

**Adaptation du SIG PHYSITEL pour  
les besoins de mise en place  
d'HYDROTEL à partir  
du réseau filamenteux du gouvernement  
du Québec**

*Rapport de recherche No R-1056 27 mars 2009*



**Adaptation du SIG PHYSITEL pour  
les besoins de mise en place d'HYDROTEL à partir  
du réseau filamenteux du gouvernement du Québec**

**Rapport présenté au**

Service de la gestion intégrée de l'eau  
Direction des politiques de l'eau  
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

**Équipe de réalisation :**

Alain N. Rousseau, Ph.D., ing.  
Alain Royer

Centre Eau, Terre et Environnement  
Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE)  
490, rue de la Couronne, Québec (QC), G1K 9A9

Rapport N° R-1056

27 Mars 2009

© Alain N. Rousseau, 2009

ISBN : 978-2-89146-596-0

# TABLE DES MATIÈRES

---

|   |     |
|---|-----|
| TABLE DES MATIÈRES .....                    | iii |
| LISTE DES FIGURES.....                      | v   |
| 1. INTRODUCTION.....                        | 1   |
| 2. IMPORTATION DU RÉSEAU FILAMENTAIRE ..... | 3   |
| 3. IMPORTATIONS DES LACS .....              | 7   |
| 4. RÉSEAU MATRICIEL FINAL.....              | 11  |
| 5. TAILLE CRITIQUE DU MNA .....             | 13  |
| 6. PERSPECTIVES DE TRAVAUX FUTURS .....     | 15  |



## LISTE DES FIGURES

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 1. Réseau filamentaire complet du bassin versant de la rivière Saint-François. ....                              | 3  |
| Figure 2. Importation du réseau filamentaire complet filtré selon l'ordre 4 de Strahler. ....                           | 4  |
| Figure 3. Modifications apportées à la structure des fichiers de PHYSITEL. ....   | 5  |
| Figure 4. Exemple d'anomalies où deux tronçons à proximité parcourent le même pixel. ....                               | 6  |
| Figure 5. Importation des lacs filtrés selon l'ordre 3 de Strahler. ....  | 7  |
| Figure 6. Exemples de corrections manuelles, relatives aux lacs, effectuées. ....                                       | 8  |
| Figure 7. Procédure de connexion d'un lac à un tronçon du réseau. ....  | 9  |
| Figure 8. Procédure de regroupement de deux régions d'un même lac. ....   | 10 |
| Figure 9. Exactitude entre le réseau vectoriel imposé et le réseau matriciel final. ....                                | 11 |
| Figure 10. Nouvelle application liant le réseau matriciel final aux informations relatives au réseau filamentaire. .... | 12 |



# 1. INTRODUCTION

---

Ce projet s'inscrit dans la mise en œuvre de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, signée en 2005 par les premiers ministres du Québec et de l'Ontario et les gouverneurs des huit États américains riverains des Grands Lacs.

Cette Entente prévoit une gestion durable des prélèvements d'eau qui assure l'absence d'impact négatif significatif individuel et cumulatif sur les eaux et les ressources naturelles qui en dépendent. Les principes de l'Entente mis de l'avant pour assurer une gestion durable des quantités d'eau impliquent la mise en place de nouvelles méthodes d'analyse et de gestion. Particulièrement, une méthode permettant d'évaluer les impacts des prélèvements d'eau nécessitera le développement des outils d'analyse et d'aide à la décision. Ces outils devront permettre l'évaluation des impacts des prélèvements d'eau à l'échelle du fleuve Saint-Laurent et des bassins versants de ses tributaires.

Pour ce faire, le ministère prévoit d'utiliser le réseau filamenteux pour compiler l'ensemble des données requises et représenter spatialement et de manière dynamique les écoulements de surfaces. L'objectif de ce contrat est de permettre au réseau filamenteux d'être alimenté par les données d'apports provenant d'HYDROTEL, le modèle hydrologique utilisé par le Centre d'expertise hydrique (CEHQ) pour la prévision des apports aux principaux barrages publics. Ce modèle nécessite l'utilisation du système d'information géographique (SIG) PHYSITEL pour la construction de ses bases de données hydrométéorologiques et physiographiques.

L'objectif de ce projet est d'habiliter le SIG PHYSITEL afin qu'il puisse utiliser le réseau filamenteux du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) comme réseau final pour la construction des unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH), les unités de calcul d'HYDROTEL, et ce afin de permettre de lier les segments du réseau filamenteux aux tronçons utilisés par HYDROTEL.

Pour ce projet, le bassin versant de la rivière Saint-François a été utilisé comme bassin pilote (haute-résolution, environ 700 tronçons). La Direction du patrimoine écologique et des parcs du MDDEP a fourni un réseau filamenteux et une couche de polygones « lac » ainsi qu'un modèle numérique d'altitude (MNA) adapté au territoire d'étude. Par ailleurs, le CEHQ a remis à l'INRS-ETE des implantations préliminaires de PHYSITEL et d'HYDROTEL fonctionnelles, mais non compatibles avec le réseau filamenteux.

La réalisation de ce projet a spécifiquement permis : (i) l'intégration des lacs ; (ii) la définition des UHRH correspondant exactement à la densité du réseau filamenteux, (iii) le traitement de la présence de nœuds (ou pseudo nœuds) à l'intérieur des tronçons du réseau filamenteux, (iv) l'établissement d'un lien direct entre les identifiants de tronçons dans HYDROTEL et les identifiants du réseau filamenteux. De plus, en vue de la réalisation du projet sur tout le territoire de l'Entente, des tests ont été effectués dans PHYSITEL pour déterminer la taille maximale de la matrice d'élévation que le logiciel est capable de traiter.

