

# Conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques

*Un chantier interdisciplinaire:*

AUBERT MICHAUD, ARIANE DROUIN, GILLES GAGNÉ, IRDA  
ALAIN MAILHOT, GUILLAUME TALBOT, INRS-ETE  
DAVID HUARD, SÉBASTIEN BINER, ANNE BLONDLOT, OURANOS  
ROBERT LAGACÉ, NESTOR-RAUL ROCHA, UNIVERSITÉ LAVAL



Logos of funding and partner organizations:

- Canada (Ressources naturelles / Natural Resources Canada)
- Fonds vert Québec
- irda (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement)
- INRS (Université d'avant-garde)
- OURANOS
- UNIVERSITÉ LAVAL Québec
- Agriculture et Agroalimentaire Canada

• Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation  
• Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs



## Plan de la présentation

- **Contexte**
- **Réalisations, Volet *météo et climat*:**
  - Précipitations en climat actuel et futur
  - Fonte et pluie hivernale
- **Réalisations, Volet *Hydrologie*:**
  - Classification hydrologique des sols
  - Analyses hydrologiques des crues des ruisseaux
  - Modélisation et prédictions des crues
- **Conclusions et perspectives**



Contexte: Gérer le bilan hydrique excédentaire  
**DES BESOINS OPÉRATIONNELS À COMBLER**

- **Nombreux chantiers en aménagement hydro-agricole dans le cadre d'initiatives ciblées sur la qualité de l'eau;**
- **Incitatifs financiers importants (90% des coûts);**
- **Critères de conception à renouveler et à valider;**
- **Nécessaire prise en compte:**
  - **des changements climatiques**
  - **de la fonte et des pluies hivernales**



## **But et objectifs**

- **Quoi**: Des outils conviviaux destinés à supporter la conception des aménagements hydro-agricoles à l'échelle de la parcelle et du petit bassin versant.
- **Pour qui** ? Les conseillers agricoles qui interviennent en services-conseils auprès des agriculteurs et des intervenants régionaux en gestion du réseau hydrique.
- **Pourquoi** ? Egouttement des terres, pérennité des ouvrages et prévention de la pollution diffuse.

# Conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques

## Plan de travail

### Volet Météo (climat récent)

- Courbes HDF des précipitations
- Indices de fonte et pluie hivernale

### Volet Scénarios climatiques

HDF en climat futur

### Volet Hydrologique

- Analyse des crues
- Développement/validation de méthodes de prédiction

Classification hydro-pédologique des séries de sol

### Volet Opérationnel

- ID besoins
- Outil informatique
- Etude de cas
- Diffusion

### B.D. Bassins versants

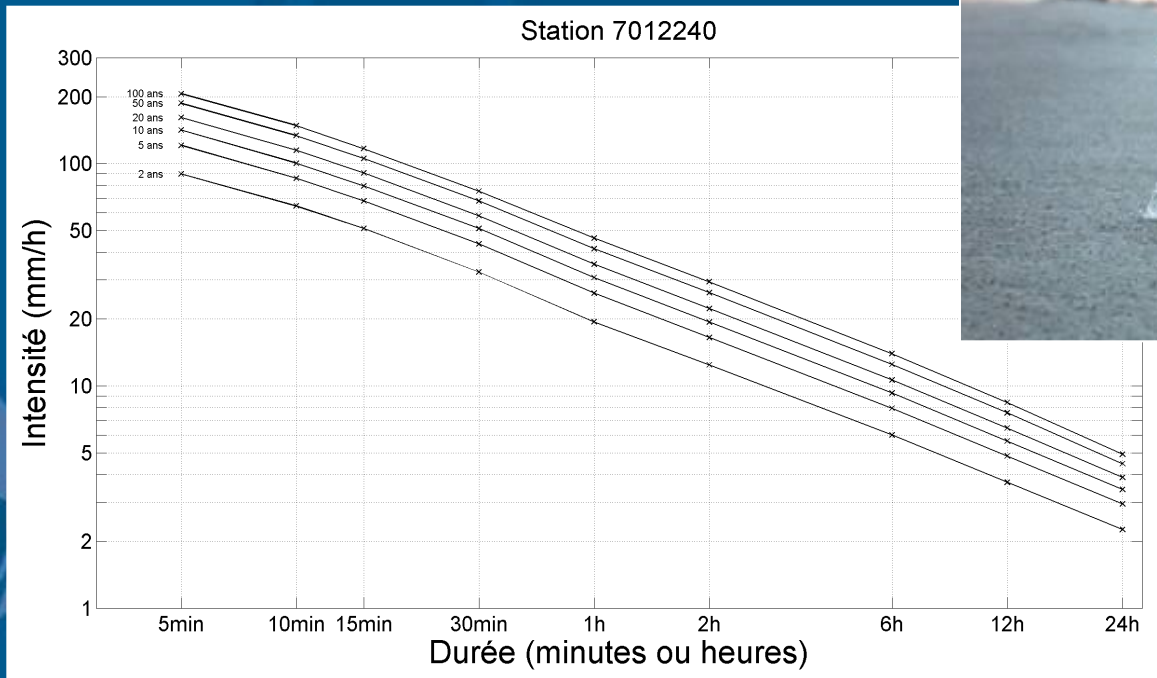
- SIG: Régie du parcellaire, sols et paysages
- Observations hydrométriques
- Observations météorologiques



# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations

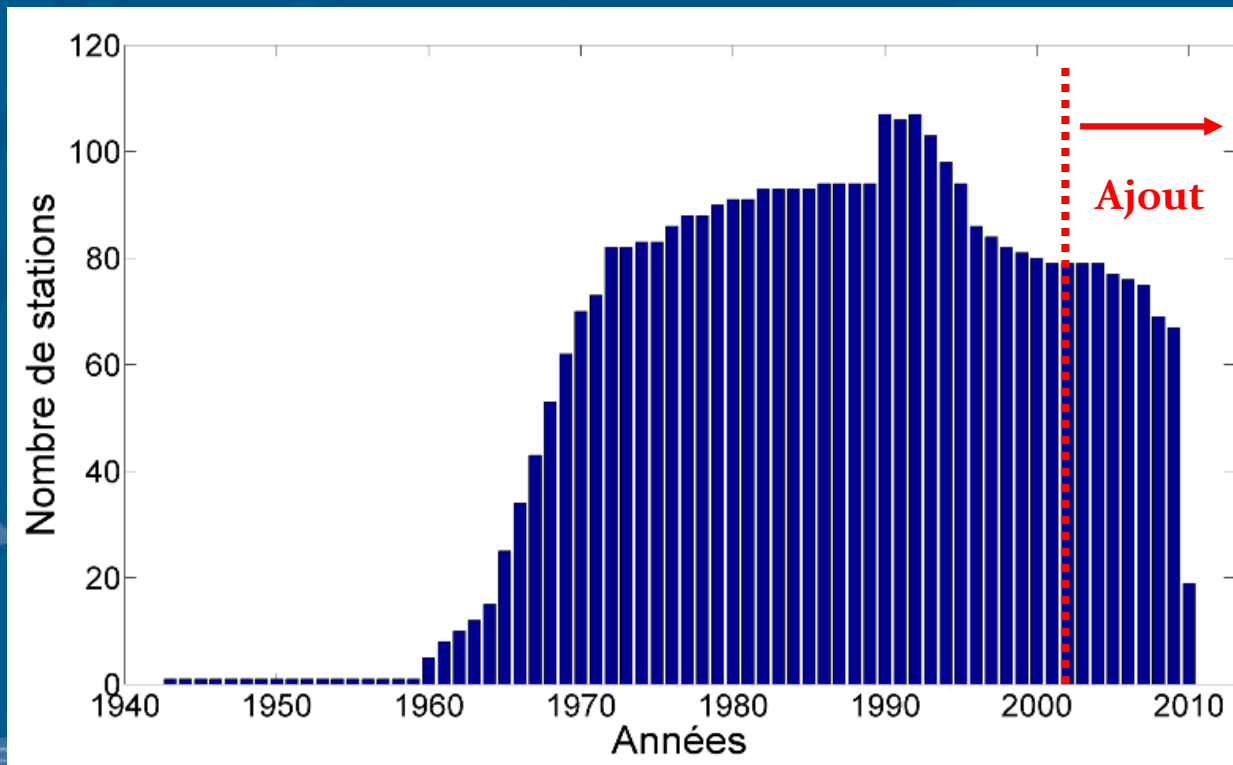
Réalisation: Mailhot et Talbot, INRS-ETE, 2011

Collaboration: MDDEP et Environnement Canada



# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations Observations

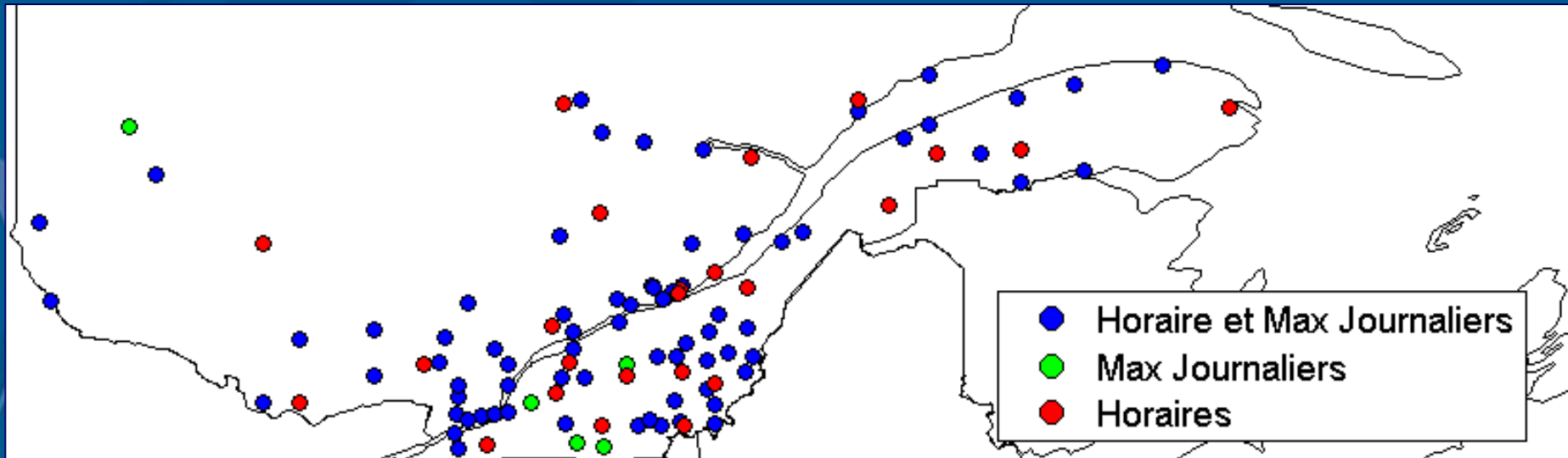
- Données colligées auprès d'Environnement Canada (19 stations) et du MDDEP (94 stations);
- Observations horaires et journalières de Mai à Octobre, 15 années au minimum
- Création des séries de maximum annuels avec standards de qualité



# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations

## Méthode

- Estimation par analyse fréquentielle régionale:  
Mise en commun de l'information des stations,  
Plus gros échantillon = Meilleure estimation
- Analyse statistique des extrêmes annuels via la distribution des valeurs extrêmes (GEV) au lieu de Gumbel

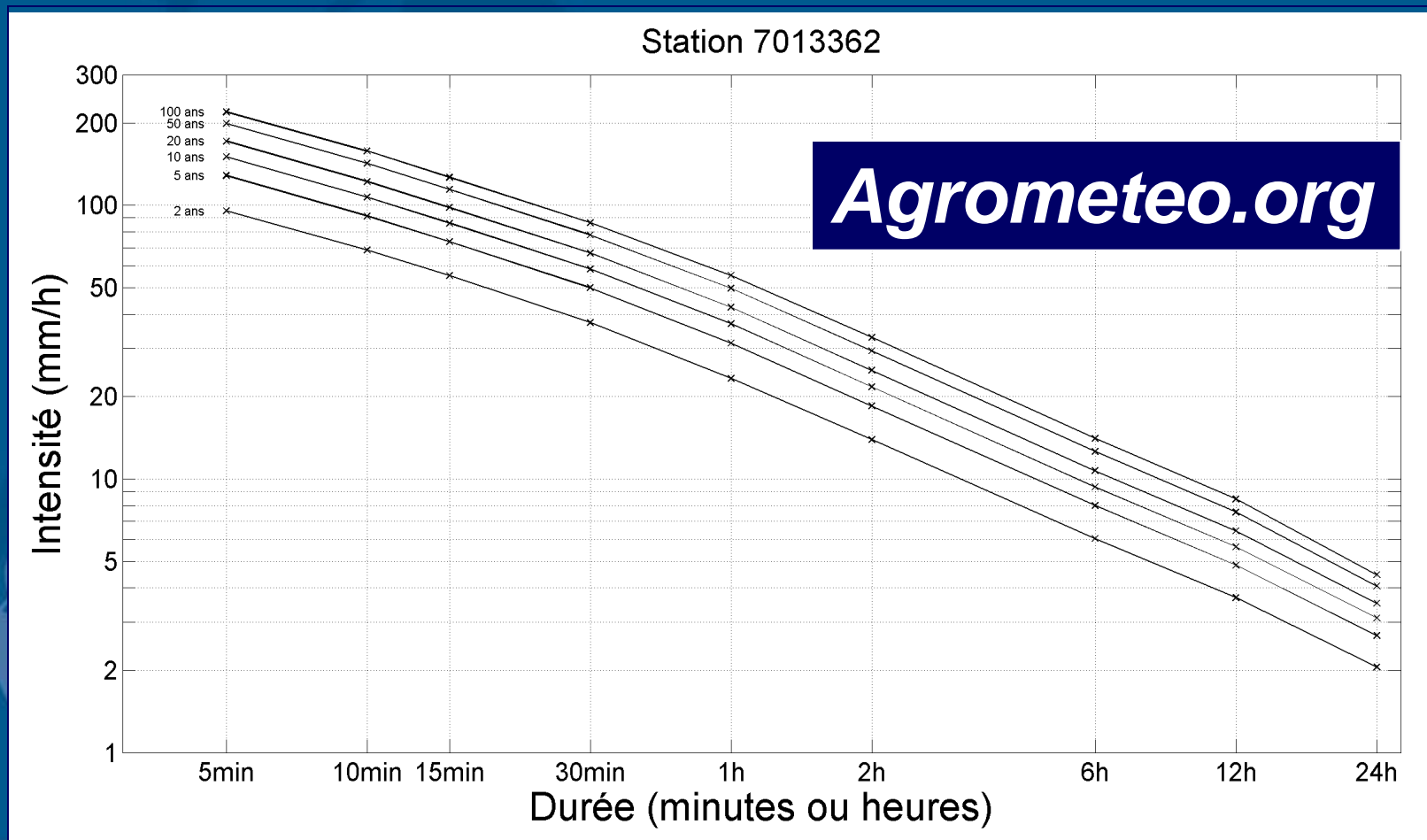




# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations

## Résultats

### Courbes IDF



Volet Météo et climat

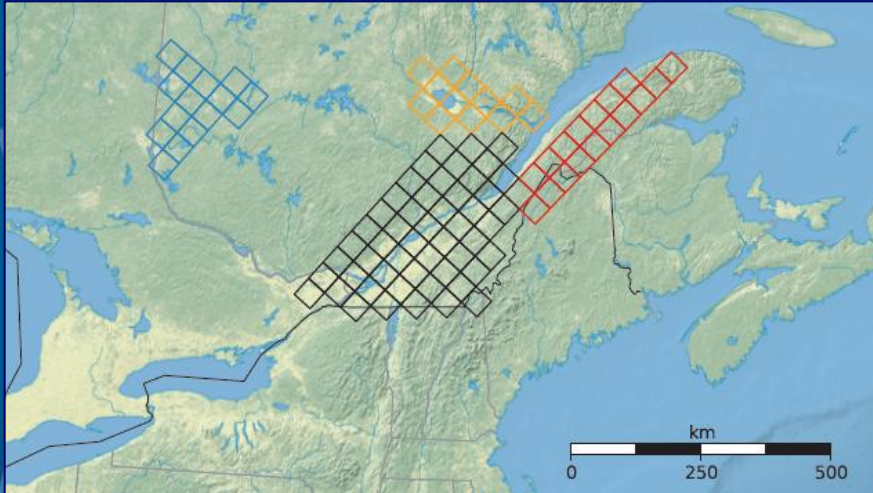
# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations En climat futur

Réalisation: David Huard, OURANOS, 2011

Collaboration: Diane Chaumont, OURANOS



- Quatre régions agricoles du Québec à l'étude; observations de la grille SNITE (10 X 10 km) agrégées à celle du MRCC (45 X 45 km);
- Cinq simulations du Modèle Régional Canadien du Climat, pilotées par quatre modèles de climats globaux différents.



Cartes des régions à l'étude telle que vues par le MRCC sur la grille de 45 km de résolution

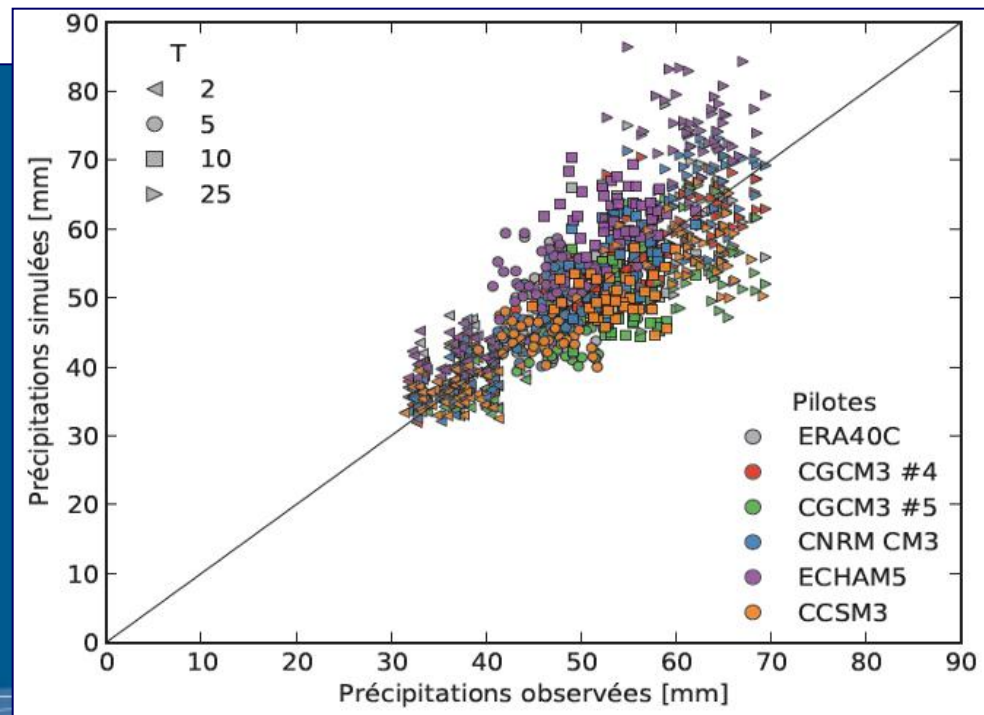
# Courbes Hauteur-Durée-Fréquence des précipitations

En climat futur

## Méthode

- Valeurs extrêmes annuels de durées de 1, 2, 6, 12, et 24 heures.
- Simulations du climat de référence: 1961–2000 et futur: 2041–2070
- Analyse via la distribution des valeurs extrêmes (GEV).

Comparaison des précipitations maximales annuelles (mai à octobre) simulées par le MRCC avec celles estimées des observations (SNITE) agrégées sur la grille du MRCC couvrant la vallée du St-Laurent pour différents temps de retour.

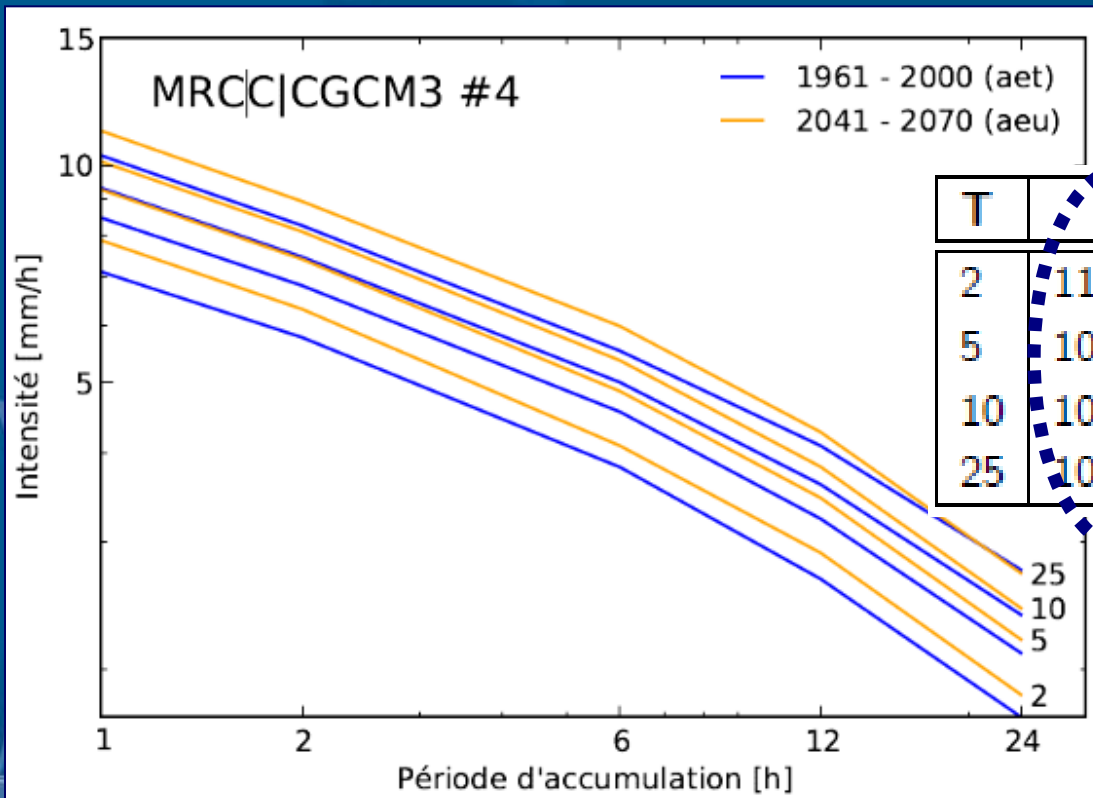


# Courbes Intensité-Durée-Fréquence des précipitations en climat futur

## Résultats

Courbes IDF (Log-log) pour les temps de retour 2, 5, 10 et 25 ans à partir des paramètres régionaux moyens de la vallée du St-Laurent.

