

INFRA 2014 – 20<sup>e</sup> Édition

# Outil de détermination des temps de parcours dans un contexte de protection des prises d'eau potable

Implantation sur  
le bassin versant de la rivière Saint-Charles,  
Ville de Québec

ALAIN N. ROUSSEAU, STÉPHANE SAVARY, JACQUES DESCHÊNES

Séssion D1 Salle 516 AB , Palais des Congrès de Montréal  
159 Rue Saint Antoine Ouest, Montréal, Québec H2Z 1H2

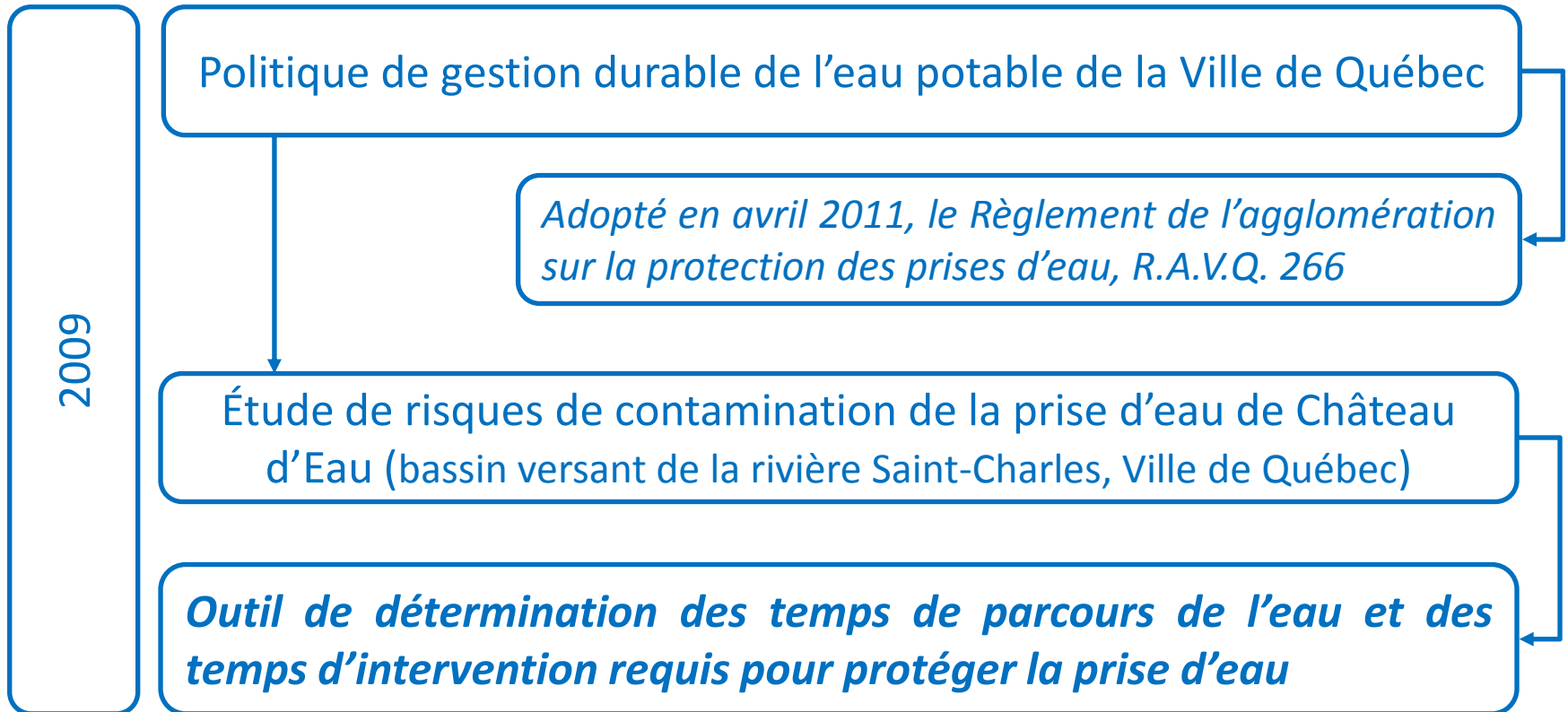


## Plan de la présentation

1. Contexte de l'étude (secteur d'étude)
2. Fondements de l'outil des temps de parcours (PHYSITEL/HYDROTEL)
3. Mode de fonctionnement et présentation de l'outil
4. Usage de l'outil lors d'un déversement accidentel
5. Conclusions générales
6. Questions ?

# Contexte

## Contexte

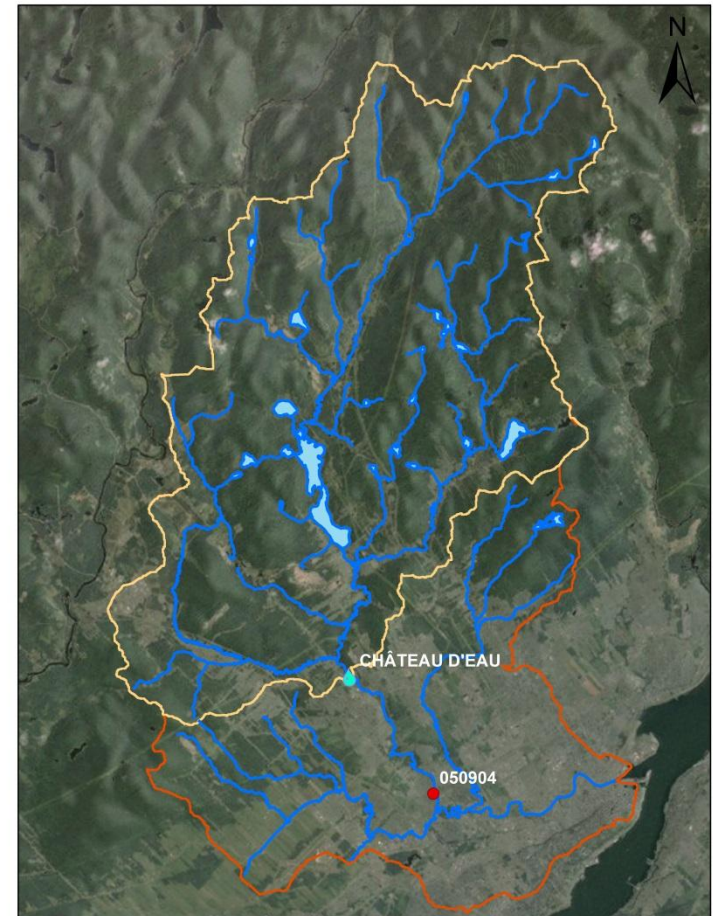


## Secteur d'étude

Au cœur de la Ville de Québec  
BV de la Rivière Saint-Charles (550 km<sup>2</sup>)

Prise d'eau d'importance:  
Château d'Eau; BV 350 km<sup>2</sup>  
Pop: 250 000 hab.