Ce rapport qui se veut un guide des réalisations et des caractéristiques présente l'ensemble des réalisations de ce projet qui ont permis de produire : (i) l'ensemble des fichiers d'entrée et de sortie du SIG PHYSITEL (ensemble du « projet » PHYSITEL) suite à son utilisation avec le réseau filamenteux sur le bassin de la rivière Saint-François ; (ii) l'ensemble des fichiers d'entrée et de sortie du logiciel HYDROTEL (ensemble du « projet » HYDROTEL) correspondant à une implantation fonctionnelle du modèle, mais non calé et dont la production de résultats (des fichiers de sorties) sera directement liée au réseau filamenteux et à ses identifiants ; ainsi que (iii) la mise à jour correspondante des licences de PHYSITEL utilisées au MDDEP.

## 2. IMPORTATION DU RÉSEAU FILAMENTAIRE

---

Les modifications apportées à PHYSITEL ont pour but de permettre la liaison entre le réseau hydrographique matriciel d'HYDROTEL et celui du réseau filamentaire. PHYSITEL permet l'importation du réseau vectoriel en trois formats, soit Mapinfo Tables (\*.tab), Mapinfo Interchange (\*.mid) et Shapefile (\*.shp). Seul le format Shapefile permet un accès facile à la base de données, c'est-à-dire aux informations relatives à chacun des tronçons, comme par exemple l'ordre de Strahler, le type de cours d'eau, *etc.* C'est ce format qui a été utilisé dans le cadre du projet. Le réseau a d'abord été filtré dans ArcGIS pour déterminer l'ordre de Strahler et pour éliminer les tronçons non « Enabled ». La figure 1 présente le réseau du bassin pilote, celui de la rivière Saint-François. Alors que la figure 2 introduit l'importation du réseau filtré selon un ordre de Strahler de 4.

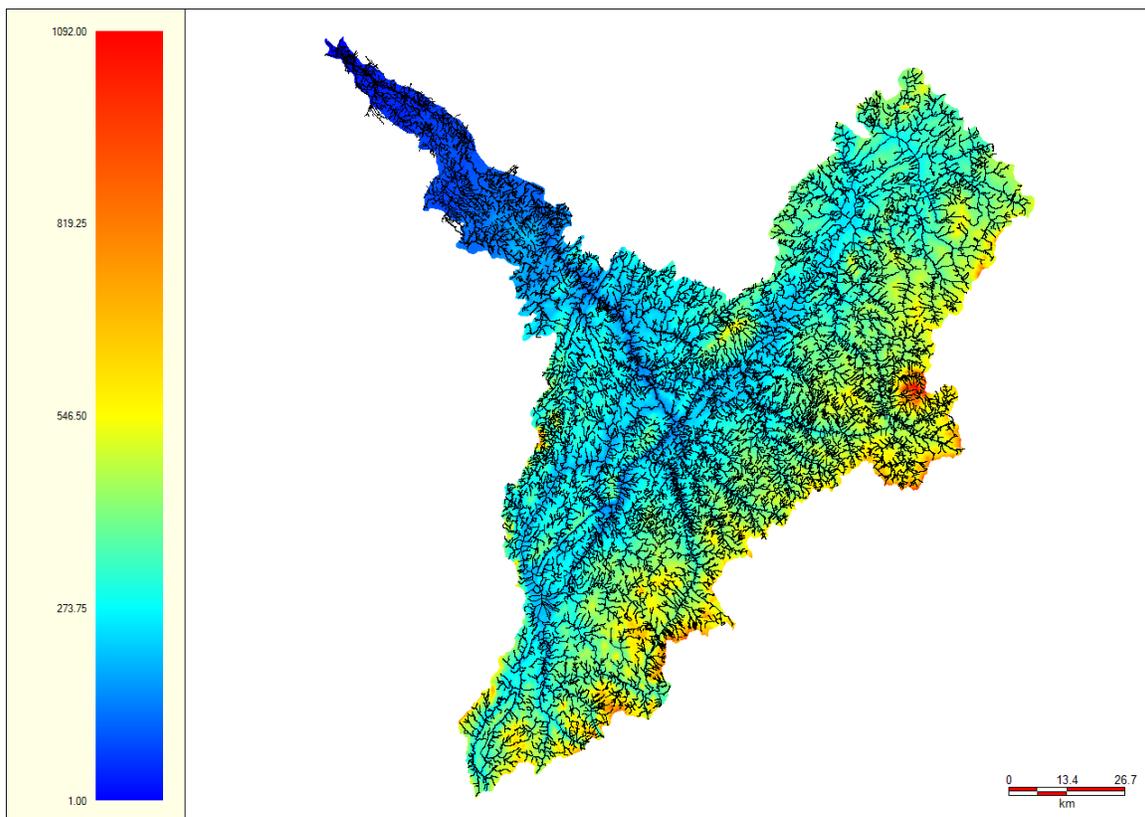


Figure 1. Réseau filamentaire complet du bassin versant de la rivière Saint-François.