Moyenne et écart-type de la distribution d'ensemble du pourcentage d'augmentation des précipitations extrêmes



T	1h	2h	6h	12h	24h
2	11 ± 5	11 ± 5	8 ± 5	8 ± 5	7 ± 5
5	10 ± 5	10 ± 5	7 ± 5	8 ± 5	7 ± 6
10	10 ± 6	10 ± 6	7 ± 6	7 ± 6	7 ± 6
25	10 ± 7	9 ± 7	6 ± 7	6 ± 7	7 ± 8

# Résultats

- **Distributions comparables des extrêmes annuels de précipitations modélisés en climat de référence (1961-2000) par le MRCC et les observations pour les événements d'une durée de 24 heures.**
- **Pour les durées de 1, 2, 6 et 12 heures, il n'existe pas d'observations sur grille 45 X 45 km pour comparer les distributions modélisés et observés (les événements de courtes durées sont localisés).**
- **Augmentation des extrêmes annuels en climat futur.  
Pour 24 heures: augmentation de 7% (+-5%) dans la vallée du St-Laurent.**



# Volet Météo et climat

## Indices de fonte et pluie hivernale

Réalisation: Drouin, Michaud, IRDA  
Talbot, Mailhot, INRS-ETE,

Collaboration: Lagacé, Université Laval  
MDDEP

**St-Louis-du-Ha-Ha, Témiscouata**



**Pike River, Montérégie**



**St-Isidore, Beauce**



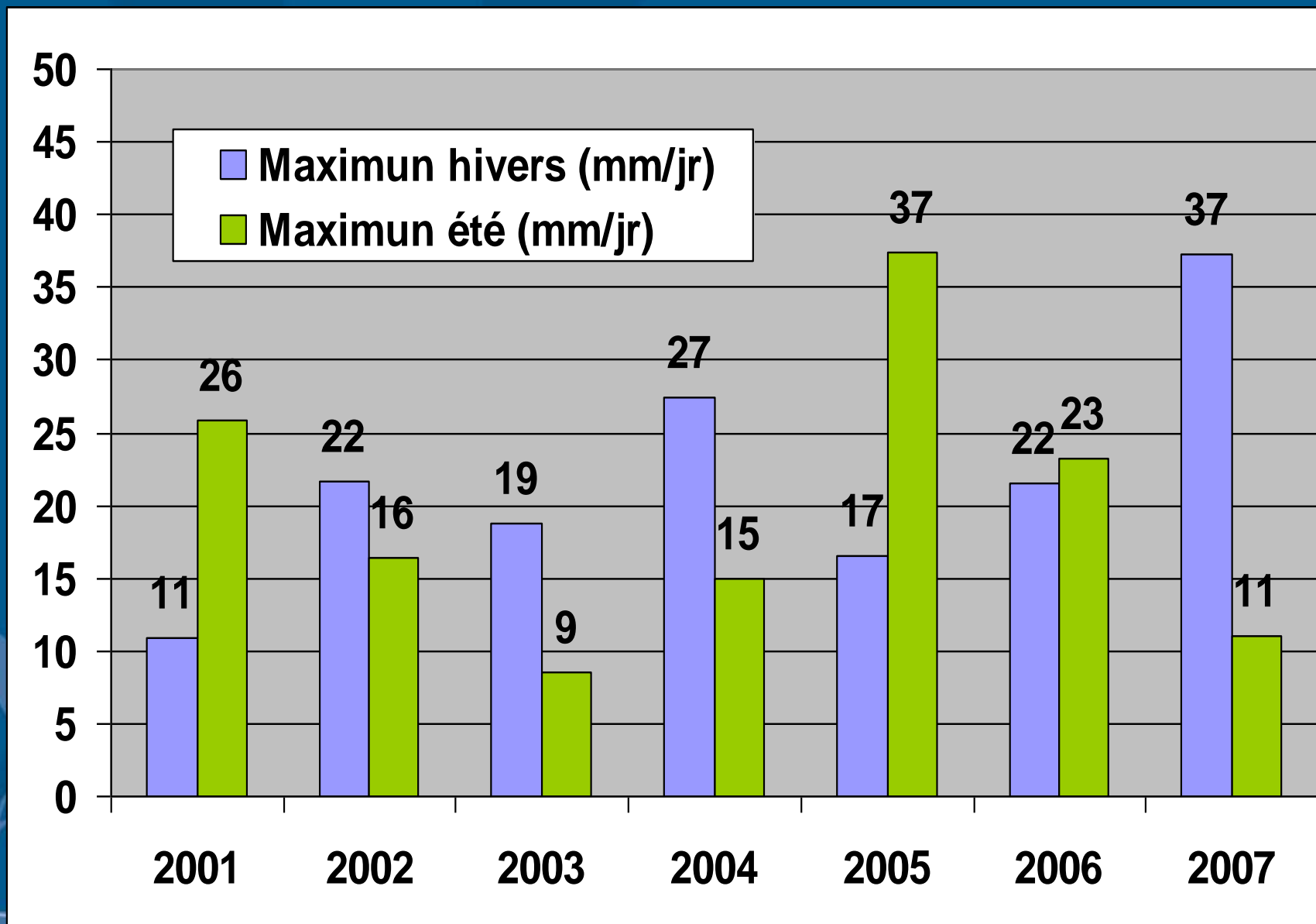
**Champlain, Mauricie**





# Hydrométrie, bassin du ruisseau Aux Castors, 2001-2008

## Distribution des maxima journaliers annuels

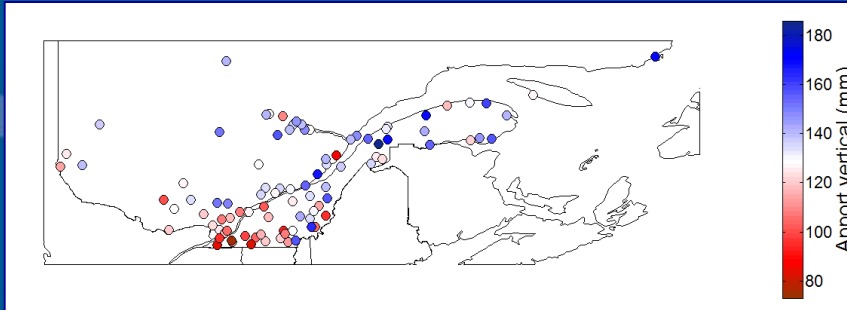


# Volet Météo et climat

## Indices de fonte et pluie hivernale

# Méthode

- Modélisation du couvert de neige et des apports verticaux sur la seule base de données journalières de précipitations et de température.
- Validation du pouvoir explicatif des apports verticaux à décrire les crues observées en période de fonte et de pluie hivernale.
- Estimation des distributions HDF des apports verticaux régionaux en climat récent sur la base des données météo journalières (novembre à avril).



## Indides de fonte et pluie hivernale

# Méthode utilisée

- 6 bassins dans 2 régions du Québec : Beauce (2) et Montérégie (4)
- De 5 à 8 années de données hydrométriques
- Étude des données hivernales seulement (novembre à avril)

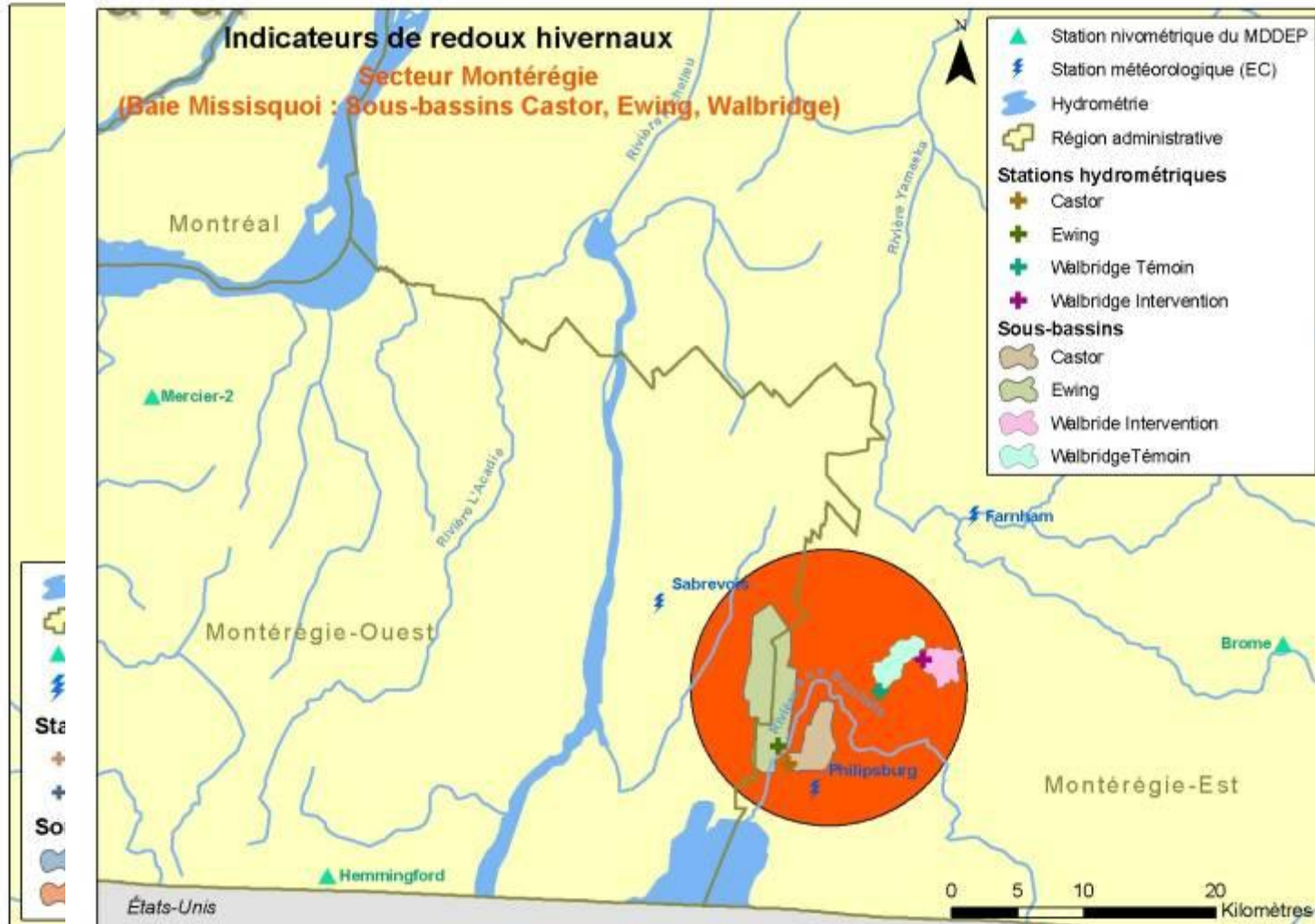
Bassin	Localisation	Superficie (km <sup>2</sup> )	Années de suivi hydrométrique
<b>Fourchette Intervention</b>	Beauce (Bassin versant de la rivière Le Bras)	2,5	2002 à 2009
<b>Fourchette Témoin</b>	Beauce (Bassin versant de la rivière Le Bras)	1,9	2001 à 2009
<b>Castor</b>	Montérégie (Baie Missisquoi)	11,4	2001 à 2008
<b>Ewing</b>	Montérégie (Baie Missisquoi)	27,9	2001 à 2008
<b>Walbridge Intervention</b>	Montérégie (Baie Missisquoi)	6,3	2001 à 2006
<b>Walbridge Témoin</b>	Montérégie (Baie Missisquoi)	8	2001 à 2006

# Volet Météo et climat

## Indides de fonte et pluie hivernale

# Méthode

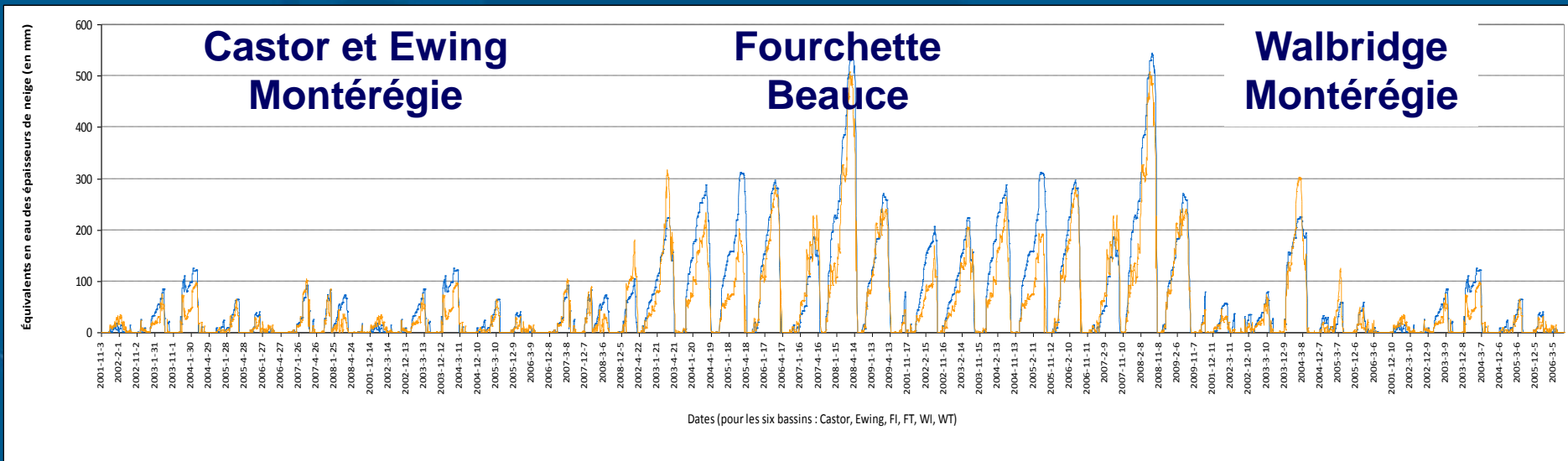
Stations hydrométriques (IRDA,CEHQ), nivométriques et météorologiques (MDDEP)



## Indides de fonte et pluie hivernale

# Résultats – 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



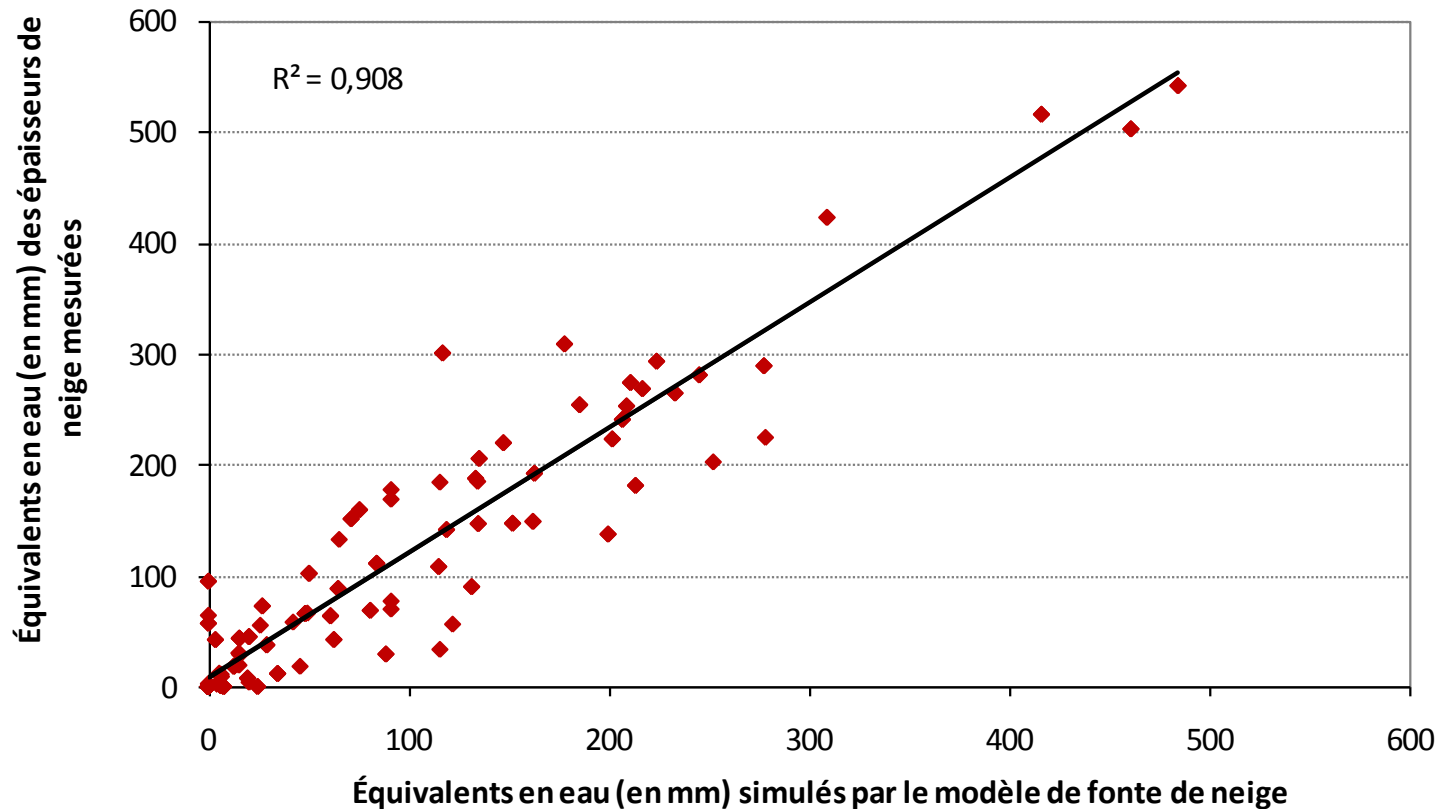
EEN simulés

EEN mesurés

## Indides de fonte et pluie hivernale

# Résultats – Couvert de neige

Comparaison des équivalents en eau mesurés et simulés par le modèle de fonte de neige CEQUEAU-modIRDA pour la Beauce et la Montérégie (N=204)

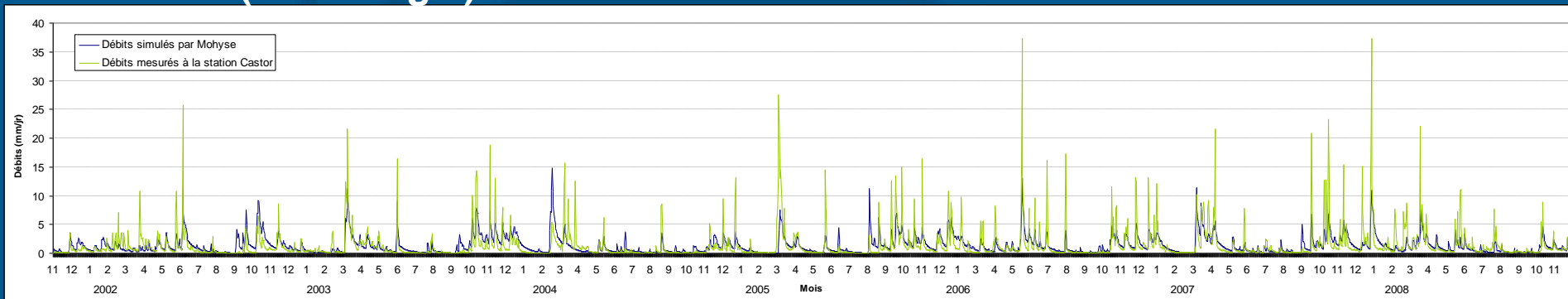




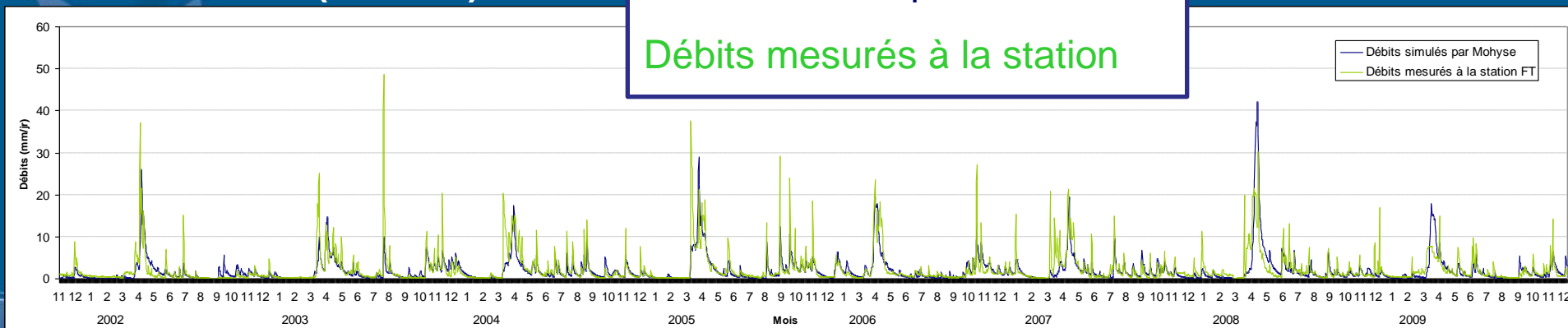
# Résultats – Simulation des débits

Évolution des débits mesurés et des débits simulés (MOHYSE; Fortier-Filion, 2011) à partir des apports verticaux du modèle de fonte de neige

## CASTORS (Montérégie)



## FOURCHETTE (Beauce)

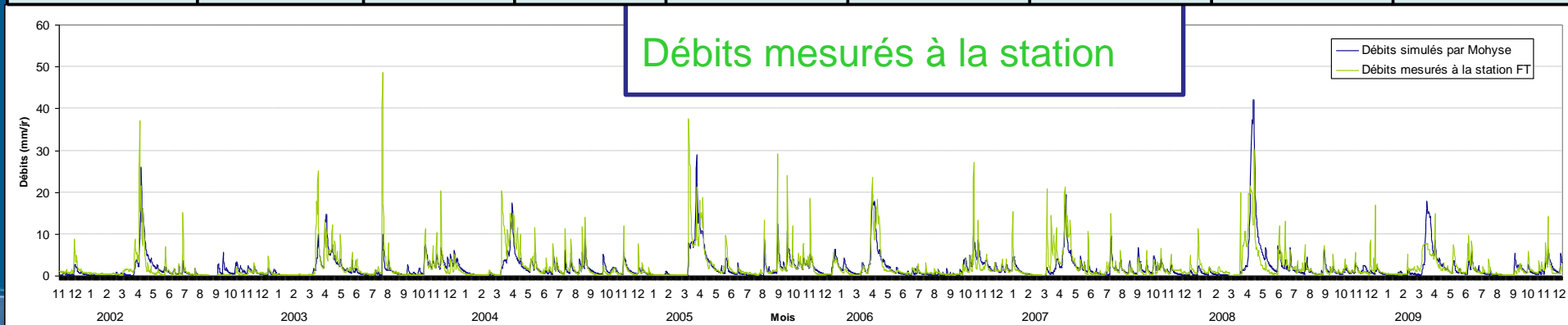


## Indices de fonte et pluie hivernale

## Résultats – Simulation des débits

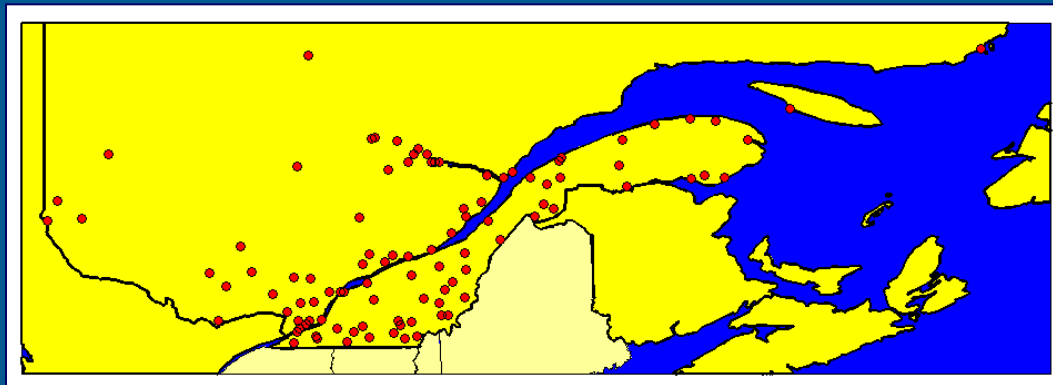
Évolution des débits mesurés et des débits simulés (MOHYSE; Fortier-Filion, 2011) à partir des apports verticaux du modèle de fonte de neige

Bassin	Calage (2001 à 2004 ±)				Validation (2004 à 2009 ±)			
	r	r <sup>2</sup>	NS	D <sub>v</sub>	r	r <sup>2</sup>	NS	D <sub>v</sub>
Castor	0.73	0.53	0.53	0.02	0.70	0.48	0.43	0.26
Ewing	0.67	0.46	0.45	-0.03	0.70	0.48	0.43	0.24
WI	0.74	0.55	0.55	-0.05	0.63	0.40	0.32	-0.22
WT	0.61	0.38	0.37	-0.03	0.68	0.46	0.41	-0.11
FI	0.72	0.52	0.52	-0.05	0.60	0.37	0.07	-0.22
FT	0.75	0.56	0.56	-0.04	0.73	0.53	0.34	-0.15



# Estimation des distributions HDF des apports verticaux régionaux sur la base des données météo journalières (novembre à avril)

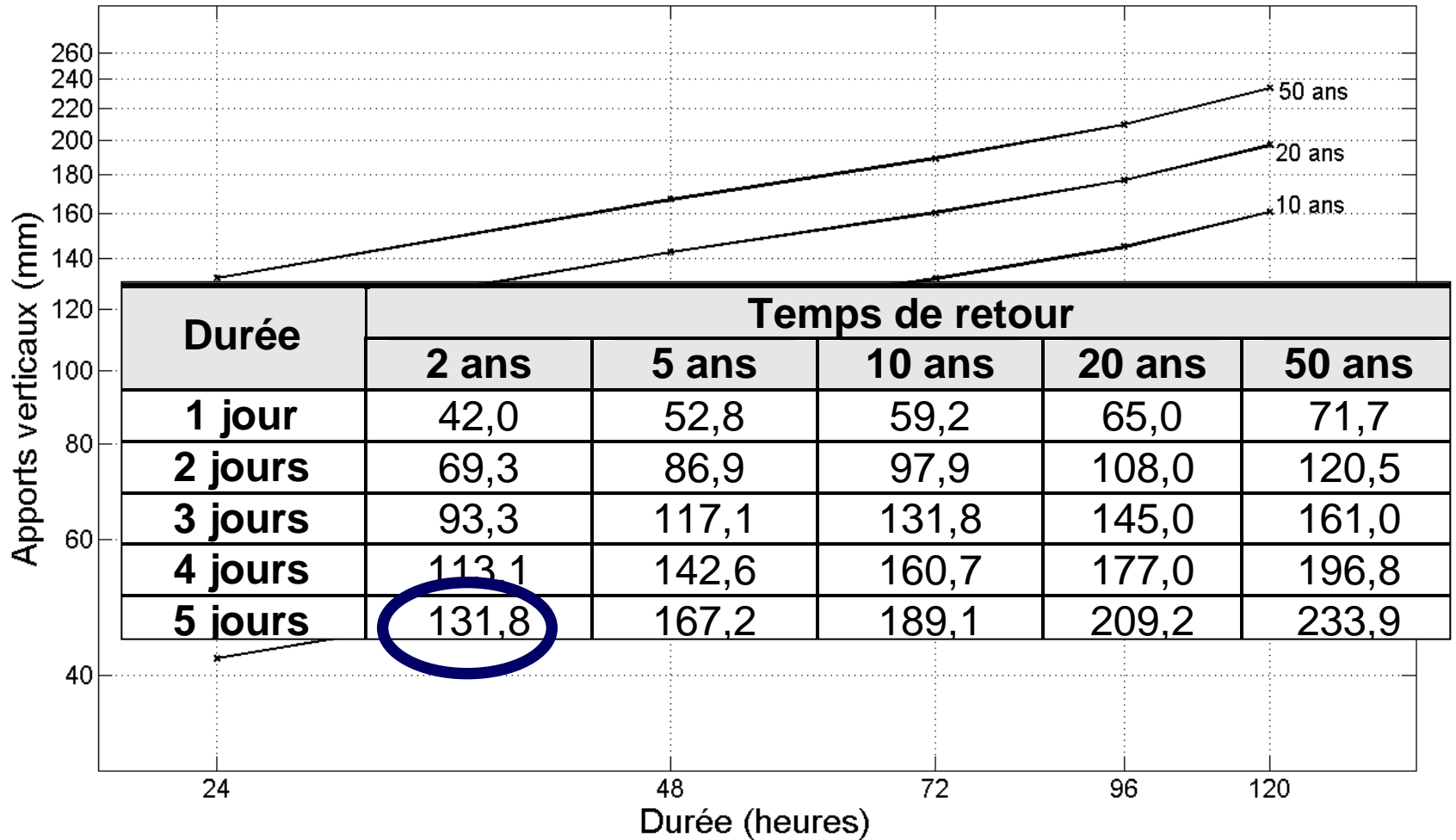
- **Création des séries annuelles de température et précipitations pour les 100 stations à l'étude, observations de novembre à avril, 50 ans+);**
- **Modélisation des apports verticaux et de la hauteur de neige sur une base quotidienne à l'aide du modèle CEQUEAU-modIRDA (paramètres de calage de la phase de validation);**
- **Estimation des maxima annuels pour des durées de 1, 2, 3, 4 et 5 jours selon la méthode de fenêtre mobile;**
- **Calcul des estimateurs HDF.**



