

# Évaluation de la propension au ruissellement sur des sols saturés à l'aide d'un indice topographique (indice de Beven-Kirkby) utilisant les données du Réseau Hydro National (RHN) et des MNA de GéoBase

## **Auteurs :**

Jean-Thomas Denault  
Alain N. Rousseau  
Eric van Bochove  
Farida Dechmi

**Décembre 2008**

**Canada** 

*Agriculture et Agroalimentaire Canada/Agriculture and Agri-food Canada*  
2560, boul. Hochelaga, Québec (Québec), G1V 2J3  
CANADA

*Institut National de la recherche scientifique - Centre Eau, Terre et Environnement*  
490, de la Couronne, Québec (Québec) G1K 9A9  
CANADA

## Table des matières

Resumé du cas d'utilisation.....	3
Logiciels et sources de données .....	3
Le défi .....	4
La solution.....	5
1. Prétraitement des données d'entrée.....	7
2. Calcul de la matrice de l'IT.....	14
3. Reporter l'IT à l'échelle des Pédo-paysages du Canada.....	16
Les résultats.....	18
Références .....	20
Annexe 1. RasterToAscii_Batch.py .....	21
Annexe 2. ZonalStats.py .....	22

## **Resumé du cas d'utilisation**

*Le ruissellement résultant de la saturation du sol est l'un des processus dominant qui influence l'hydrologie des climats tempérés et humides. Ce phénomène est généralement influencé par la topographie dans des régions qui présentent une pente douce et des sols peu profonds sur un substratum rocheux imperméable ou sur une couche de sol étanche. Dans le cas de sols riches en nutriments, pathogènes ou sur lesquels des pesticides sont appliqués, la connaissance des zones propices au développement du ruissellement à saturation peut permettre d'illustrer la distribution spatiale des régions d'un bassin versant où les risques de transport de contaminants sont élevés.*

*Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a entrepris l'élaboration d'indicateurs agroenvironnementaux dans le but d'évaluer le rendement environnemental de l'agriculture. Des indicateurs du risque de contamination de l'eau par le phosphore et par les coliformes (IRCE-P et IRCE-Col.) ont été mis au point au moyen d'indices intégrant des facteurs de sources, transport et de connectivité. Le ruissellement à saturation a été considéré comme un des facteurs reliant les sols agricoles aux plans d'eau environnants. Pour évaluer ce processus, un indice topographique (IT) fondé sur la méthode TOPMODEL a été calculé pour tous les bassins versants des zones agricoles du Canada à l'aide des modèles numériques d'altitude (MNA) des DNEC de GéoBase à l'échelle de 1/50 000, ainsi que des couches de données correspondantes du Réseau hydro national (RHN) de GéoBase. Tous les algorithmes ont été intégrés au logiciel PHYSITEL, un système d'information géographique (SIG) mis au point par l'Institut National de la recherche scientifique - Centre Eau, Terre et Environnement. Les valeurs moyennes de l'IT des terres agricoles ont servi à classifier les régions agricoles.*

## **Logiciels et sources de données**

Afin d'évaluer le risque de ruissellement dû à la saturation excessive dans l'ensemble du Canada, des matrices de l'indice topographique (IT) ont été calculées à l'aide de modèles numériques d'altitude (MNA) et des données géospatiales vectorielles du Réseau Hydro National. Les sources de données utilisées sont les [DNEC de GéoBase](#) à l'échelle de 1/50 000, disponibles sur le site de GéoBase ([www.geobase.ca](http://www.geobase.ca)) ainsi que leurs couches correspondantes du [Réseau Hydro National \(RHN\)](#) de GéoBase. Tous les traitements qui ont précédé ou qui ont suivi la collecte de données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS et d'ARC/INFO 9.2 ([www.ESRI.com](http://www.ESRI.com)). Le logiciel FME 2006 ([www.safe.com](http://www.safe.com)) a été utilisé pour toutes les conversions de formats de données, tandis que le logiciel PHYSITEL (v.3.0) a permis de faire tous les autres calculs [Turcotte et coll., 2001; Royer et coll., 2006; Rousseau et coll., 2009]. Les références indiquées dans le présent cas d'utilisation sont fondées sur le logiciel utilisé.

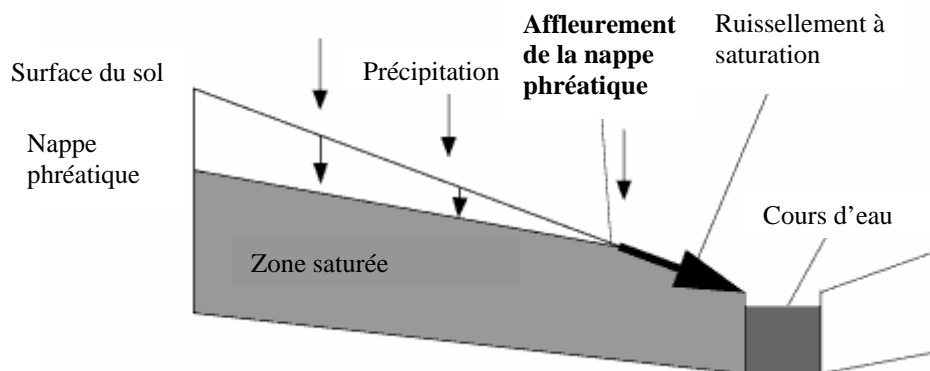
## Le défi

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a entrepris l'élaboration d'indicateurs agroenvironnementaux afin d'évaluer l'efficacité des pratiques de gestion bénéfiques (PGB) en agriculture et d'offrir une évaluation objective et scientifique de la durabilité de l'agriculture<sup>1</sup>. L'indicateur du risque de contamination de l'eau par le phosphore (IRCE-P) et l'indicateur du risque de contamination de l'eau par les coliformes (IRCE-Col.) ont tous deux été mis au point au moyen d'indices intégrant une caractérisation de la source et des processus de transport.

$$\text{Valeurs de l'indicateur} = \text{Facteurs Sources} \times \text{Transport\_Hydrologie} \quad (1)$$

Les processus de transport englobent le ruissellement en surface, le drainage et l'érosion du sol, tandis que les processus hydrologiques comprennent tous les facteurs importants de connectivité qui facilitent le transport des contaminants depuis les terres agricoles jusqu'aux plans d'eau. Les facteurs de connectivité reposent sur la densité du drainage superficiel, le drainage artificiel, la possibilité d'un écoulement préférentiel et la propension au ruissellement dû à la saturation du sol.

Le ruissellement résultant de la saturation du sol est l'un des principaux processus hydrologiques en climats humides et tempérés. Ce type de ruissellement est habituellement influencé par la topographie dans des régions qui présentent une pente douce et des sols peu profonds sur un substratum rocheux imperméable ou sur une couche de sol étanche (figure 1). Le ruissellement en surface peut être prédit au moyen de l'indice topographique (IT) mis au point par Beven et Kirkby (1979), un indice de la similarité hydrologique fondée sur des aspects topographiques. Selon ce concept, toutes les unités topographiques ou les éléments spatiaux d'un bassin versant ayant une valeur indice identique présentent, en principe, les mêmes conditions de saturation, de ruissellement en surface et d'écoulement hypodermique (sous la surface).



**Figure 1.** Écoulement superficiel dû à la saturation du sol.

<sup>1</sup> Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale, <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1181580464260&lang=fra>

Les matrices de connectivité de l'IT pour le Canada ont été élaborées en collaboration avec l'Institut National de la recherche scientifique (INRS) - Centre Eau, Terre et Environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et DelDegan, Massé Experts-conseils.