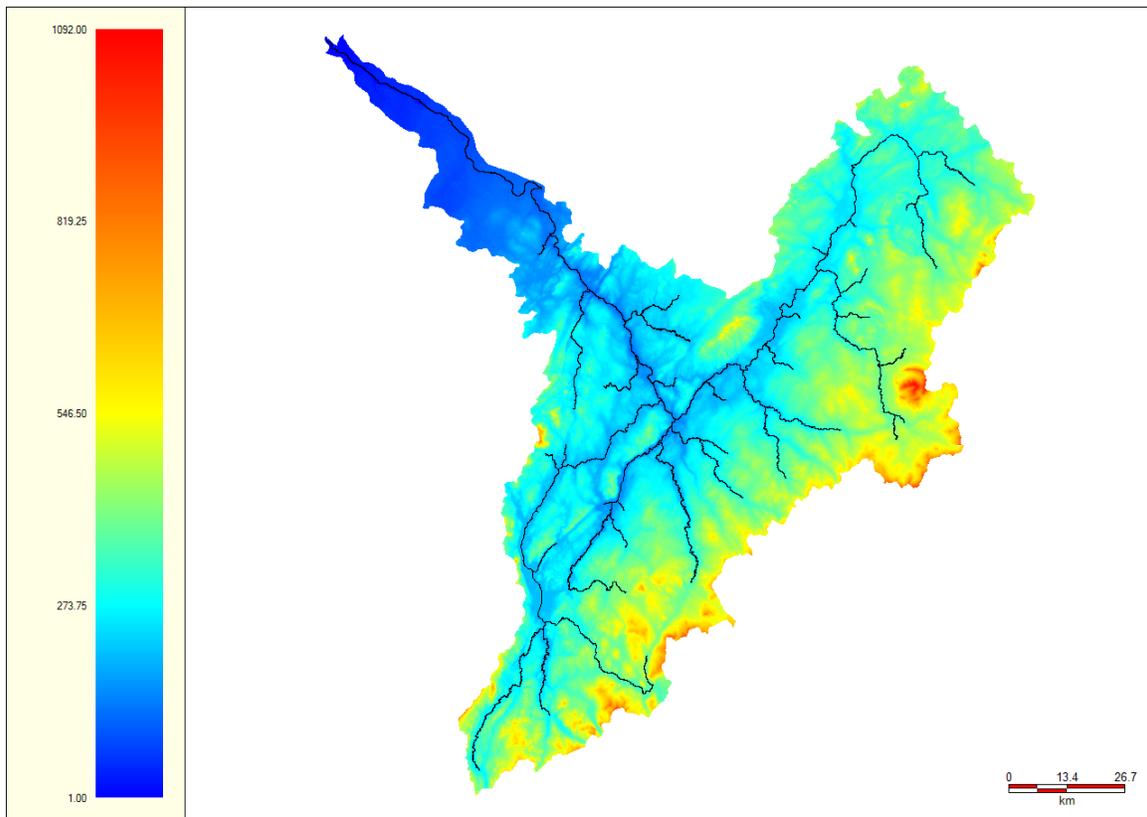


Figure 2. Importation du réseau filamenteux complet filtré selon l'ordre 4 de Strahler.

Pour permettre la liaison entre les réseaux, il est nécessaire de conserver toute l'information disponible du réseau filamenteux. Lors de l'importation du réseau filamenteux, une copie du réseau vectoriel original est conservée dans le format de MapInfo (\*.tab). Une base de données est aussi créée (BD Shapefile) afin de préserver les informations de chacun des tronçons. L'édition des tronçons ne se fait donc plus sur les données originales, mais sur une copie. La figure 3 illustre les modifications apportées à PHYSITEL qui permettent la sauvegarde des informations relative au réseau filamenteux original.

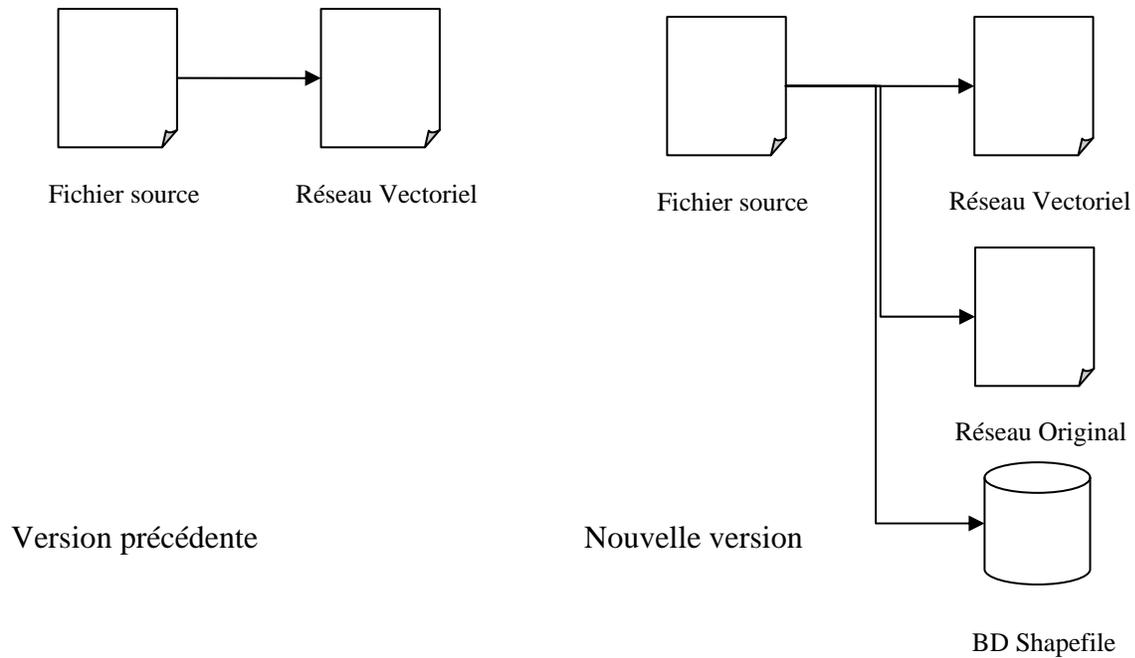


Figure 3. Modifications apportées à la structure des fichiers de PHYSITEL.

