

**COMPARAISON DES CALCULS DE LA LARGEUR OPTIMALE D'UNE  
BANDE RIVERAINE PAR UNE APPROCHE MÉCANISTE POUR UNE  
DIVISION EN SOUS-BASSINS ET EN VERSANTS**

Rapport de recherche interne

Par

Pierre-Erik ISABELLE  
Silvio J. GUMIERE  
Alain N. ROUSSEAU

Institut national de la recherche scientifique  
490, rue de la Couronne  
Québec (Québec) G1K 9A9

Rapport R-1323

Été 2011



# Table des matières

---

|  |    |
|--|----|
| Résumé.....  | ix |
| 1. Introduction .....                                    | 1  |
| 2. Objectifs.....  | 3  |
| 3. Méthode.....  | 5  |
| 4. Résultats et discussions.....                         | 9  |
| 4.1 Impact sur le calage et l'exactitude d'HYDROTEL..... | 9  |
| 4.2 Largeurs de bandes riveraines avec VFDM.....         | 12 |
| 4.3 Écart et différence entre les deux découpages.....   | 20 |
| 5. Limitations et améliorations suggérées .....          | 25 |
| 5.1 Largeur de versant.....                              | 25 |
| 5.2 Paramètres d'entrée fixés par l'utilisateur.....     | 26 |
| 5.3 Durée de la pluie .....                              | 26 |
| 6. Conclusion .....                                      | 27 |
| 7. Références bibliographiques.....                      | 29 |



## Liste des figures

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 1. Largeur de bande riveraine calculée pour chaque UHRH et B0, découpage en VER. ....                        | 14 |
| Figure 2. Largeur de bande riveraine calculée pour chaque UHRH et B0, découpage en SB. ....                         | 15 |
| Figure 3. UHRH #1. ....   | 16 |
| Figure 4. UHRH #224. ....   | 16 |
| Figure 5. UHRH #447. ....   | 17 |
| Figure 6. UHRH #671. ....   | 17 |
| Figure 7. UHRH #94, maximum du découpage en SB. ....  | 18 |
| Figure 8. UHRH #513, maximum du découpage en VER. ....  | 18 |
| Figure 9. UHRH #632, minimum du découpage en SB pour $B0 = 0,8$ . ....  | 19 |
| Figure 10. UHRH #189, minimum du découpage en SB pour $B0 < 0,8$ . ....   | 19 |
| Figure 11. UHRH #362, minimum du découpage en VER. ....   | 20 |
| Figure 12. Différence entre les largeurs versants et leur moyenne, UHRH #43. ....                                   | 22 |
| Figure 13. Erreur absolue entre la largeur SB et la largeur VER, en fonction de l'UHRH, donnée complète. ....       | 22 |
| Figure 14. Erreur absolue entre la largeur SB et la largeur VER, en fonction de l'UHRH, $\Delta W\% < 100\%$ . .... | 23 |
| Figure 15. Écart moyen entre les largeurs SB et VER. ....   | 24 |



## Liste des tableaux

---

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1. Paramètres d'entrée de VFDM. ....                                   | 6  |
| Tableau 2. Paramètres d'HYDROTEL après calage, selon les deux découpages. .... | 9  |
| Tableau 3. Efficacité de la modélisation HYDROTEL. ....                        | 11 |



## Résumé

L'étude porte sur les impacts de la séparation en versants dans le modèle de numérisation de l'espace PHYSITEL sur les applications subséquentes, dans le modèle hydrologique HYDROTEL et dans le modèle de dimensionnement des bandes riveraines VFDM. Le bassin de la rivière Beaurivage est d'abord séparé en sous-bassins, puis en versants, et des études comparatives sont faites dans chacune des applications. L'application HYDROTEL du bassin de la rivière Beaurivage offre une meilleure performance sur les débits simulés par rapport aux débits observés avec un découpage en versants. Lors du calcul de la largeur des bandes riveraines par VFDM, les résultats diffèrent grandement entre le découpage SB et le découpage VER. Dépendant des pentes des versants, la bande riveraine peut être plus grande en SB que celle en VER, ou l'inverse. En général, le découpage SB surdimensionne les bandes riveraines par rapport au découpage VER. Par contre, lors des événements de faibles débits, le découpage SB sous-dimensionne les bandes riveraines.