## La solution

### Aspects conceptuels

Les valeurs de l'IT sont évaluées pour chacun des pixels d'une matrice en utilisant l'équation 2.

$$TI_i = \ln\left(\frac{a_i}{\tan(\beta_i)}\right) \quad (2)$$

$TI_i$  est l'indice topographique pour le pixel  $i$ . Des valeurs élevées résultent soit d'une longue pente, soit d'une convergence des courbes de niveau en haut de la pente et d'une faible inclinaison, de sorte que les zones correspondantes auront tendance à être saturées en premier. La lettre  $a$  représente la superficie de drainage amont par la longueur d'une unité de courbe de niveau dont le drainage passe par le pixel  $i$ . Cette superficie est calculée au moyen d'un algorithme de l'accumulation de l'écoulement de surface tenant compte du relief du bassin versant dans des conditions de saturation. Suite de la comparaison d'un ensemble d'algorithmes de la direction d'écoulement publiés dans la documentation, nos travaux préliminaires ont indiqué que l'algorithme *D8-Least Transversal Deviation* [Orlandini et coll., 2003] est celui qui convient le mieux à la détermination de la superficie amont [Hentati et coll., 2005]. Toutefois, cet algorithme ne permet pas de déterminer clairement, comme bien d'autres, les directions d'écoulement sur des surfaces planes [Garbrecht et Martz, 1997], ce qui pose souvent des difficultés pour le calcul de l'IT. Par conséquent, il n'est pas possible d'établir une correspondance exacte entre les directions d'écoulement modélisées et l'emplacement réel du réseau hydrographique. Pour contourner ce problème, c'est-à-dire pour corriger les directions d'écoulement modélisées, Turcotte et coll. [2001] ont élaboré une méthode en introduisant un réseau numérique des cours d'eau et des lacs (RNCL) en plus du MNA. La redéfinition de conditions initiales dans un MNA, c'est-à-dire en « gravant » des entités connues, s'avère nécessaire afin de forcer le réseau de drainage à l'emplacement le plus exact possible des cours d'eau dans le paysage, particulièrement dans les zones planes et en bordure des lacs. Le gradient hydraulique de la zone saturée peut être estimé d'après la pente de la surface topographique mesurée localement par rapport à l'angle plan (en degrés)  $\tan(\beta)$ .

Compte tenu que les valeurs de l'IT sont fortement influencées par la résolution du MNA et par l'algorithme du tracé de l'écoulement, l'utilisation de données d'une source uniforme s'avérait nécessaire. Les données de GéoBase ont assuré l'uniformité nécessaire pour les calculs grâce aux données du RHN et des MNA, dans les deux cas dérivées des données topographiques du gouvernement fédéral à l'échelle de 1/50 000

(Base nationale de données topographiques) ou de données des provinces ou des territoires.

Pour être en mesure d'utiliser les valeurs locales de l'IT dans l'évaluation des IRCE-P et IRCE-Col., ces dernières ont été agrégées à l'échelle régionale. Pour ce faire, nous avons utilisé un masque vectoriel des terres agricoles représentant les superficies de production agricole, mis au point par Agriculture et Agroalimentaire Canada, afin d'obtenir la moyenne des valeurs locales de l'IT.

## Méthodes

Puisque les indicateurs agroenvironnementaux s'appliquent à une échelle nationale, les valeurs de l'IT ont été calculées pour tous les bassins versants se superposant à une région agricole. En raison de limites imposées à la taille des bassins versants par la mémoire requise pour les calculs, nous avons identifié tous les bassins versants (comportant un seul exutoire) d'une taille maximale d'environ 10 000 km<sup>2</sup>. Nous avons effectué une sélection des bassins versants agricoles de façon à importer toutes les données disponibles des index de MNA des DNEC à l'échelle de 1/50 000 et du RHN de GéoBase.

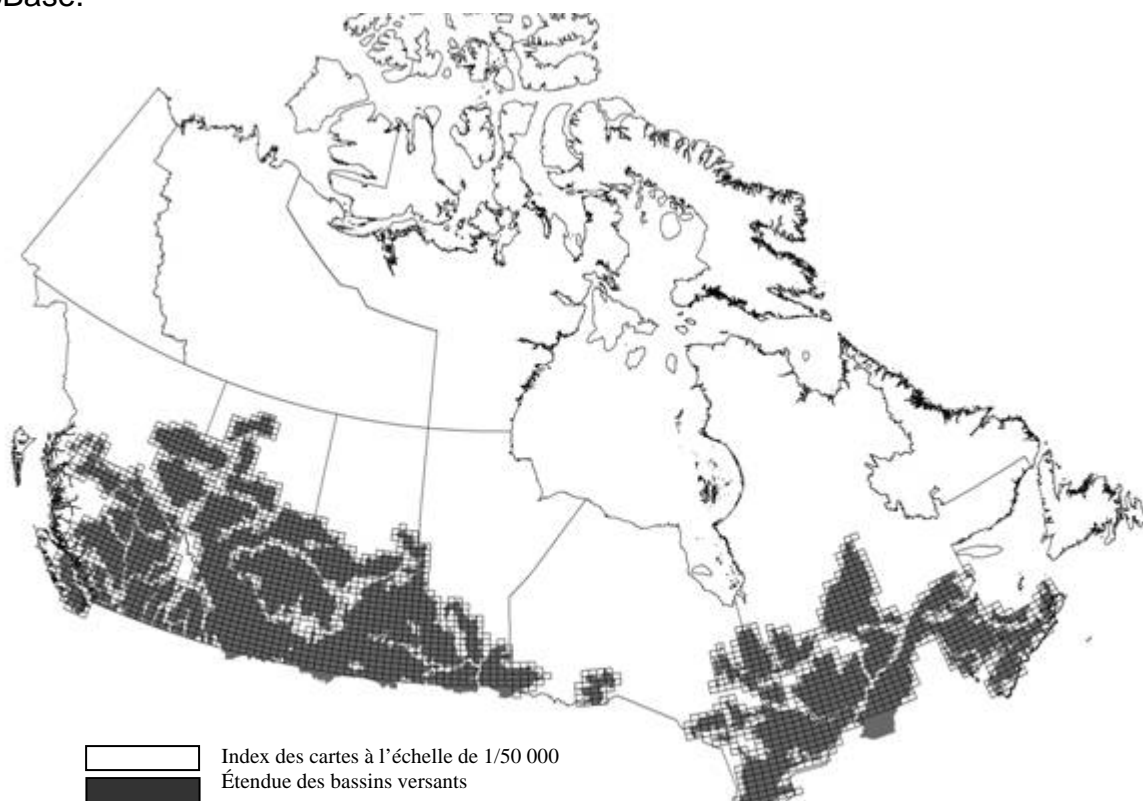


Figure 2. Carte de l'étendue retenue pour les calculs

## 1. Prétraitement des données d'entrée

Afin d'obtenir un ensemble uniforme de paramètres et une base de données géospatiales unique, toutes les données importées ont été géoréférencées selon la projection conique conforme de Lambert du Canada décrite ci-dessous.

*Système de projection des coordonnées : Conique\_conforme\_de\_Lambert\_pour  
\_le\_Canada (Canada\_Lambert\_Conformal\_Conic)*