Station hydrométrique (CEHQ):  
#050904 Active  
Données de débits 1969 - 2014

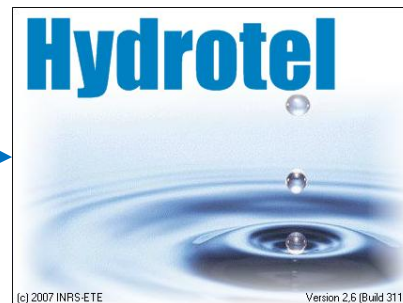


# Fondements

# Fondements

Outil de détermination de détermination des temps de parcours

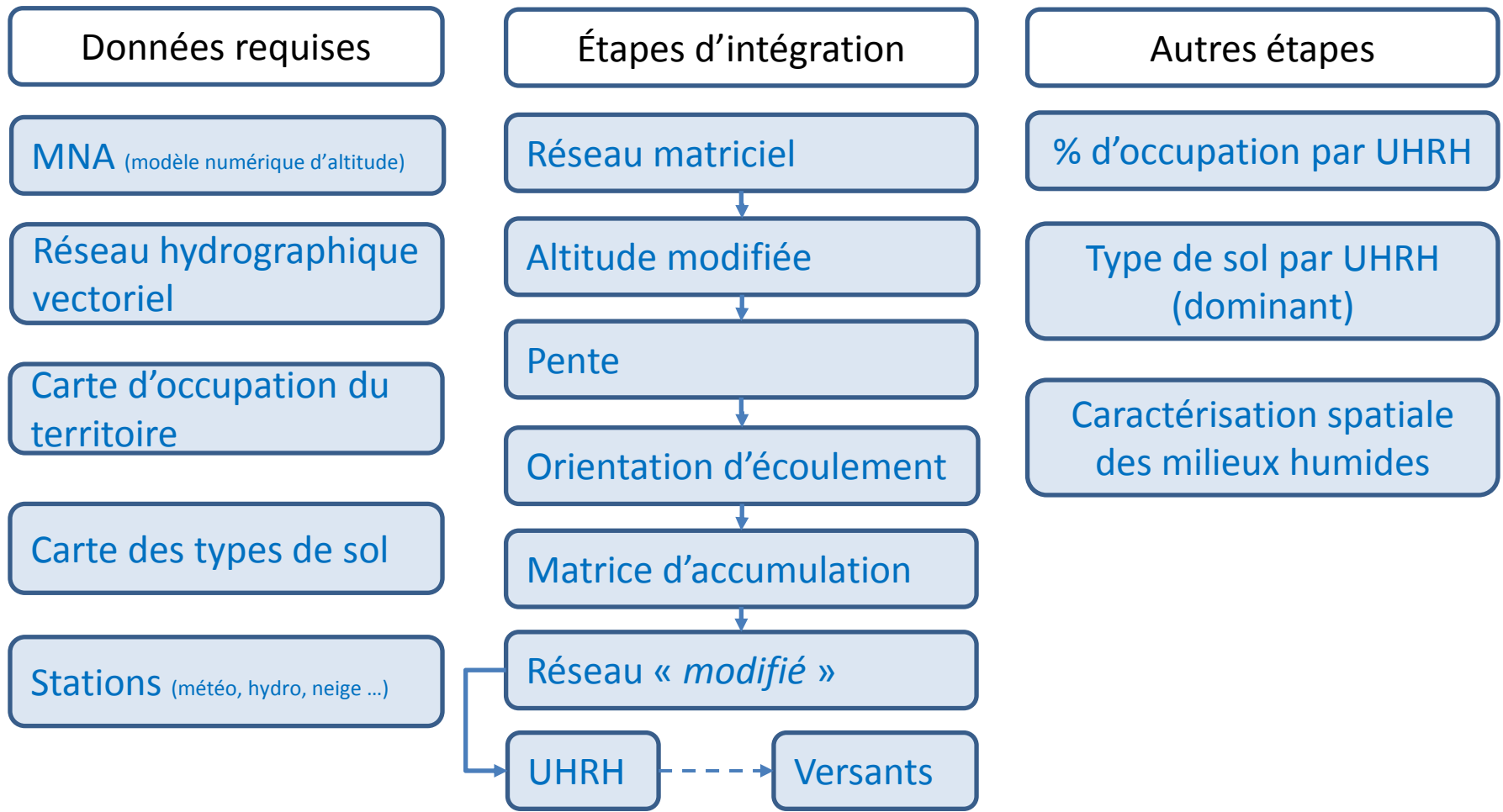
Mise en place d'outils d'aide à la modélisation hydrologique



Calage satisfaisant du modèle hydrologique

Création d'une base de registre de conditions hydrologiques historiques pour la détermination des temps de parcours

# PHYSITEL - Un système d'information géographique destiné à la modélisation hydrologique

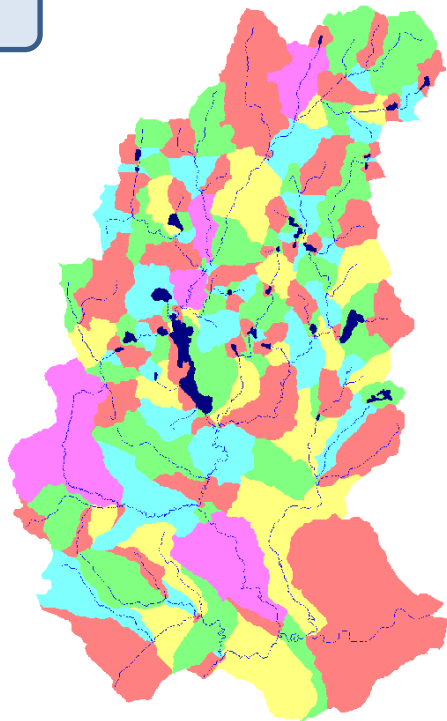




# PHYSITEL - Un système d'information géographique destiné à la modélisation hydrologique



UHRH



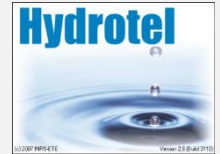
Subdivision du BV en 201 unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH) (275 ha)

UHRH: unités de simulation des processus hydrologiques terrestres du modèle hydrologique HYDROTEL

## Caractéristique spécifique du logiciel dans le contexte de l'étude

- Détermination automatique de la largeur des tronçons communiquée à HYDROTEL
- Ajustable au besoin, par l'utilisateur d'HYDROTEL (ex: Lac-Saint-Charles)

# HYDROTEL - Un modèle hydrologique distribué compatible avec la télédétection



## Données requises

Fichiers de sortie de  
PHYSITEL

Données météorologiques  
(T. min., T. max., Précip.)

Données hydrométriques  
(débits)

Fichiers d'indice foliaire et  
de profondeur racinaire

## Processus simulés

Interpolation des données météorologiques

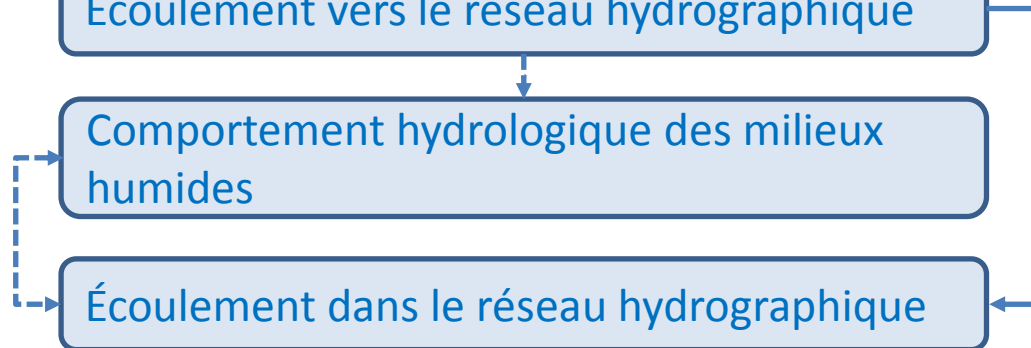
Évolution du couvert nival

Évapotranspiration potentielle

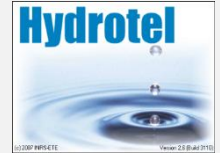
Écoulement vers le réseau hydrographique

Comportement hydrologique des milieux  
humides

Écoulement dans le réseau hydrographique



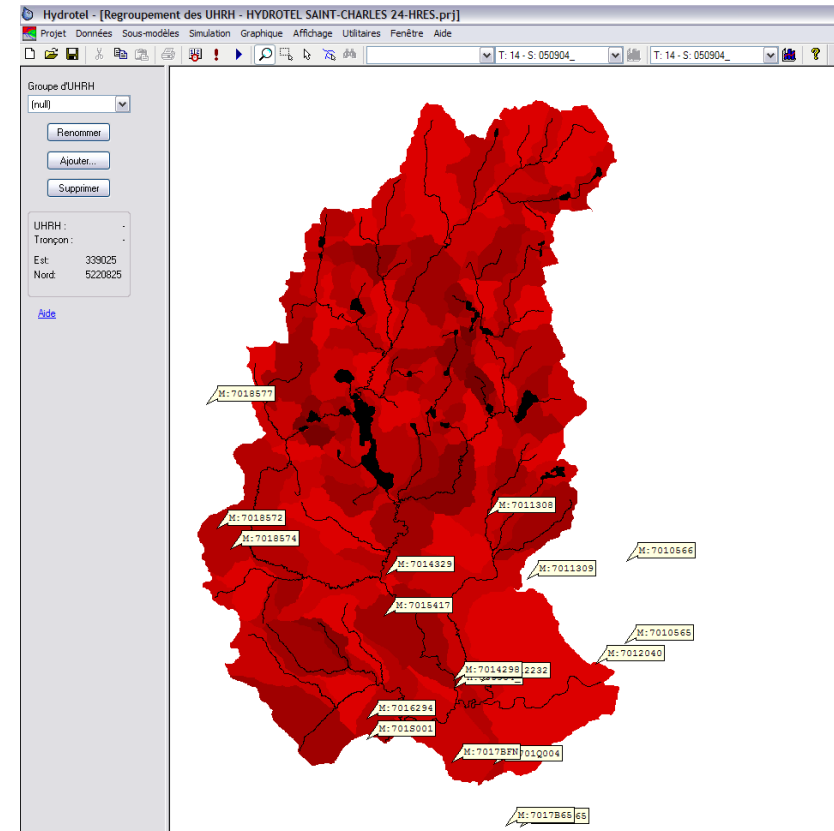
# HYDROTEL - Un modèle hydrologique distribué compatible avec la télédétection