# 1. Introduction

Les bandes riveraines sont des filtres naturels qui améliorent grandement la qualité de l'eau de surface d'une rivière. Elles sont reconnues généralement comme des zones favorisant la réduction des pertes de sédiments, nutriments et pesticides depuis les terres cultivées jusqu'aux eaux de surface. Gumiere *et al.* (2011a) rapportent que des bandes riveraines composées de végétaux naturels ou implantés peuvent retenir les sédiments et autres polluants par filtration, déposition, infiltration, adsorption, absorption, décomposition et volatilisation. La végétation des bandes riveraines réduit le volume et la vitesse de ruissellement en augmentant la rugosité hydraulique du sol et en augmentant la capacité d'infiltration du sol (Deletic and Fletcher, 2006; Borin *et al.*, 2005; Le Bissonnais *et al.*, 2004). La diminution du volume de ruissellement amène la déposition des sédiments dans le filtre en réaction à une diminution de la capacité de transport (Wu *et al.*, 1999; Järvelä, 2002; Wilson *et al.*, 2005).

Le choix du positionnement et le dimensionnement des bandes riveraines représentent des défis de taille. La législation québécoise actuelle est basée sur le cours d'eau en présence uniquement. Elle demande des largeurs de bandes riveraines fixes selon la taille du cours d'eau, sans égard aux caractéristiques physiques des terres l'encerclant, aux types de sols de ces terres, aux types de végétations contenus dans la bande et aux caractéristiques physiques des sédiments s'écoulant. Ceci donne souvent des bandes riveraines inefficaces car sous-dimensionnées. Heureusement, Gumiere et Rousseau (2011b) proposent un modèle mécaniste, VFDM (*Vegetative filter dimensioning model*), qui calcule une largeur optimale de bande riveraine à appliquer à un cours d'eau en fonction du coefficient de rétention des sédiments voulu.

Le modèle VFDM est couplé à un modèle de représentation numérique du bassin versant, PHYSITEL, et un modèle hydrologique, HYDROTEL (Fortin *et al.*, 2001; Turcotte *et al.*, 2003, 2007), dans son exécution. Le modèle PHYSITEL (Rousseau *et al.*, 2011; Turcotte *et al.*, 2001) permet de traiter le bassin versant comme un ensemble de sous-bassins versants associés chacun à un tronçon de la rivière à l'étude, un tronçon étant défini comme une portion de rivière comprise entre deux nœuds. C'est la méthode des sous-bassins (SB). Une nouvelle procédure permet de séparer ces sous-bassins en deux ou trois versants (VER), les deux premiers se

trouvant de chaque côté du tronçon, le troisième étant ajouté à l'embouchure du tronçon de tête (sans affluents) (Noël *et al.*, 2011).

Le présent projet vise à étudier les différences qui surviennent lors du calcul des largeurs de bandes riveraines avec la méthode SB et la méthode VER. L'étude fut faite sur le bassin versant de la rivière Beaurivage, un affluent de la rivière Chaudière dans la province de Québec, Canada.

## 2. Objectifs

L'objectif principal de ce projet est de vérifier les différences dans les résultats de VFDM entre son application à la suite de la méthode SB et de la méthode VER. Plus précisément, les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Implanter et caler le bassin versant découpé selon les deux méthodes dans HYDROTEL.
- Vérifier la réponse d'HYDROTEL face au bassin versant séparé par les deux différentes méthodes.
- Compiler les écarts absolus et relatifs entre la largeur des bandes riveraines selon les deux approches, pour différentes densités de végétation.
- Analyser statistiquement les écarts pour effectuer des comparatifs et en venir à une conclusion.