*Projection : Conique\_conforme\_de\_Lambert (Lambert\_Conformal\_Conic)*

*Abscisse : 0,0*

*Ordonnée : 0,0*

*Méridien\_central : -96,0*

*Parallèle\_de\_référence\_1 : 50,0*

*Parallèle\_de\_référence\_2 : 70,0*

*Latitude\_de\_l'origine : 40,0*

*Unité\_de\_mesure : mètre*

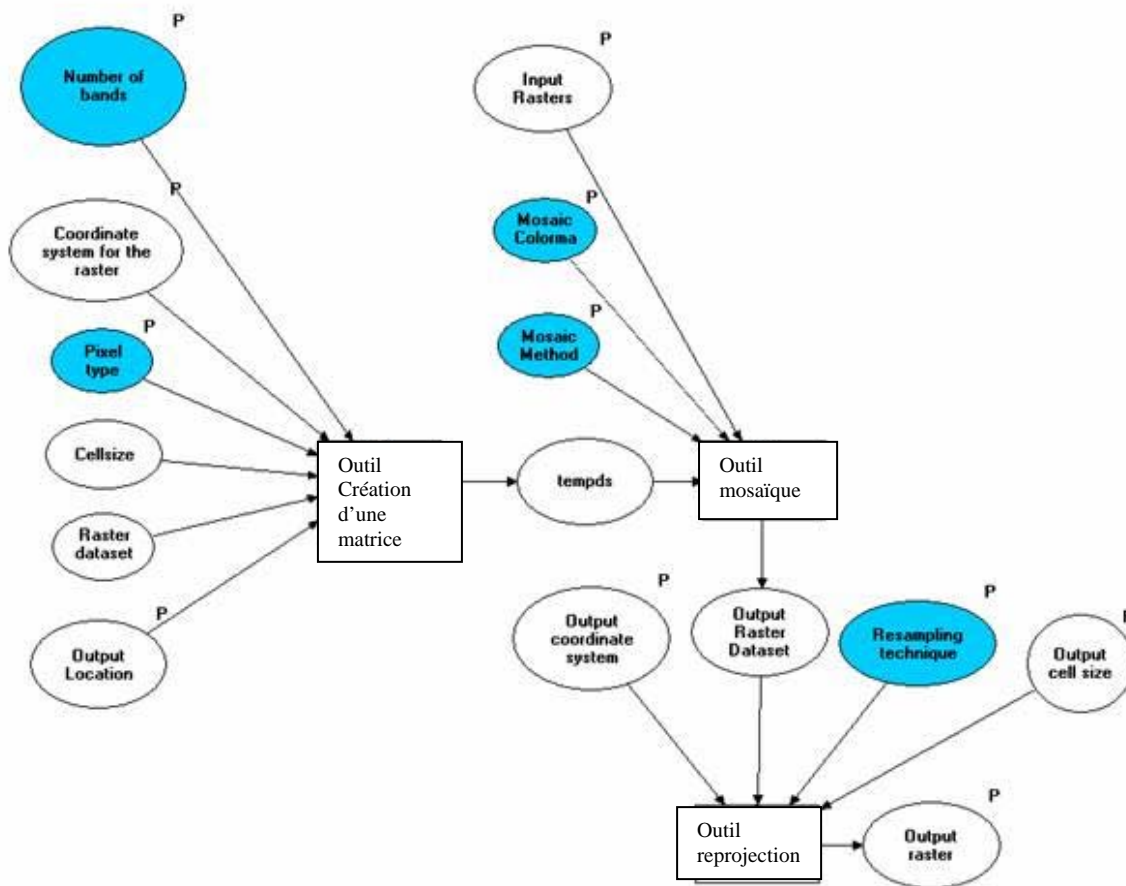
### A. Préparation du MNA

Nous avons produit un index des feuillets cartographiques à l'échelle de 1/50 000 (figure 2) afin de choisir les fichiers de MNA nécessaires à la création du MNA de chacun des bassins versants. Cet index a servi à l'automatisation du processus de production de mosaïques réalisées au moyen d'algorithmes ARC/INFO. Les MNA obtenus ont ensuite été projetés suivant la projection conique conforme de Lambert (système de coordonnées utilisé pour les résultats) et rééchantillonnés par interpolation bilinéaire (technique de rééchantillonnage) pour créer des modèles dans lesquels les pixels ont une taille constante de 21 m (taille de cellule des résultats). Le schéma suivant (figure 3) illustre le prétraitement et les opérations qui ont servi à les réaliser. Des exemples des étapes nécessaires à l'assemblage de MNA se trouvent dans différents articles diffusés sur le site d'ESRI<sup>2,3</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP731/p731.htm>

<sup>3</sup> <http://www.esri.com/news/arcuser/0701/moredem.html>



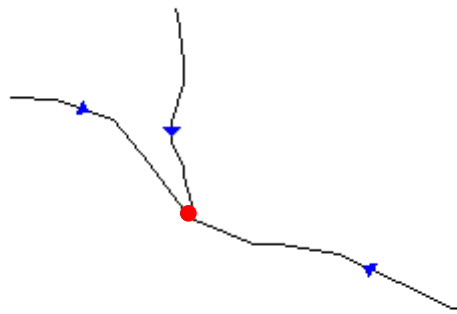
**Figure 3.** Processus d'élaboration d'une mosaïque et de reprojection des MNA

- Number of bands = Nombre de bandes
- Coordinate system for the raster = Système de coordonnées des données matricielles
- Pixel type = Type de pixel
- Cellsize = Taille de la cellule
- Raster dataset = Jeu de données matricielles
- Output location = Emplacement de la sortie
- Input Rasters = Matrices d'entrée
- Mosaic Method = Méthode d'élaboration d'une mosaïque
- Output coordinate system = Système de coordonnées pour les données de sortie
- Output Raster Dataset = Jeu de données matricielles de sortie
- Resampling technique = Technique de rééchantillonnage
- Output cell size = Taille des cellules de sortie
- Output raster = Matrice de sortie

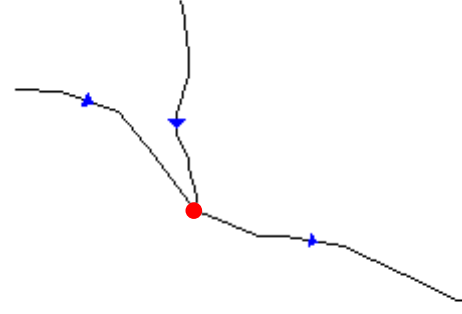
## B. Préparation du RNCL

L'organisation des données du réseau numérique des cours d'eau et des lacs (RNCL) comprend la vérification des principales contraintes topologiques énoncées ci-dessous.

- i. Tous les segments de cours d'eau doivent être représentés par des entités linéaires simples numérisées dans le sens de l'écoulement.

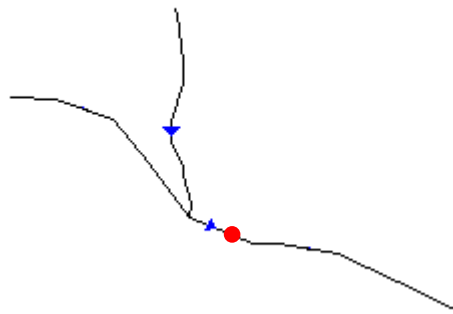


**Incorrect**

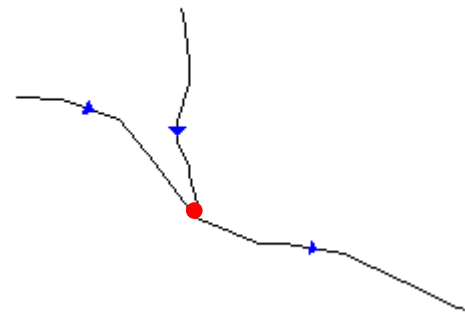


**Correct**

ii. Les cours d'eau convergents doivent connecter en un seul nœud.

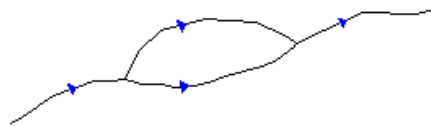


**Incorrect**

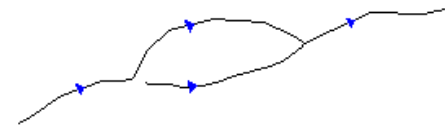


**Correct**

iii. Le RNCL ne permet pas un écoulement divergent des cours d'eau. Il faut choisir un tracé principal.