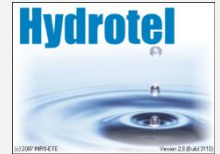
Processus simulés

Écoulement dans le réseau hydrographique

Débits (Q) et Vitesse (V) sur chaque tronçons de longueur (L) du réseau hydrographique



# HYDROTEL - Un modèle hydrologique distribué compatible avec la télédétection



## Caractéristique spécifique du logiciels dans le contexte de l'étude

- Modèle 1-D pour le calcul des débits en tout point du réseau hydrographique
- Calcul des vitesses d'écoulement en fonction du débit et de l'aire mouillée

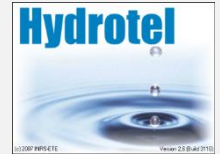
## Limitations du modèle

- Section des tronçons de forme rectangulaire et invariante
- Débits et vitesses indépendants de la présence de glace dans les cours d'eau
- Pas de temps minimal d'une heure
- Version en cours non adaptée au soutirage et à l'ajout d'apports en eau

## Contribution du modèle

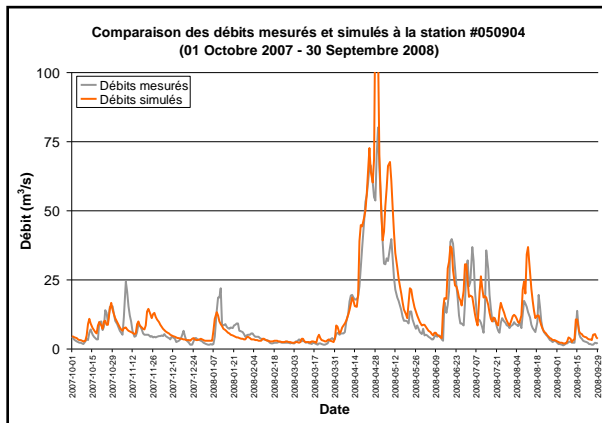
- Création d'une base de registre de conditions hydrologiques historiques pour la détermination des temps de parcours (**pas en temps réel ni en mode prévisions**)

# Calage du modèle hydrologique HYDROTEL

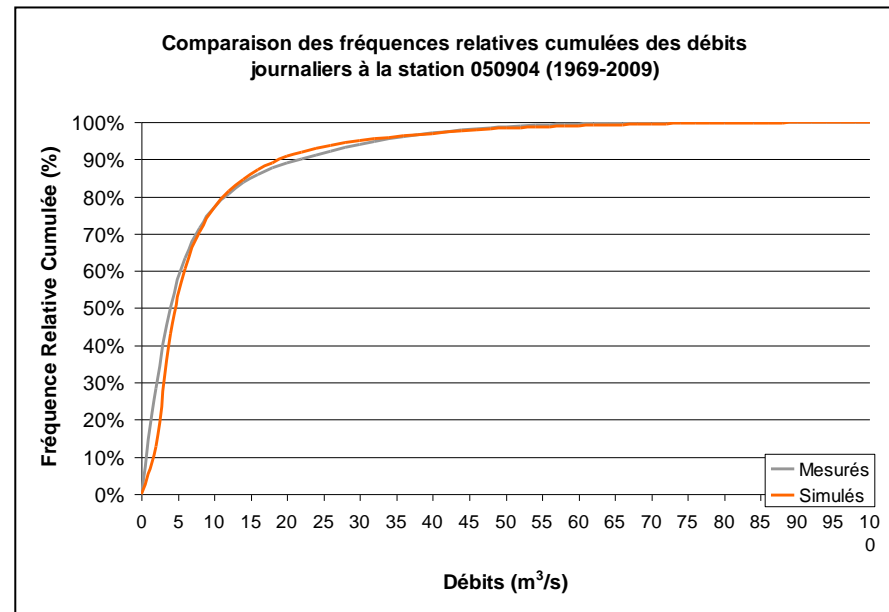


Ajustement manuel des paramètres visant une représentation optimale du synchronisme et de l'amplitude des débits mesurés en un point du réseau hydrographique (Station hydrométrique #050904 1969-2009)

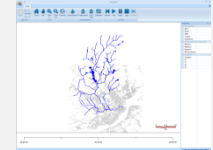
- Accent sur la représentation de l'ensemble des débits



Critères	Total
$(R^2)$	0.70
Nash-Sutcliffe	0.66
Lame mesurée (mm)	690
Lame simulée (mm)	730



# Outil de calcul des temps de parcours



Stratégie: Calcul du temps de parcours « hydrologique » entre deux points précis du réseau hydrographique

Résultats de simulation

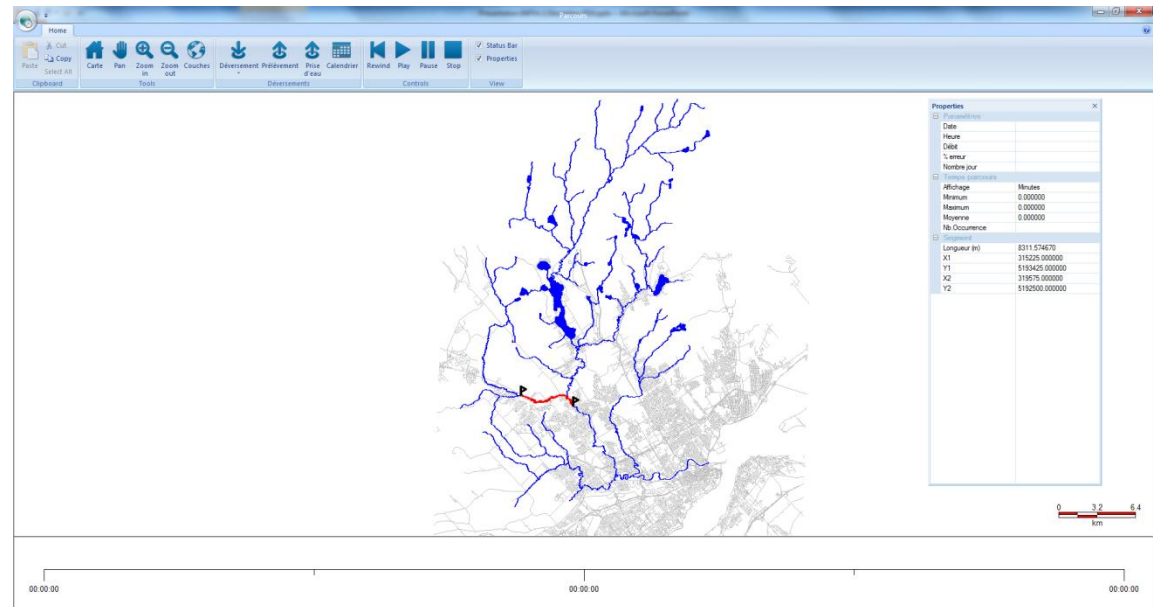
Base de données

Vitesse de l'eau (tr)

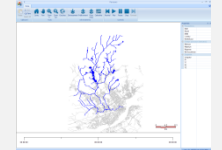
Longueur(tr)