### 3. Méthode

Le projet consiste en une modélisation numérique d'un bassin versant. Les manipulations sont donc strictement informatiques et réalisées à l'aide de programmes développés précisément pour l'application qui en est faite. Tel que stipulé plus tôt, trois modèles ont été utilisés en chaîne pour la réalisation du projet; PHYSITEL, HYDROTEL et VFDM.

PHYSITEL est un programme de modélisation numérique de l'espace physique occupé par le bassin versant. Les données d'entrée nécessaires à la modélisation sont un modèle numérique d'altitude (MNA), une carte vectorielle du réseau hydrographique, une carte de l'occupation du sol et des polygones pédologiques répertoriant les types de sol présents. Avec le MNA, PHYSITEL connaît l'altitude des différents pixels, de laquelle il peut calculer la pente et l'orientation de l'écoulement sur chacun des pixels. Le réseau vectoriel est transformé en réseau matriciel, ce qui permet à PHYSITEL de « creuser » le MNA aux endroits où la rivière doit se trouver, aidant ainsi la modélisation à se poursuivre. Le programme calcule ensuite une matrice d'accumulation, qui spécifie combien de pixels s'écoulent à travers un pixel, et le réseau est reconstitué à partir d'une certaine limite d'accumulation. PHYSITEL transforme ensuite le bassin versant en sous-bassins, qui sont au nombre d'un sous-bassin par tronçon du réseau hydrographique. Ces sous-bassins se nomment des unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH). Le programme peut ensuite séparer les sous-bassins en versants; un de chaque côté de la rivière et un à la pointe du tronçon, s'il est un tronçon de tête. PHYSITEL calcule ensuite les pourcentages d'occupation du sol et de type de sol par UHRH. Enfin, une nouvelle procédure permet de calculer le nombre de rigoles sur chaque UHRH, ce qui s'avère d'une importance cruciale pour l'opération de VFDM.

Lorsque le bassin versant est numérisé, l'utilisation principale subséquente est d'y faire couler de l'eau, au moyen d'un modèle hydrologique. HYDROTEL (Fortin *et al.*, 2001a-b) est un modèle hydrologique qui nécessite la numérisation de PHYSITEL. Il est essentiel d'incorporer à la numérisation les données des stations météorologiques qui se situent dans les environs du bassin versant. Avec ces données, HYDROTEL utilise divers modèles connus en cascade pour recréer l'écoulement de l'eau dans le réseau. Les modèles touchent différents aspects du cycle de l'eau : l'interpolation des données

météorologiques, l'évolution du couvert nival, l'évapotranspiration potentielle, le bilan d'eau vertical dans le sol et au-dessus, l'écoulement vers le réseau hydrographique et l'écoulement dans le réseau hydrographique. Différents modèles peuvent être utilisés pour chacun des aspects. Pour rendre compte de l'efficacité de la modélisation, des données de stations hydrométriques existantes sur le bassin peuvent être ajoutées et HYDROTEL fait la comparaison entre les débits simulés et observés.

VFDM est un programme développé récemment qui utilise les caractéristiques physiques du bassin et de la végétation en présence pour calculer une largeur optimale de bande riveraine à adopter pour obtenir une efficacité donnée de rétention des sédiments. Plus précisément, les entrées nécessaires sont présentées au tableau 1. Lorsque la provenance est spécifiée comme étant de l'utilisateur, ceci signifie que le paramètre a été fixé à une valeur arbitraire, constante avec les méthodes SB et VER pour des fins de comparaisons. Dans le cas présent, les valeurs utilisées sont aussi présentées au tableau 1.