Comme le réseau a une résolution beaucoup plus fine que le modèle numérique d'altitude (MNA) fournie par le MDDEP, un nouveau test de proximité à été implémenté dans PHYSITEL pour détecter les endroits où deux tronçons parcourent la même cellule. Pour le moment le test détecte plusieurs anomalies qui ne sont pas importantes en bout de compte. Ces anomalies ne peuvent être corrigées automatiquement par le programme, l'utilisateur doit donc le faire manuellement avec les outils disponibles dans PHYSITEL. La figure 4 présente un exemple d'anomalies.

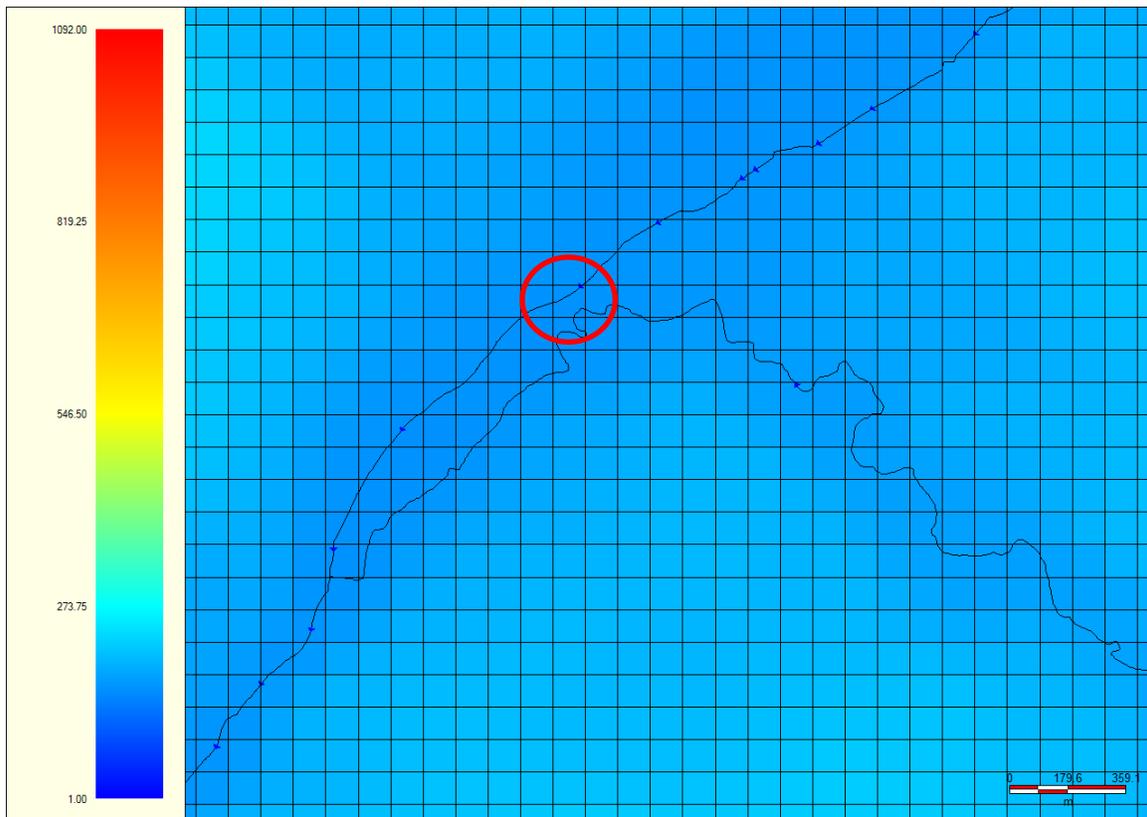


Figure 4. Exemple d'anomalies où deux tronçons à proximité parcourent le même pixel.

### 3. IMPORTATIONS DES LACS

---

Comme pour le réseau filamentaire, les lacs ont d'abord été filtrés à l'aide du logiciel ArcGIS. Lors de l'importation d'une nouvelle couche vectorielle, les tronçons sont ajoutés dans le fichier « *Réseau Original* » ainsi que dans le fichier « *Réseau Vectoriel* ». La base de données de cette nouvelle couche est elle aussi ajoutée dans le fichier « *Shapefile Info* » pour permettre le lien entre le réseau matriciel final et le réseau filamentaire. La figure 5 présente l'importation des lacs découlant d'un filtrage selon un ordre 3 de Strahler. Malheureusement plusieurs corrections manuelles ont dû être effectuées sur les lacs. Il serait impératif que la couche lac se superpose parfaitement à la couche des tronçons. Il n'y aurait alors eu très peu de corrections manuelles à effectuer dans le cadre de ce projet pilote.