Période de l'année

Débits sim. ST. #050904

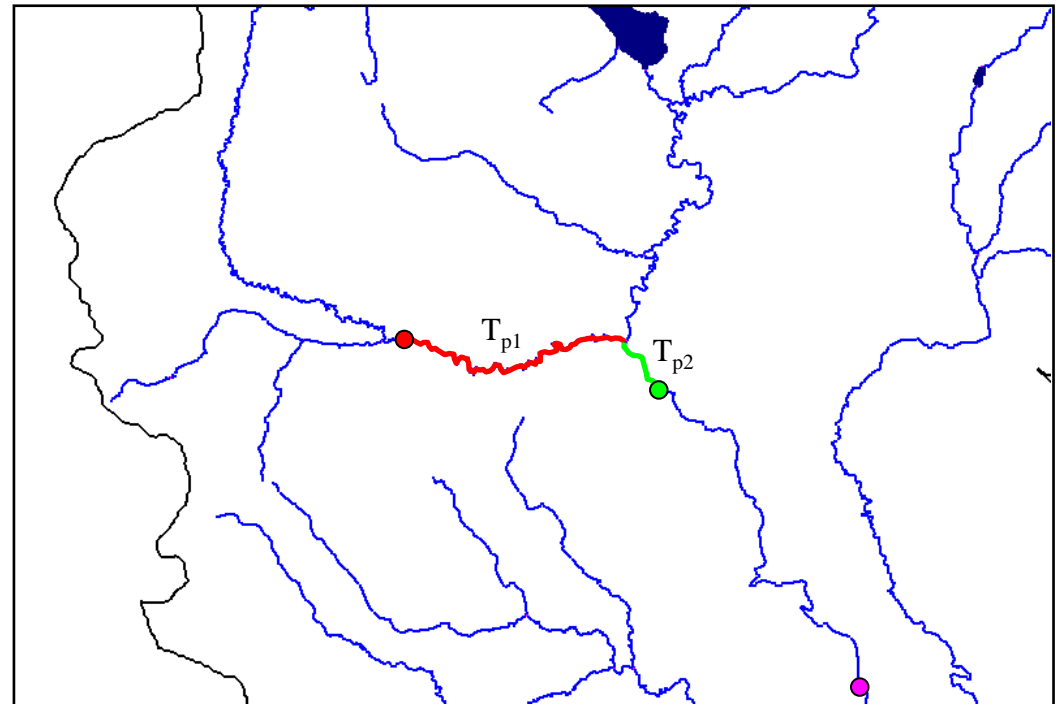


# Méthode de calcul des temps de parcours



$$T_{ptot} = \sum_{i=1}^{i=nb\_tr} T_{pi}$$

$$T_{pi} = \frac{L_{tr}}{V_{moy\_tr}}$$



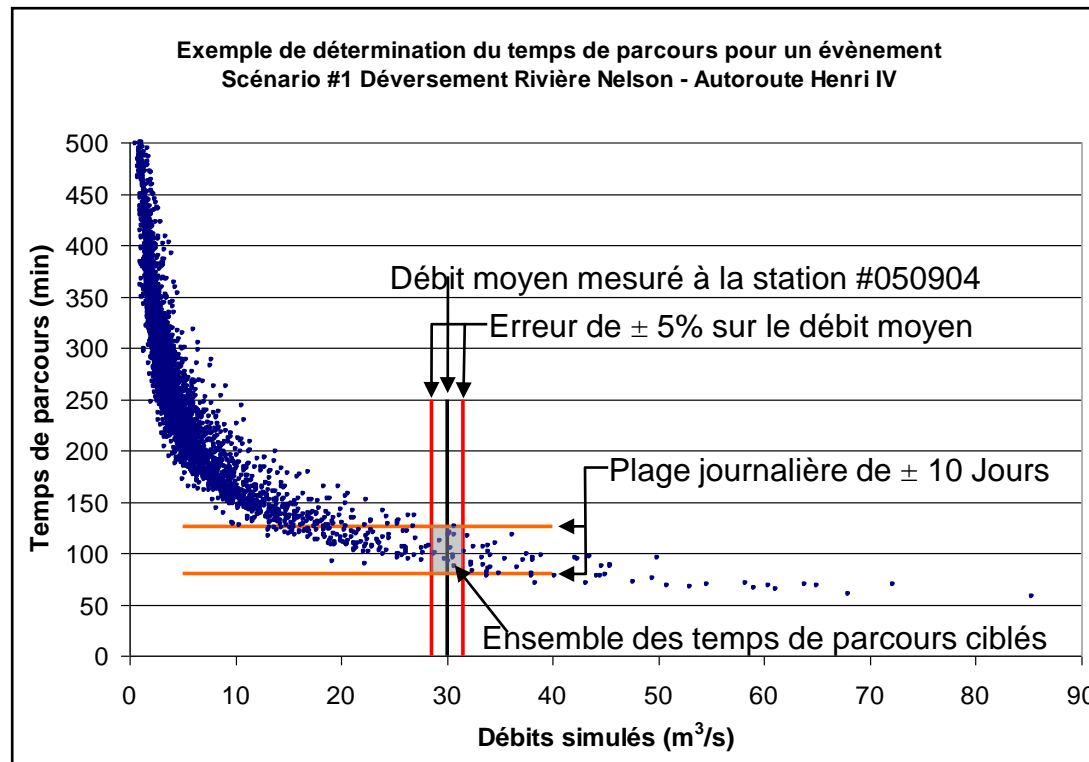
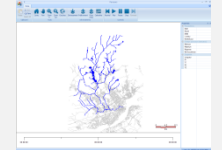
$$V_{moy\_tr} = \frac{1}{2} (V_{amont\_tr} + V_{aval\_tr})$$

&

$L_{tr}$

déterminés par  
PHYSITEL

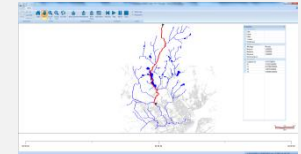
# Méthode de calcul des temps de parcours



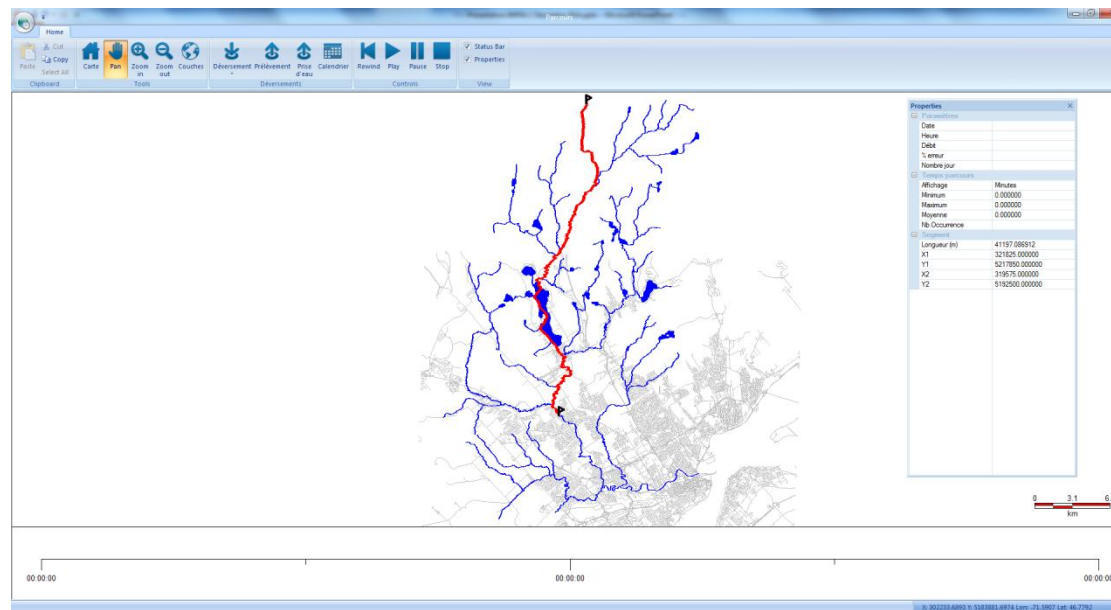


# Mode de fonctionnement de l'outil

# Mode de fonctionnement de l'outil

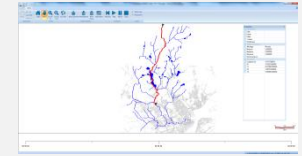


Localisation sur le réseau des points de déversement et prélèvement



Identification automatique par le logiciel des tronçons ou segments de tronçons, compris entre le point de déversement et le point de prélèvement

# Mode de fonctionnement de l'outil

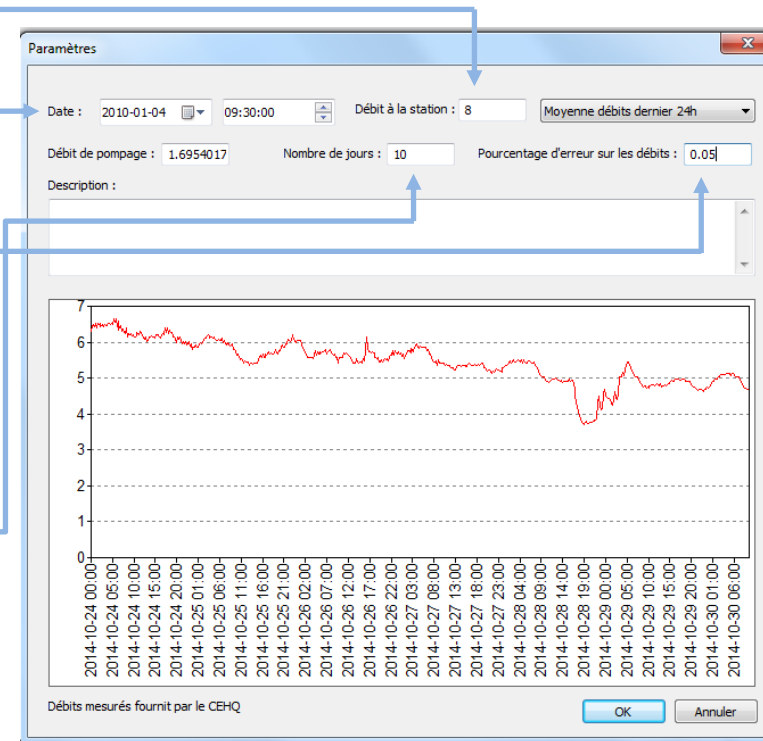


Détermination du débits moyen à la station #050904 (CEHQ (web), Arbitraire)