# Volet Météo et climat

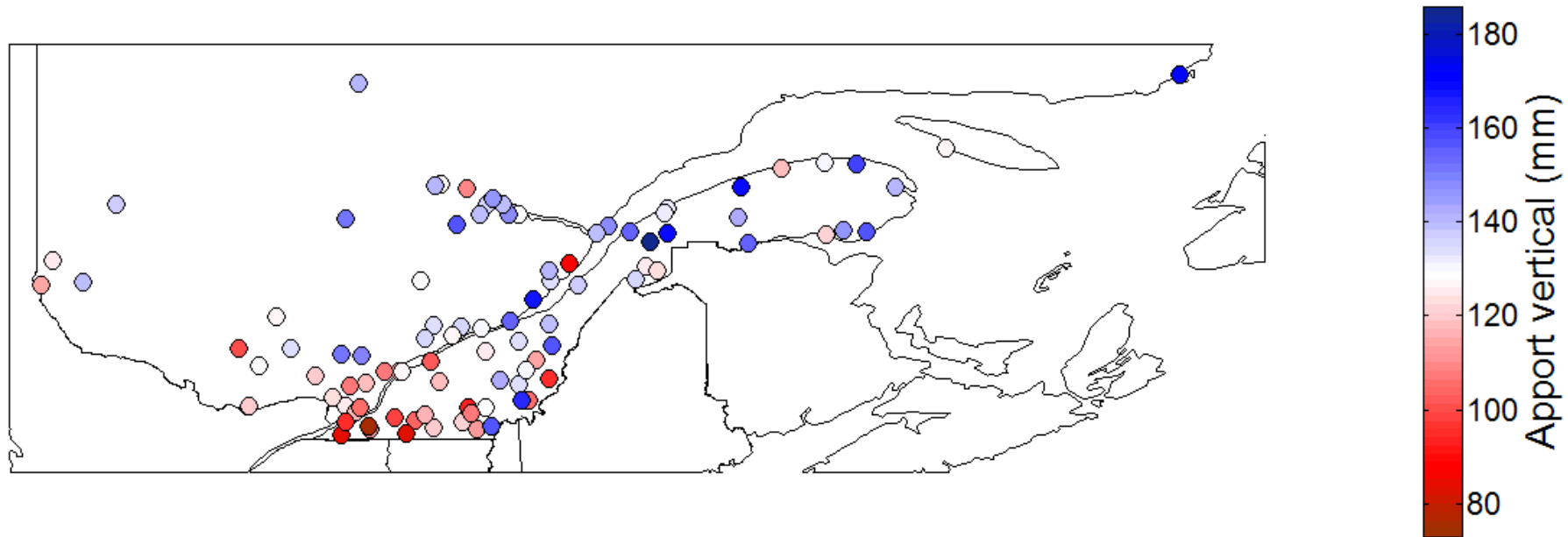
## Indices de fonte et pluie hivernale

### Courbes HDF des apports verticaux pour la station de Pointe-au-Père



Volet Météo et climat  
Indices de fonte et pluie hivernale

Cartographie des valeurs des estimateurs HDF des apports verticaux pour la durée de 5 jours et le temps de retour de 2 ans pour l'ensemble des stations à l'étude

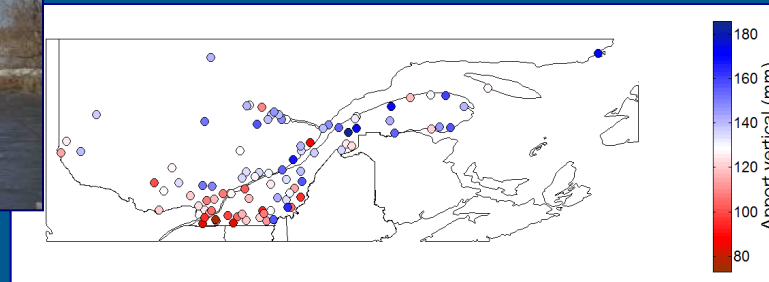


Volet Météo et climat  
Indices de fonte et pluie hivernale

## Perspectives

Développer les outils de prédiction des crues de fonte et de pluie hivernale:

- Constituer une banque de relevés hydrométriques de petits bassins versants en période de hivernale (novembre-avril);
- Développer un modèle de prédiction intégrant les distributions HDF des apports verticaux modélisés pour le Québec méridional.



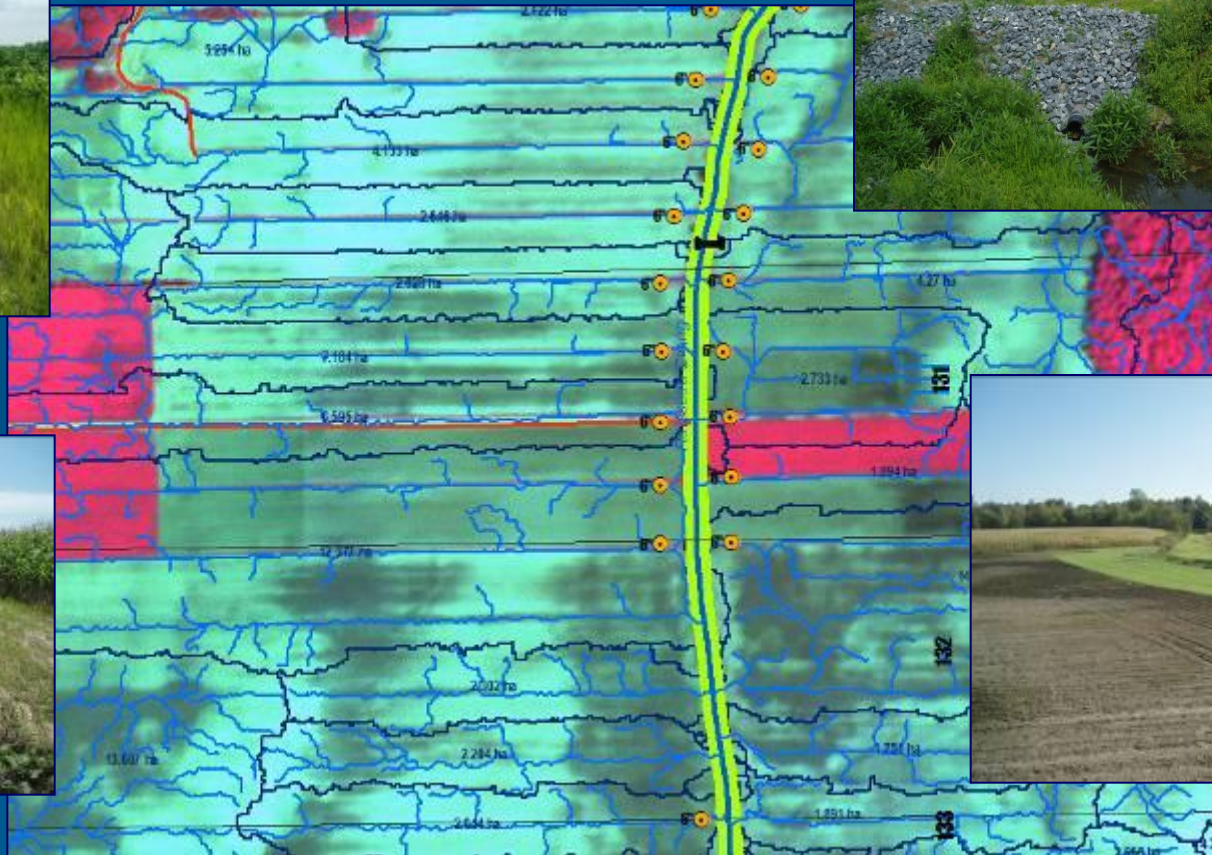


# Volet Hydrologique

Réalisation: Lagacé, Rocha, Université Laval

Michaud, Drouin, Gagné, IRDA

Collaboration: Gallichand, Université Laval



irda

# Objectifs et livrables

- **Mettre à jour la banque de données hydro-pédologiques pour l'ensemble des séries de sol du Québec**
- **Analyser les réponses hydrologiques des bassins versants ruraux dans des régions agroclimatiques contrastées:**
  - **Développer un utilitaire d'analyse hydrologique (VisuHydro)**
  - **Déterminer les paramètres de forme, temps de montée, débits de pointe et volume de ruissellement des crues des bassins versants à l'étude**
- **Proposer et valider des modèles de prédiction des paramètres hydrologiques**

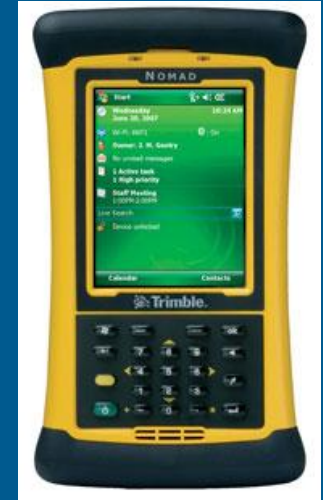
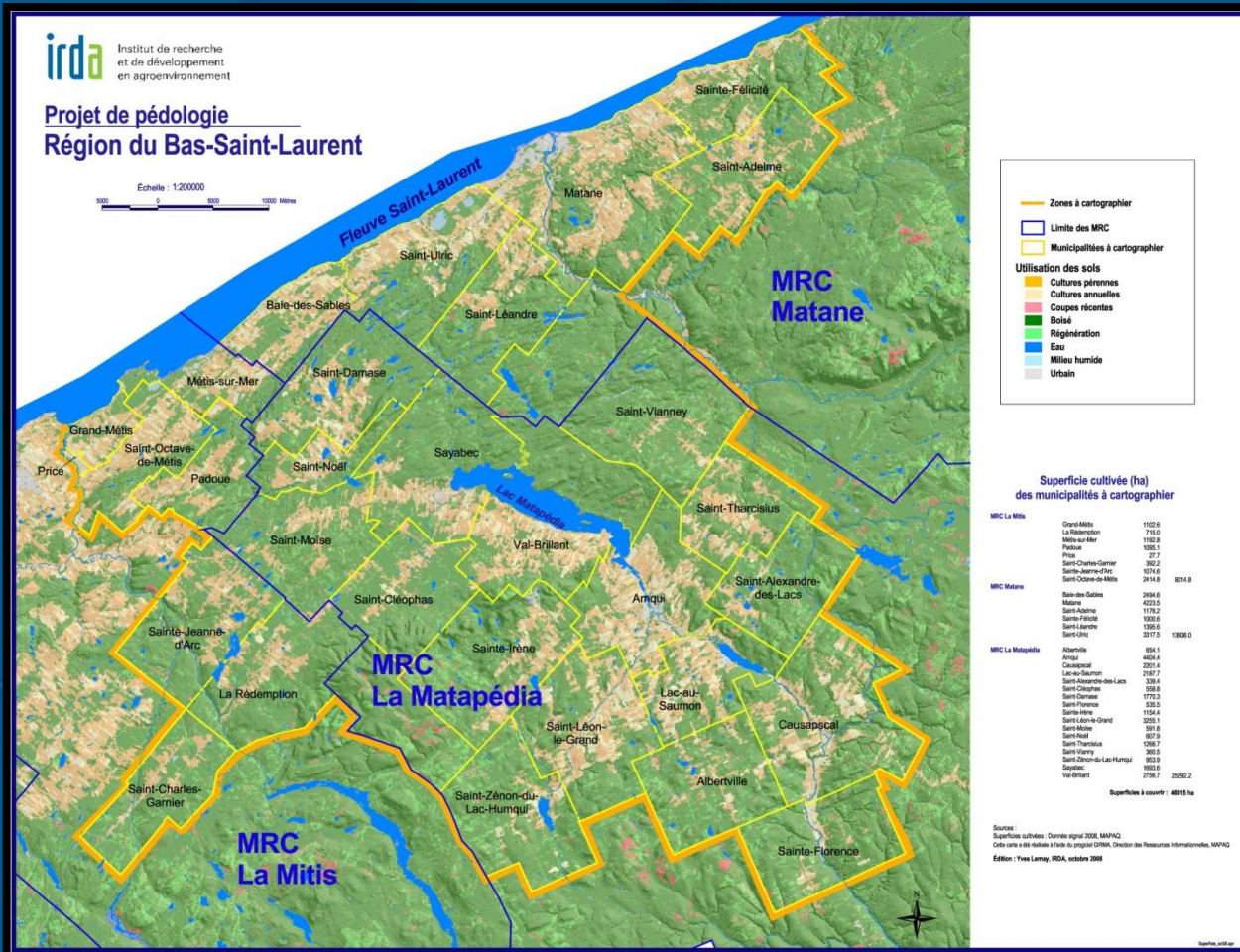




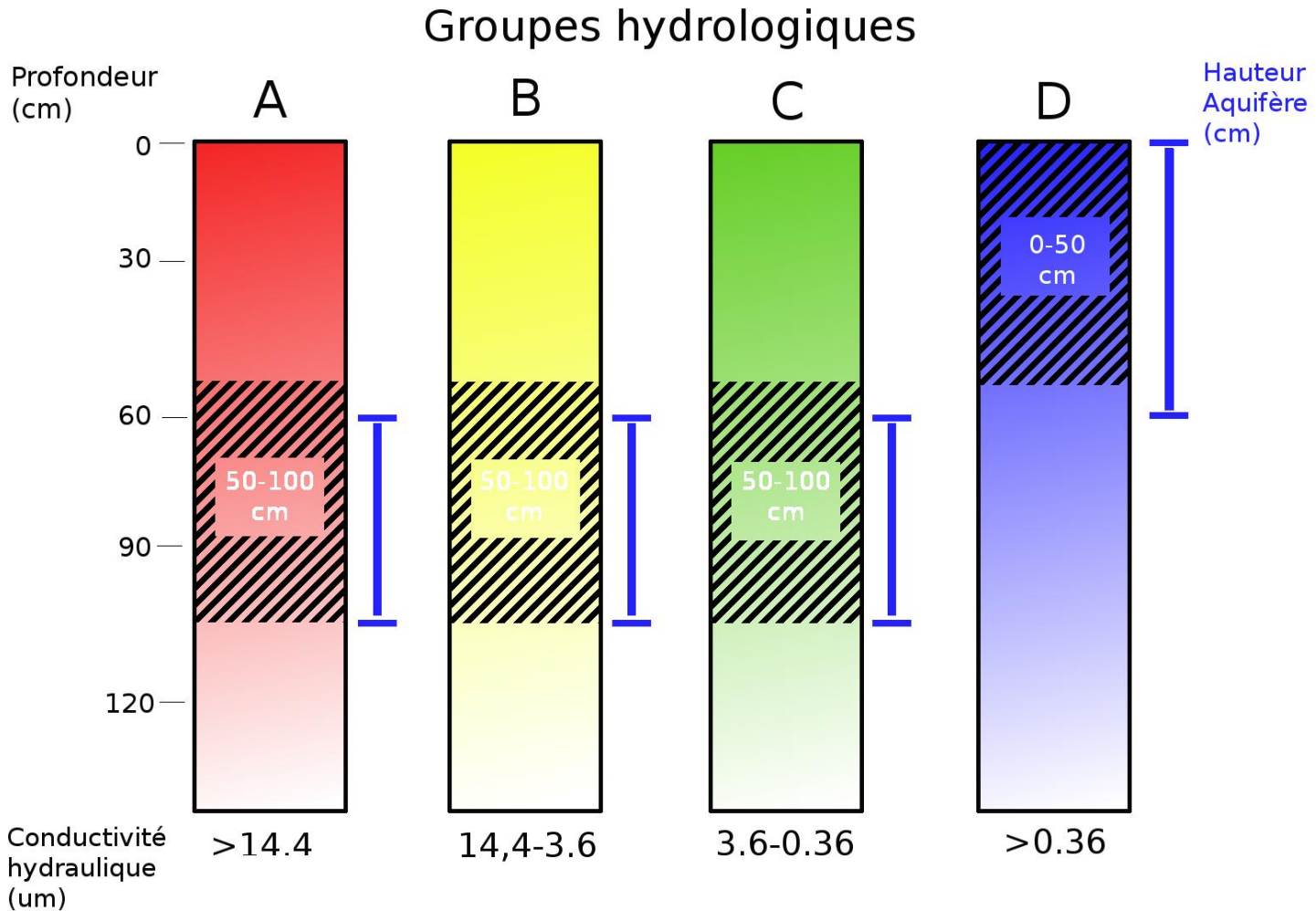


# Banque de données hydro-pédologiques

# Les travaux se poursuivent...



# Classification du groupe hydrologique



(Cas avec couche imperméable < 100 cm)

# Banque de données hydro-pédologiques

- **Sources de données**

1. **Données de l'inventaire de dégradation des sols (Tabi et coll. 2009) .**

- 159 séries de sol – Protocole similaire.
- Paramètres physico-chimiques.
- Conductivité hydraulique ( $\mu\text{m/s}$ ) → Prairies.

2. **Base de données des profils physico-chimiques (Lamontagne et Nolin, 2006).**

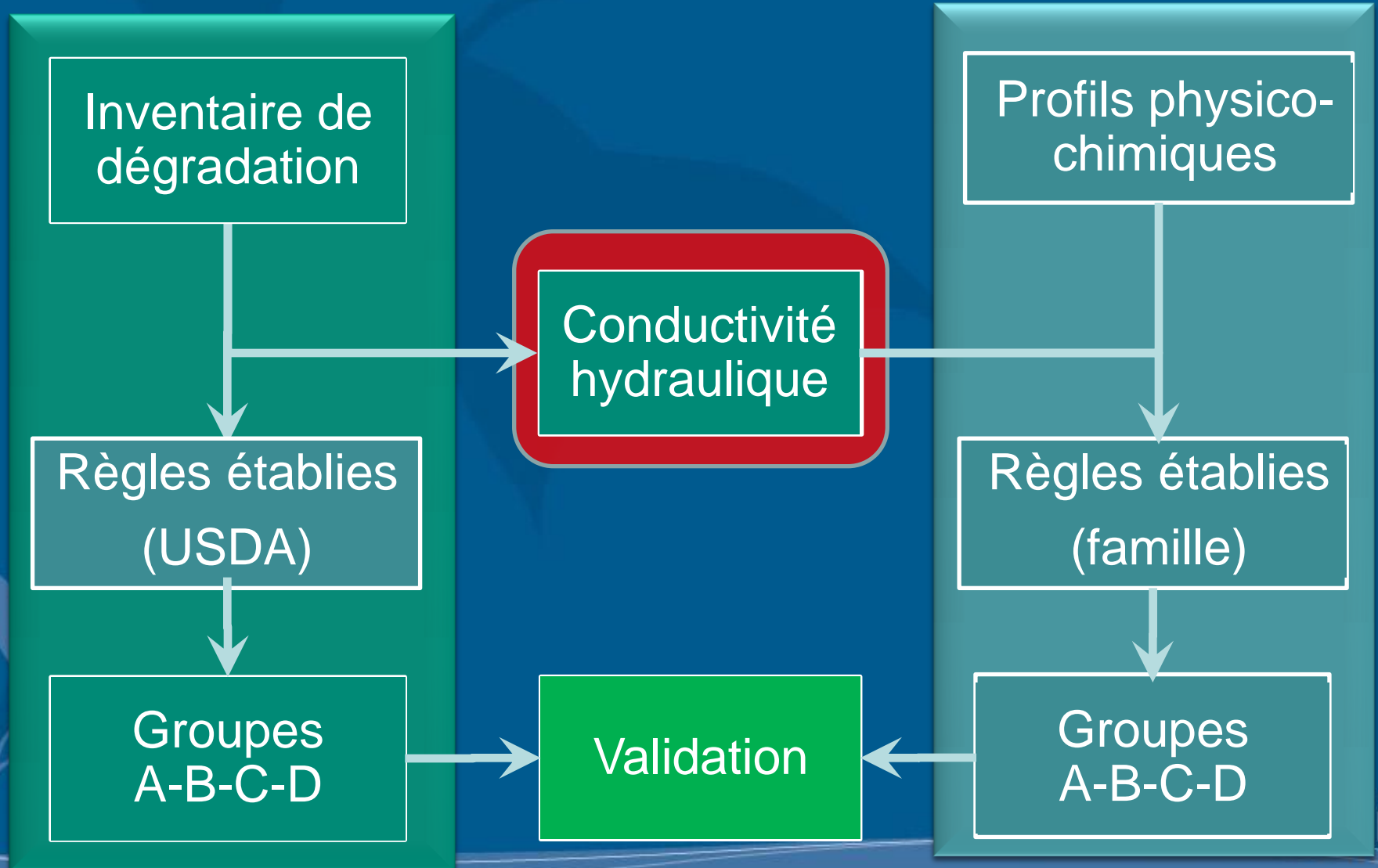
- 7152 horizons – 2000 profils études pédologiques.
- Paramètres physico-chimiques.

3. **Jugement expert.**



# Classification du groupe hydrologique

## *Schéma méthodologique*



## Classification du groupe hydrologique

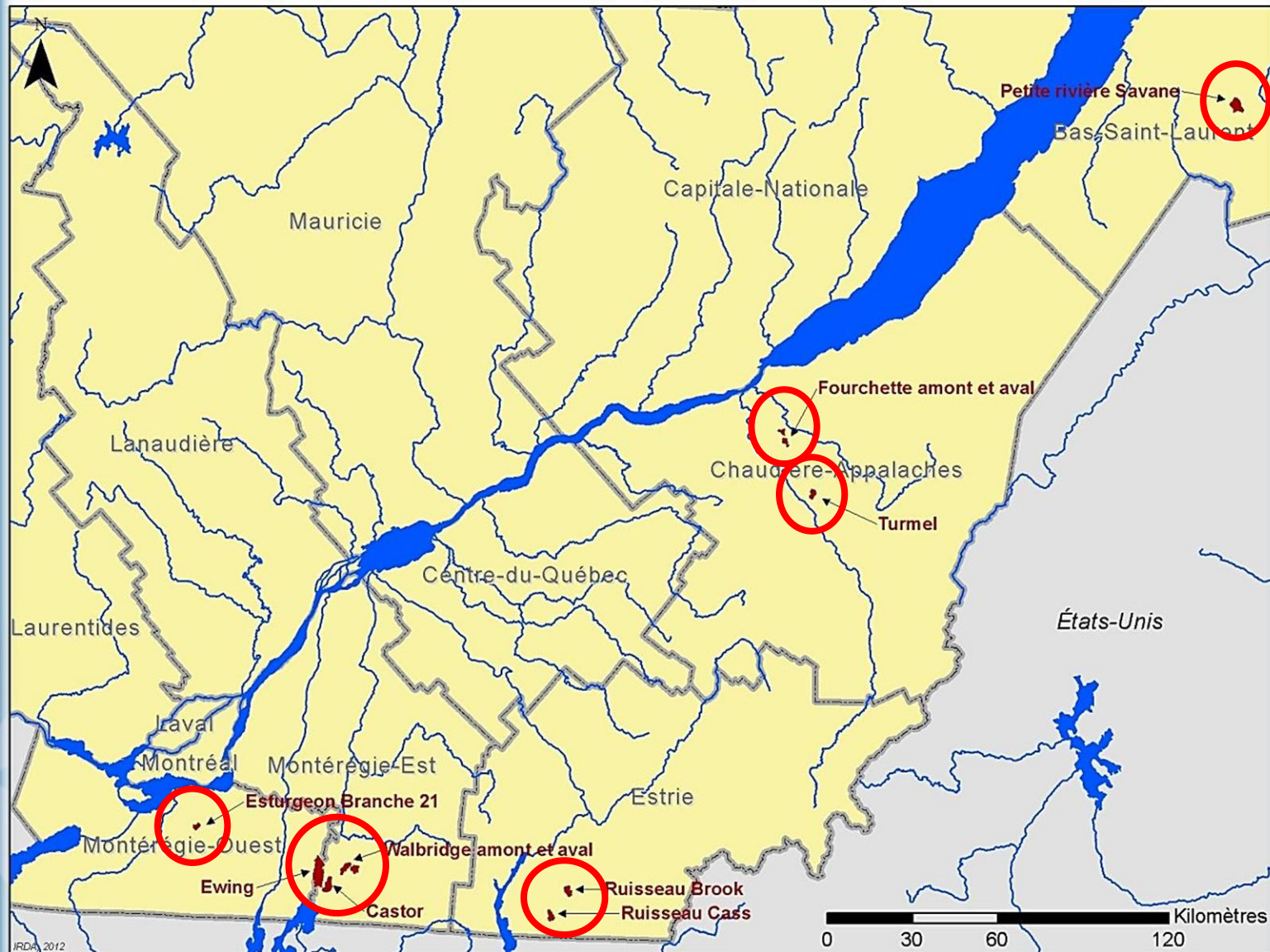
- Résultats

- Données physiques de l'inventaire ont permis de classer 159 séries de sols.
- Règles de décisions → données génériques.
  - 711 séries de sols : A,B,C,D.
  - Critères de la famille.
  - Ajustements par jugement expert.
- Sols organiques demeurent non-classifiés.
  - Comportement distinct des sols minéraux.