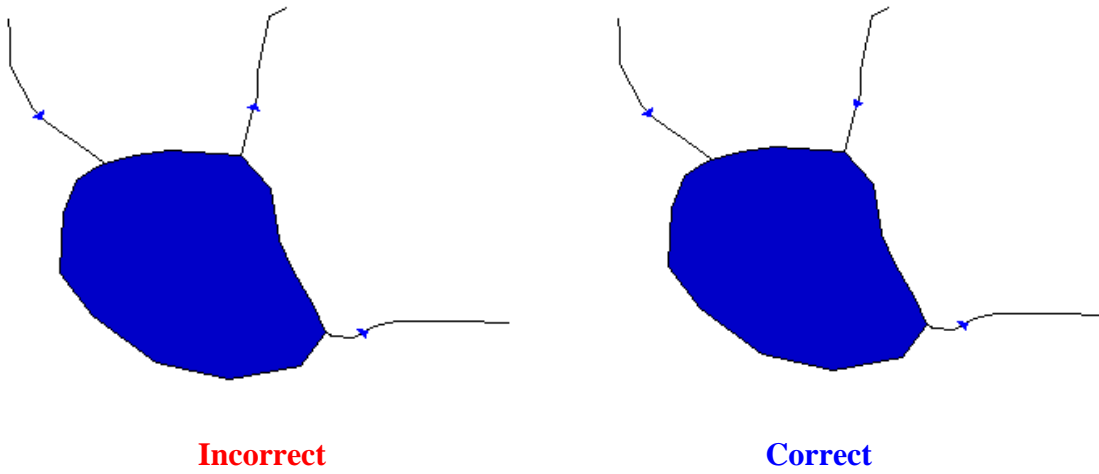
**Incorrect**



**Correct**

iv. Tous les plans d'eau ne devraient avoir qu'un seul exutoire. (La dernière version du PHYSITEL permet d'utiliser des polygones à plusieurs exutoires.

Cependant, pour simplifier les calculs, nous avons préféré utiliser des polygones à un seul exutoire.)



L'utilisation des entités [Filamentaire d'écoulement](#) (FÉ) du RHN a permis d'obtenir des données d'entrée de grande qualité conformes à toutes les contraintes topologiques mentionnées précédemment. Compte tenu de l'ampleur du travail à exécuter, la disponibilité des données du RHN (couverture nationale) combinée à la grande qualité du produit a permis de gagner un temps précieux qui, autrement, aurait été consacré à des corrections de la topologie.

i. Sélection des entités Filamentaire d'écoulement (FÉ)

La première étape de la préparation des données du RNCL consistait à créer un réseau linéaire numérisé selon le sens d'écoulement. Afin de choisir le tracé principal ou un tracé unique de l'écoulement vers l'aval, il faut d'abord générer un réseau géométrique à l'aide du fichier d'entités Filamentaire d'écoulement (*FÉ, Network Linear Flow*) du RHN pour chaque aire de drainage. Une simple requête SQL dans ArcGIS permet de choisir toutes les entités FÉ qui possèdent la valeur « Inconnu » (-1) ou « Secondaire » (2) pour l'attribut Niveau de Priorité servant à la classification du parcours des FÉ à l'intérieur du réseau hydrographique.

- Utilisation de la sélection par attribut :  
*Select FROM NHN\_XXXX\_HN\_NLFLOW\_1.shp WHERE PRIORITY = '2' or PRIORITY = '-1'*
- Ouvrir la table des attributs des entités Filamentaire d'écoulement et, à l'aide de l'outil de calcul du champ (*field calculator*),  
Fixer toutes les valeurs sélectionnées à ENABLE = 'False'

Dans ArcGIS, il était alors facile de « désactiver » les entités sélectionnées, ce qui a par la suite permis de déterminer le sens d'écoulement des arcs.

Après avoir placé un drapeau (*flag*) à l'exutoire, nous avons procédé à la sélection de toutes les lignes obtenues à l'aide de l'outil *Trace Upstream* de la barre d'outils *Network Utility* (ou *Utility Network Analyst*) d'ArcGIS. Pour ce faire, les résultats de l'analyse devraient être présentés sous forme d'une sélection d'entités (figure 4). Cette sélection de cours d'eau s'écoulant vers l'exutoire a ensuite été sauvegardée dans un fichier *shape* distinct suite à l'exportation des entités sélectionnées (*WSD\_ID\_R.shp*).

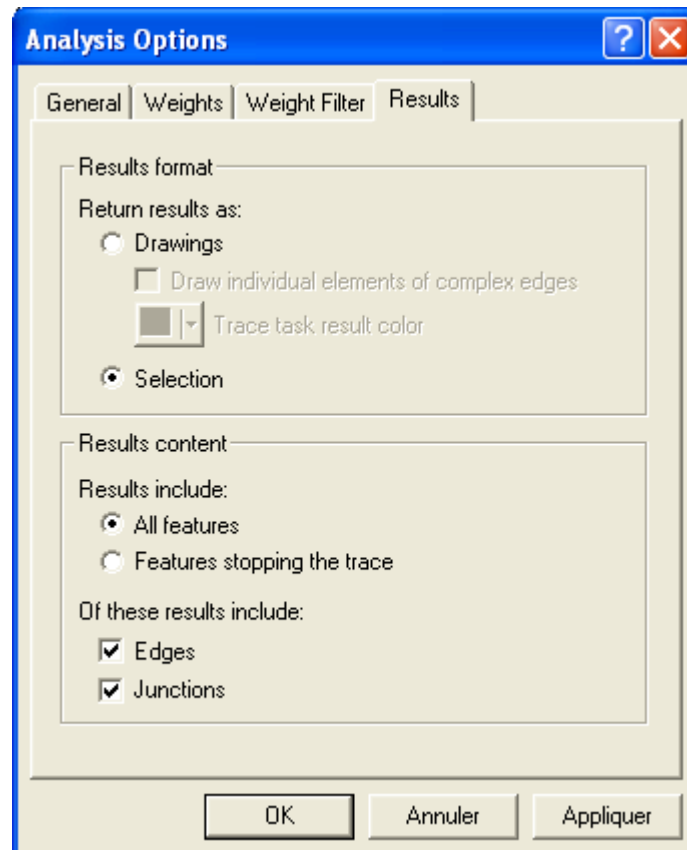


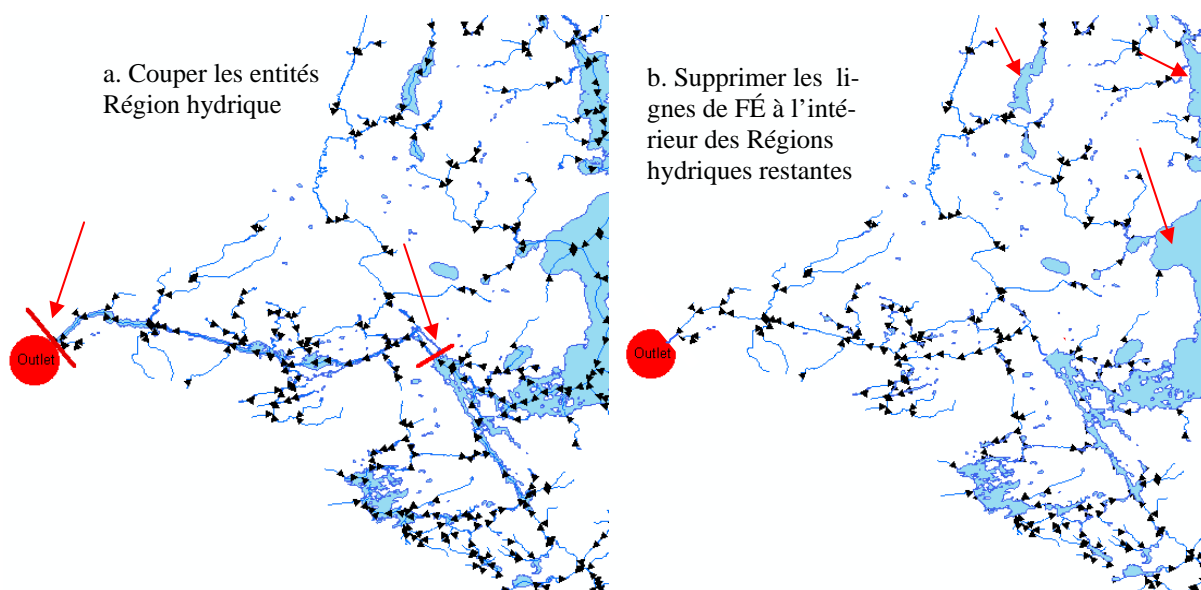
Figure 4. Options d'analyse de la barre d'outils *Network Utility*

## ii. Organisation du réseau des cours d'eau et des lacs

Dans le RNCL, tous les lacs sont représentés par des polygones. Il est important de mentionner que nous avons tenu compte uniquement des lacs reliés directement au tracé d'écoulement principal d'un cours d'eau. L'étape suivante consistait à sélectionner toutes les entités polygonales dont le sens d'écoulement était connu. Toutes les entités isolées ont été ignorées pour le RNCL. L'utilisation des polygones de l'entité [Région hydrique \(Waterbody\)](#) incluse dans les données du RHN (voir le [catalogue d'entités du RHN](#)) est fortement recommandée, puisque ces données sont conformes à toutes les exigences topologiques mentionnées à la section B.