Identification de la date précise du déversement

Détermination de la variation maximale sur le débit (ex: 5%)

Précision de la plage journalière devant être considérée



# Mode de fonctionnement de l'outil



Détermination du débits moyen à la station #050904 (CEHQ (web), Arbitraire)

Identification de la date précise du déversement

Détermination de la variation maximale sur le débit (ex: 5%)

Précision de la plage journalière devant être considérée

Segmentation de la base de données afin d'identifier les plages journalières historiques acceptable

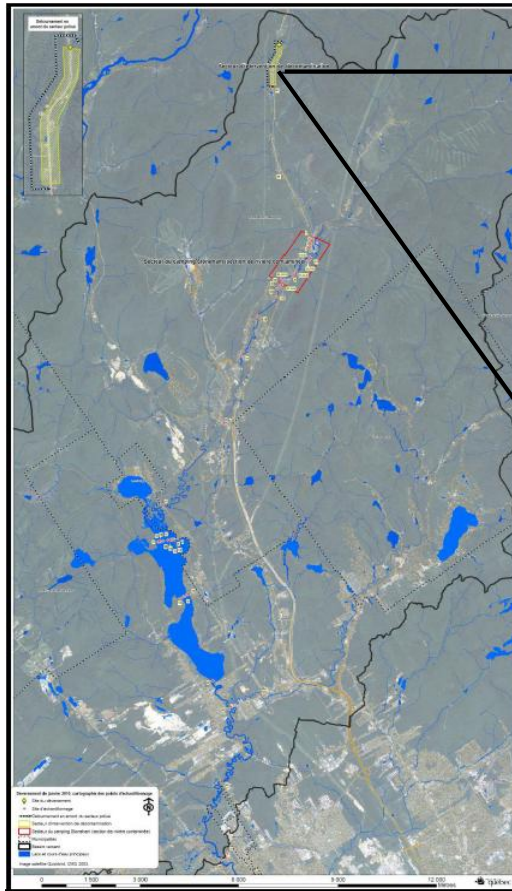
Cibler les débits simulés à la station #050904 qui répondent au critère d'erreur spécifié

Calcul des temps de parcours basés sur la vitesse de l'eau moyenne simulée dans les tronçons identifiés

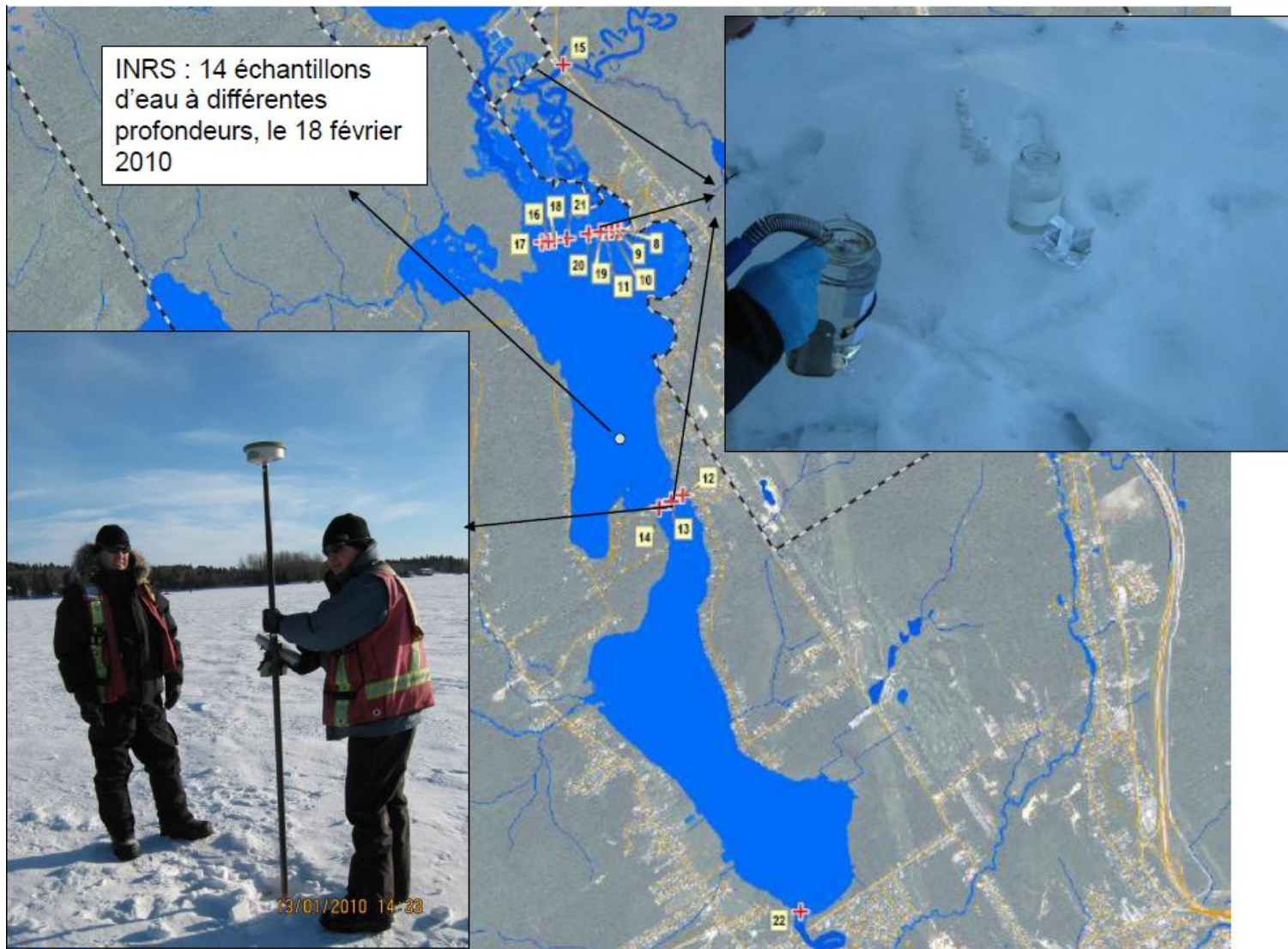
Affichage à l'écran des résultats statistiques des temps de parcours calculés et rédaction d'un rapport d'état sur ceux-ci