**Banque de données hydropédologiques en ligne:**

***IRDA.qc.ca***

# Localisation des bassins versants à l'étude



# Superficies des bassins versants, Longueur et pente des cours d'eau

#	Bassin Versant	Superficie (ha)	Longueur d'écoulement (m)	Pente (m/m)
1	Aux Castors	1,228	7418	0.0013
2	Binet	483	1841	0.0046
3	Esturgeon_Branche21	231	3977	0.0012
4	Ewing	2,782	12957	0.0014
5	Fourchette_Amont	250	3973	0.0052
6	Fourchette_Aval	192	2241	0.0066
7	Petite_Riviere_Savane	1,519	6343	0.0065
8	Ruisseau_Brook	618	4328	0.0139
9	Ruisseau_Cass	714	5072	0.0187
10	Turmel	530	3952	0.0203
11	Walbridge_Amont	631	3361	0.0037
12	Walbridge_Aval	794	6504	0.0026



# *Le réseau de l'observatoire*

## Dispositifs expérimentaux et méthodologie

**Limnimètre et sonde acoustique**



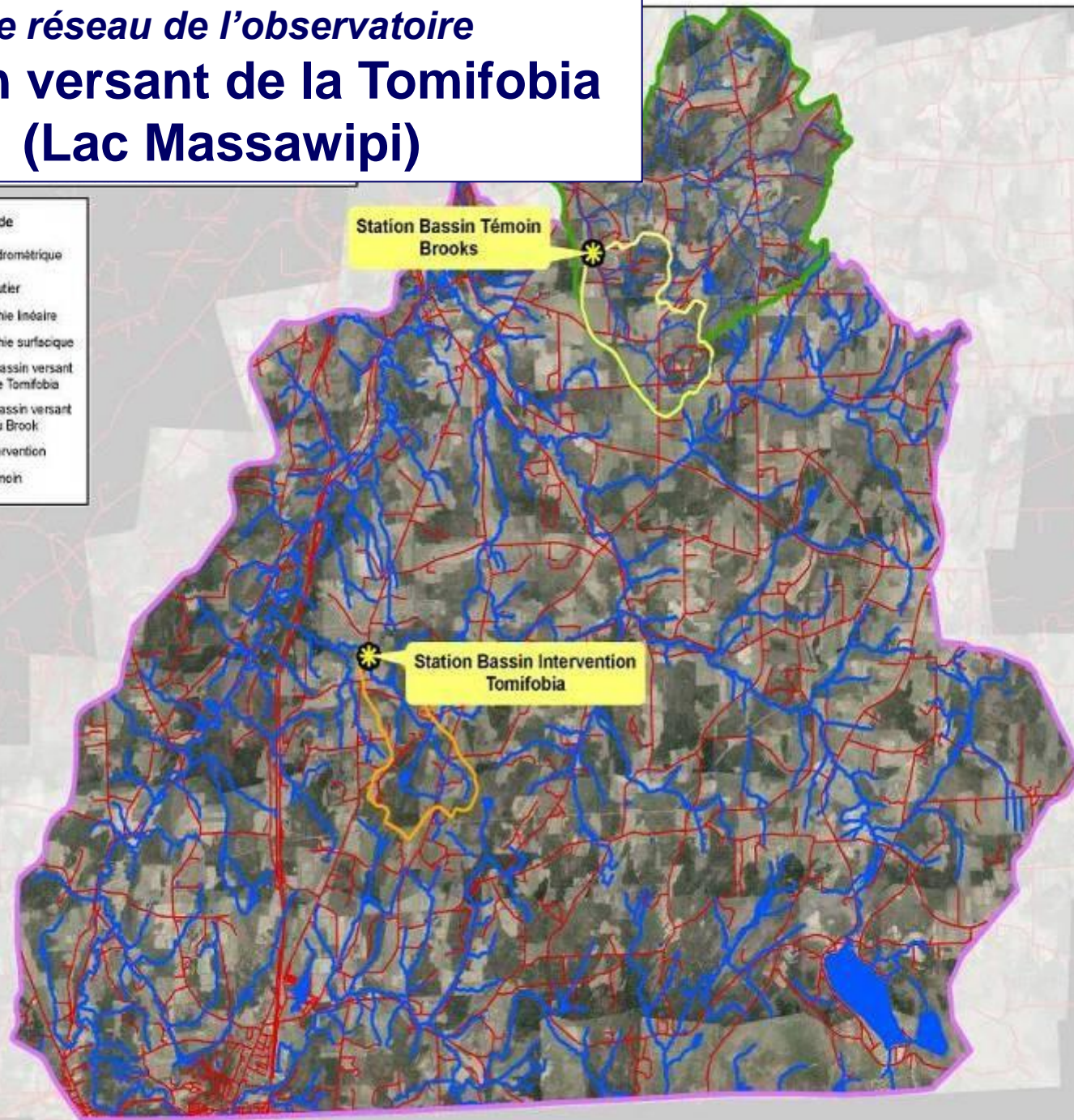
**Dispositif d'alimentation solaire**



**Sonde multi-paramètres**



# Le réseau de l'observatoire Bassin versant de la Tomifobia (Lac Massawipi)



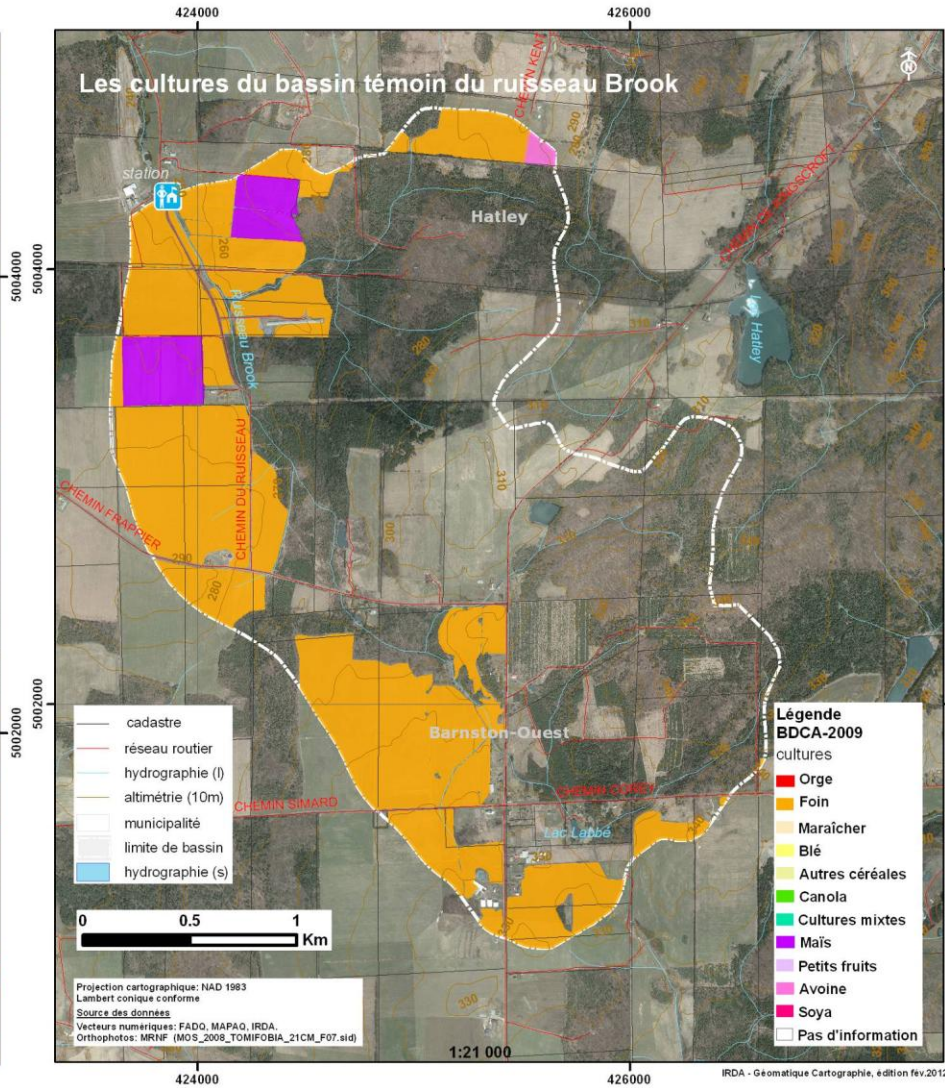
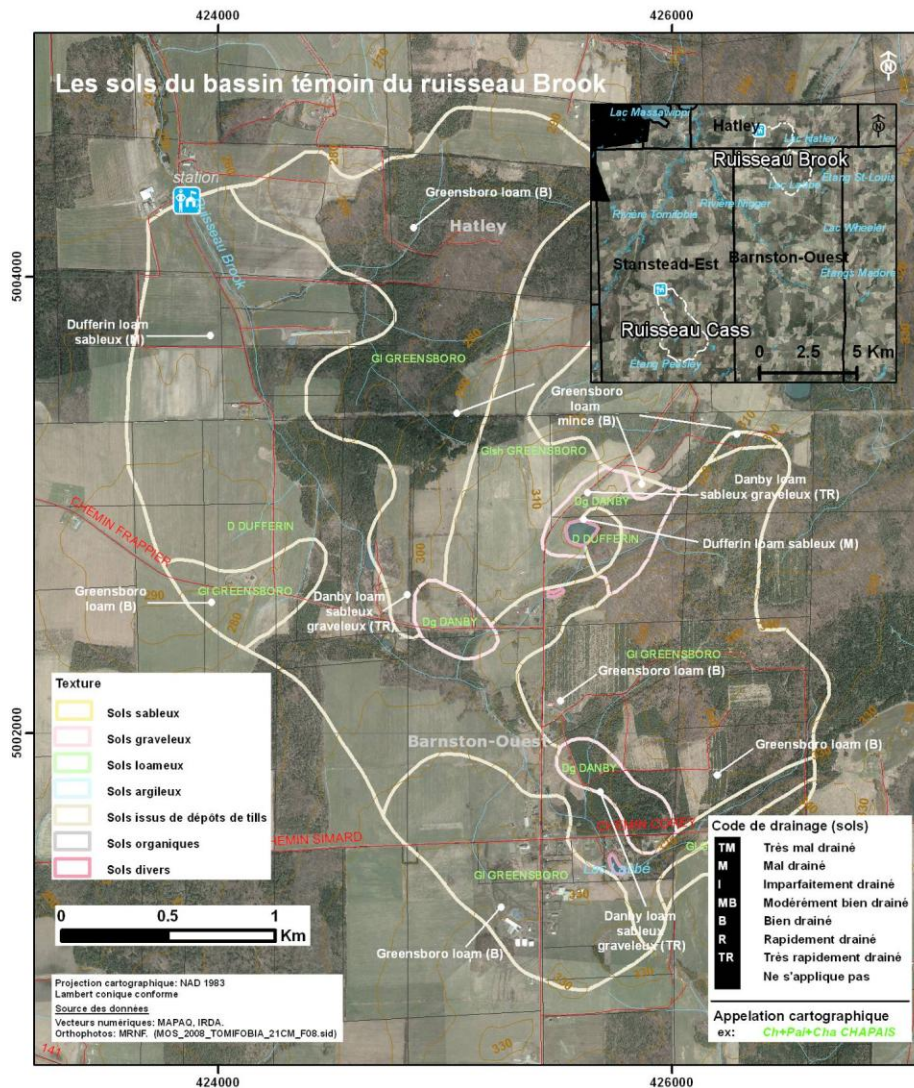


*Le réseau de l'observatoire*  
**Bassin versant de la Tomifobia**  
**(Lac Massawippi)**





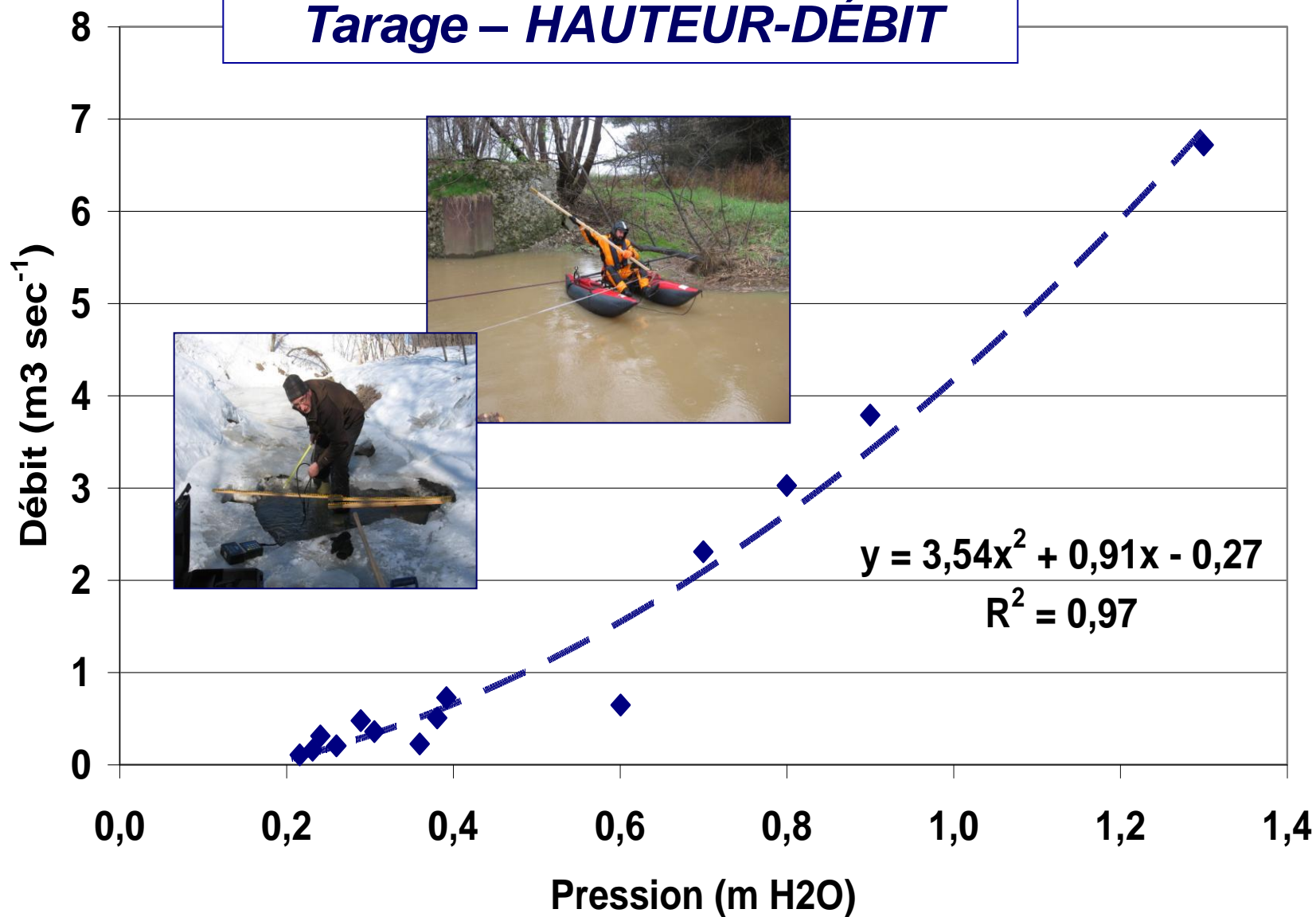
# Le réseau de l'observatoire Bassin versant du ruisseau Brook (Lac Massawippi)