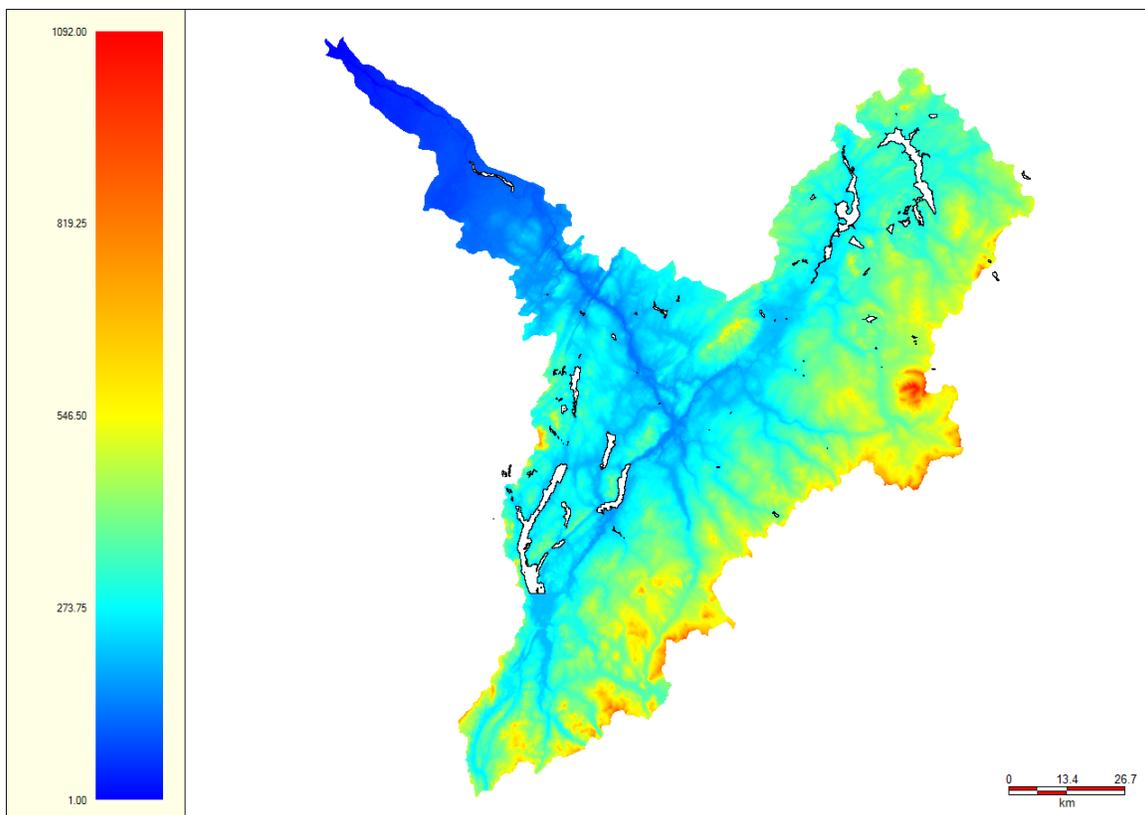


Figure 5. Importation des lacs filtrés selon l'ordre 3 de Strahler.

Dans un premier temps, les tronçons à l'intérieur des lacs doivent être éliminés. L'outil de nettoyage permet d'en supprimer une bonne partie, mais il en reste qui doivent être supprimés manuellement. Le test de connexion permet de les détecter, il est donc facile de les supprimer. La figure 6 présente des exemples de corrections manuelles devant être effectuées. Dans ce cas précis, les tronçons à l'intérieur des limites des lacs doivent être éliminés.

Une fois cette tâche accomplie, il faut connecter les lacs aux tronçons du réseau. Encore une fois le test de connexion permet la détection des erreurs et les outils de PHYSITEL permettent de connecter facilement les lacs au réseau. La figure 7 présente un exemple de connexion d'un lac à un tronçon.

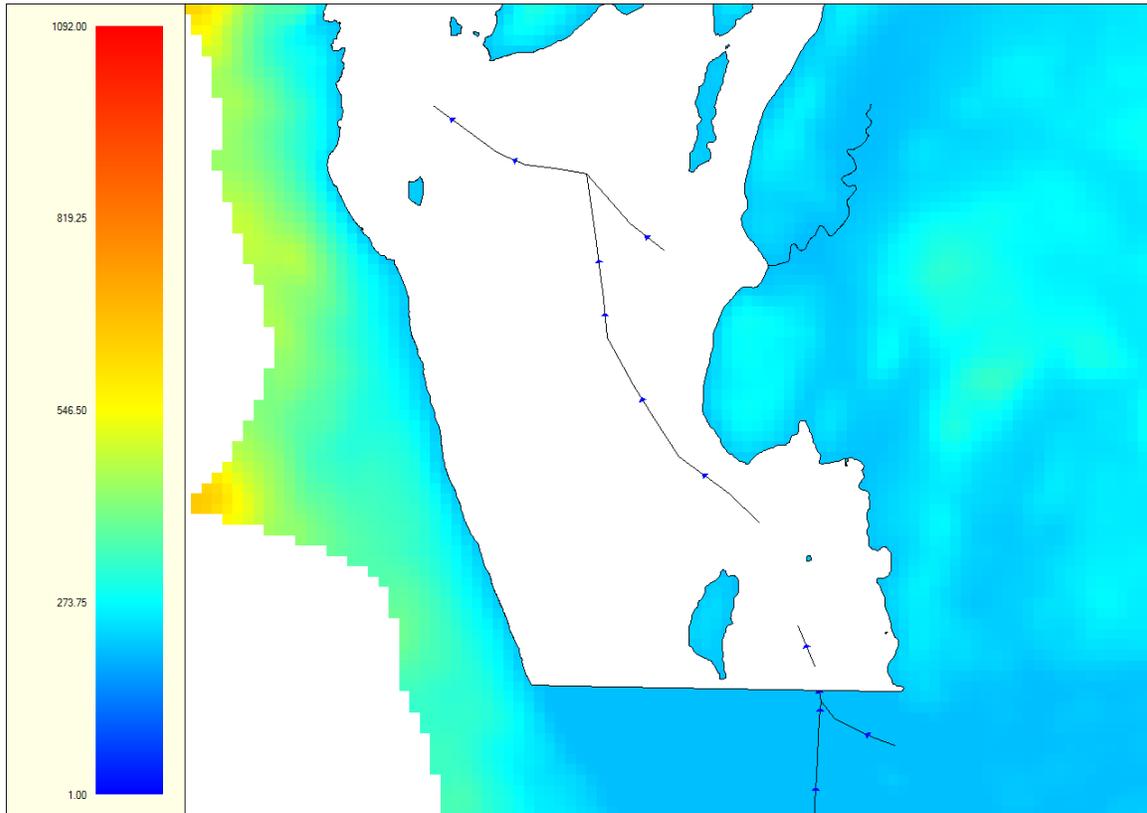
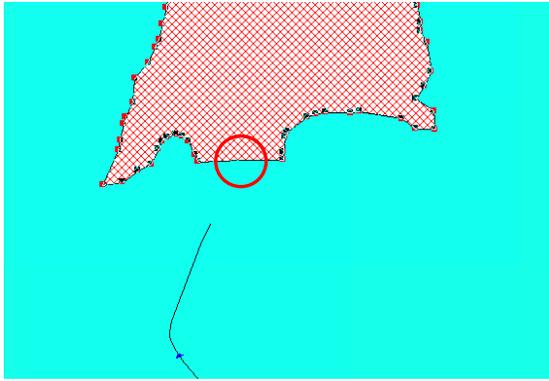
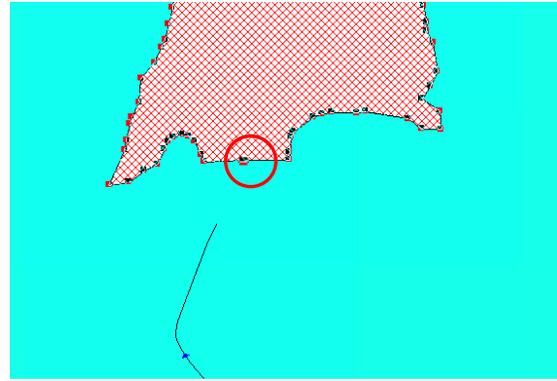