# Usage de l'outil lors d'un déversement accidentel (ex: déversement d'hydrocarbure; Stoneham, 4 Janvier 2010)

# Usage de l'outil lors d'un déversement accidentel (ex: déversement d'hydrocarbure; Stoneham, 4 janvier 2010)











Déversement de janvier 2010, cartographie des points d'échantillonnage









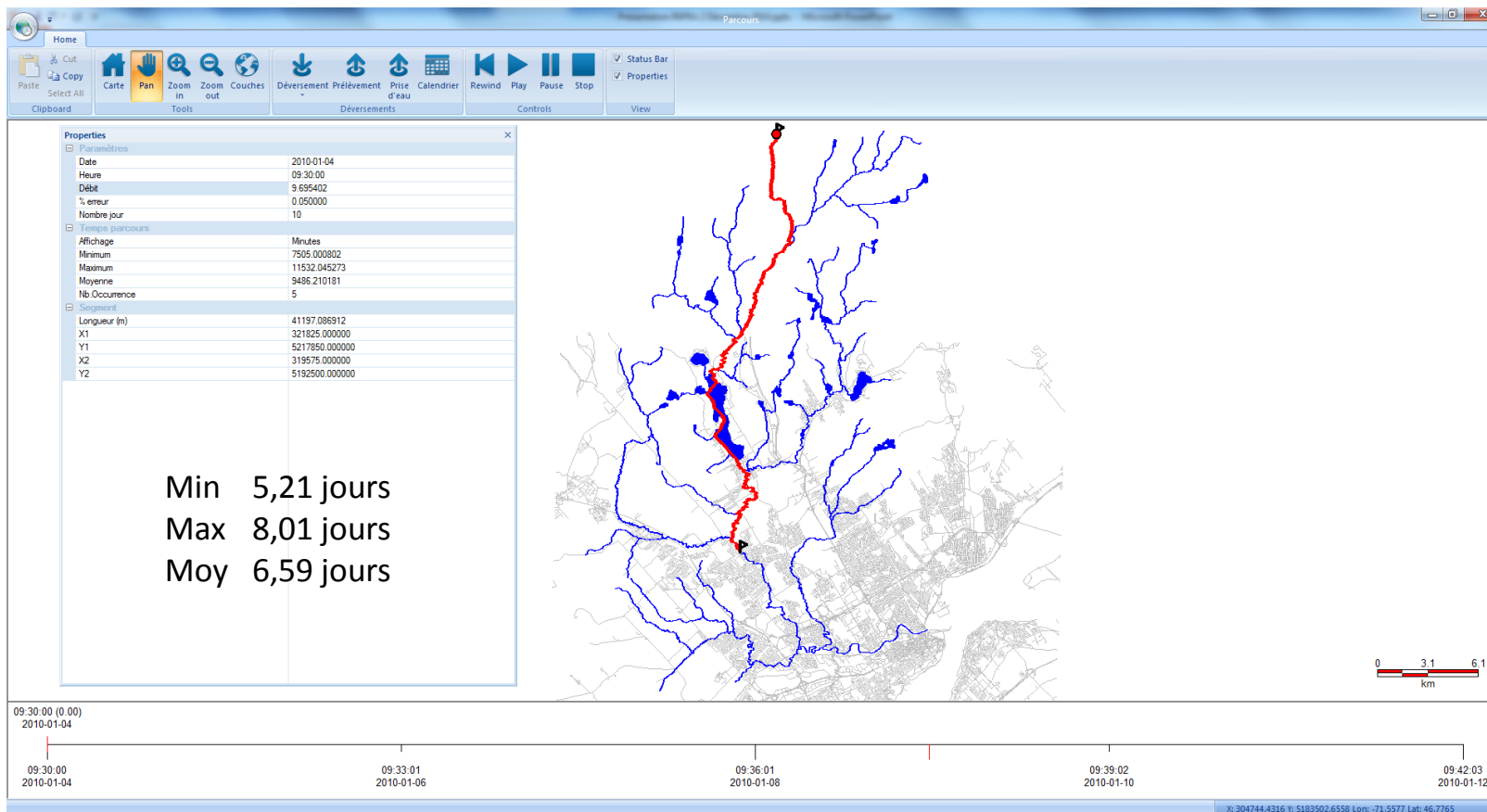
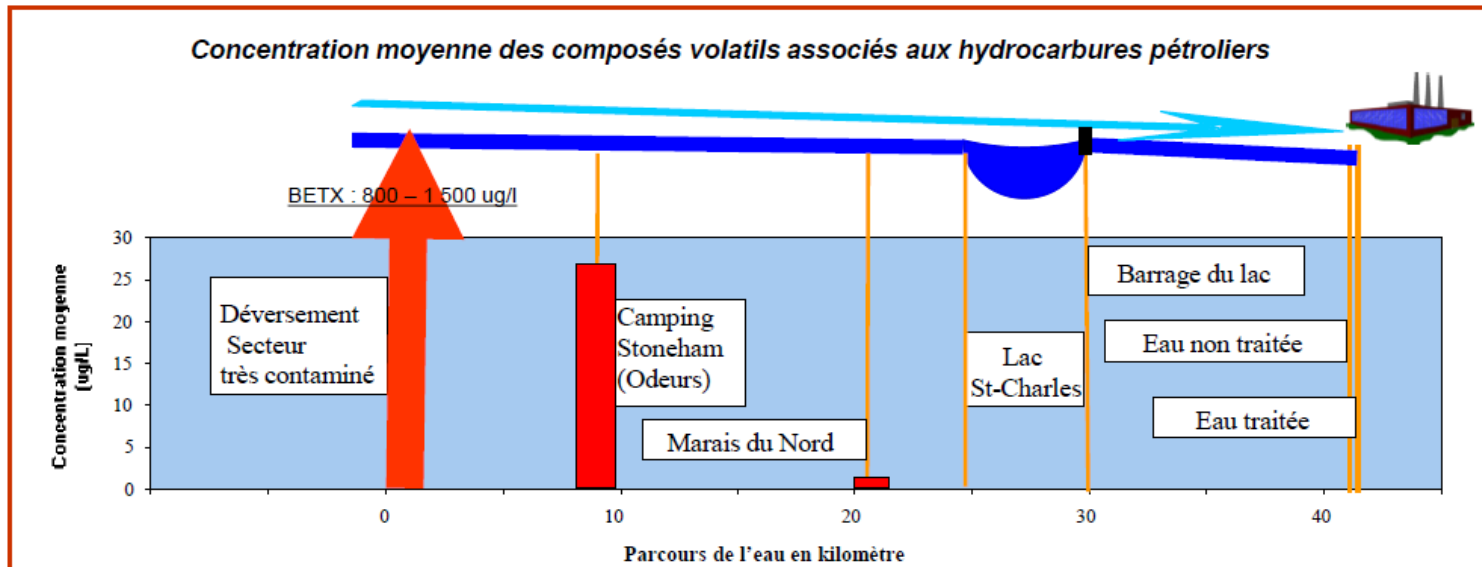
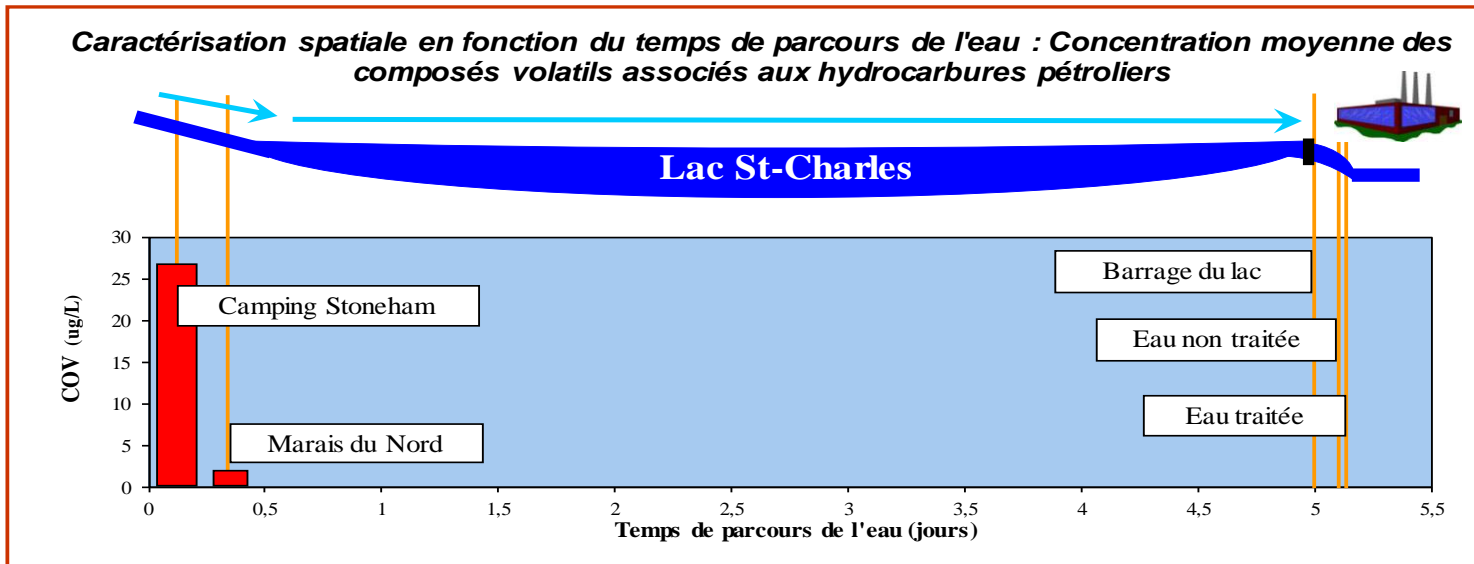
-  Site du déversement
-  Site d'échantillonnage
-  Déournement en amont du secteur pollué
-  Secteur d'intervention de décontamination
-  Secteur du camping Stoneham (section de rivière contaminée)
-  Municipalités
-  Bassin versant
-  Lacs et cours d'eau principaux



Image satellite Quickbird, CMQ 2003.