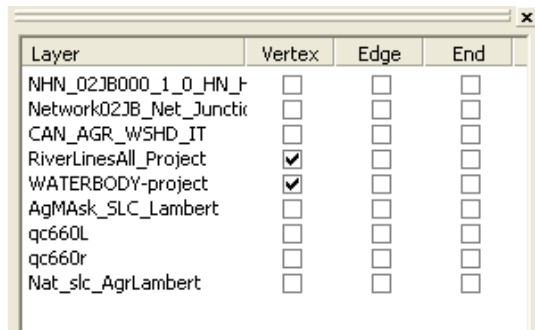
Pour sélectionner tous les plans d'eau interreliés, il faut effectuer une sélection basée sur la localisation des entités Région hydrique, à l'endroit où celles-ci intersectent le réseau d'écoulement principal créé à l'étape précédente (*WSD\_ID\_R.shp*). La sélection a été exécutée dans ArcGIS, puis sauvegardée dans un fichier *shape* distinct (*WSD\_ID\_L.shp*).

Il a ensuite fallu procéder à l'édition du fichier *shape* sauvegardé pour retirer tous les polygones représentant des cours d'eau (figure 5a). Il a aussi fallu segmenter les grandes régions hydriques aux formes complexes puisqu'elles exigeaient beaucoup de mémoire et nécessitaient plusieurs heures de traitement. Toutefois, cette opération pouvait être subjective si l'on considère que les régions hydriques représentant des lacs et des cours d'eau importants sont fusionnées en polygones uniques lorsqu'on utilise des données RHN de niveau de complétude "1" (RHN-NC1). Pour obtenir plus de renseignements sur cette situation particulière, veuillez consulter la section sur les [Niveaux de complétude RHN](#) du portail GéoBase.



**Figure 5.** Édition (a) des polygones de Régions hydriques et (b) des entités linéaires Filamentaire d'écoulement (FÉ)

Toujours dans ArcGIS, les entités FÉ ont été coupées aux endroits où les Régions hydriques étaient coupées ou segmentées. La fonction d'accrochage ou capture (*snapping*) de la barre d'outils d'édition (figure 6) a été activée pour faire en sorte que le nœud d'un FÉ cours d'eau soit bien relié au sommet d'une Région hydrique.



**Figure 6.** Fonctions d'accrochage ou capture (*snapping*) activées à partir de la barre d'outils d'édition

Enfin, tous les segments FÉ qui se trouvaient à l'intérieur des plans d'eau ont été supprimés (figure 5b). Cette opération pouvait se faire facilement au moyen de l'une des requêtes suivantes :

- en utilisant la fonction de sélection par attribut (*select by attribute*), créer une nouvelle sélection :  
*Select FROM WSD\_ID\_R.shp WHERE "TYPE" = '2'*  
où « Type » est l'attribut Type de filamenteuse de l'entité FÉ. Une valeur de « 2 » correspond à « Inféré », et signifie qu'il s'agit d'une entité située à l'intérieur d'une étendue d'eau, à l'exception des déchets liquides.
- en utilisant la fonction de sélection par la localisation, choisir parmi les entités sélectionnées  
*toutes les entités dont le centroïde est situé à l'intérieur de WSD\_ID\_L.shp*
- Supprimer les entités sélectionnées résultantes pendant que la session d'édition est active

### iii. Sélection des exutoires

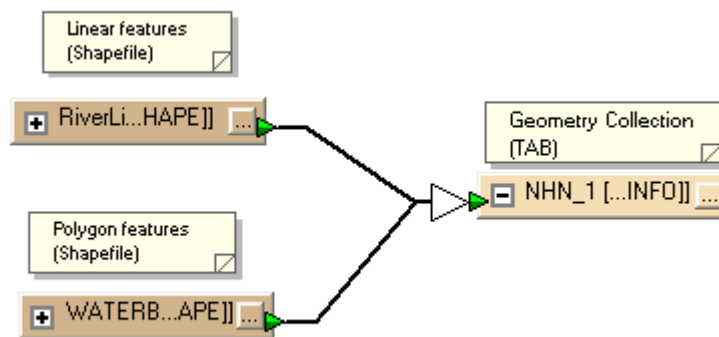
Les valeurs de l'IT ne sont valides que lorsque toutes les zones qui contribuent au ruissellement sont prises en compte pendant l'exécution des calculs de la matrice. Il est à noter que les jeux de données ou Unités de travail RHN (*NHN Work Units*) représentent parfois une aire de drainage comportant plusieurs exutoires (particulièrement le long de la côte) ou encore une partie d'un bassin versant plus important. Il était important d'avoir un seul fichier distinct pour chaque bassin versant comportant un exutoire unique pour les calculs de l'IT. Les capacités des logiciels ArcGIS ou PHYSITEL permettent d'obtenir les coordonnées géographiques de chaque exutoire.

## C. Conversion de format

### i. Collection de géométries (Geometry Collection)

Lorsque l'édition des lignes de FÉ des cours d'eau et des polygones de Régions hydriques fut terminée, les données ont été assemblées dans une

Collection de géométries<sup>4</sup> du format *.tab* de MAPINFO à l'aide de l'environnement Workbench du logiciel FME 2006 ([Safe Software](http://www.safe.com)) (figure 7).



**Figure 7.** Modèle de génération d'une Collection de géométries MAPINFO

Linear features (Shapefile) = Entités linéaires (fichier *shape*)

Polygon features (Shapefile) = Entités polygonales (fichier *shape*)

Geometry Collection (TAB) = Collection de géométries (.tab)

## ii. MNA en format ASCII

Les MNA des bassins versants devaient être convertis au format ASCII afin que le logiciel PHYSITEL puisse les lire. ArcGIS offre un outil de conversion (figure 8) pour cette opération. L'utilisation d'objets COM d'ArcGIS a facilité la création de programmes en langage Python<sup>TM</sup> 5 afin de traiter en lot les données. Un exemple de fichier de traitement en lot est présenté à l'annexe 1.