# Courbe de tarage Hauteur:Débit, 2009-2011

## Ruisseau Cass, Bassin Tomifobia, Estrie

### Tarage – HAUTEUR-DÉBIT



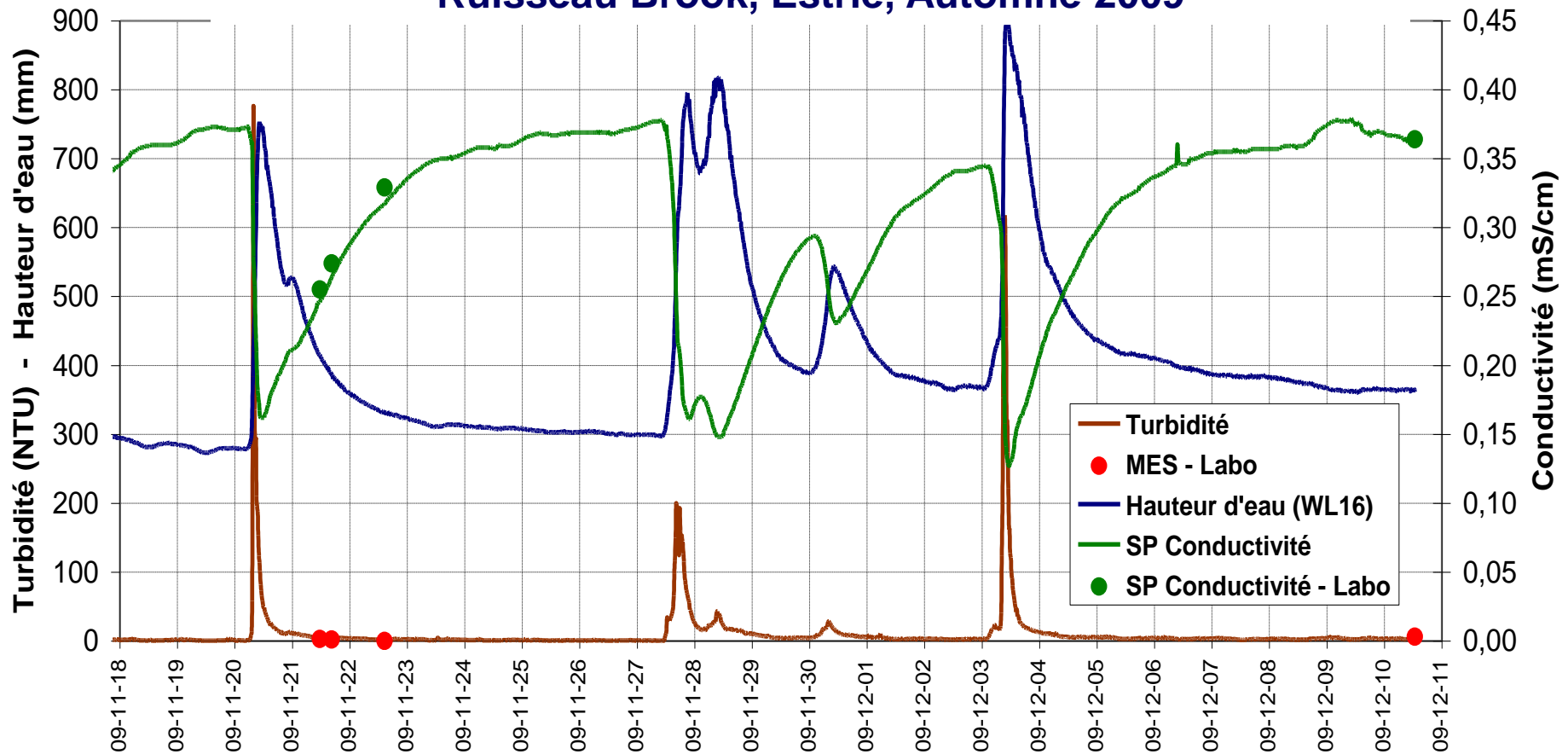


# Méthodologie: analyses hydrologiques

## *Débit, turbidité et conductivité en continu*

Signaux de turbidité, conductivité et hauteur d'eau

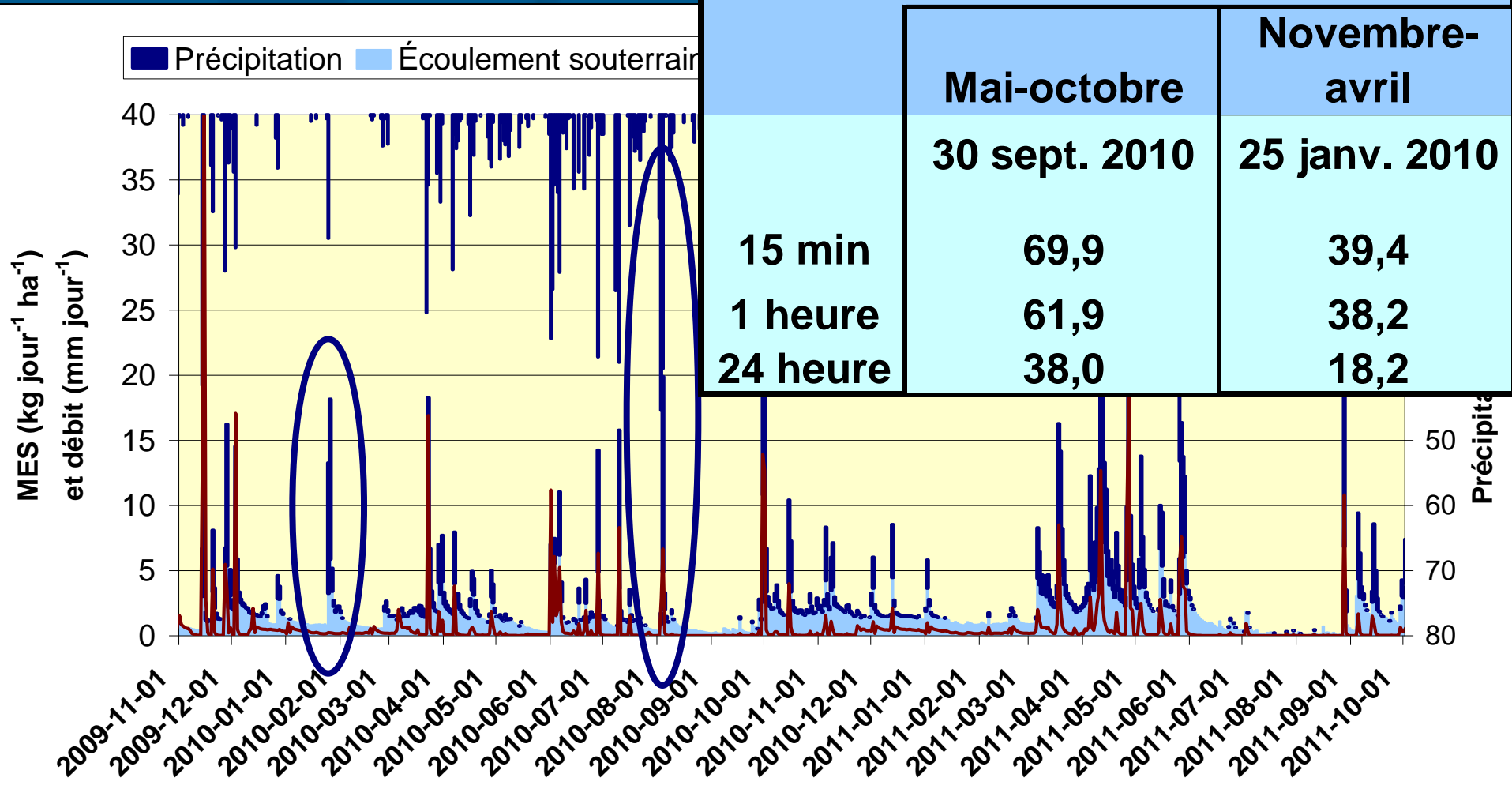
Ruisseau Brook, Estrie, Automne 2009



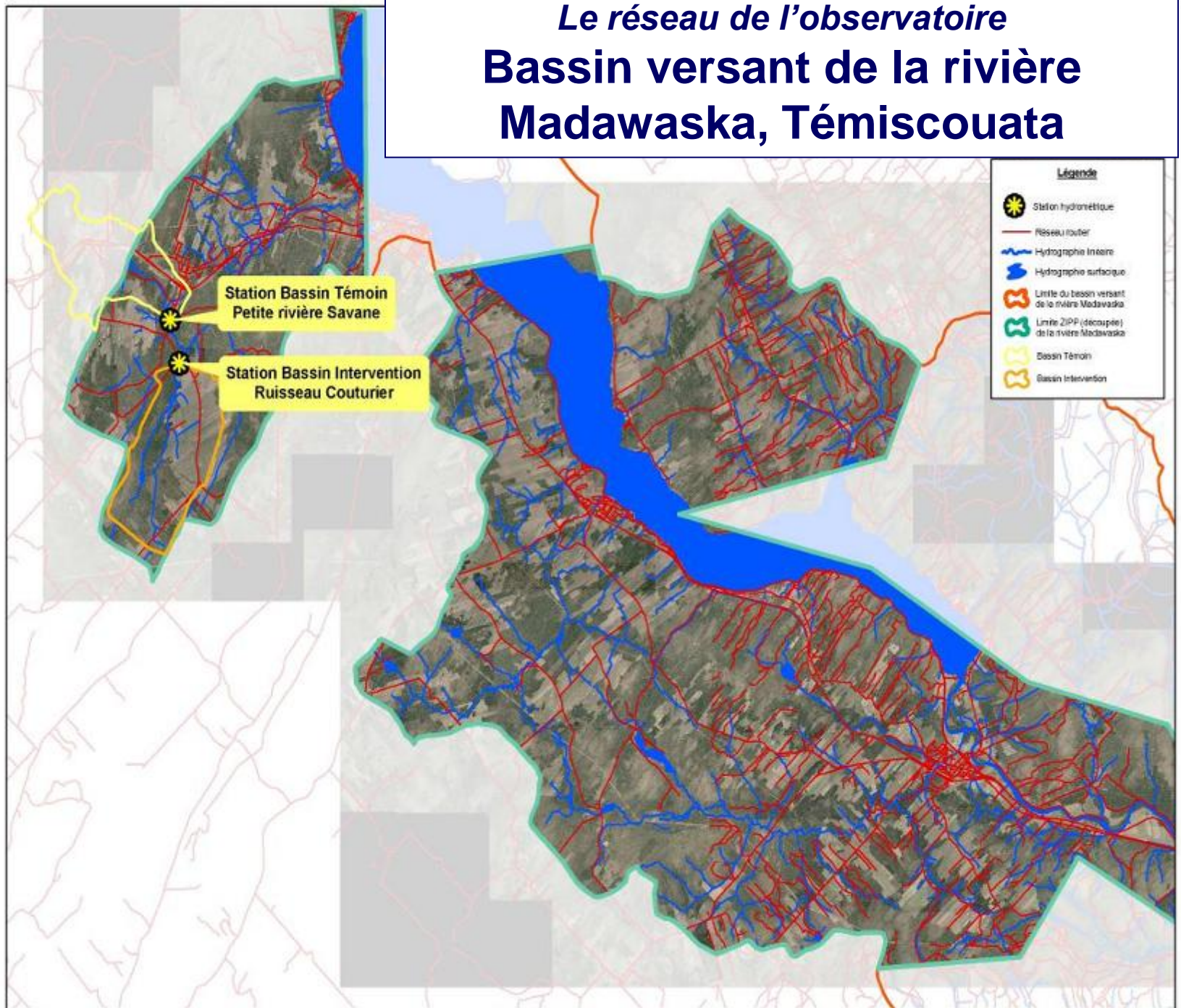
# Méthodologie: analyses hydrologiques

## Hydrogrammes et flux de sédiments

### Ruisseau Brook, Estrie



# Le réseau de l'observatoire Bassin versant de la rivière Madawaska, Témiscouata





*Le réseau de l'observatoire*  
**Bassin versant Madawaska,  
Témiscouata**





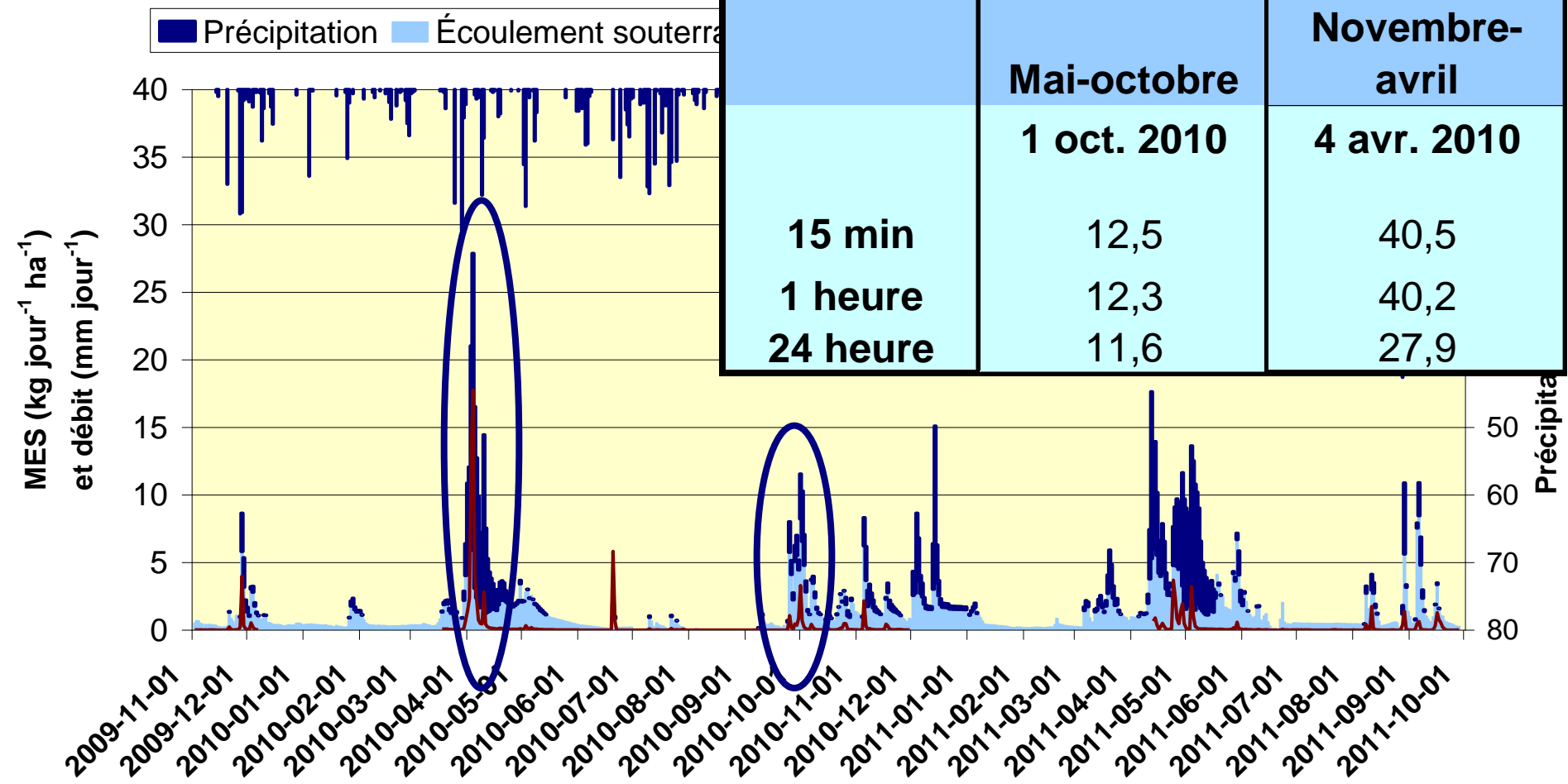


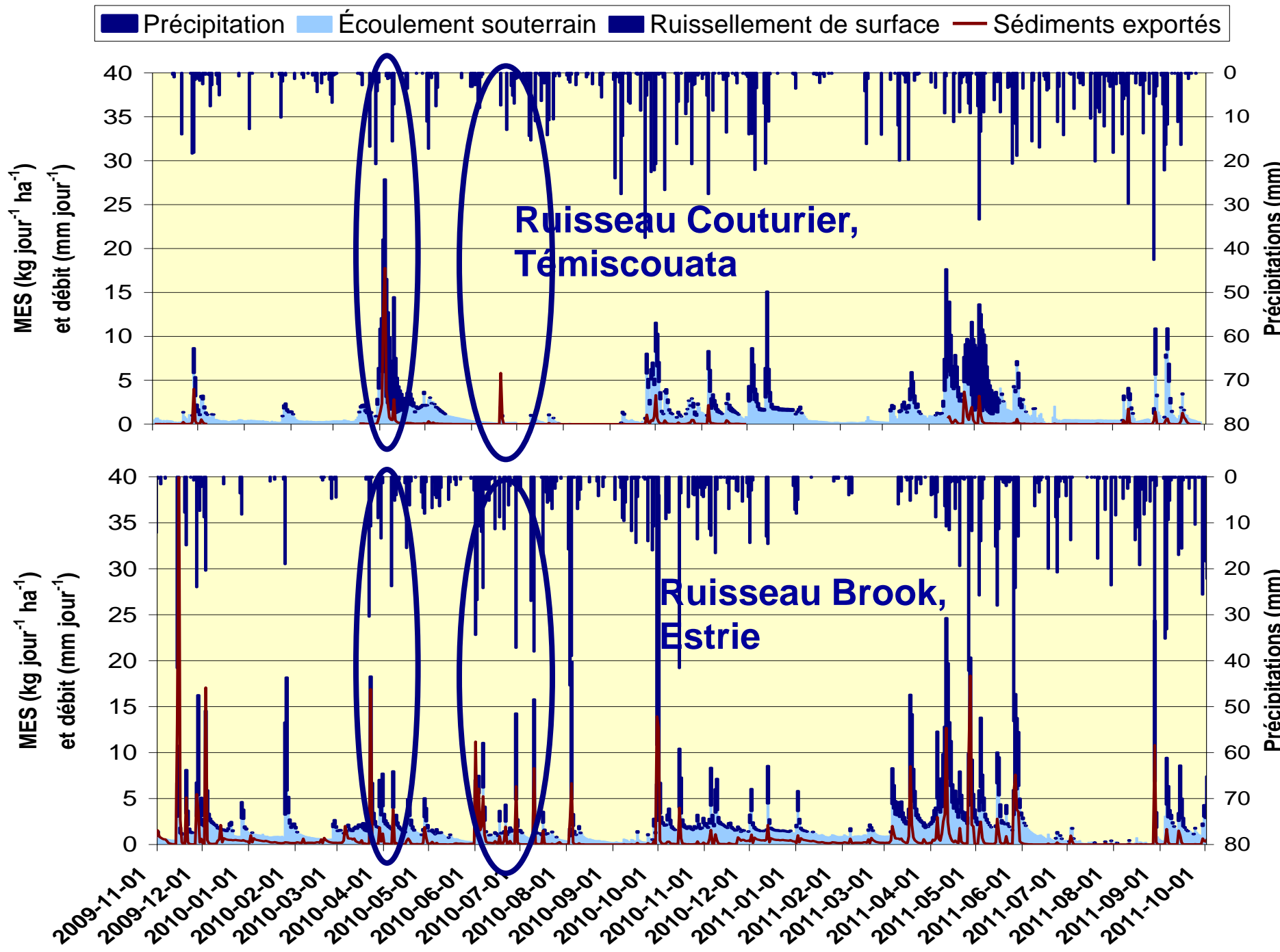


# Méthodologie: analyses hydrologiques

## Hydrogrammes et flux de sédiments

Ruisseau Couturier, Témiscouata





# Conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques

## Démarche du volet hydrologique

### Caractérisation des bassins

#### Observations

- Hydrométriques
- Météorologiques

#### Propriétés

- Sols, relief, hydro-
- Pratiques culturales

#### Banque de données hydropédologiques

#### Courbes IDF

Analyse  
hydrologique

VisuHydro

Modélisation

Validation

### Paramètres observés

- Volume de ruissellement
- Temps de concentration
- Forme de l'hydrogramme
- Débit de pointe

### Modèles de prédiction

Débits de pointe  
Prédits VS Observés

# Analyses hydrologiques des crues des bassins à l'étude

Retour sur les paramètres à analyser...

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

**Q<sub>p</sub>**: Débit de pointe

**K**: Paramètre de forme de l'hydrogramme

**C**: coefficient de ruissellement

**P<sub>te</sub>**: Précipitation

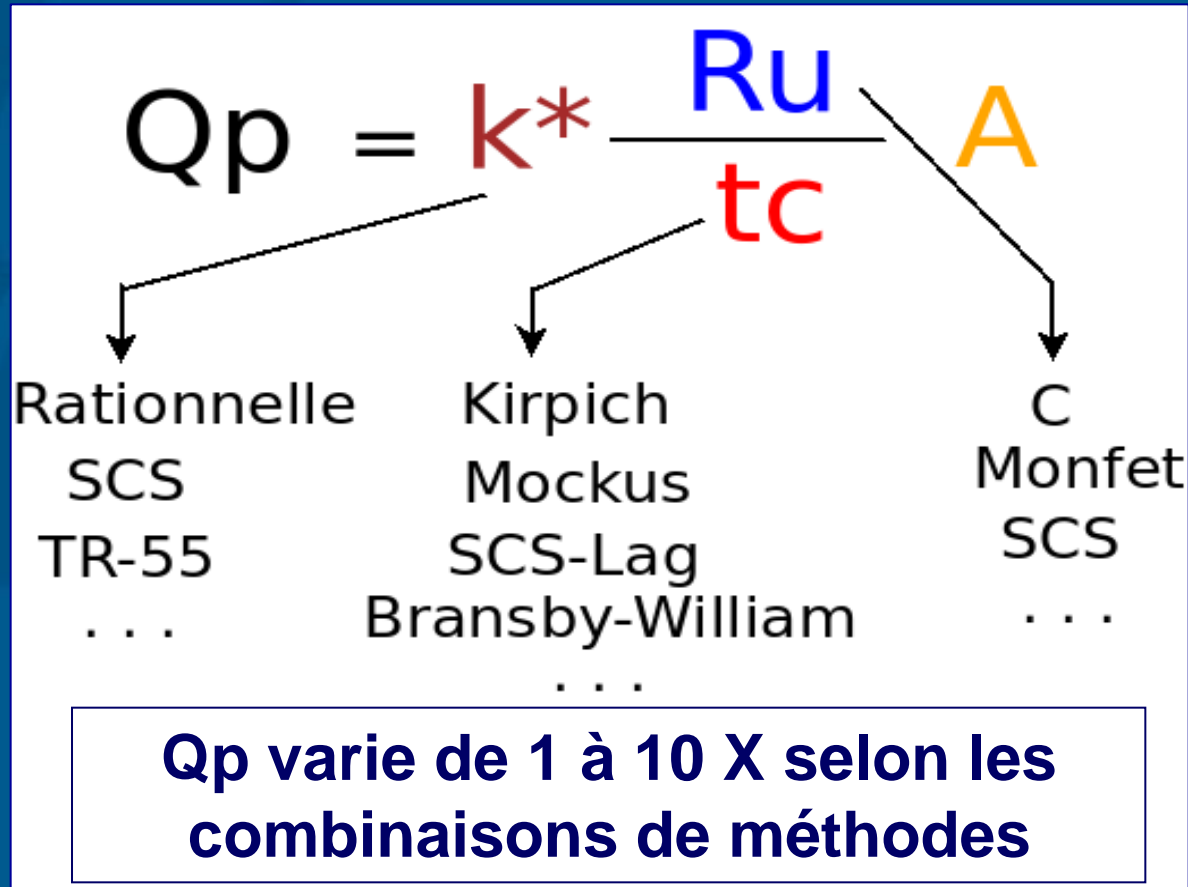
**T<sub>c</sub>**: Temps de concentration

**A**: Superficie du bassin



# Analyses hydrologiques des crues des bassins à l'étude

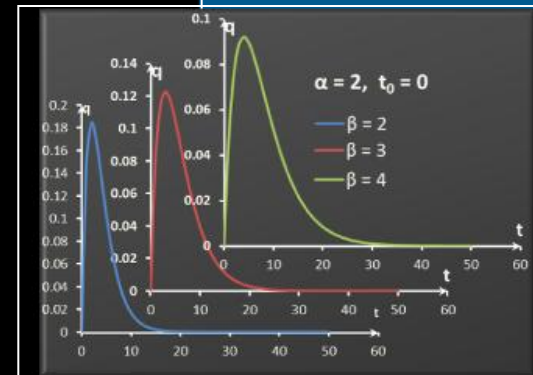
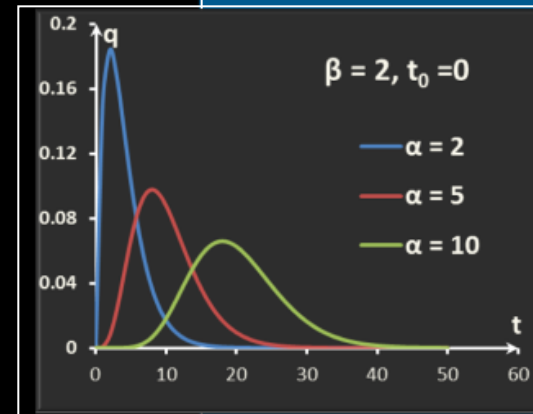
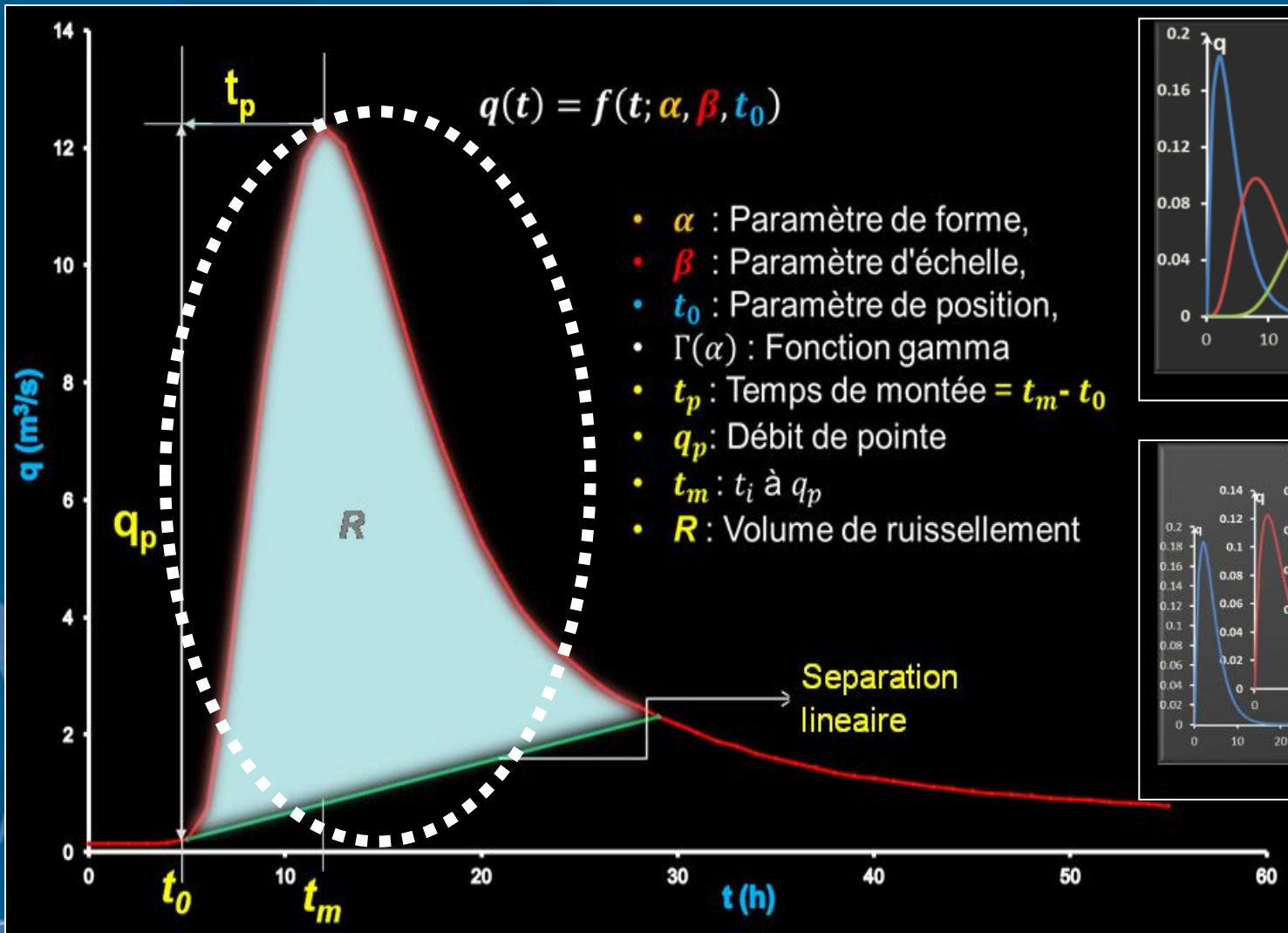
## Retour sur les paramètres à analyser...



*Méthodes courantes de prédiction*

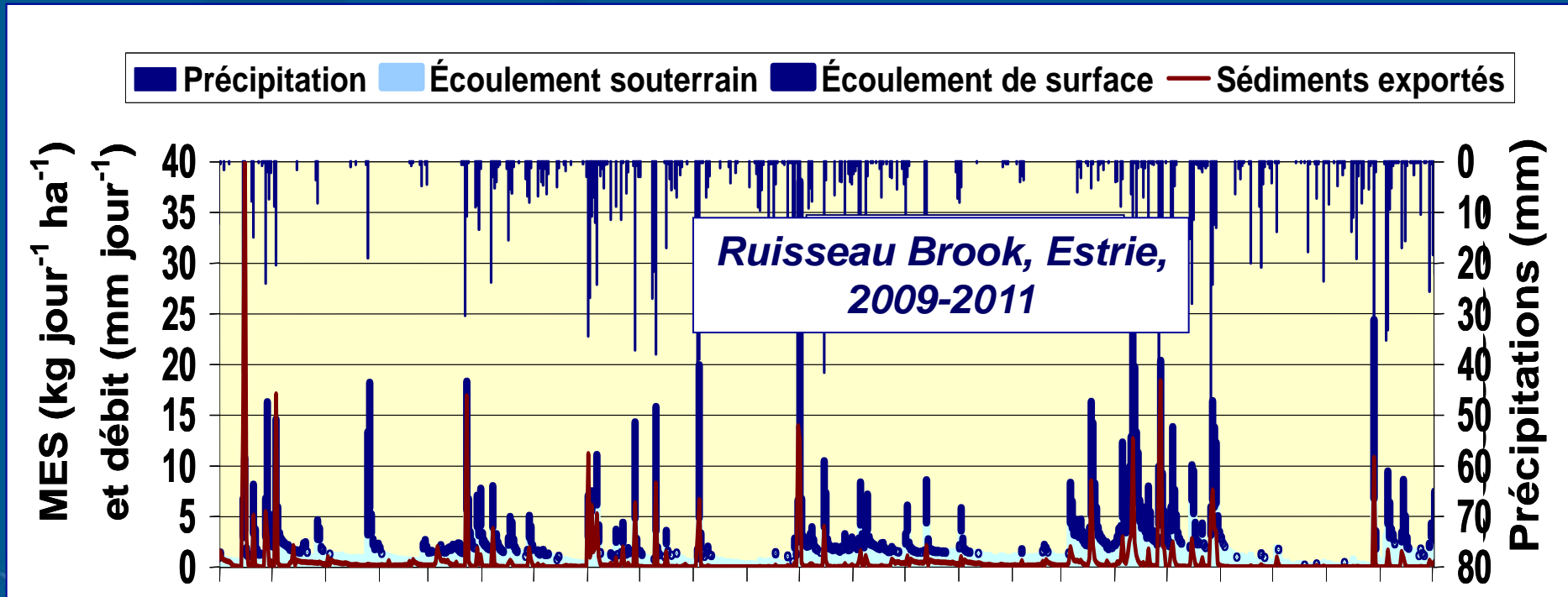
# Analyses hydrologiques des crues des bassins à l'étude

## Retour sur les paramètres à analyser...



# Analyses hydrologiques des crues des bassins à l'étude

## Retour sur les paramètres à analyser...

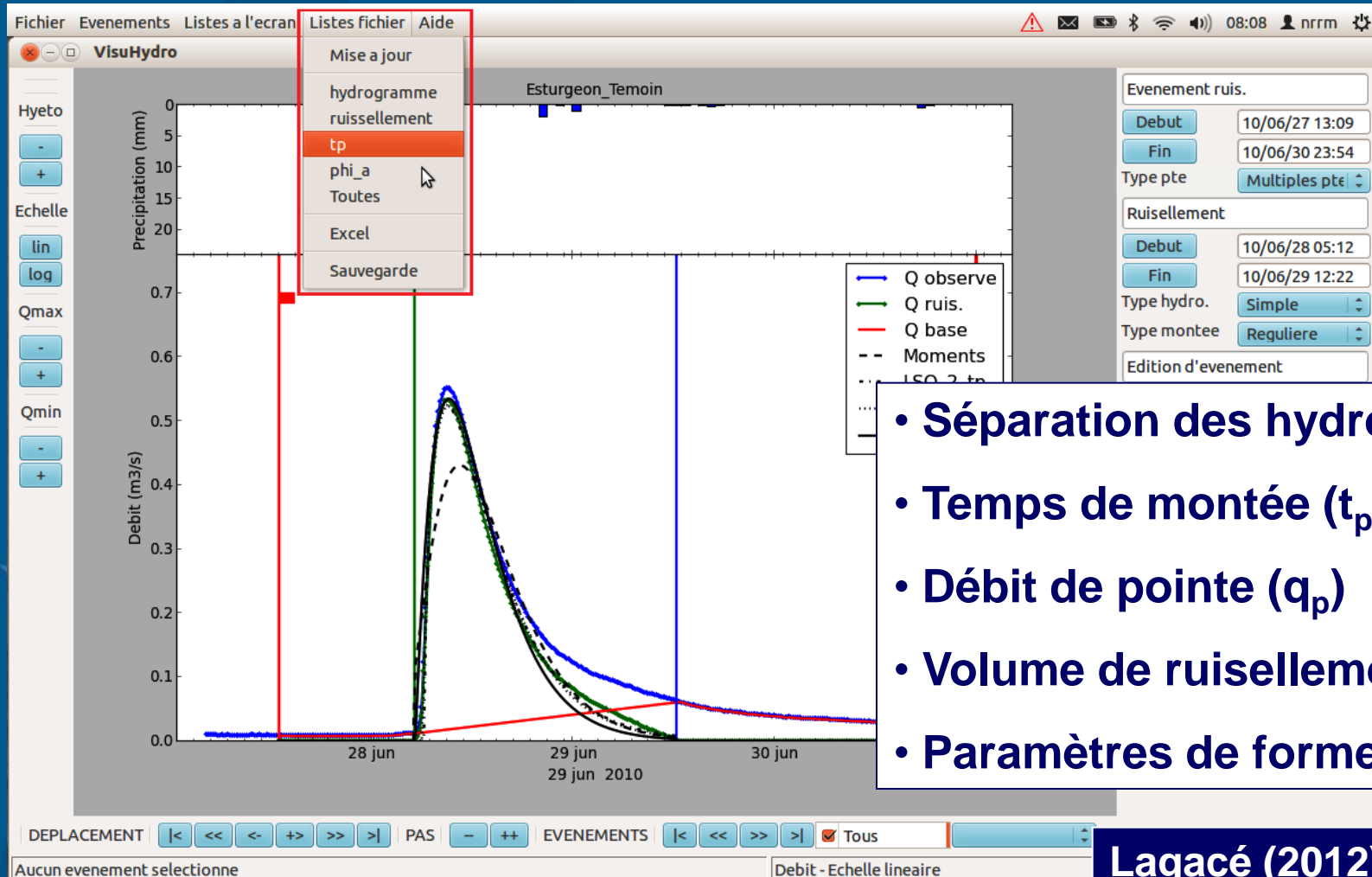


Observations hydrométriques:

96 observ/jr (15 min) X 365 jr/an X 6 ans = 21,000 observ.