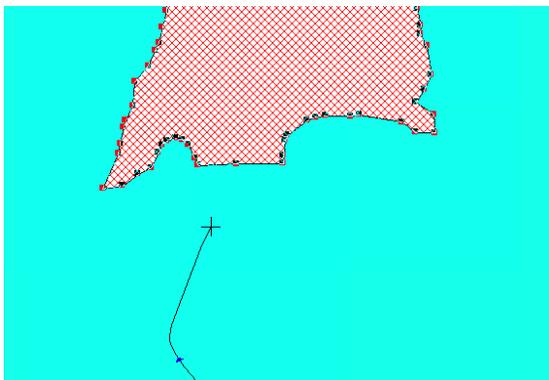
Figure 6. Exemples de corrections manuelles, relatives aux lacs, effectuées.



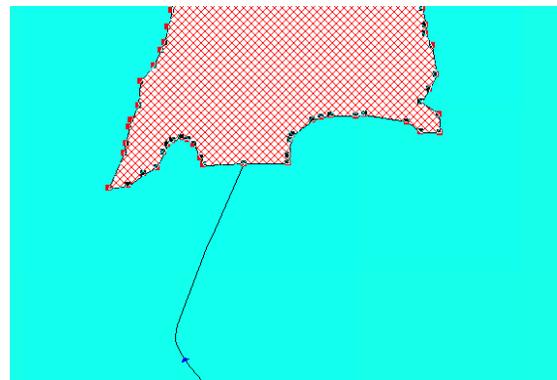
Il faut ajouter un nœud sur le lac avec l'outil « Add node »



Le nœud a été ajouté sur le lac.



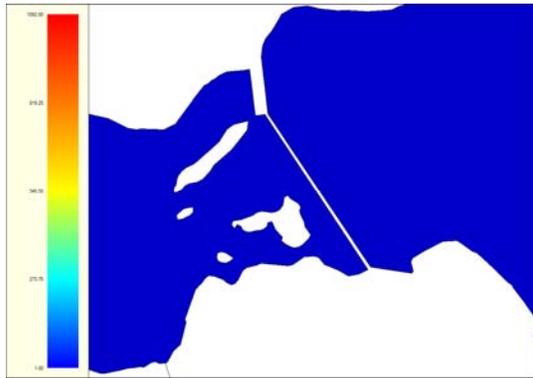
Avec l'outil « Snap », on sélectionne le point aval du tronçon qui se jette dans le lac, une croix noire s'affiche.



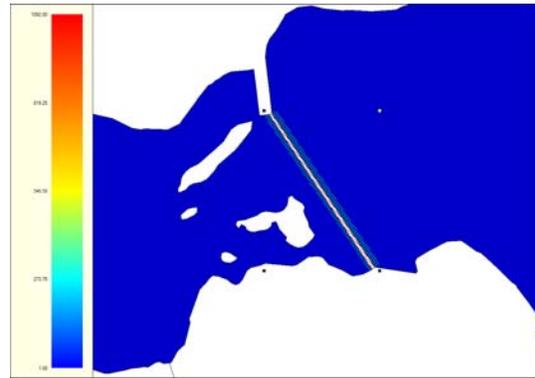
On se déplace ensuite sur le nœud créé, une croix rouge s'affiche et il suffit de cliquer pour brancher le tronçon

Figure 7. Procédure de connexion d'un lac à un tronçon du réseau.

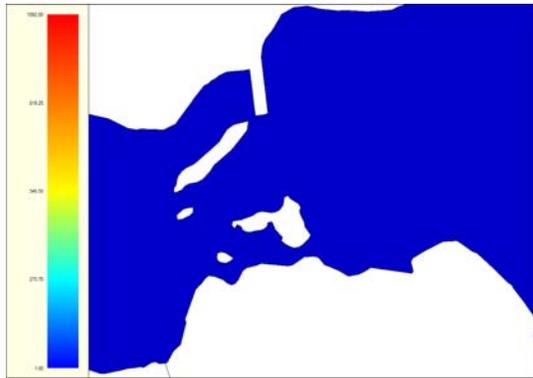
Il y a un cas dans le bassin de la rivière Saint-François où le lac est séparé en deux régions. Pour corriger ce lac, il suffit de dessiner un nouveau polygone entre les deux régions du lac (dans ce cas la présence du barrage en amont de Drummondville) et ensuite d'utiliser l'outil de traitement « Combiner régions adjacentes » (figure 8).