**Tableau 1. Paramètres d'entrée de VFDM.**

| Paramètres | Description                           | Unités             | Provenance  | Valeurs            |
|------------|---------------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| S          | Pente moyenne des versants            | -                  | PHYSITEL    | -                  |
| n          | Coefficient de Manning des versants   | sm <sup>-1/3</sup> | Utilisateur | 0,02               |
| W          | Largeur de l'UHRH                     | m                  | PHYSITEL    | -                  |
| CS         | Forme de la pente                     | -                  | Utilisateur | 1 (concentré)      |
| nrill      | Nombre de rigoles                     | -                  | PHYSITEL    | -                  |
| IS         | Forme des rigoles                     | -                  | Utilisateur | 1 (rectangulaire)  |
| B0         | Densité de végétation                 | -                  | Utilisateur | 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 |
| Q          | Débit de ruissellement                | m <sup>3</sup> /s  | HYDROTEL    | -                  |
| RainTime   | Durée des événements de pluie         | h                  | Utilisateur | 20                 |
| Tr         | Efficacité de rétention des sédiments | -                  | Utilisateur | 0,8                |

Pour l'application au bassin versant de la rivière Beurivage, un projet PHYSITEL découpé en SB était existant au départ. À partir de ce projet, les calculs usuels de PHYSITEL ont été effectués, jusqu'à l'obtention du bassin versant numérisé et découpé selon les deux méthodes SB et VER. Ces deux numérisations ont été introduites dans HYDROTEL séparément et les paramètres des sous-modèles ont été ajustés (calage) pour obtenir les meilleurs résultats comparatifs entre la simulation et l'observation. Par la

suite, après la mise en forme des données d'entrée nécessaires, l'application de VFDM fut exécutée pour chacun des deux découpages, en faisant varier la densité de la végétation entre 0,5 et 0,8.



## 4. Résultats et discussions

Les résultats du projet touchent plusieurs aspects distincts de la procédure appliquée. En effet, le découpage en SB ou en VER a des impacts sur VFDM, mais aussi sur HYDROTEL. En respect avec les objectifs, les divers aspects seront présentés. D'abord, l'influence du découpage sur le calage des sous-modèles d'HYDROTEL et ses résultats seront présentés. Ensuite, les résultats bruts de VFDM seront présentés selon les différents découpages. Enfin, une analyse des écarts entre les deux découpages sera faite.

### 4.1 Impact sur le calage et l'exactitude d'HYDROTEL

Tel que stipulé plus tôt, après le découpage en SB ou en VER, le modèle hydrologique HYDROTEL doit être calé pour obtenir les meilleurs comparatifs possibles entre les résultats simulés et observés, en prenant soin de conserver des paramètres avec une signification physique. Les paramètres obtenus pour chacun des découpages sont présentés au tableau 2. Il est important de noter qu'HYDROTEL permet de séparer l'assignation des paramètres en regroupement d'UHRH. Comme une station hydrométrique est présente à l'embouchure du Bras d'Henri, un affluent de la rivière Beaurivage, il est adéquat de les traiter indépendamment.

**Tableau 2. Paramètres d'HYDROTEL après calage, selon les deux découpages.**

| Découpages   | Versants   |              | Sous-bassins |              |
|--|------------|--------------|--------------|--------------|
|  | Beaurivage | Bras d'Henri | Beaurivage   | Bras d'Henri |
| <i>Bassin s</i>  |            |              |              |              |
| <b>Interpolation des données météorologiques</b>         |            |              |              |              |
| <i>Moyenne pondérée des trois stations les plus près</i> |            |              |              |              |
| Gradient vertical des précipitations (mm/100 m)          | 1,5        | 1,25         | 0,5          | 0,5          |
| Gradient vertical de la température (C/100 m)            | -1,5       | -1           | -0,5         | -1           |
| Température de passage de la pluie en neige              | 0          | 0            | -0,25        | -0,25        |
| <b>Evolution du couvert nival</b>                        |            |              |              |              |
| <i>Approche mixte (deg.jr. -Bilan éner.)</i>             |            |              |              |              |
| Taux de fonte (neige-sol mm/jour)                        | 0,5        | 0,5          | 0,5          | 0,5          |
| Densité maximale du couvert nival (kg/m <sup>3</sup> )   | 466        | 500          | 550          | 550          |
| Constante de tassement                                   | 0,01       | 0,01         | 0,01         | 0,01         |
| Milieu 1 (ex.: Conifères)                                |            |              |              |              |
| Taux de fonte dans l'air (mm/jour.C)                     | 8          | 8            | 8            | 8            |