# Usage de l'outil lors d'un déversement accidentel (ex: déversement d'hydrocarbure; Stoneham 4 janvier 2010)

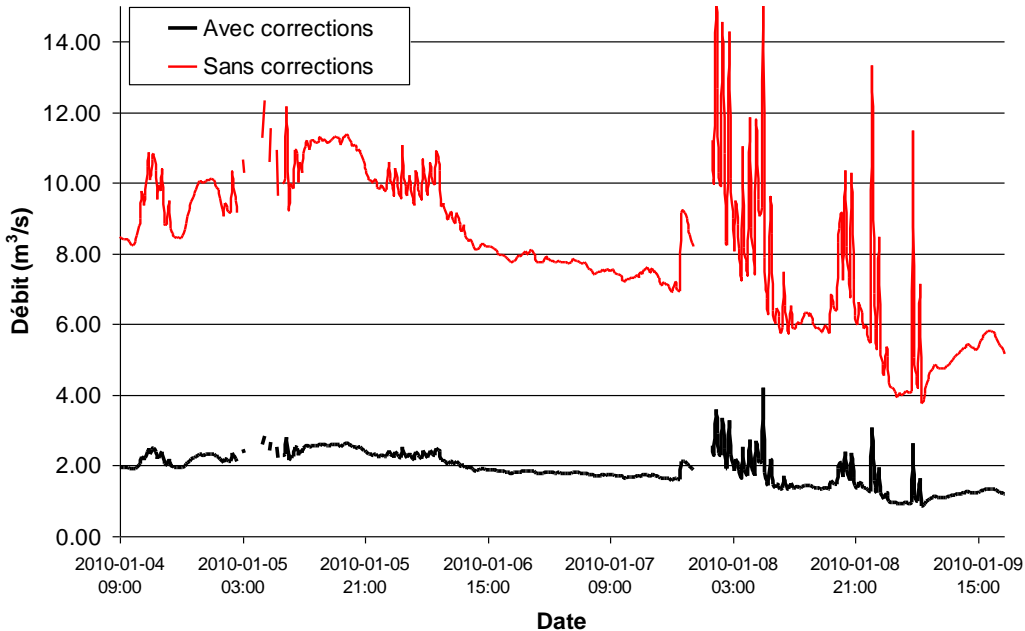




## Exemple de déversement du 4 janvier 2010 à Stoneham

### Démontrer certaines limites du modèle (notamment en période hivernale)

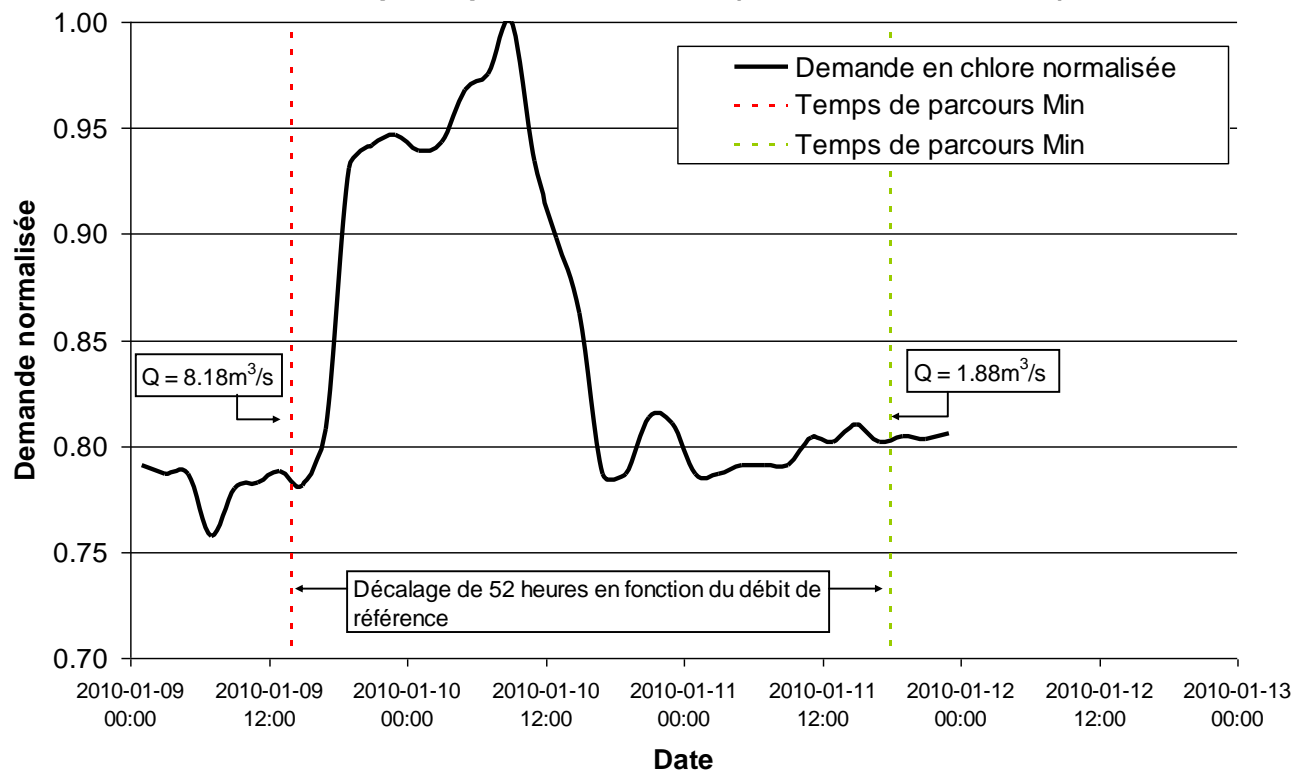
Évolution des débits à la station #050904 avec et sans corrections pour les effets de glace



Dans un contexte d'intervention rapide, disponibilité de seulement les débits non-corrigés

## Exemple de déversement du 4 janvier 2010 à Stoneham

Comparaison de la demande en chlore normalisée  
et des temps de parcours estimés ( $8.18\text{m}^3/\text{s}$  vs.  $1.88\text{m}^3/\text{s}$ )



## Exemple de déversement du 4 janvier 2010 à Stoneham

### Questions soulevées et prises en charge des modèles

En présence de glace dans les cours d'eau

- Modifications de la section d'écoulement afin de favoriser des vitesses plus rapide que celles observées pour un même débit sans la présence de glace
- HYDROTEL inadapté à tenir compte cette variabilité. Ainsi afin d'accéder à des vitesses plus grande: faire un forçage sur le débit

*« La prise en compte des débits corrigés occasionne forcément une réduction des vitesses et une augmentation des temps de parcours qui peut être falsifié par la présence de glace. »*