## Analyses hydrologiques des crues des bassins à l'étude

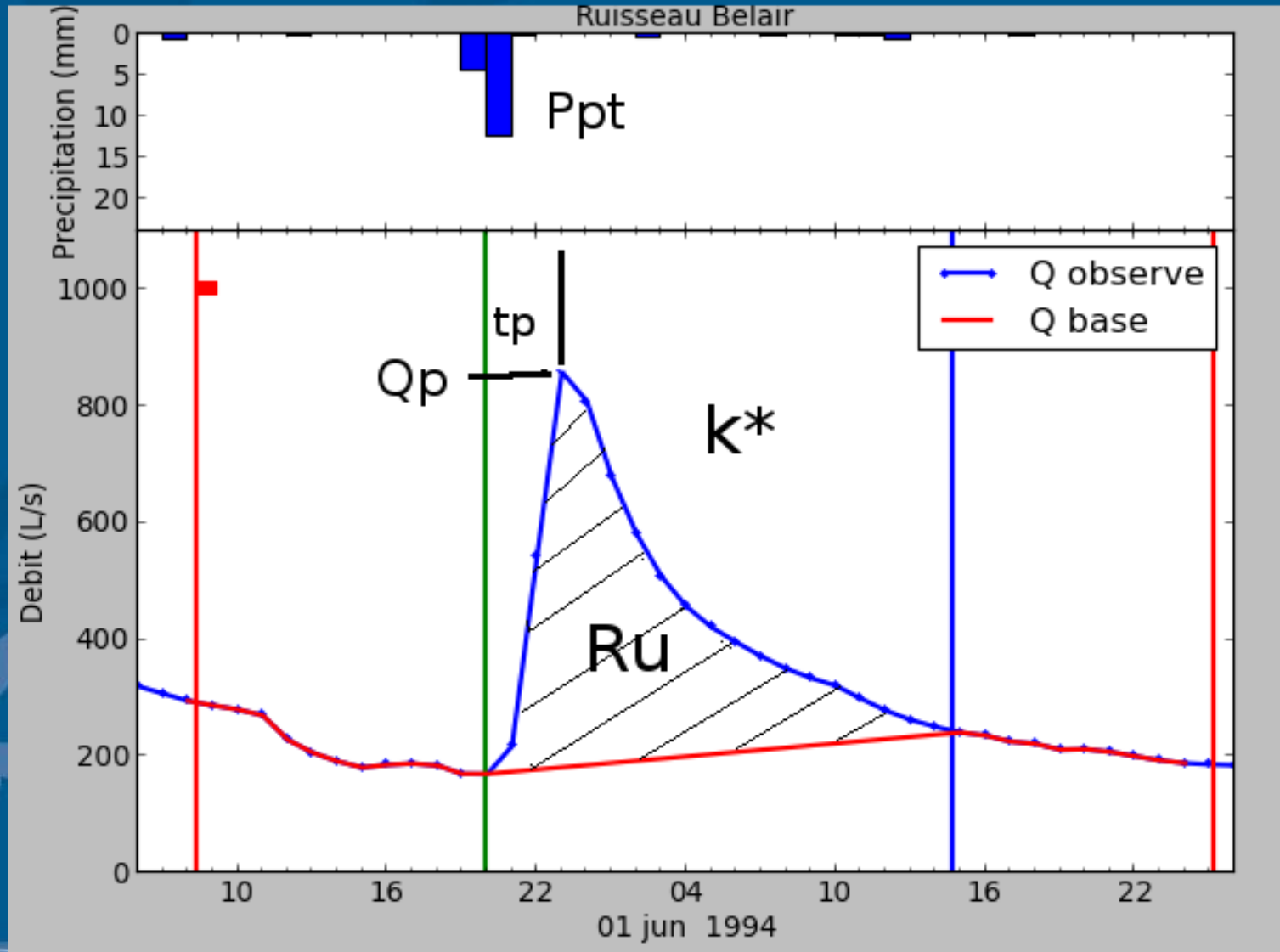
### Développement de l'outil d'analyse hydrologique



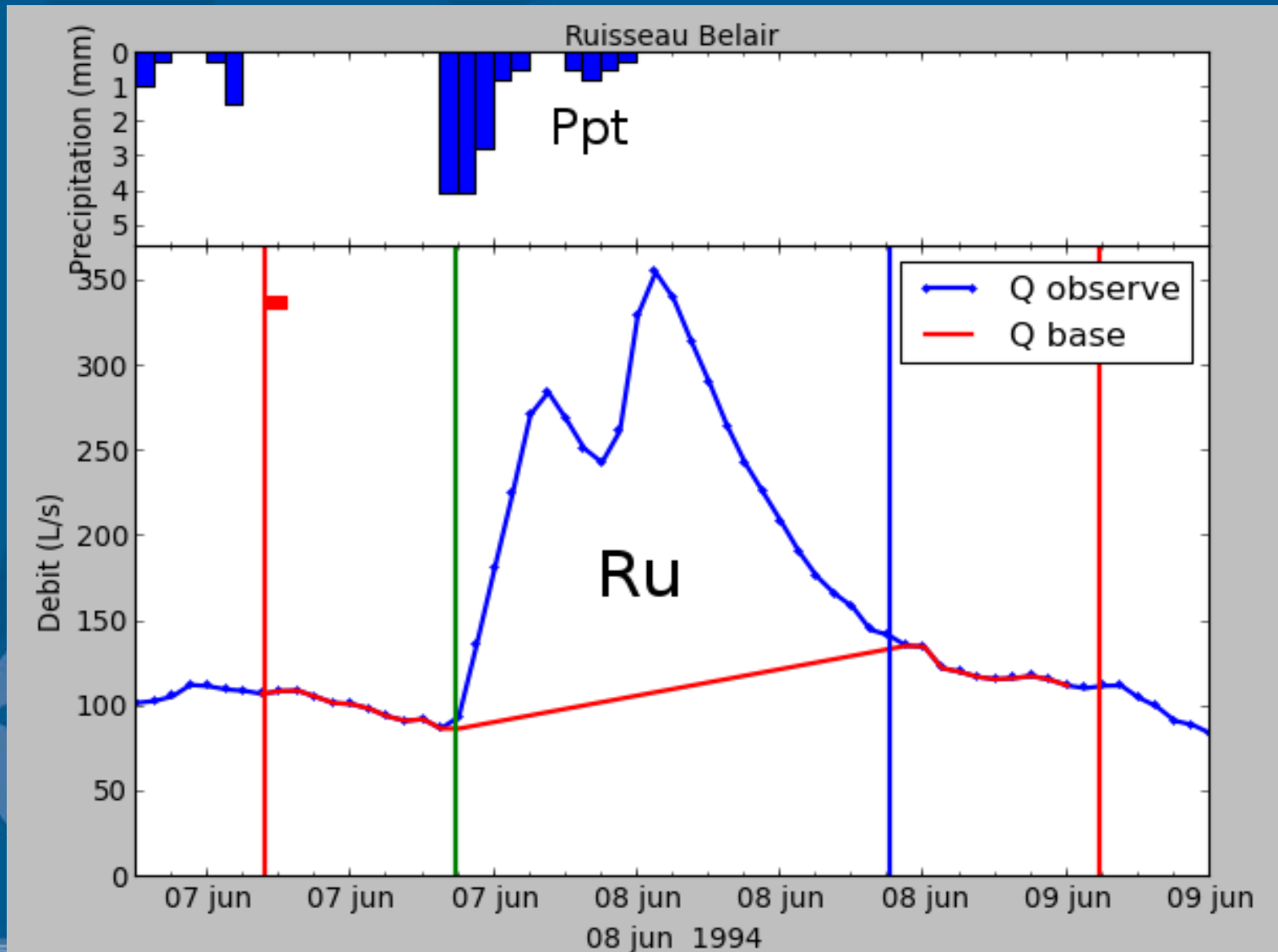
- Séparation des hydrogrammes
- Temps de montée ( $t_p$ )
- Débit de pointe ( $q_p$ )
- Volume de ruissellement ( $R$ )
- Paramètres de forme



# Développement de l'outil d'analyse hydrologique Logiciel VisuHydro



# Développement de l'outil d'analyse hydrologique Logiciel VisuHydro

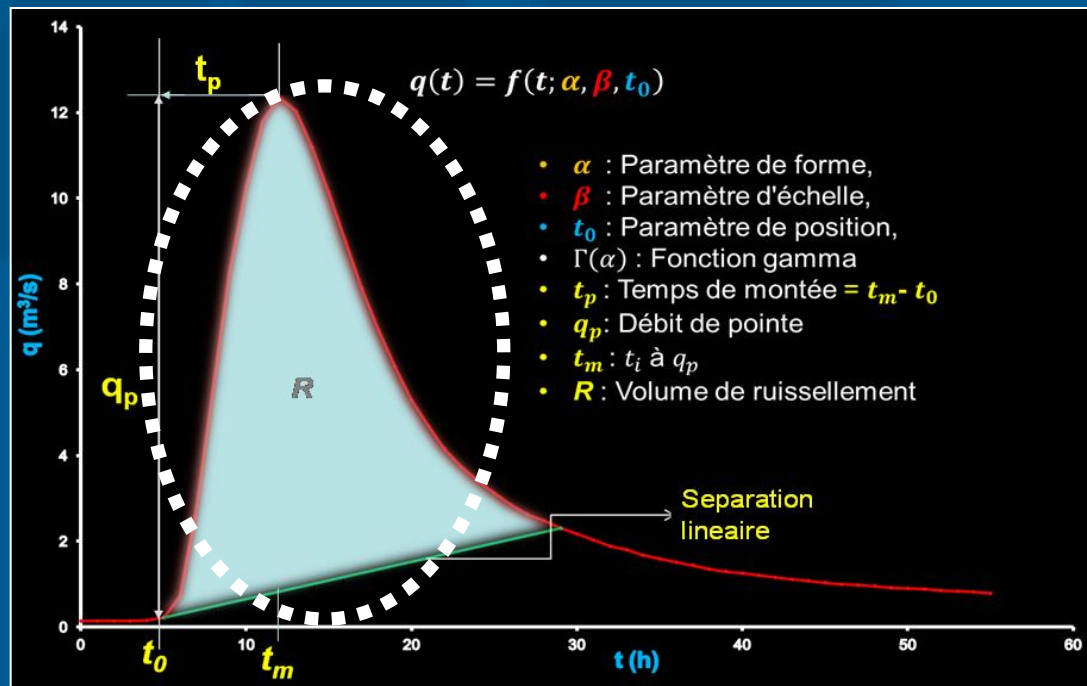


# Nombre et types d'hydrogrammes analysés

Bassin versant	Années analysées	Type Hydrogramme					Total par bassin
		Simple	Unitaire	Complexe	Multi-pics	Problème	
Aux Castors	4.7	41		35	26	6	108
Binet	2.8	35		11	8	4	58
Esturgeon Branche21	1.9	18		13	13	1	45
Ewing	4.6	34		35	12	12	93
Fourchette Amont	6.0	35		37	24	2	98
Fourchette Aval	3.0	15	1	18	15	4	53
Petite Riviere Savane	1.9	4		8	9	5	26
Ruisseau Brook	1.3	10		13	12	5	40
Ruisseau Cass	1.3	10		13	6	5	34
Turmel	2.8	28		14	5	5	52
Walbridge Amont	4.6	25		39	26	6	96
Walbridge Aval	4.6	20		31	22	8	81
<b>Total</b>	<b>39.6</b>	<b>275</b>	<b>1</b>	<b>267</b>	<b>178</b>	<b>63</b>	<b>784</b>

# Modélisation – Volumes de ruissellement

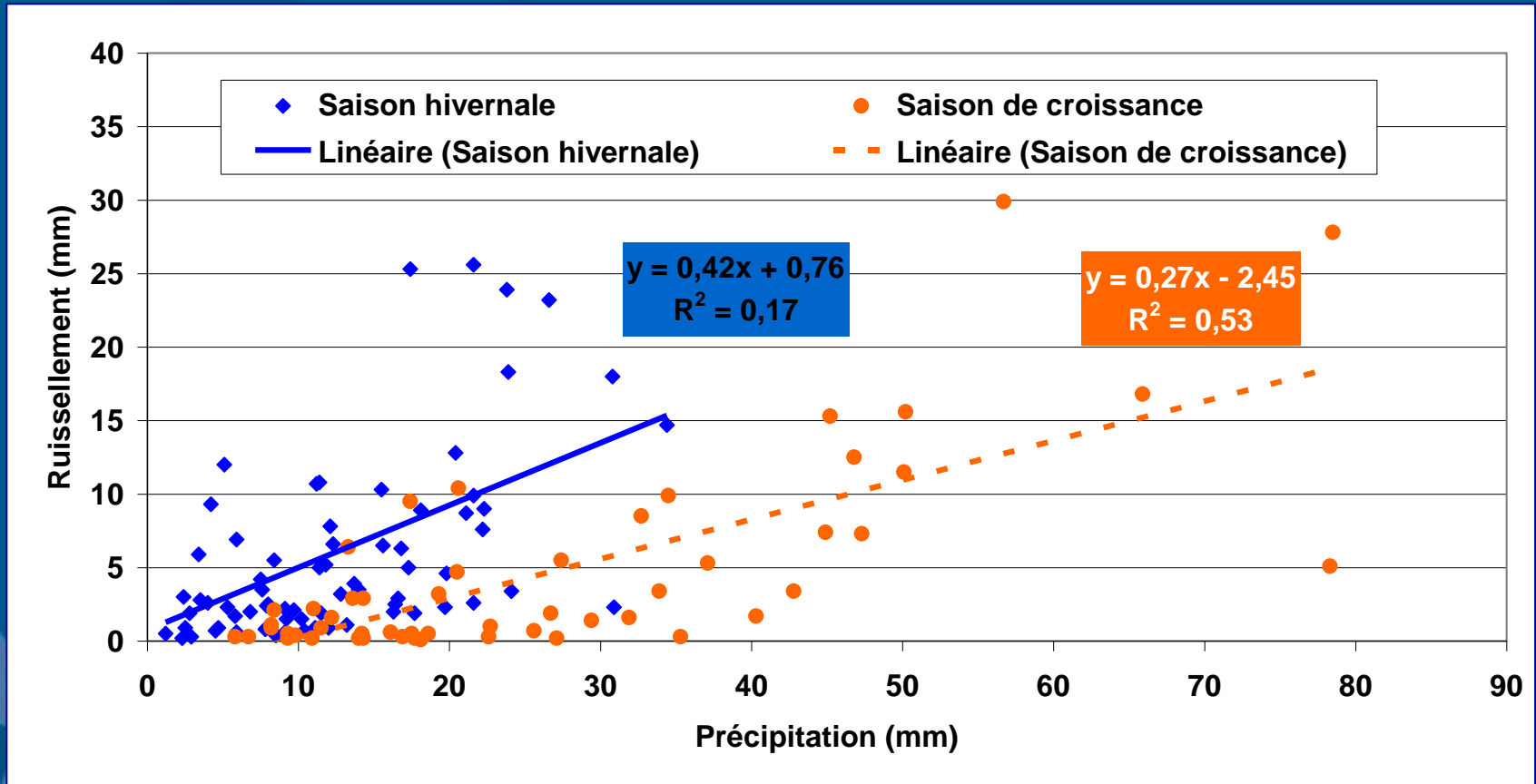
- 709 hydrogrammes retenus,
- 12 bassins agricoles, 2-30 km<sup>2</sup>;
- Régions: Montérégie, Estrie, Beauce et Témiscouata
- Analyse statistique de la relation entre les hauteurs de ruissellement et la précipitation (ANCOVA)





# Modélisation – Volumes de ruissellement

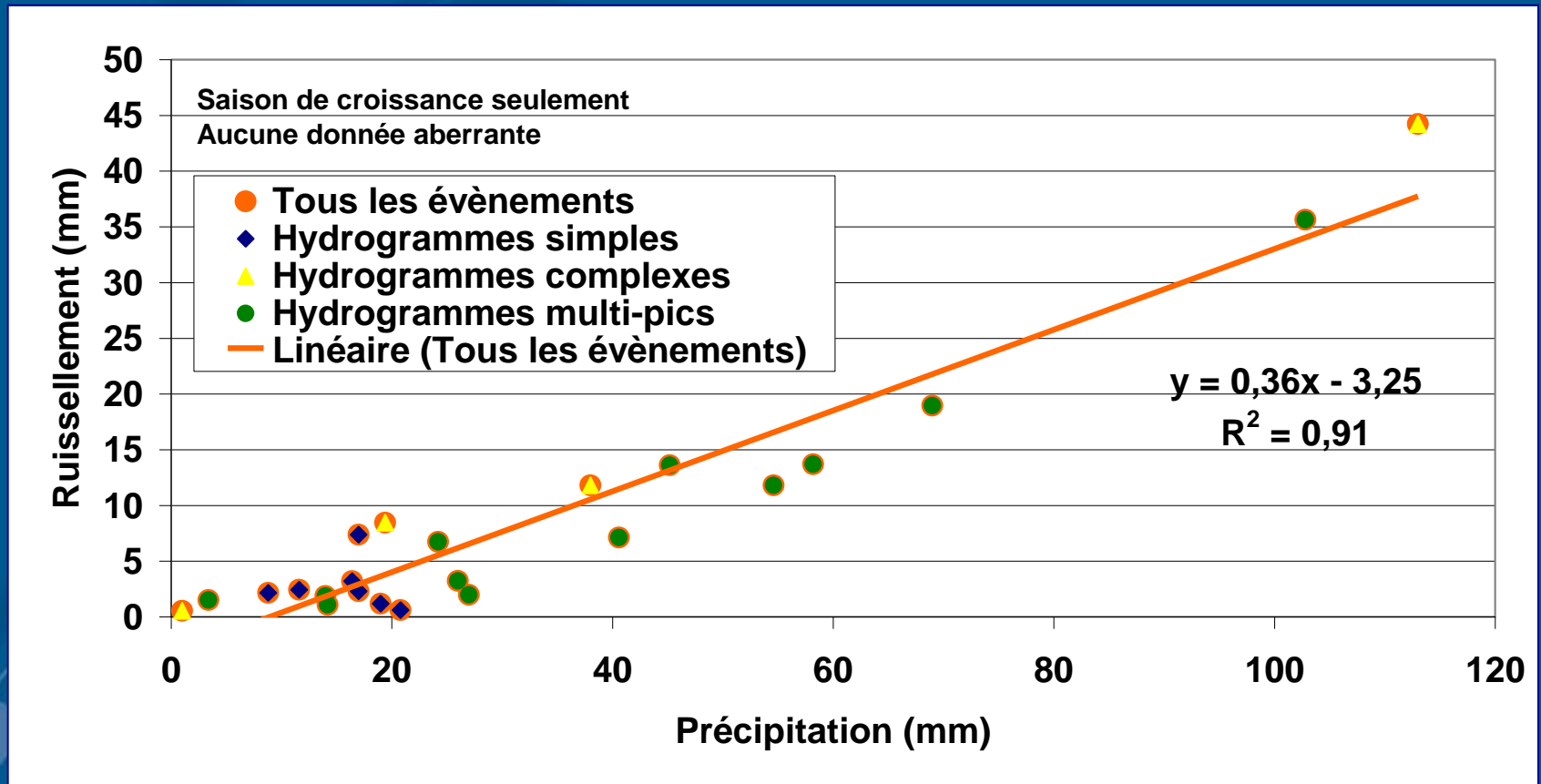
- Exclusion des hydrogrammes influencés par la fonte et la pluie hivernale
- Analyse ANCOVA sur les 463 hydrogrammes restants (mai-novembre)



Bassin versant du ruisseau au Castor en Montérégie

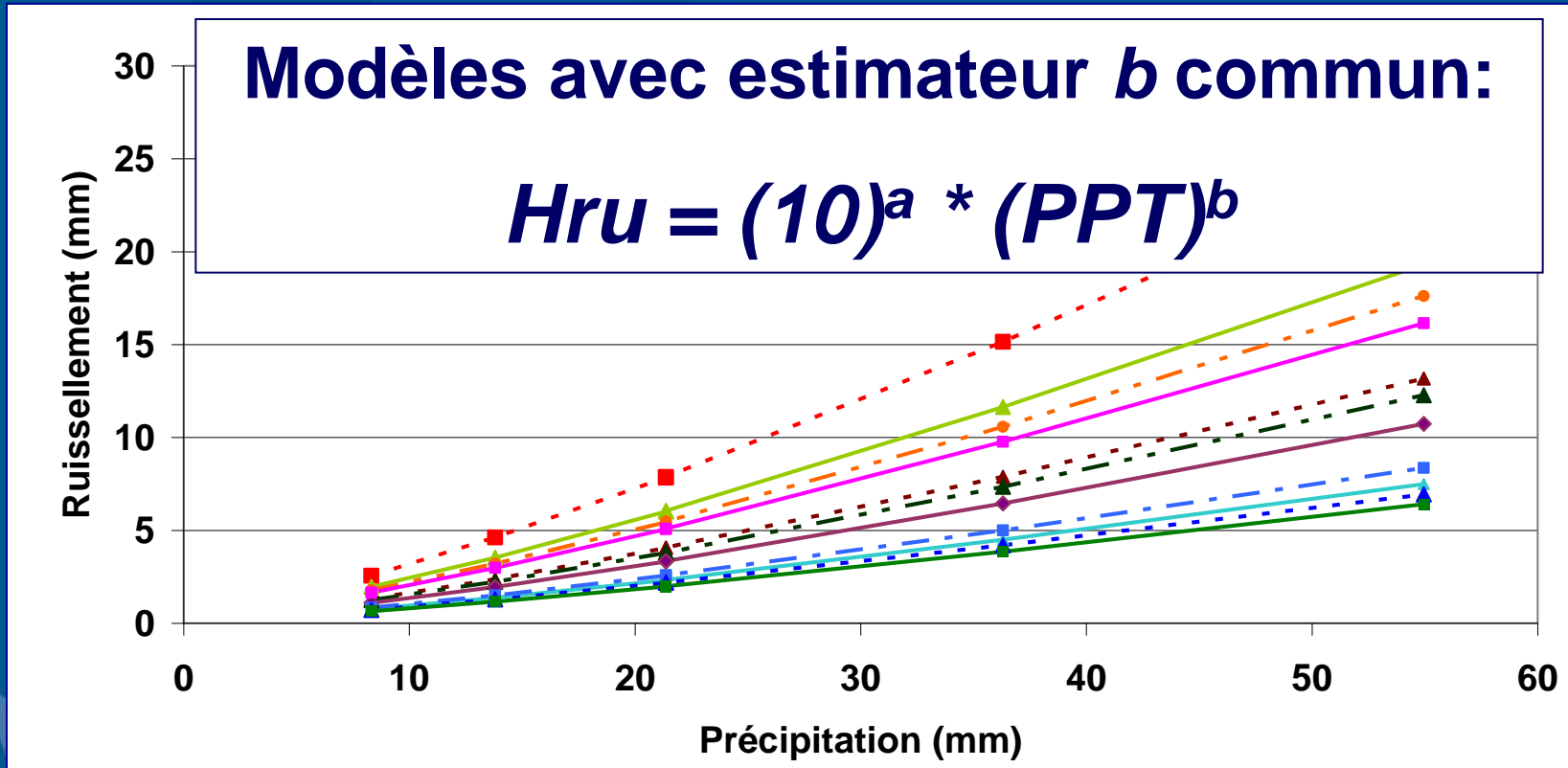
# Modélisation – Volumes de ruissellement