Comparaison des calculs de la largeur optimale d'une bande riveraine par une approche mécaniste pour  
une division en sous-bassins et en versants

Tableau 2 (suite)

| Découpages  | Versants   |              | Sous-bassins |              |
|---|------------|--------------|--------------|--------------|
|   | Beaurivage | Bras d'Henri | Beaurivage   | Bras d'Henri |
| Bassin s  |            |              |              |              |
| Seuil de température (C.)                                       | 1,25       | 1,25         | 1,25         | 1,25         |
| Milieu 2 (ex.: Feuillus)  |            |              |              |              |
| Taux de fonte dans l'air (mm/jour.C)                            | 10         | 10           | 10           | 10           |
| Seuil de température (C.)                                       | 0,75       | 0,75         | 0,75         | 0,75         |
| Milieu 2 (ex.: non-forestier)                                   |            |              |              |              |
| Taux de fonte dans l'air (mm/jour.C)                            | 13         | 13           | 13           | 13           |
| Seuil de température (C.)                                       | 0          | 0            | 0            | 0            |
| Algorithme d'albédo (1: Exponentielle avec seuil 2 : Sol-neige) | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Exponentielle avec Seuil (cm)                                   | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Durée du pas de temps de la fonte de neige (heures)             | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Sélection à "Paramètres temporels"                              | 24         | 24           | 24           | 24           |
| Sous-multiple de cette durée                                    | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Classes   |            |              |              |              |
| Milieu 1 (ex.: Conifères)                                       | Conifères  | Conifères    | Conifères    | Conifère     |
| Milieu 2 (ex.: Feuillus)  | Feuillus   | Feuillus     | Feuillus     | Feuillus     |
| <b>Évapotranspiration potentielle</b>                           |            |              |              |              |
| <i>Hydro-Québec</i>   |            |              |              |              |
| Coefficient multiplicatif d'optimisation                        | 1          | 0,75         | 0,9          | 0,8          |
| <b>Bilan d'eau verticale</b>                                    |            |              |              |              |
| <i>BV3C</i>   |            |              |              |              |
| Limite inférieure de la couche #1 (m)                           | 0,1        | 0,1          | 0,1          | 0,1          |
| Limite inférieure de la couche #2 (m)                           | 0,3        | 0,2          | 0,2          | 0,2          |
| Limite inférieure de la couche #3 (m)                           | 2          | 1            | 1,5          | 1,5          |
| Coefficient d'extinction (DES)                                  | 0,6        | 0,6          | 0,6          | 0,6          |
| Coefficient de récession (m/h)                                  | 1,00E-05   | 5,00E-06     | 1,00E-05     | 5,00E-06     |
| Coefficient additif d'optimisation de la classe du sol          | 0          | 0            | 0            | 0            |
| Coefficient multiplicatif d'optimisation de l'assèchement       | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Humidité relative initiale Couche 1                             | 0,99       | 0,99         | 0,99         | 0,99         |
| Humidité relative initiale Couche 2                             | 0,99       | 0,99         | 0,99         | 0,99         |
| Humidité relative initiale Couche 3                             | 0,99       | 0,99         | 0,99         | 0,99         |
| Variation maximale de l'humidité relative par pas de temps      | 0,3        | 0,3          | 0,3          | 0,3          |
| Infiltration (1:2)  | 2          | 2            | 2            | 2            |
| Classes   |            |              |              |              |
| Imperméable   | Urbain     | Urbain       | Urbain       | Urbain       |
| Eau   | Eau        | Eau          | Eau          | Eau          |
| <b>Écoulement sur la partie terrestre du bassin</b>             |            |              |              |              |
| <i>Onde cinématique</i>   |            |              |              |              |
| Coefficient de Manning  |            |              |              |              |