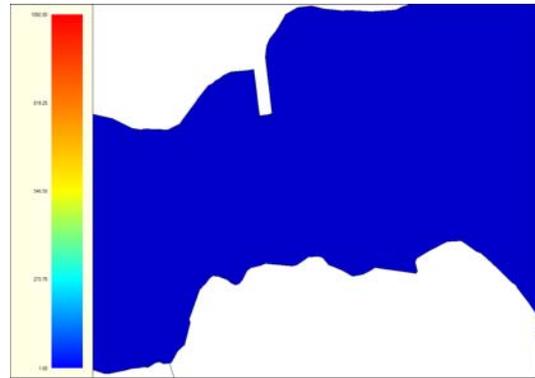
Le lac est divisé en deux régions.



On dessine un nouveau polygone avec l'outil « Region ».



L'outil « Combiner régions adjacentes » va créer une seule région en combinant les trois régions



La même technique permet facilement d'éliminer les îles

Figure 8. Procédure de regroupement de deux régions d'un même lac.

Dans le cadre de ce projet, les lacs non connectés ainsi que les lacs très petits ont été supprimés. Également, la partie sud manquante du lac Memphrémagog, la partie américaine, a été dessinée avec les outils disponibles dans PHYSITEL en se basant sur l'occupation du sol fournie par le CEHQ.

## 4. RÉSEAU MATRICIEL FINAL

---

Pour la création du réseau matriciel final, un seuil de cellules amont drainées était préalablement demandé par PHYSITEL. Dans le cadre de ce projet, une nouvelle option a été programmée pour permettre l'utilisation stricte du réseau vectoriel imposé. Aucun nouveau tronçon ne sera donc généré par PHYSITEL et aucun tronçon ne sera oublié. Le calcul du réseau matriciel a été complètement revu pour permettre une meilleure adéquation entre le réseau vectoriel plus fin et le MNA. Les endroits où le réseau repasse sur les mêmes cellules sont donc éliminés.

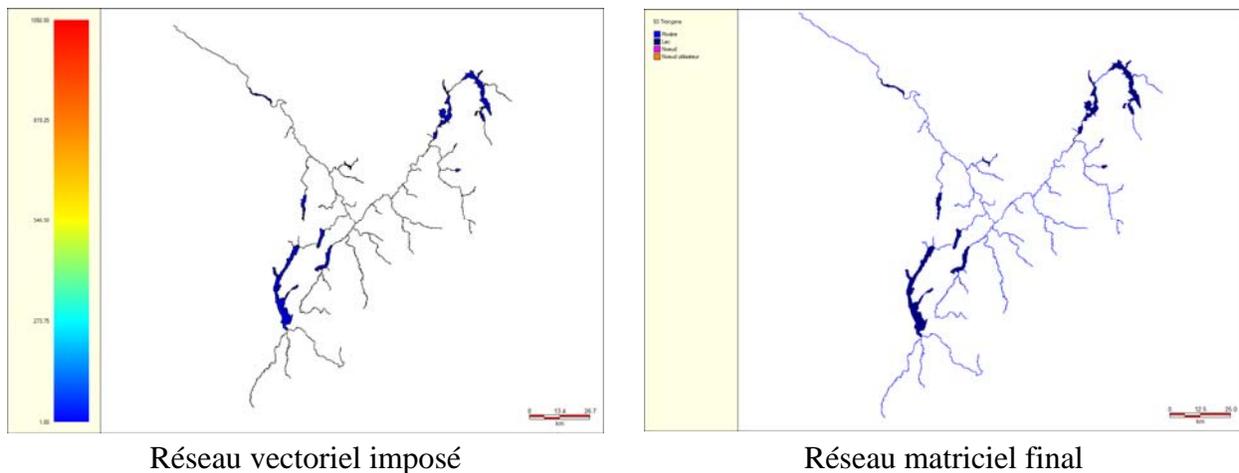


Figure 9. Exactitude entre le réseau vectoriel imposé et le réseau matriciel final.

Un nouveau fichier (Links.txt) est maintenant créé lors du calcul du réseau matriciel final. Ce fichier contient le lien entre les tronçons du réseau filamenteux et le réseau final. Lors de ce calcul, chacun des pixels du réseau matriciel final est visité pour déterminer à quel tronçon du réseau original il est lié. Pour chacun des tronçons HYDROTEL, on retrouve donc la liste des tronçons du réseau filamenteux correspondants. Une application a aussi été développée pour démontrer ces liens (voir figure 10).