- Pas d'influence du type d'hydrogramme sur la relation Précipitation:hauteur de ruissellement
- Analyse ANCOVA sur l'ensemble des types d'hydrogrammes



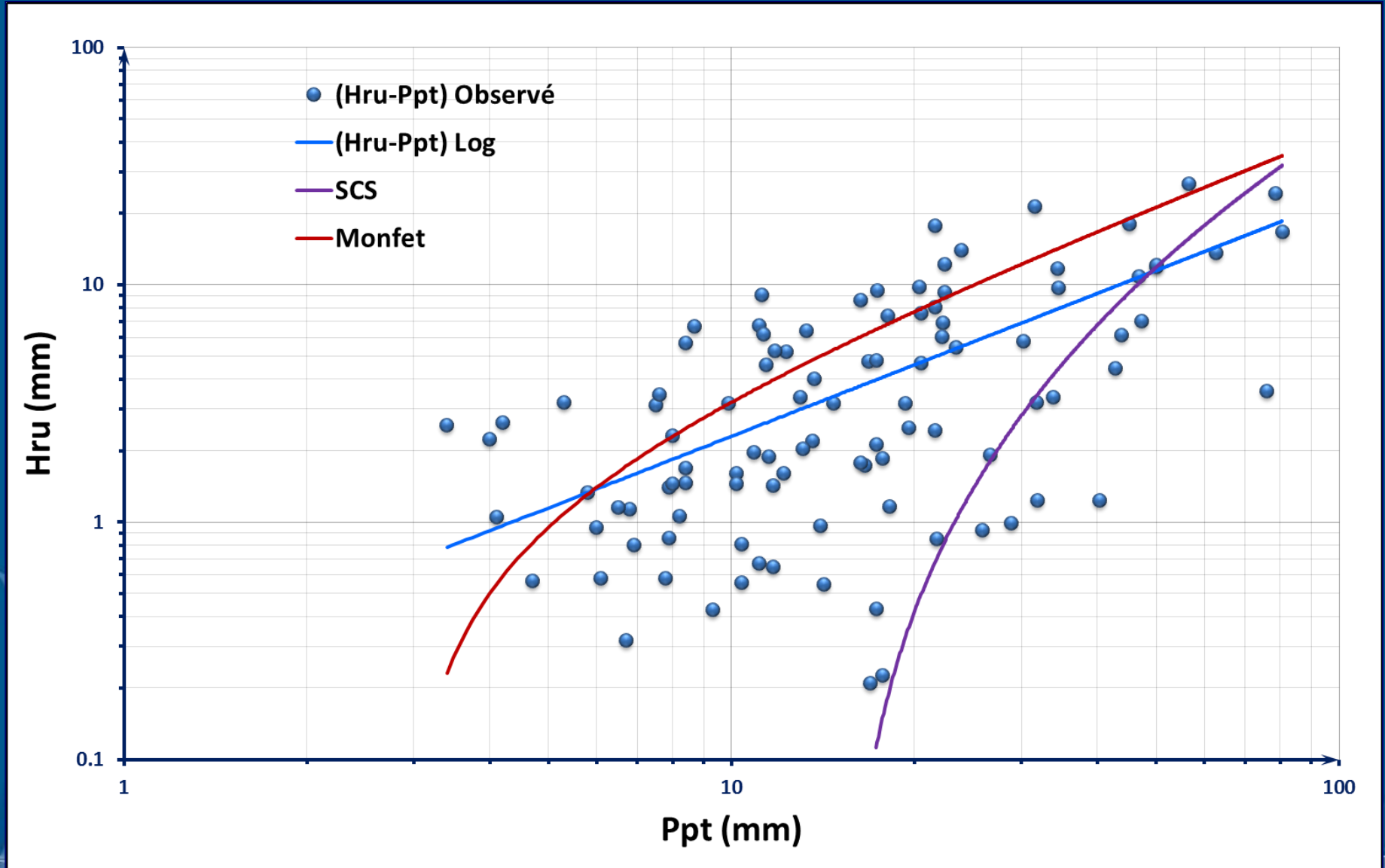
Bassin versant du ruisseau Brook, Estrie

# Modèle global d'analyse de covariance des hauteurs de ruissellement (Hru) considérant l'effet « Bassin »



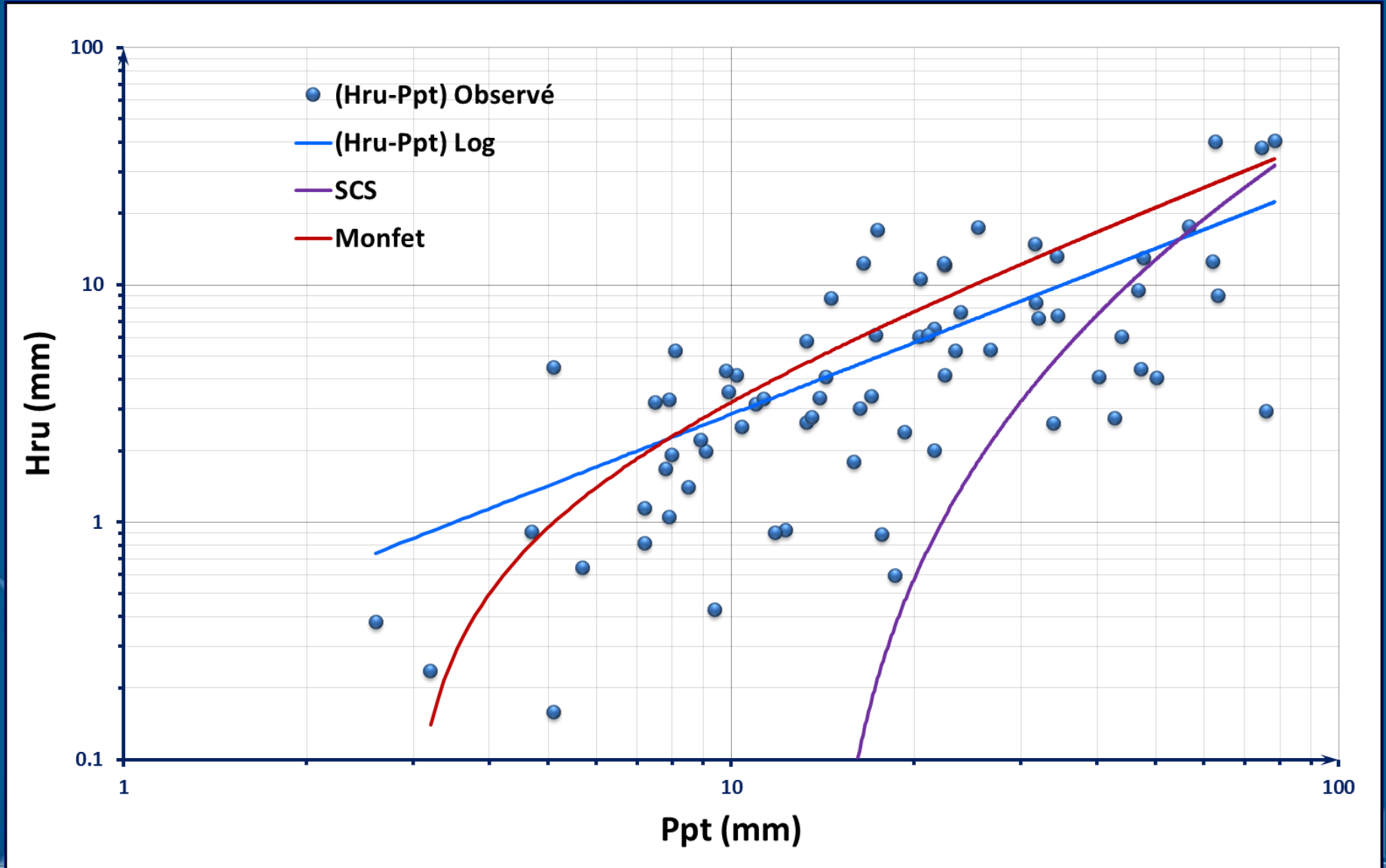
Source	DL	S.C.	M.C.	Erreur DL	Valeur F	Pr > F
Bassin	10	12,19	1,22	451	6,52	<,0001
LOG_PPT	1	77,95	77,95	451	416,72	<,0001
Résidu	451	84,36	0,19			

# Hauteur Ruissellement (Hru) vs Précipitation (Ppt) Bassin Versant Aux Castors, Montérégie

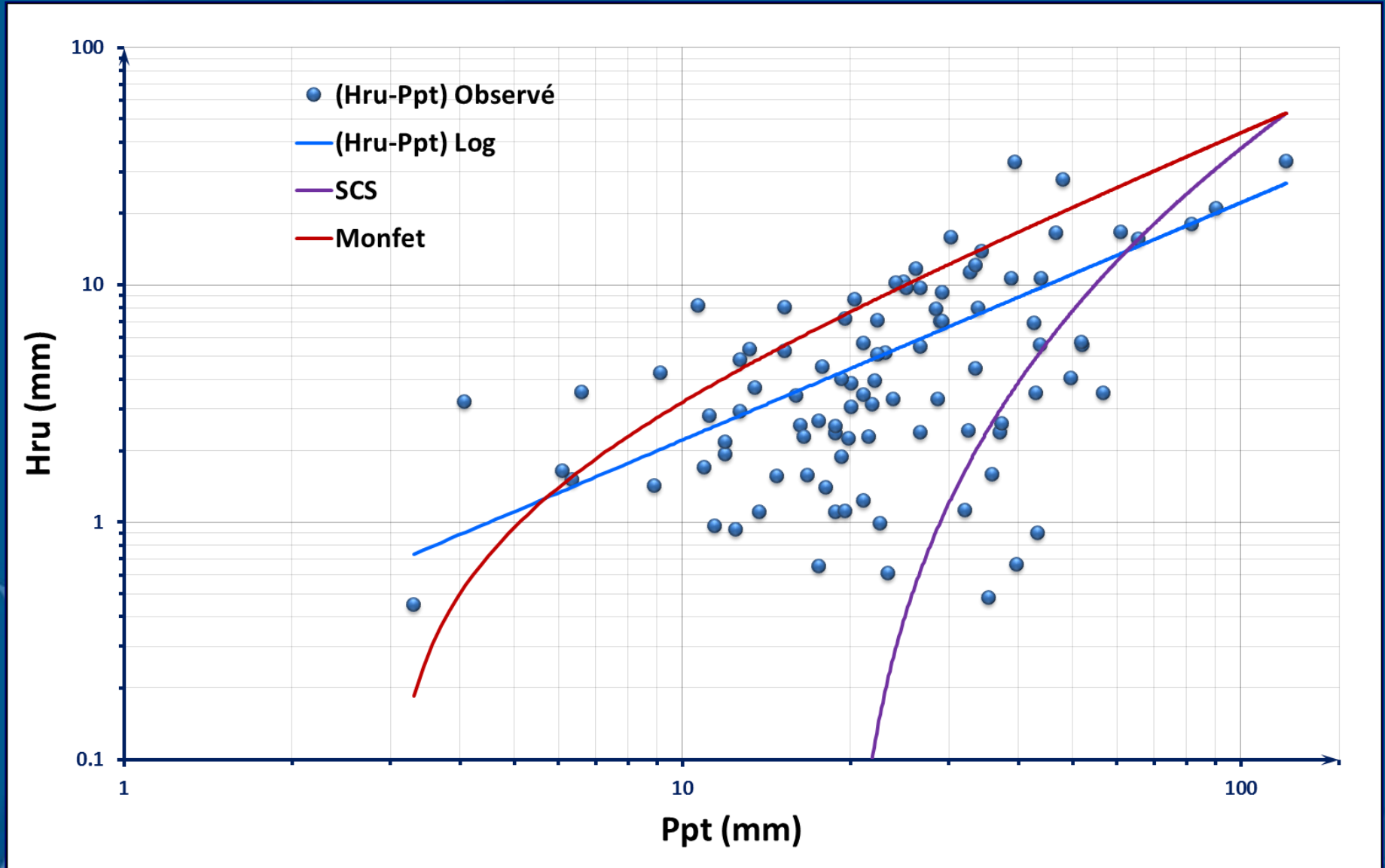




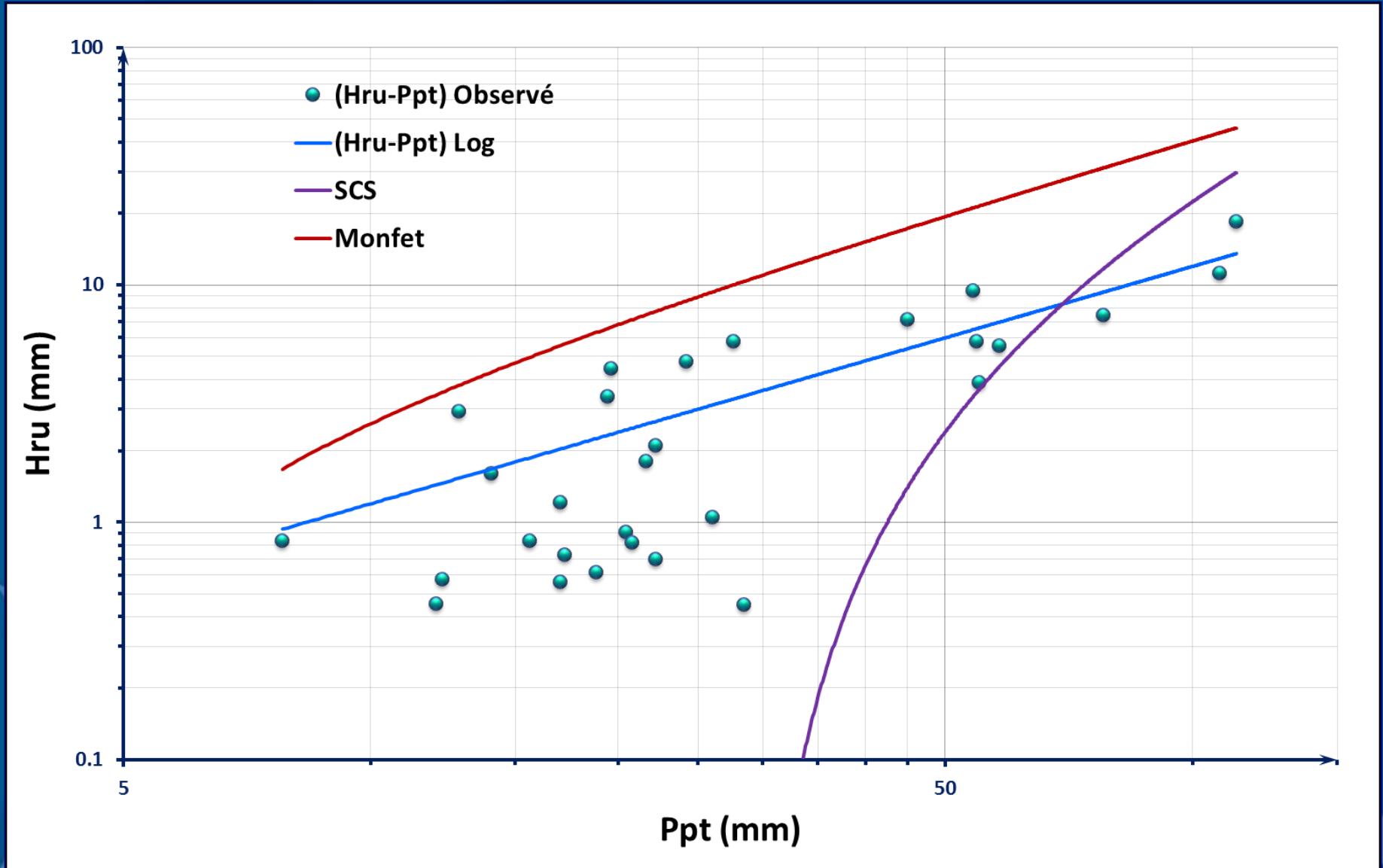
# Hauteur Ruissellement (Hru) vs Précipitation (Ppt) Bassin Versant Walbridge Aval, Montérégie



# Hauteur Ruissellement (Hru) vs Précipitation (Ppt) Bassin Versant Fourchette Amont, Beauce

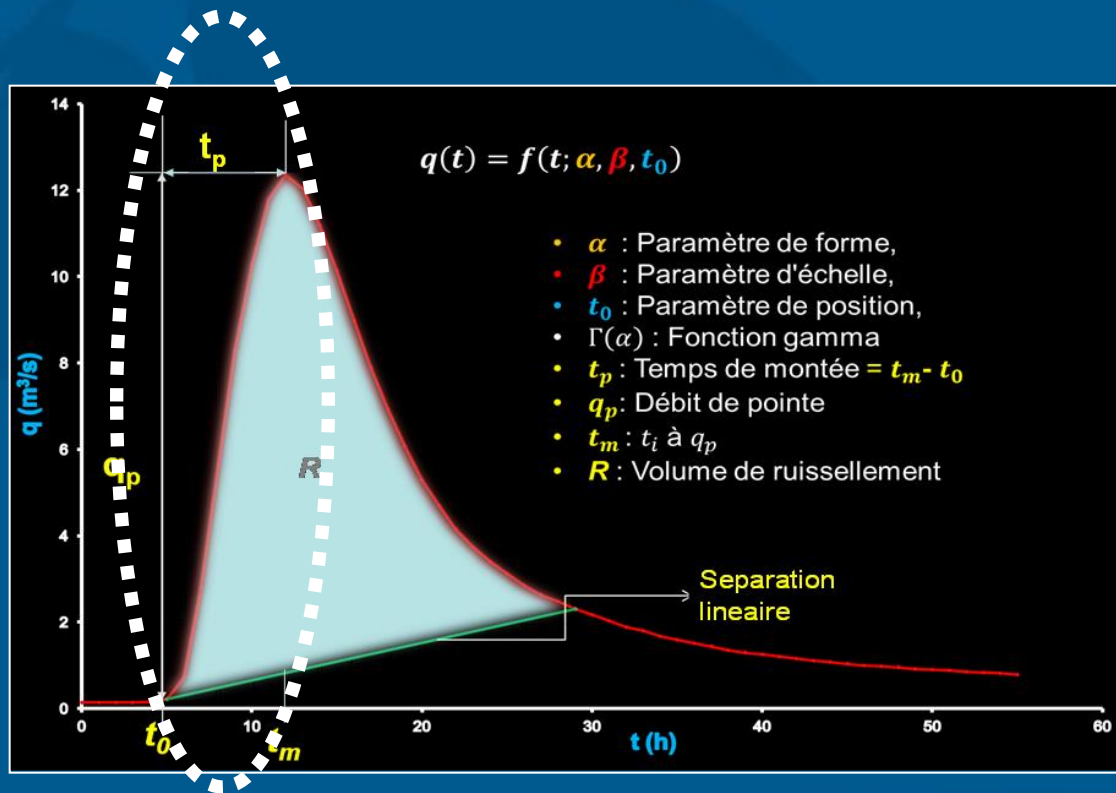


# Hauteur Ruissellement (Hru) vs Précipitation (Ppt) Bassin Versant Ruisseau Cass, Estrie



# Modélisation – Temps de concentration

- 249 hydrogrammes simples analysés, 12 bassins agricoles
- Comparaison des temps de montée observées ( $T_p$ ) avec les temps de concentration ( $T_c$ ) modélisés (méthodes courantes)
- Ajustement insatisfaisant des méthodes courantes
- Développent d'un modèle de régression linéaire





# Temps de montée observés

#	Bassin	N	Estimation de temps de montée			
			Méthode observé			
			$\mu$	$\sigma$	$C_v$	E
1	Au_Castor	31	6.5	2.5	0.4	0.9
2	Binet	36	6.4	4.1	0.6	0.9
3	Esturgeon_Branche21	18	6.5	3.1	0.5	1.0
4	Ewing	31	9.5	4.5	0.5	1.0
5	Fourchette_Amont	32	5.2	2.5	0.5	0.9
6	Fourchette_Aval	16	2.8	1.5	0.5	0.9
7	Petite_Riviere_Savane	4	7.9	5.4	0.7	0.9
8	Ruisseau_Brook	11	4.6	2.4	0.5	0.9
9	Ruisseau_Cass	8	9.2	1.9	0.2	1.0
10	Turmel	27	3.9	2.0	0.5	0.9
11	Walbridge_Amont	23	7.0	2.1	0.3	0.9
12	Walbridge_Aval	19	10.3	2.9	0.3	0.9
<b>moyenne</b>			6.7	2.9	0.5	0.9
<b>minimum</b>			2.8	1.5	0.2	0.9
<b>maximum</b>			10.3	5.4	0.7	1.0

$\mu$  = Moyenne  
 $\sigma$  = Écart Type

$C_v$  = Coefficient de variation  
E = Coefficient d'efficacité de Nash-Sutcliffe

# Modélisation – Temps de concentration

## Sommaire des ratios entre les temps de montée observés et les temps de concentration estimés

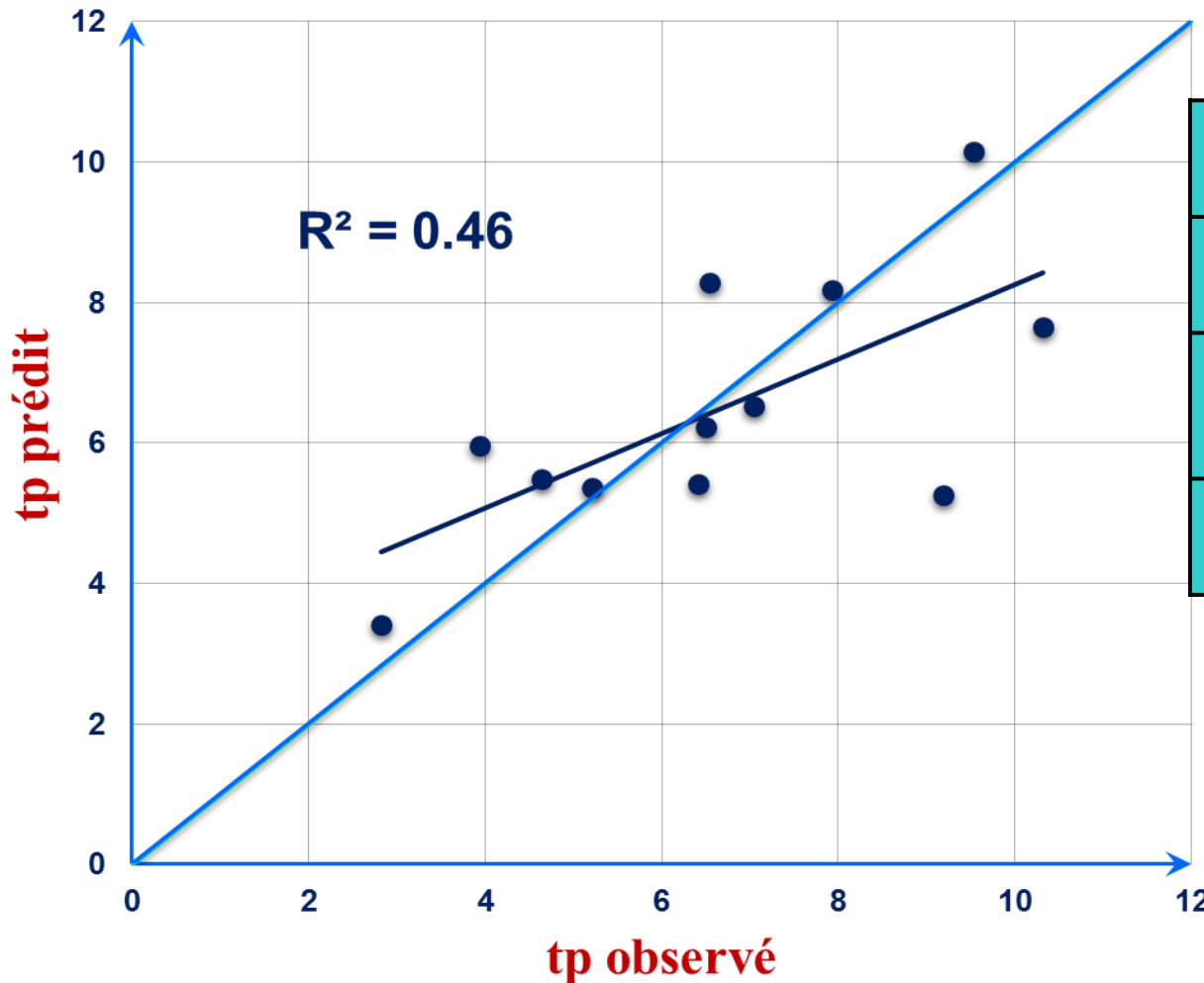
Bassin Versant	Ratio Tc / tp					
	BW	Kirp	Lag2	Lag3	Mo2	Mo3
<b>moyenne</b>	0.46	0.30	1.49	<b>0.97</b>	1.45	0.50
<b>écart type</b>	0.20	0.17	0.88	0.58	0.98	0.31
<b>maximum</b>	0.87	0.63	3.17	2.09	3.84	1.16
<b>minimum</b>	0.18	0.12	0.64	0.39	0.61	0.21
<b>coefficient de variation Cv</b>	0.43	0.56	0.59	0.60	0.68	0.62
<b>coefficient de détermination R<sup>2</sup></b>	0.35	0.29	0.23	<b>0.25</b>	0.12	0.17