**Figure 8.** Processus de conversion du format matriciel au format ASCII

Input raster = Données d'entrée matricielles

Raster to ASCII = Conversion du format matriciel au format ASCII

Output ASCII = Fichier ASCII résultant

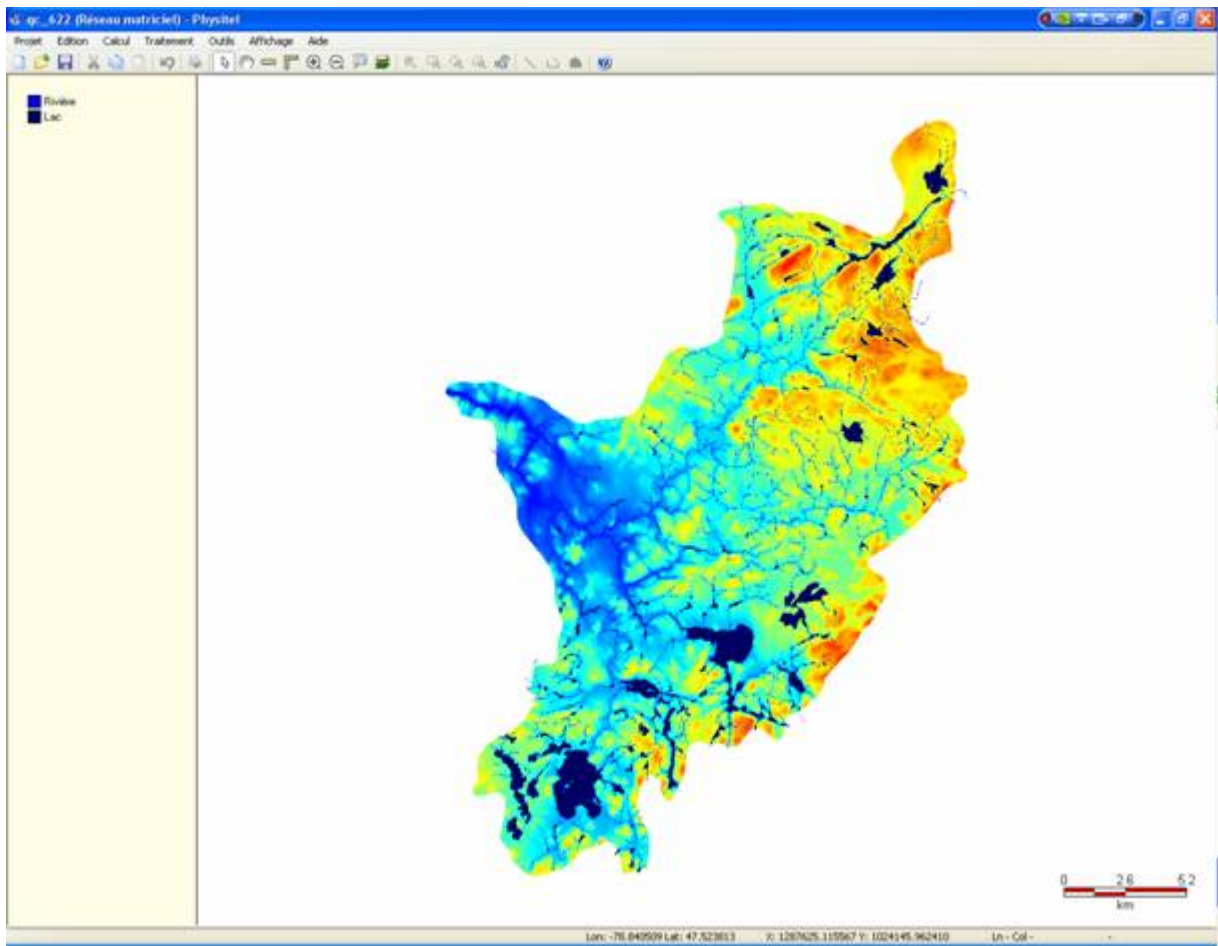
## 2. Calcul de la matrice de l'IT

Les calculs de l'IT ont été divisés en une série de calculs utilisant des algorithmes du logiciel PHYSITEL. La première étape consistait à évaluer la conformité de la topologie du réseau des lacs et cours d'eau, afin de créer un système de drainage bien connecté et qui identifie les lacs et les cours d'eau s'écoulant vers l'exutoire (figure 9). Les données matricielles résultantes ont ensuite été utilisées pour forcer le

<sup>4</sup> Une collection de géométries est définie comme une collection de différentes géométries dans un seul fichier.

<sup>5</sup> [www.python.org](http://www.python.org)

réseau de cours d'eau ou « graver » le MNA, de façon à diriger l'écoulement dans ou vers des voies d'eau connues.

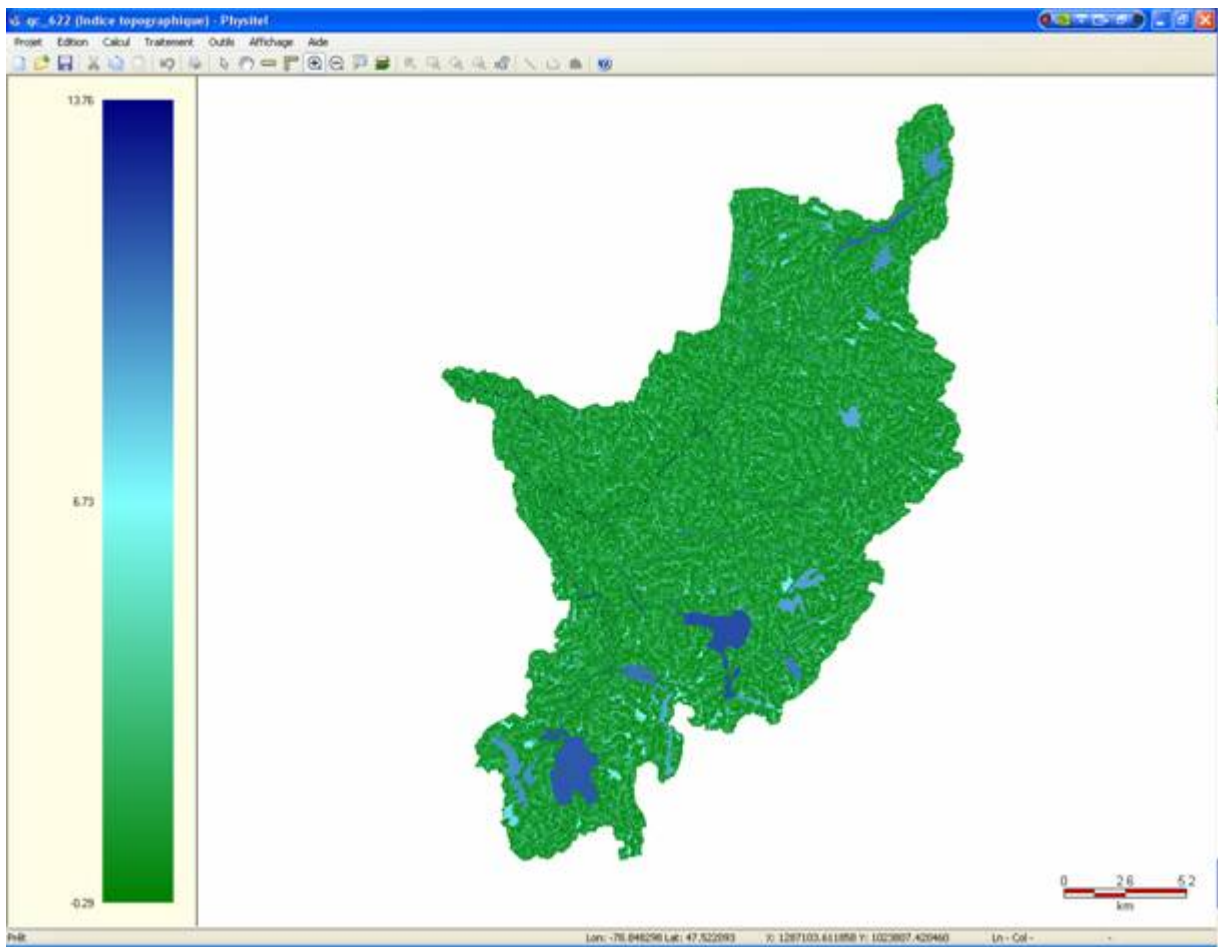


**Figure 9.** RNCL matriciel

Les pentes locales (en pourcentage) ont été évaluées d'après les MNA initiaux. Les matrices d'écoulement ont été créées au moyen de l'algorithme *D8-Least Transversal Deviation* à la fois pour les fichiers matriciels de surface et du RNCL. L'accumulation de l'écoulement a été calculée pour chacun des pixels. Pour un lac, les valeurs de l'accumulation de l'écoulement correspondent au nombre total de pixels dont l'écoulement se dirige vers la décharge du lac. Pour de plus amples renseignements sur la procédure de calcul de l'IT à l'aide du logiciel PHYSITEL, veuillez consulter Hentati et coll. [2005].