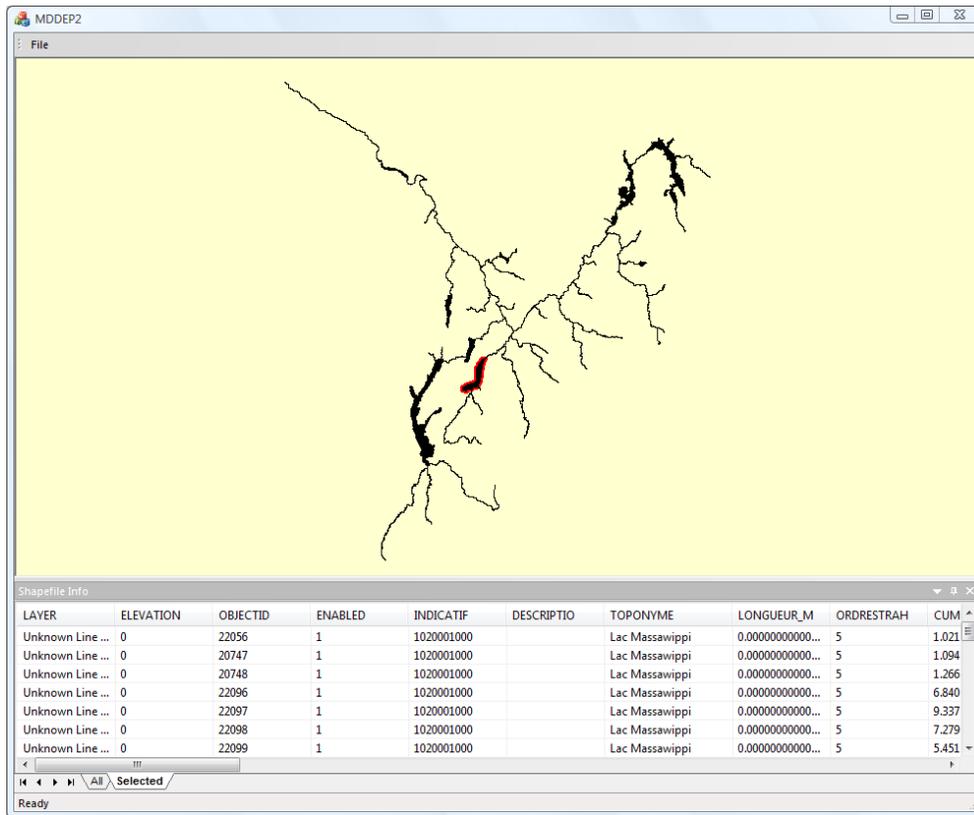


Figure 10. Nouvelle application liant le réseau matriciel final aux informations relatives au réseau filamentaire.

## 5. TAILLE CRITIQUE DU MNA

---

Des tests ont été effectués avec PHYSITEL pour déterminer la taille du modèle numérique d'altitude (MNA) maximal que le logiciel est capable de traiter. Il a été déterminé que c'est l'algorithme de calcul des orientations qui demande le plus de mémoire. En effet pour chacun des pixels où il y a une donnée d'altitude, plusieurs autres informations sont conservées pour l'ensemble du traitement. Toutefois, une première modification pour réduire la mémoire requise pour ces données a permis d'augmenter « un peu » la taille du MNA qu'il est possible d'utiliser. Des travaux plus poussés sur cet algorithme pourraient permettre d'identifier les bornes maximales des variables et ainsi utiliser le type de variable qui occupe le moins d'espace possible (short, int, float, double, *etc.*).

La limite maximale qui a été déterminée pendant les tests est d'environ 4500x4500 pixels. Par exemple, à l'aide d'un MNA d'une résolution de 100 mètres, il est possible de couvrir un territoire d'une superficie de 202 500 km<sup>2</sup>, soit une fenêtre de 450 km par 450 km. La résolution est directement liée à l'ordre de Strahler utilisé pour le réseau filamentaire. Plus la résolution des cellules du MNA est élevée, plus l'ordre de Strahler doit être élevé sans quoi les tronçons seront à proximité l'un de l'autre dans les mêmes cellules.

Une autre solution serait de faire une nouvelle application 64 bit simplement pour appliquer l'algorithme d'écoulement. Une application 64 bit n'est plus limitée en mémoire comme l'est une application 32 bit. L'utilisation des bibliothèques Vertical Mapper et MapX ne permette malheureusement pas à PHYSITEL d'être compilé en 64 bit. L'utilisation d'une autre bibliothèque SIG pourrait peut-être venir corriger cette situation, toutefois ce changement nécessiterait beaucoup de travail.



## 6. PERSPECTIVES DE TRAVAUX FUTURS

---

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé un logiciel tiers ArcGIS afin de filtrer le réseau filamenteux ainsi que la couche des lacs. Il serait beaucoup plus avantageux d'inclure un nouvel outil pour filtrer l'information directement dans PHYSITEL. Comme une copie des fichiers originaux est conservée, il serait facile de les filtrer selon des critères fournis par l'utilisateur (ex. : l'ordre de Strahler).

Le test de proximité rapporte plusieurs cas qui ne sont pas problématiques. Il serait très intéressant alors de revoir ce test pour qu'il détecte seulement les cas qui nécessitent une correction manuelle. Par exemple avec un ordre de Strahler de 3, le test de proximité rapporte 31 erreurs alors que seulement deux sont réellement problématiques et nécessitent une correction manuelle.

Le temps de calcul pour l'importation, le test de proximité, le test de connectivité et la rasterisation du réseau est relativement long. La durée de ces calculs brise le rythme de travail et il serait souhaitable de voir le temps de ces calculs diminué.

Étant donné que le gouvernement du Québec désire implanter la modélisation hydrologique distribuée sur les bassins versants du territoire québécois du Saint-Laurent jusqu'à la sortie du Lac-St-Pierre; c'est-à-dire le bassin versant de l'Outaouais ainsi que les sous-bassins versants de la rive sud (*i.e.*, région hydrographique 03) et de la rive nord du Saint-Laurent (de la rivière du Nord – incluse - au St-Maurice exclus), l'INRS demeure disponible pour construire toutes les bases de données physiographiques nécessaires à la modélisation hydrologique de ce territoire. Plus particulièrement, l'INRS est intéressé à la réalisation de la liste des travaux (présentée dans les paragraphes précédents) à faire sur PHYSITEL, et ce afin d'automatiser avec célérité l'ensemble des tâches nécessaires à l'implantation d'HYDROTEL à partir des couches du réseau filamenteux et des lacs fournies par la Direction du patrimoine écologique et des parcs du MDDEP.