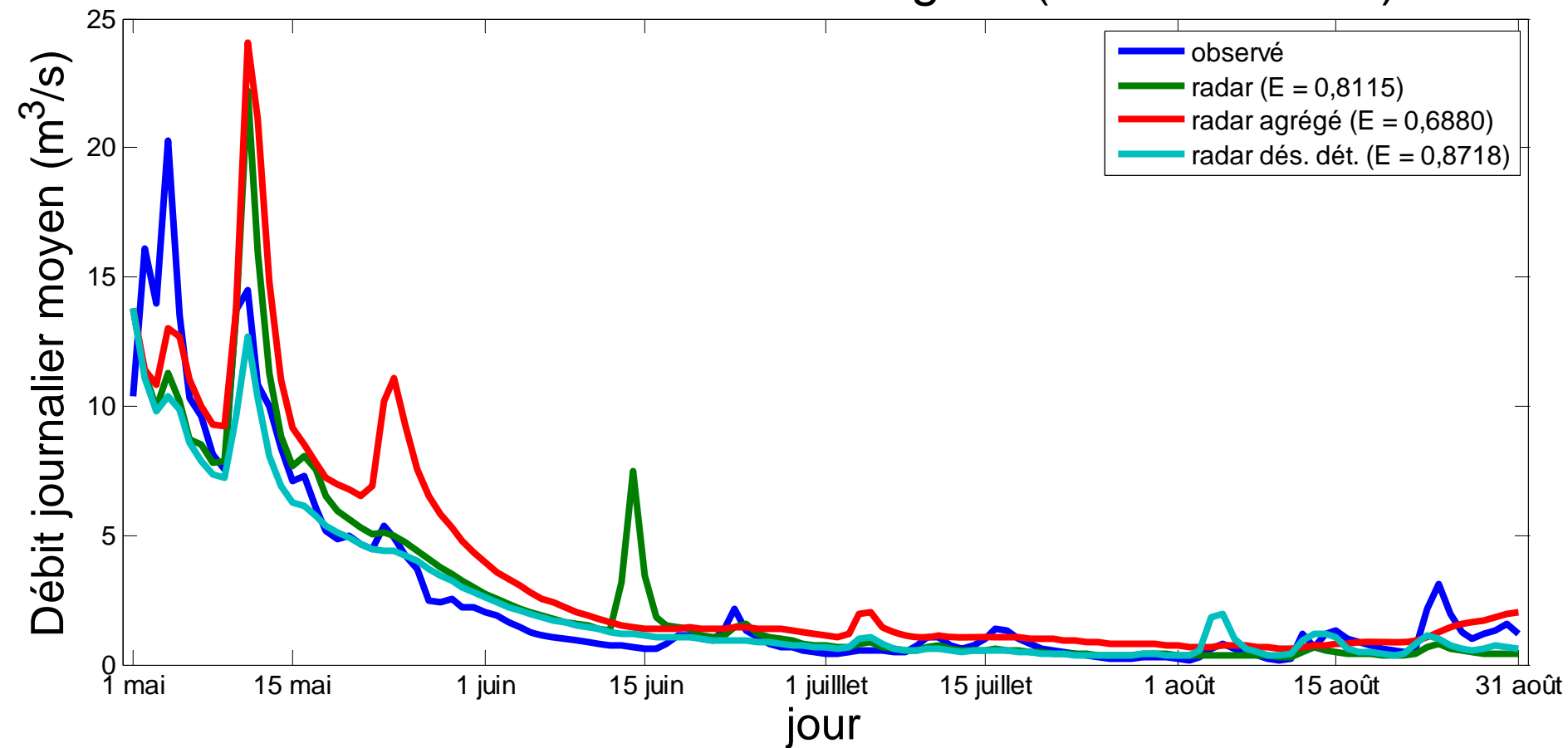
Exutoire de la rivière Châteauguay (BV = 2 530 km²)

Exutoire de la rivière Des Anglais (BV = 640 km²)

Application

Jusqu'à maintenant : Essai d'une méthode de désagrégation simple (déterministe) :

- Calculer la précipitation moyenne durant la période mai – août 1997 à chaque pixel;
- À chaque pas de temps où il y a de la précipitation, répartir la précipitation proportionnellement à la précipitation moyenne sur toute la période mai – août 1997.

Exutoire de la rivière Des Anglais (BV = 640 km²)

À faire...

- **Raffiner la méthode :**
 - ▣ Raffinement de la dépendance spatiale;
 - ▣ Raffinement de la dépendance temporelle;
 - ▣ Inclusion de variables explicatives (ex.: topographie).

- **Évaluer la performance de la méthode selon :**
 - ▣ La région (montagneuse, plaine, sèche, humide...);
 - ▣ La saison;
 - ▣ La taille du bassin.

- **Évaluer (quantifier) les sources d'incertitudes externes :**
 - ▣ Le modèle hydrologique;
 - ▣ Les données de radars;
 - ▣ ...

**Liens avec Autres Projets en Cours ou sur
le Point de Débuter...**

Projet Châteauguay CRSNG-RDC/Ouranos/HQ (Resp.: C. Paniconi, INRS-ETE)

1. Différentiation des Types de Sols Selon la Verticale
 - Contribution aux Travaux de Maîtrise de *S. Ricard* sur la Caractérisation de la recharge potentielle du bassin versant de la rivière Châteauguay à l'aide du Modèle HYDROTEL (Resp.: *A.N. Rousseau & C. Paniconi*)
2. Découpage des UHRH en Versant (+Typologie Géomorphologique) (Resp.: *A.N. Rousseau, A. Royer, P. Noël*)
 - Contribution aux Travaux de Doctorat de Stephan Broda, UQÀM, sur l'Intégration du Modèle de Boussinesq à l'Interface de BV3C et d'un Modèle d'Écoulement Souterrain (Resp.: *M. Larocque & C. Paniconi*)

Projet Châteauguay CRSNG-RDC/Ouranos/HQ (Resp.: C. Paniconi, INRS-ETE)

3. Contribution de nos Travaux de Validation Hydrométéorologique du MRCC sur le Sud du Québec à la Simulation des Comportements Hydrologiques Futures du Bassin Versant de la Châteauguay (Resp.: *A.N. Rousseau & B. Konan*; Coll.: *P. Gagnon, D. Caya, A. Frigon, M. Slivitzky*)

Projet Aqualyse II CRSNG-RDC/Ouranos/HQ (Resp.: S. Payette, U. Laval)

1. Travaux de Caractérisation Hydrodynamique des Sols (ex.: Conductivité Hydraulique, Capacité de Stockage du Milieu Organique et des Mares, Temps de Résidence de l'Eau) et de la Topographie (3D) des Tourbières Minérotrophes (Resp.: *A.N. Rousseau, A. St-Hilaire & S. Jutras*; Coll.: *M. Bernier, K. Chokmani*)
2. Utilisation de PHYSITEL et de la Télédétection pour Caractériser le Site d'étude (Resp.: *M. Bernier, K. Chockmani*; Coll.: *M. Dissanska, S. Jutras, A. St-Hilaire, A.N. Rousseau, Y. Gauthier*)

INRS

Université d'avant-garde