Tableau 2 (suite)

| Découpages  | Versants   |              | Sous-bassins |              |
|---|------------|--------------|--------------|--------------|
|   | Beaurivage | Bras d'Henri | Beaurivage   | Bras d'Henri |
| <i>Bassin s</i>   |            |              |              |              |
| Milieux forestier   | 0,1        | 0,1          | 0,1          | 0,1          |
| Eau   | 0,015      | 0,015        | 0,015        | 0,015        |
| Autres milieux  | 0,04       | 0,04         | 0,04         | 0,04         |
| Lame de référence pour l'hydrogramme géomorphologique (m) | 0,0002     | 0,0002       | 0,0002       | 0,0002       |
| Classes   |            |              |              |              |
| Forêts  | Friche     | Friche       | Friche       | Friche       |
|   | Feuillus   | Feuillus     | Feuillus     | Feuillus     |
|   | Conifères  | Conifères    | Conifères    | Conifères    |
| Eau   | Eau        | Eau          | Eau          | Eau          |
| <b>Écoulement dans le réseau hydrographique (1:2)</b>     | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Coefficient d'optimisation de la rugosité                 | 1          | 1            | 1            | 1            |
| Coefficient d'optimisation des largeurs des rivières      | 1          | 1            | 1            | 1            |

Les différences dans les paramètres selon le découpage sont surtout remarquées dans les sous-modèles d'interpolation des données météorologiques, d'évapotranspiration potentielle et de bilan d'eau vertical. Les résultats de chacun des calages en matière d'efficacité de modélisation sont présentés au tableau 3.

Tableau 3. Efficacité de la modélisation HYDROTEL.

| Paramètres utilisés                   | Versants   |              | Sous-bassins |              |
|---------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|                                       | Beaurivage | Bras d'Henri | Beaurivage   | Bras d'Henri |
| <i>Simulation 2004-2009</i>           |            |              |              |              |
| <i>Bassin découpé en sous-bassins</i> |            |              |              |              |
| NSE                                   | 0,800567   | 0,617208     | 0,73438      | 0,607531     |
| P biais                               | 1,56998    | -1,60906     | 8,04105      | -5,26795     |
| RMSE                                  | 11,9902    | 6,1945       | 13,8375      | 6,27232      |
| R                                     | 0,897624   | 0,788245     | 0,896799     | 0,782788     |
| <i>Bassin découpé en versants</i>     |            |              |              |              |
| NSE                                   | 0,804543   | 0,615484     | 0,741974     | 0,604544     |
| P biais                               | 0,89689    | -1,44498     | 7,00757      | -5,1304      |
| RMSE                                  | 11,8701    | 6,20843      | 13,6383      | 6,29613      |
| R                                     | 0,898413   | 0,787125     | 0,895291     | 0,78078      |

Dans ce tableau, les métriques utilisées sont les suivantes : le coefficient d'efficacité de Nash-Sutcliffe (NSE), la différence maximale (Pbiais), la racine de la moyenne de l'erreur au carré (RMSE) et le coefficient de corrélation (R). Le NSE indique la performance globale du modèle, la perfection étant située à une valeur de 1. Le Pbiais

indique si une erreur systématique survient dans le modèle. Le RMSE indique dans les mêmes unités que pour la valeur simulée, soit en  $m^3/s$ , le degré d'accord entre le modèle et l'observation. Enfin, le coefficient de corrélation R est bien connu, et est le coefficient d'accord avec une régression linéaire entre les résultats simulés et les résultats observés.

L'indicateur le plus révélateur pour l'étude en présence est le NSE. Selon cet indicateur, la meilleure modélisation est faite lorsque le bassin est découpé en versants et qu'on utilise les paramètres du calage de ce découpage. Le Bras d'Henri répond généralement moins bien que le reste de la rivière Beaurivage, ce qui peut être attribuable aux paramètres, mais aussi à l'imperfection des données relevées à la station hydrométrique. Il est aussi surprenant de constater que le bassin réagit mieux avec les paramètres du calage en versants, même s'il est découpé en sous-bassins. En effet, les paramètres de calage en sous-bassins ont été obtenus d'un projet précédent et il est possible que la personne ayant calé ce projet ait considéré les résultats comme satisfaisants, alors qu'ils auraient pu l'être davantage.