Les matrices de l'IT ont ensuite été calculées à l'aide de l'équation 3. Un exemple de la matrice résultante est présenté à la figure 10.

$$IT = \left( \frac{[Accumulation\_écoulement] + 1}{\frac{[Pente] + 1}{100}} \right) \quad (3)$$

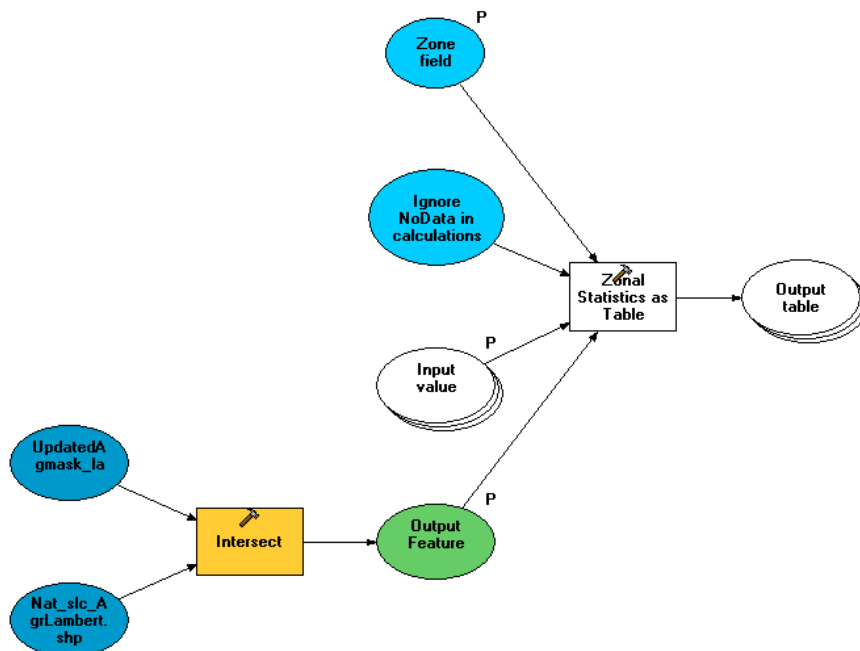


**Figure 10.** Exemple d'une matrice de l'IT

### 3. Reporter l'IT à l'échelle des Pédopaysages du Canada

L'élaboration des indicateurs IRCE-P et IRCE-Col. s'est faite en utilisant les [Pédopaysages du Canada \(PPC v3.1.1\)](#)<sup>6</sup> comme base spatiale pour les calculs. Il s'avérait nécessaire d'agréger les données à cette échelle afin d'obtenir une base constante de comparaison pour les résultats de l'IT. Pour y arriver, les valeurs de l'IT ont été déterminées pour tous les bassins versants qui avaient un lien avec un polygone des PPC. La valeur moyenne de l'IT à l'intérieur d'un polygone des PPC était le moment statistique le plus approprié pour représenter la variabilité locale de l'IT, puisqu'il pouvait être influencé à la fois par des valeurs extrêmes faibles ou élevées. À cette fin, un programme de traitement en lot a été mis au point conformément au processus illustré dans le schéma suivant (figure 11).