Mo2 et Moc3 = Méthode de Mockus avec CN type II et III  
Lag2 et Lag3 = Méthode SCS Lag avec CN type II et III

BW = Méthode de Bransby-Williams  
Kirp = Méthode de Kirpich

# Prédiction du temps de montée (tp)

$$T_c = 0.003 * L^{0.130} * CN^{1.249} * S^{0.011} * A^{0.161}$$

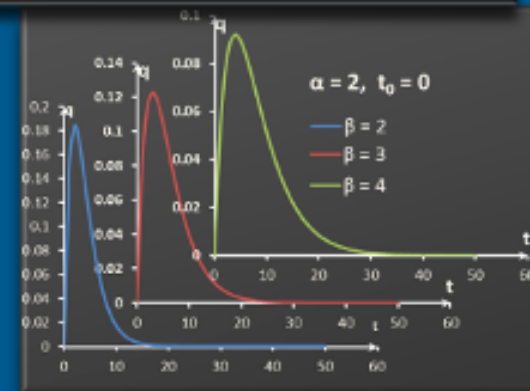
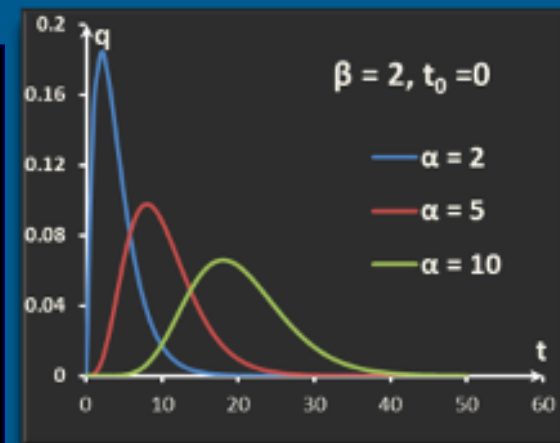


L (m)	1,90, 13,000
CN	[ 56, 82 ]
S (m/m)	[ 0.0012, 0.02 ]
A (ha)	[ 190, 1,900 ]

# Modélisation – Paramètres de forme $\varphi(\alpha)$

- 195 hydrogrammes simples analysés, 10 bassins agricoles
- Valeur unique de  $\varphi(\alpha)$  de 0,73 retenue

Bassin	N	Estimation de $\varphi(\alpha)$			
		$\mu$	$\sigma$	$C_v$	Nash
Castor	29	0,69	0,14	0,20	0,93
Esturgeon Temoin	15	0,58	0,18	0,31	0,95
Ewing	30	0,75	0,25	0,33	0,93
Fourchette Intervention	37	0,80	0,19	0,24	0,90
Fourchette Temoin	14	0,83	0,14	0,17	0,88
Madawaska Temoin	5	0,72	0,25	0,35	0,91
Tomifobia Intervention	7	0,90	0,28	0,31	0,90
Tomifobia Temoin	8	0,53	0,16	0,31	0,88
Walbridge Intervention	29	0,74	0,22	0,30	0,88
Walbridge Temoin	21	0,76	0,21	0,28	0,92



**N = Nombre d'événements**  
 **$\mu$  = Moyenne**  
 **$\sigma$  = Écart Type**  
 **$C_v$  = Coefficient de variation**  
**Nash = Coefficient d'efficacité**



# Estimation du coefficient de forme de l'hydrogramme ( $k^*$ )

$K^*$	Estimation du coefficient de forme Méthode observé			
	$\mu$	$\sigma$	$C_v$	E
<b>moyenne</b>	0.79	0.21	0.26	0.93
<b>minimum</b>	0.64	0.11	0.16	0.89
<b>maximum</b>	0.95	0.33	0.35	0.96

Méthode rationnelle  $K^* = 1$

Méthode SCS  $K^* = 0.75$

$$K^* = \frac{(\alpha-1)^\alpha e^{-(\alpha-1)}}{\Gamma(\alpha)} = q_P t_P$$

$\mu$  = moyenne

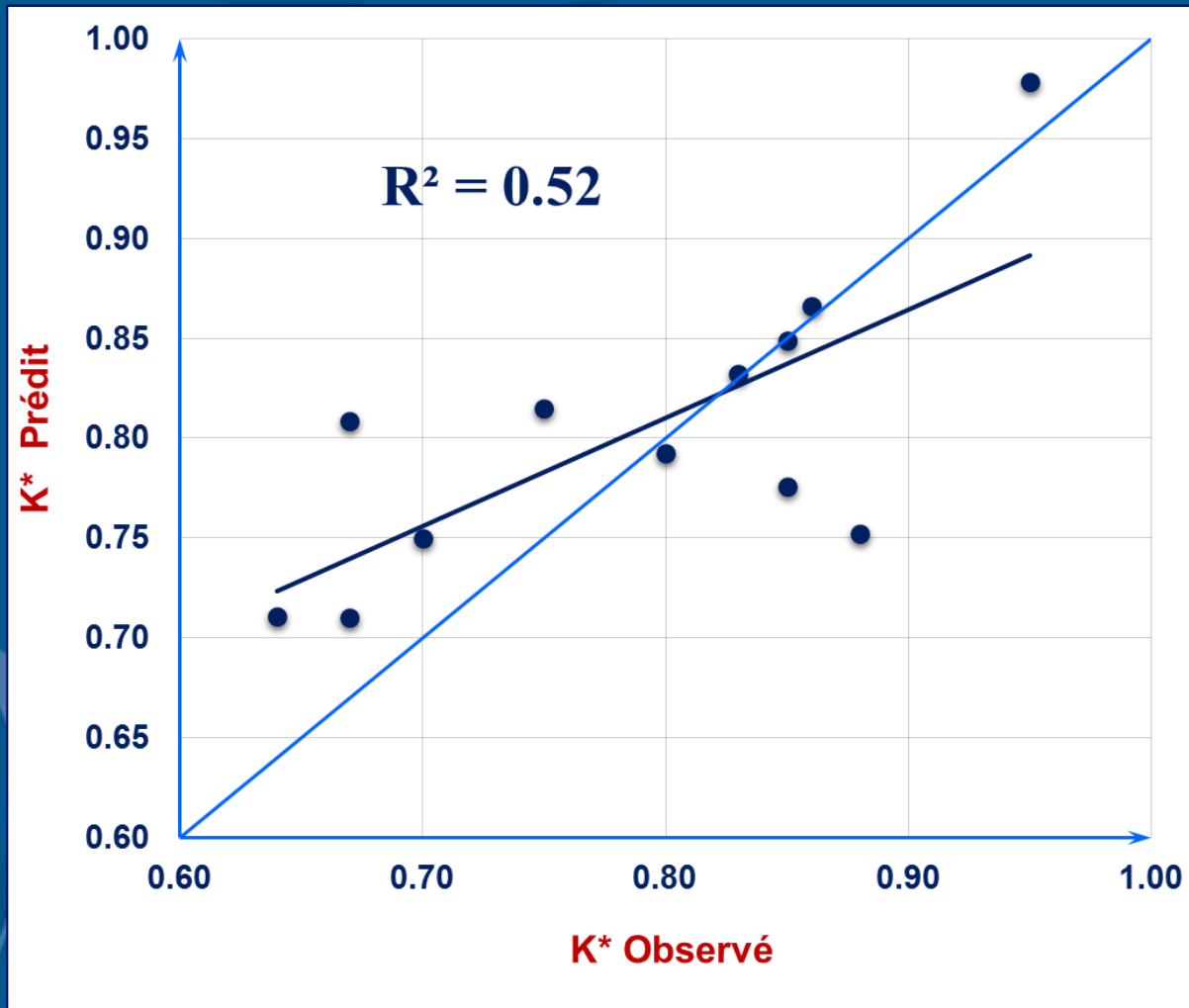
$\sigma$  = écart Type

$C_v$  = coefficient de variation

E = coefficient d'efficacité de Nash-Sutcliffe

# Estimation du coefficient de forme de l'hydrogramme ( $k^*$ )

$$K^* = 1.264 + 0.033 t_p - 0.009 CN$$



$t_p$ (h)	[ 2.8, 10.3 ]
CN	[ 56, 82 ]

# Validation des débits de pointe

Méthode: Combinaison des facteurs Hru,  $t_p$ ,  $\varphi(\alpha)$  déterminés par les méthodes indépendantes:

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

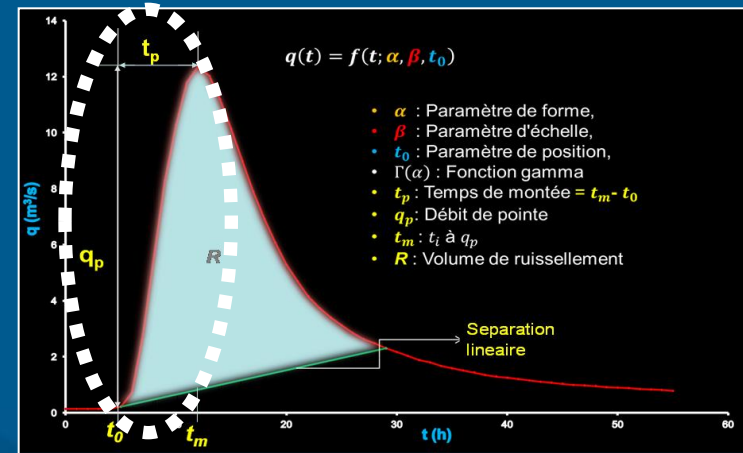
$Q_p$ : Débit de pointe

$K^*$ : Paramètre de forme

$Ru$ : ruissellement

$T_c$ : Temps de concentration

$A$ : Superficie du bassin



Hypothèse: pour un bassin versant donné, le recours à la précipitation de récurrence (courbe IDF) associée au temps de montée prédit du bassin versant et à la hauteur de ruissellement prédite pour cette même précipitation, devrait prédire le débit observé pour cette récurrence.

# Validation des débits de pointe

Débits de crue prédits utilisant les courbes enveloppes des modèles locaux de prédiction du ruissellement.

Bassin versant	Tp prédit (h)	Précipitation (IDF) Durée=Tp (mm)		Ruissellement prédit (mm)		Qmax prédit (m3/s)		Qprédit /Qobs	
		2 ans	5 ans	2 ans	5 ans	2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
Fourchette aval	3,2	29	37	9,6	15,5	1,19	1,90	0,53	0,54
Fourchette amont	7,0	37	49	16,6	28,0	1,20	2,04	0,99	1,02
Castors	8,6	44	58	11,3	19,1	3,27	5,52	0,63	0,79
Ewing	11,1	48	63	31,7	53,3	16,14	27,16	1,31	1,51
Walbridge amont	7,5	42	54	13,0	21,2	2,22	3,61	1,00	1,29
Walbridge aval	9,1	45	59	22,2	37,2	3,94	6,61	1,61	1,65

Moyenne	1,01	1,13
Ecart type	0,41	0,43
Cv	0,40	0,38





## Conclusions et Perspectives

### Distribution des IDF de précipitations en climat récent et futur

- **Courbes (IDF) mises en ligne (atlas agrometeo.org) pour 98 stations**
- **En climat futur (2041–2070): augmentation appréhendée des extrêmes annuels (24 heures);**
- **L'analyse des durées inférieures à 24 heures est limitée par la disponibilité des données de validation.**
- **Perspectives: Développer une grille de précipitations horaires à haute résolution spatiale (réseau de stations de la vallée du St-Laurent)**

## Conclusions et Perspectives

### Indices de fonte et pluie hivernale

- **Prédiction satisfaisante de l'évolution des couverts de neige, des apports verticaux et des crues par le modèle CEQEAU-modIRDA;**
- **Estimation des distribution HDF des apports verticaux pour 100 stations en climat récent;**
- **Perspectives:**
  - **Validation du pouvoir explicatif des indices sur les crues pour un plus grand nombre de bassins et régions;**
  - **Développer et valider une méthode de prédiction du ruissellement de fonte et pluie hivernale sur la base des apports verticaux.**

## Conclusions et Perspectives

### Analyses et prédictions hydrologiques

- Banque de données hydro-pédologiques complétée pour l'ensemble des séries de sol minéral du Québec (N=711);
- Outil d'analyse hydrologique des crues *VisuHydro* fonctionnel;
- Méthodes de prédiction:
- Temps de concentration:
  - Méthodes courantes non valides,
  - Équation proposée sur la base de 12 bassins, à compléter;
- Facteur de forme:
  - Valeur unique proposé ( $K^*=0.79$ );
  - Possibilités d'amélioration.

## Conclusions et Perspectives

### Analyses et prédictions hydrologiques (suite)

#### • Ruissellement:

- Méthode SCS non valide;
- Monfet – généralement acceptable;
- Variation inter bassins versants non expliquée;
- Développement requis de méthodes alternatives, contribution de nouveaux paramètres.

### Suite au projet en cours:

- Soutien financier du CDAQ
- Équipe IRDA, Université Laval, MAPAQ, AAC, MTQ
- Nb bassins > (27)
- Ciblé sur le développement et la validation des méthodes de prédiction des débits de pointe

## Merci aux partenaires financiers

- Impacts et adaptation / ICAR-Québec, Volet agriculture
- PACC-26, volet Agriculture

Collaborations et comité de suivi:

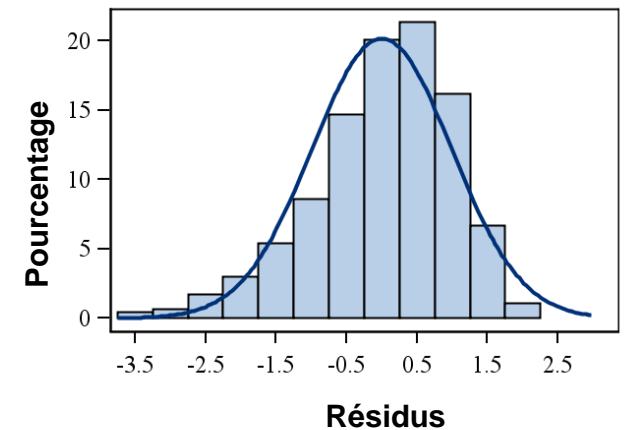
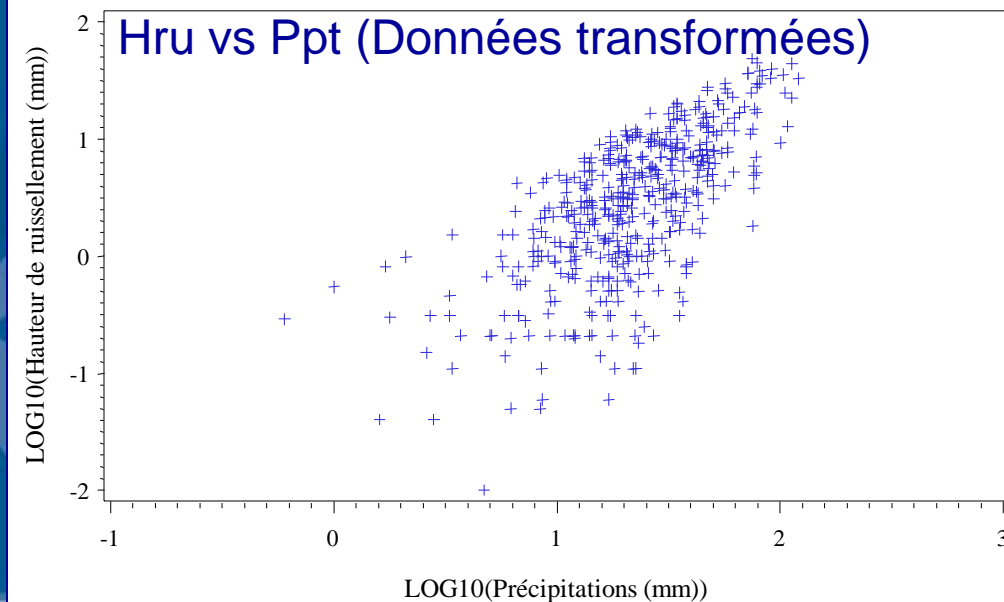
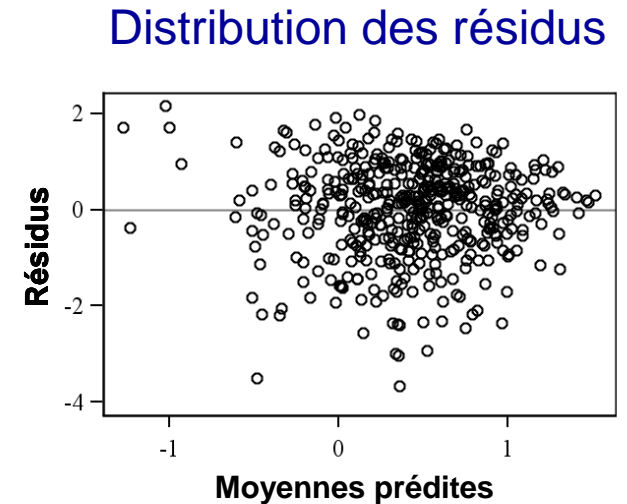
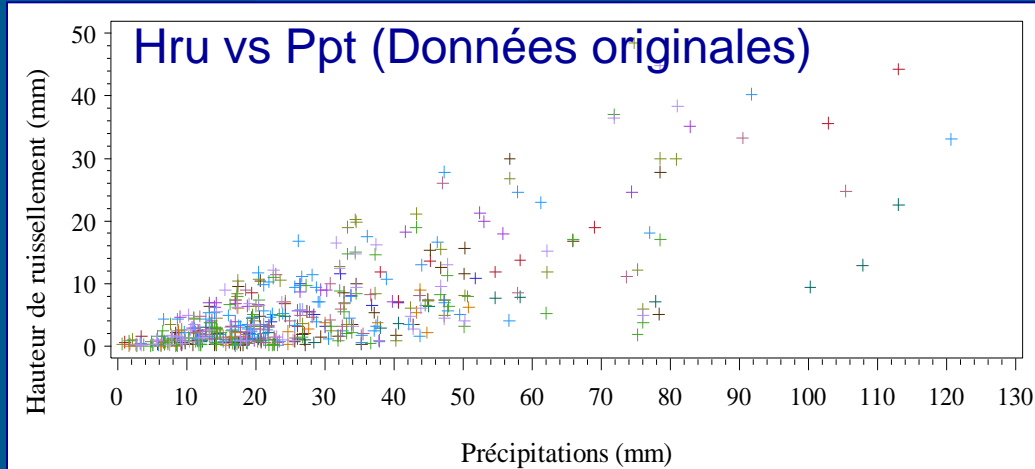
MAPAQ, Environnement Canada, CEHQ-MDDEP, OURANOS





# Modélisation – Volumes de ruissellement

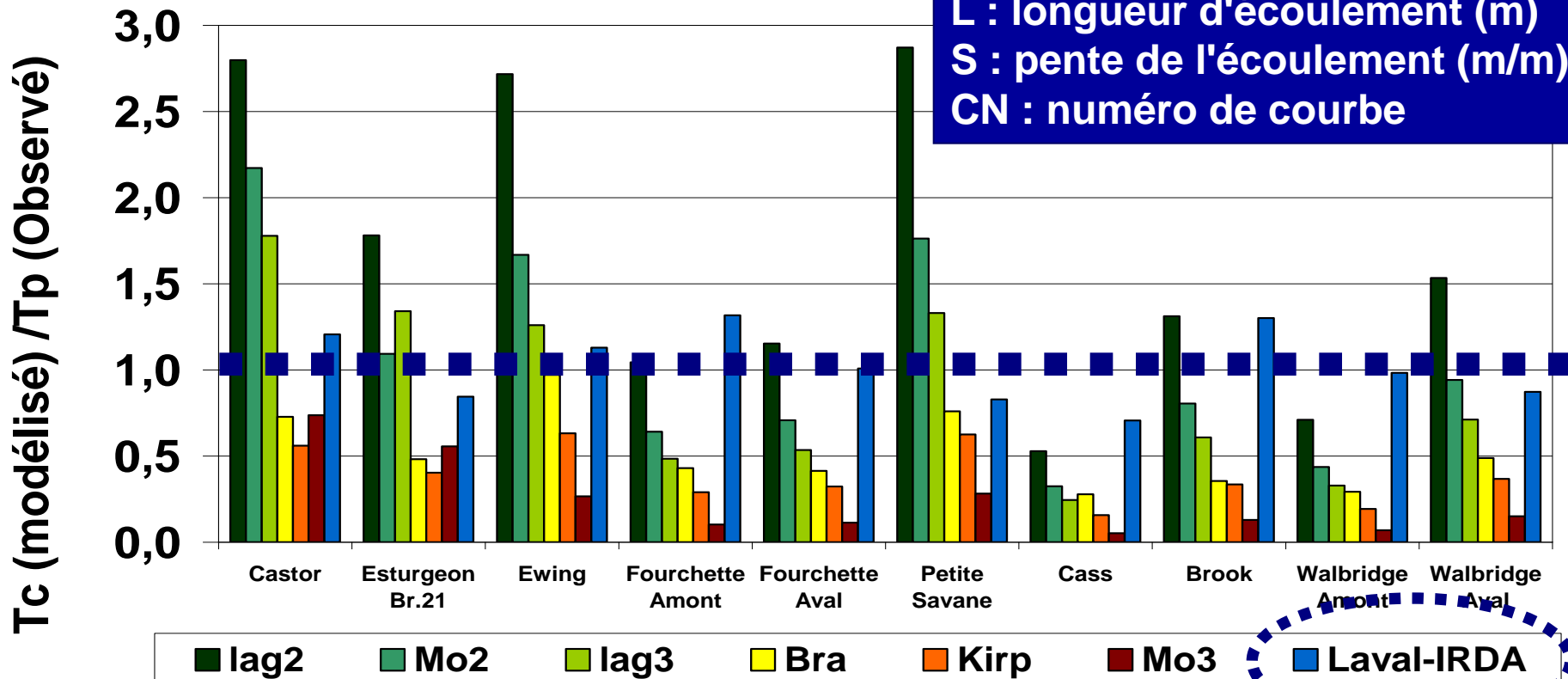
- Distribution non-normale des observations de hauteurs de ruissellement
- Analyse ANCOVA sur les données transformées (log)



# Temps de montée observés vs prédits selon différentes méthodes

$$T_p = Cte L^b CN^c S^d$$

$T_p$  : temps de montée (h)  
 $L$  : longueur d'écoulement (m)  
 $S$  : pente de l'écoulement (m/m)  
 $CN$  : numéro de courbe



# Validation des débits de pointe

## Sommaire des estimations de Qmax (m<sup>3</sup>/s)

### Paramètres observés pour les bassins versants

Bassin versant	tp (h)	φ(α)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)		Longueur (m)	Pente (m/m)	Aire (ha)	CN_II
			2 ans	5 ans				
Aux Castors	6.54	0.70	5.02	5.30	7418	0.0013	1228	78
Binet	6.41	0.80	2.82	4.96	1892	0.0046	483	73
Ewing	9.53	0.85	11.42	18.32	12957	0.0014	2782	78
Fourchette Amont	5.20	0.88	1.25	2.05	3973	0.0052	250	73
Fourchette Aval	2.81	0.83	1.96	3.52	2241	0.0066	192	56
Turmel	3.93	0.67	2.20	2.82	3952	0.0203	530	73
Walbridge Amont	7.04	0.85	2.25	2.91	3361	0.0037	631	77
Walbridge Aval	10.32	0.86	2.47	6.08	6504	0.0026	794	79

### Paramètres prédits pour les bassins versants

Bassin versant	tp (h)	φ(α)	Ppt (mm)		Ru (m <sup>3</sup> /s)		Qmax (m <sup>3</sup> /s)		Qprédit/Qobs	
			2 ans	5 ans	2 ans	5 ans	2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
Aux Castors	8.29	0.75	44	58	13.0	18.5	4.0	5.7	0.80	1.08
Binet	5.42	0.79	29	37	9.6	13.3	1.9	2.6	0.67	0.52
Ewing	10.16	0.85	48	63	21.0	29.9	13.6	19.3	1.19	1.05
Fourchette Amont	5.36	0.75	29	37	8.4	11.6	0.8	1.1	0.65	0.55
Fourchette Aval	3.42	0.83	37	49	7.0	10.1	0.9	1.3	0.47	0.37
Turmel	5.96	0.71	29	37	7.9	10.9	1.4	1.9	0.63	0.68
Walbridge Amont	6.53	0.78	42	54	12.2	17.0	2.5	3.5	1.13	1.22
Walbridge Aval	7.66	0.87	45	59	14.8	20.8	3.7	5.2	1.49	0.85
							<b>moyenne</b>		<b>0.88</b>	<b>0.79</b>
							<b>écart type</b>		0.35	0.31
							<b>Cv</b>		0.40	0.39