# Conclusions générales

## Conclusions générales

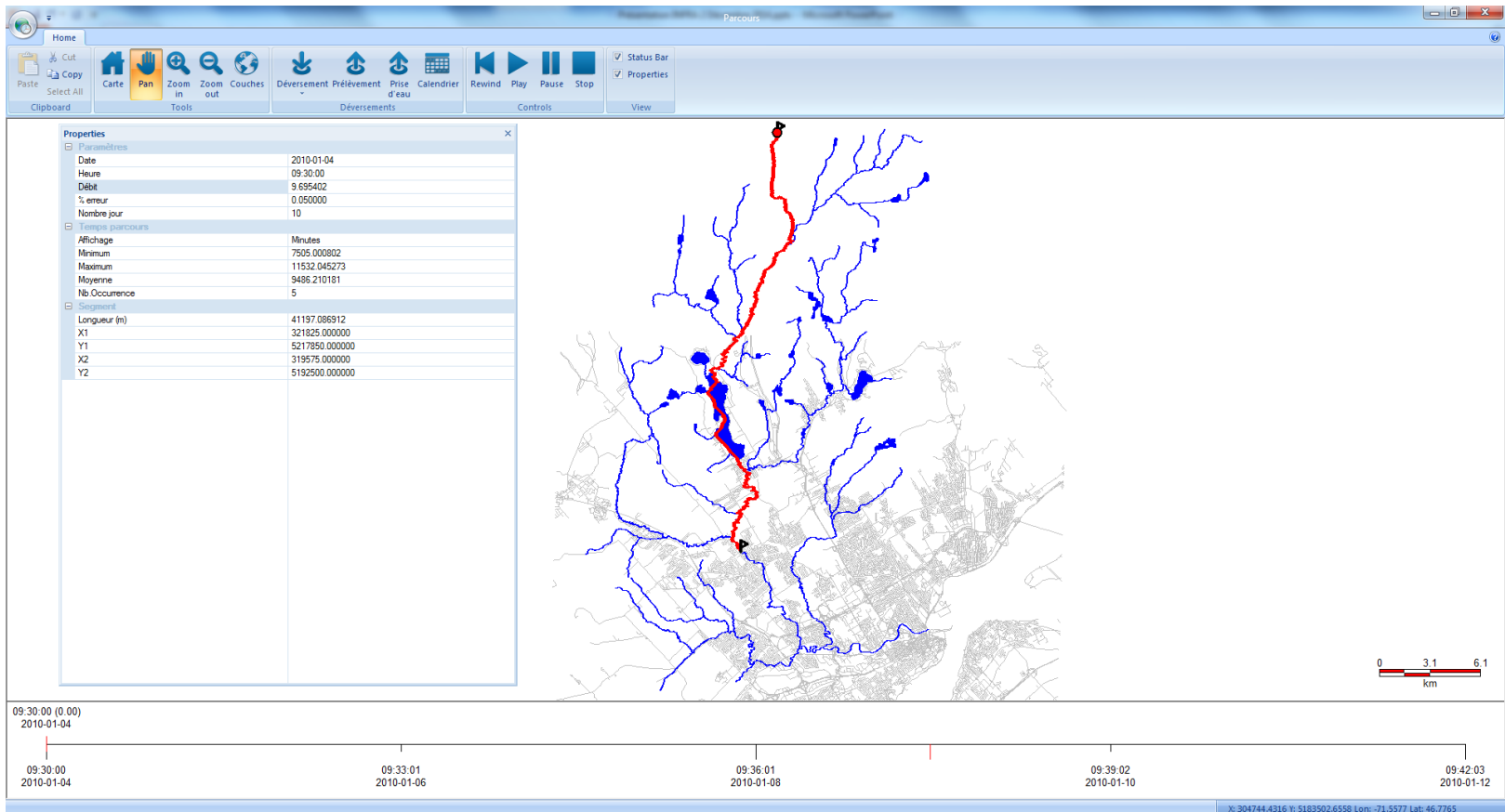
- Outil de première instance simple, à interface convivial offrant une première estimation des temps de parcours basée sur les simulations historiques d'HYDROTEL (base de données)
- Outil de diagnostique et non de prévision en temps réel contribuant à l'aide à la décision pour les intervenants
- Utilisation des débits mesurés comme référence de comparaison avec les débits simulés étant donné la similitude entre les distributions de débits simulés et mesurés à la station #050904
- S'inscrivant parfaitement dans une perspective de protection d'une prise d'eau potable et permettant d'obtenir en première approximation le temps d'intervention requis pour protéger une prise d'eau potable



## Conclusions générales

- *« Le déversement d'huile du 6 juillet 2013 à Lac-Mégantic démontre sans l'ombre d'un doute le besoin de mettre au point des outils de premières instances de prédictions des temps de parcours minimaux entre le point de déversement d'un contaminant et les prises d'eau des municipalités riveraines en aval. »*

# Questions



## Références bibliographiques

- Fortin, J., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., Villeneuve, J.-P. 2001a. A distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. Part I: Description of the model. *Journal of Hydrologic Engineering*, **6**(2): 91-99.
- Rousseau, A.N., Fortin, J.-P., Turcotte, R., Royer, A., Savary, S., Quévy, F., Noël, P., Paniconi, C. 2011. PHYSITEL, a specialized GIS for supporting the implementation of distributed hydrological models. *Water News - Official Magazine of the Canadian Water Resources Association*, **31**(1): 18-20.
- Rousseau, A.N., Savary, S., Royer, A. (2010). Étude de risques de contamination de la prise d'eau de Château-d'Eau, bassin versant de la rivière Saint-Charles, Ville de Québec. Politique de gestion durable de l'eau potable. Protection des prises d'eau et de leur bassin versant. *Rapport de recherche 1181, Centre Eau, Terre et Environnement, Institut national de la recherche scientifique, INRS-ETE. Québec, PQ* 118 pages incluant 3 annexes.

# Compléments

## PHYSITEL

*SIG adapté à la préparation de données pour la modélisation hydrologique distribuée*

### Caractéristique spécifique du logiciel dans le contexte de l'étude

- Détermination automatique de la largeur des tronçons communiquée à HYDROTEL
- Ajustable au besoin, par l'utilisateur d'HYDROTEL (ex: Lac-Saint-Charles)

**Largeur des tronçons**

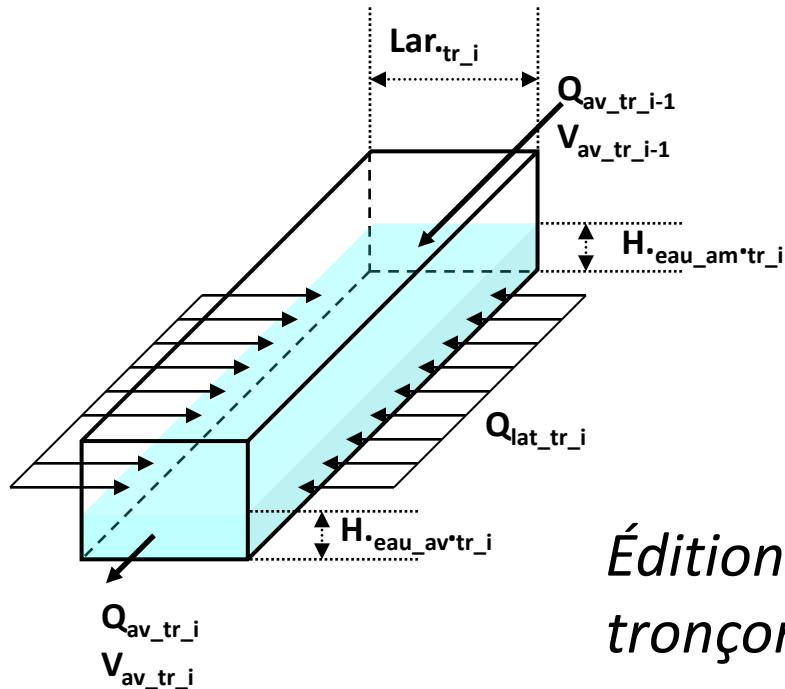
$$Lrg_{tr} = 0.49 * \left[ \text{Nbre\_Pixel} * \frac{\text{Taille\_Pixel}}{1000000} \right]^{0.62}$$

$Lrg_{tr}$                       **Largeur du tronçon**

$\text{Nbre\_Pixel}$                 **Nombre de pixels drainés**

$\text{Taille\_Pixel}$               **Taille (ou résolution) des pixels [m]**

## Écoulement en rivière



Écoulement en rivière déterminé par l'approche de l'onde diffusante

*Édition possible de certains paramètres des tronçons comme la largeur, la longueur, la pente et le coefficient de Manning*

## Caractéristiques de l'écoulement et des tronçons

Hauteur d'eau dans les tronçons déterminée par HYDROTEL pour l'amont et l'aval de chaque tronçon

Hauteur d'eau

$$H_{eau\_tr} = \frac{[mann_{tr} * qd_{tr} / Lrg_{tr}]^{0.6}}{pte_{tr}^{0.3}}$$

$mann_{tr}$  Coefficient de manning du tronçon

$qd_{tr}$  Débit (amont ou aval) dans le tronçon [m<sup>3</sup>/s]

$pte_{tr}$  Pente du tronçon

$Lrg_{tr}$  Largeur du tronçon

## Caractéristiques de l'écoulement et des tronçons

Vitesse de l'eau dans les tronçons déterminée selon l'équation suivante

Vitesse de l'eau

$$V_{tr} = \frac{qd_{tr}}{H_{eau\_tr} \cdot Lrg_{tr}}$$

$qd_{tr}$  Débit dans le tronçon [m<sup>3</sup>/s]

$Heau_{eau\_tr}$  Hauteur d'eau (amont ou aval) dans le tronçon [m]

$Lrg_{tr}$  Largeur du tronçon

Résultats sous la forme de vitesses amont et aval :  $f(Heau_{eau\_tr}, \text{amont \& aval})$



## Écoulement dans les lacs

- Simulés, indifféremment de l'algorithme d'écoulement en rivière, par une équation de continuité et par une relation entre la hauteur d'eau à l'exutoire du lac et le débit correspondant
- Normalement, toutes les information nécessaires à la simulation des écoulements des lacs fournies à HYDROTEL par les fichiers produits par PHYSITEL (*l'utilisateur ayant la possibilité de modifier ces paramètres aux besoins*)