<sup>6</sup> Pédopaysages du Canada v3.1.1: <http://sis.agr.gc.ca/cansis/>



**Figure 11.** Calcul des statistiques zonales pour chaque polygone des PPC

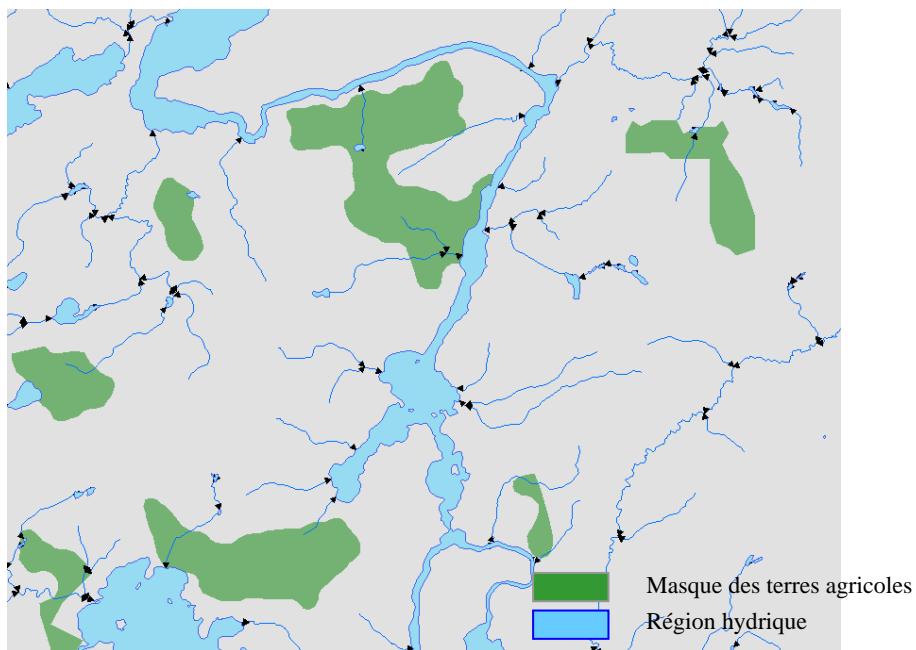
Zone field = Champ Zone

Ignore NoData in calculations = Ignorer les entités qui n'ont pas de données

Input value = Valeur d'entrée

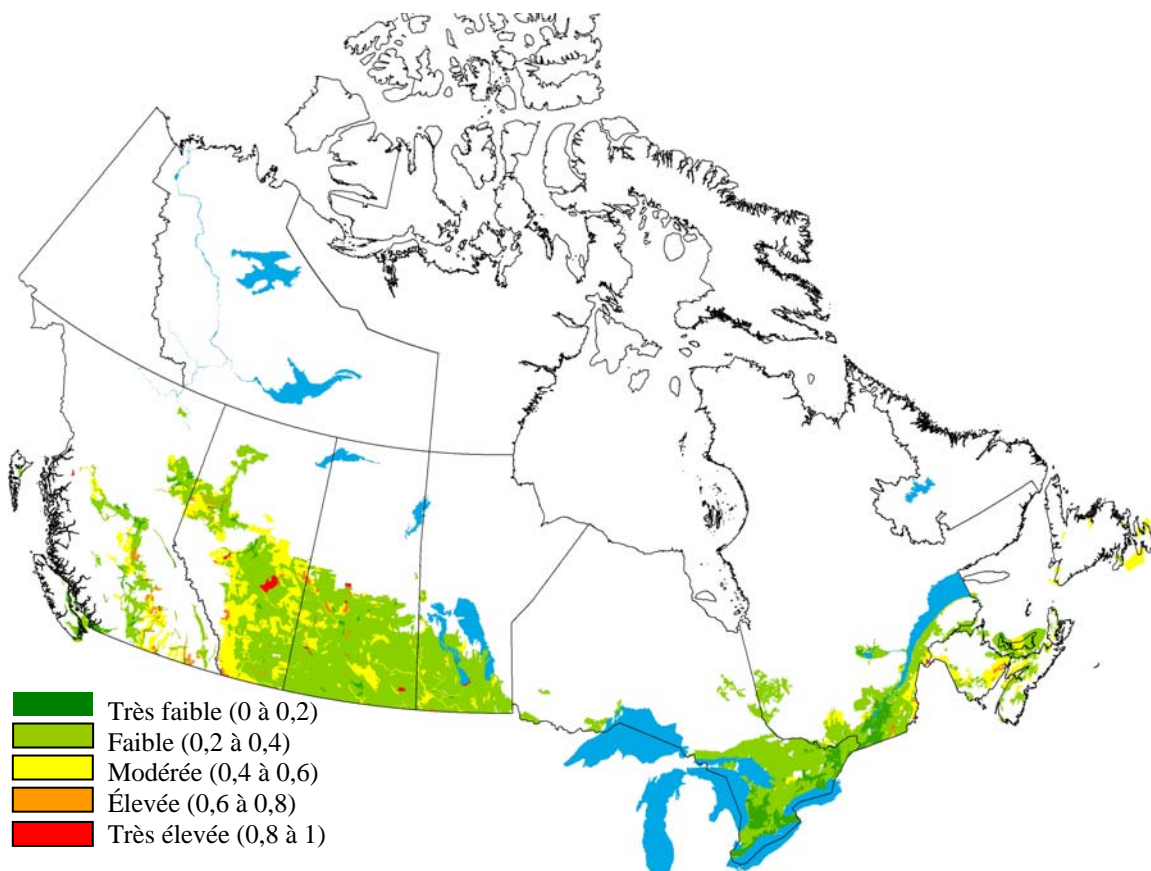
Output feature = Entité résultante

Output table = Table résultante



**Figure 12.** Représentation du masque vectoriel des terres agricoles

Dans le schéma précédent (figure 11)<sup>7</sup>, *UpdatedAgMask* représente la répartition spatiale des terres agricoles au Canada (masque vectoriel des terres agricoles, figure 12), tandis que *Nat\_slc\_AgrLambert.shp* représente les polygones des PPC. Le calcul des statistiques zonales est fondé sur le numéro unique des PPC (champ des zones (*Zone field*) dans la figure 11). Toutes les tables obtenues devaient ensuite être réunies en une table finale afin de calculer la moyenne pondérée par zone. Les valeurs finales de l'IT ont été normalisées à l'aide de la répartition des valeurs de l'IT à l'échelle des Pédopaysages du Canada et ont servi de facteur de connectivité dans les indicateurs de risque (figure 13).



**Figure 13.** Résultat de la connectivité de l'IT

## Les résultats

Les résultats démontrent que les valeurs les plus élevées de l'IT sont obtenues dans les régions où la topographie est plutôt montagneuse et où l'agriculture se pratique surtout dans les vallées. Les valeurs les plus faibles sont obtenues dans les régions planes où la convergence de l'écoulement est faible. Dans les Prairies, des valeurs élevées de l'IT

<sup>7</sup> Le fichier séquentiel Python est présenté à l'annexe 2.

sont obtenues par endroit, là où l'agriculture se pratique à proximité d'importants plans d'eau (lacs ou cours d'eau importants).

Le projet a été un succès puisqu'il a produit les indicateurs de risque avec un facteur de connectivité représentant la propension au ruissellement à l'état de saturation sur les terres agricoles. Les Filamentaires d'écoulement et Régions hydriques du RHN ont facilité la production d'un réseau numérique des cours d'eau et des lacs (RNCL) bien structuré. Cela a permis de bien caractériser les attributs topographiques. Toutefois, il y a encore place à amélioration. D'abord, l'utilisation adéquate du RNCL n'est possible que sur un réseau de drainage bien connecté. Dans les Prairies, un bon pourcentage du réseau n'est pas relié à l'exutoire. Ces aires de drainage interne ont été forcées vers l'exutoire, ce qui a résulté en des valeurs de l'IT qui n'étaient pas modélisées adéquatement. Pour éviter ce problème, il aurait mieux valu calculer tous les bassins de drainage interne comme des bassins versants comportant un seul exutoire. De plus, un masque des terres agricoles plus précis aurait sans doute permis d'éviter l'aggrégation de pixels considérés comme étant saturés en permanence et donc impraticables pour l'agriculture. Le ruissellement à saturation se produit sur des sols peu profonds ou sur des sols reposant sur une couche imperméable près de la surface. La combinaison de la matrice de l'IT avec les caractéristiques des sols, fondée sur la base de données des Pédo-paysages du Canada, permettrait de situer et de distinguer les régions où ces conditions prévalent.

## Références

Blazkova S., K.J. P. Beven, Tacheci, A. Kulasova. (2002) « Testing of the distributed water predictions of TOPMODEL (allowing for uncertainty in model calibration): the death of TOPMODEL? », *Water Resources Research*, 38(11).

Beven K.J., M.J. Kirkby. (1979). « A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology », *Hydrological Sciences Bulletin*, 24: 43-69.

Beven K. J. (1997) « TOPMODEL: A critique », *Hydrological Processes*, 11: 1069-1085.

Beven K.J., J. Freer. (2001) « A dynamic TOPMODEL », *Hydrological Processes*, 15: 1993-2011.

Garbrecht J., L.W. Martz, (1997). « The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models », *Journal of Hydrology*, 193: 204-213.

Hentati, A., A.N. Rousseau. (2005). « Computational Procedure of the Topographic Index using PHYSITEL ». Rapport de Recherche No R-833. Centre Eau, Terre et Environnement, Institut national de la recherche scientifique, INRS-ETE. Québec, Qc.

Natural Resources Canada, [National Hydro Network: Feature Catalogue Distribution Profile, Edition 1.0.1. 06-2008](#)

Orlandini S., G. Moretti, M. Franchini. (2003). « Path-based methods for the determination of non dispersive drainage directions in grid-based digital elevation models », *Water Resources Research*, 39(6), 1144.

Turcotte R., J.-P. Fortin, A.N. Rousseau, S. Massicotte, J.-P. Villeneuve. (2001). « Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network », *Journal of Hydrology*, 240: 225-242.

Rousseau, A.N., A. Royer, P. Noël, J.-P. Fortin, R. Turcotte, S. Jutras. (2008). PHYSITEL, a specialized GIS for distributed hydrological models. (En préparation pour Environmental Modelling & Software)

Royer, A., A.N. Rousseau, J.-P. Fortin, R. Turcotte. (2006). « PHYSITEL, un SIG pour la mise en place de modèles hydrologiques ». Affiche présentée dans le cadre du Deuxième symposium scientifique d'Ouranos sur la climatologie et adaptation à l'échelle régionale, 2-3 novembre 2006, Montréal, Qc, Canada

## Annexe 1. RasterToAscii\_Batch.py

```
# -----  
# RasterToAscii_Batch.py  
# Created on: jeu. mai 10 2007 05:11:10  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: RasterToAscii_Batch <Input_raster>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
try:  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion  
Tools.tbx")  
# Set the workspace. List all of the rasters  
Workspace = sys.argv[1]  
gp.Workspace = Workspace  
Rasters = gp.ListRasters()  
  
    #Reset the enumeration  
Rasters.reset()  
  
    #Get the name of the first raster  
Raster = Rasters.next()  
while Raster:  
# Script arguments...  
    Input_raster = gp.Workspace + "\\\" + Raster  
  
# Local variables...  
    Output_ASCII_raster_file = gp.Workspace + "\\\" + Raster + ".asc"  
  
# Process: Raster to ASCII...  
    gp.RasterToASCII_conversion(Input_raster, Output_ASCII_raster_file)  
    Raster=Rasters.next()  
  
except:  
    gp.getmessage()
```

## Annexe 2. ZonalStats.py

```
# -----  
# zonalStats.py  
# Created on: jeu. sept. 06 2007 10:04:48  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, win32com.client  
try:  
# Create the Geoprocessor object  
gp = win32com.client.Dispatch("esriGeoprocessing.GpDispatch.1")  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst  
Tools.tbx")  
# Set the workspace. List all of the rasters  
Workspace = sys.argv[1]  
gp.Workspace = Workspace  
Rasters = gp.ListRasters()  
#Reset the enumeration  
Rasters.reset()  
#Get the name of the first raster  
Raster = Rasters.next()  
  
while Raster:  
  
# Local variables...  
Output_table = Workspace + "/" + Raster + ".dbf"  
Input_raster_or_feature_zone_data = "C:/Workspace/AgMask_SLCIntersect.shp"  
Input_value_raster = Workspace + "/" + Raster  
Zone_field = "SL"  
Ignore_NoData_in_calculations = "true"  
# Process: Zonal Statistics as Table...  
try:  
gp.ZonalStatisticsAsTable_sa(Input_raster_or_feature_zone_data, Zone_field,  
Input_value_raster, Output_table, Ignore_NoData_in_calculations)  
except:  
    print "Does not intersect:", Raster  
    Raster=Rasters.next()  
  
except:  
    print "end"
```