Ces résultats concordent avec ce qui était attendu; le découpage en VER étant en principe plus précis. Il était souhaitable que ce découpage offre de meilleures performances que le découpage en SB. Par contre, un bassin découpé en SB et calé au maximum pourrait offrir de meilleure performance. Il est toutefois difficile de dépasser ces performances, vu le nombre de paramètres à modifier.

## **4.2 Largeurs de bandes riveraines avec VFDM**

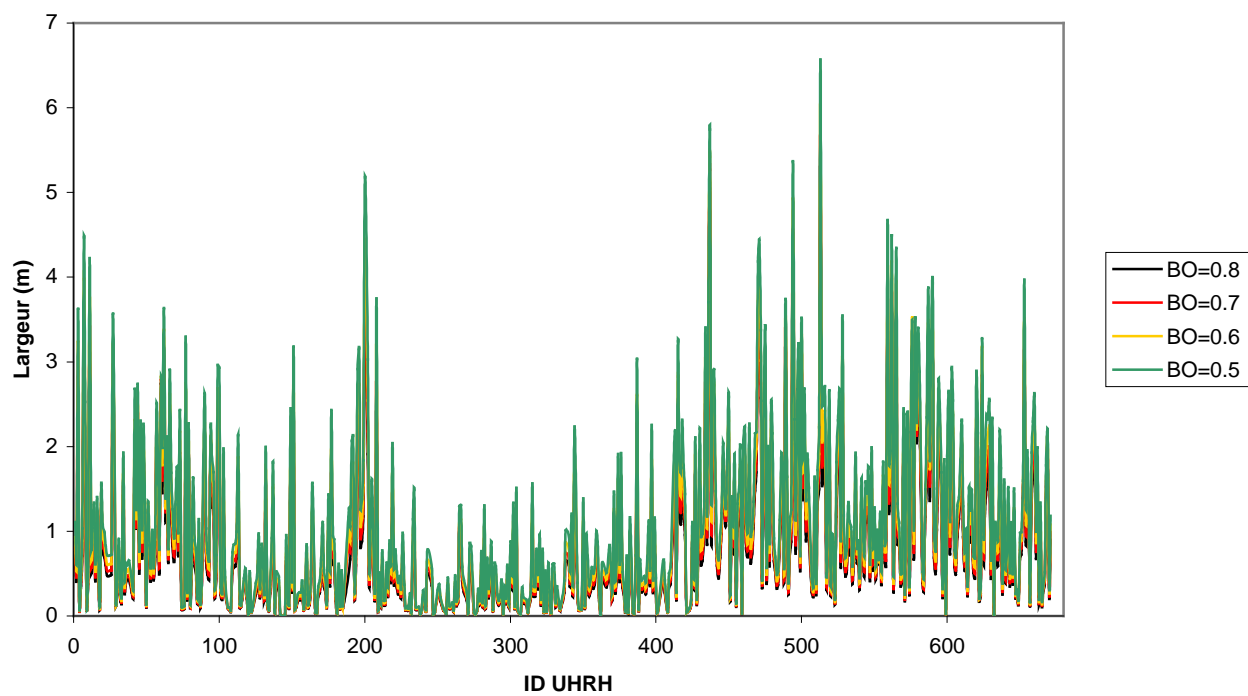
Le bassin de la rivière Beaurivage est d'une superficie de  $709 \text{ km}^2$ . Cette superficie occasionne la création d'un grand nombre d'UHRH dans le bassin. En effet, lorsque le bassin est découpé en sous-bassins, il y a 671 UHRH. Puis, lorsqu'il est découpé en versants, le bassin comporte 1502 UHRH (numéroté jusqu'à 1511, en raison des « sauts » de numéros).

La simulation HYDROTEL utilisée est d'une durée de 30 ans, du 1<sup>er</sup> octobre 1979 au 1<sup>er</sup> octobre 2009, ce qui donne 10 958 pas de temps. Comme VFDM calcule une largeur par UHRH par pas de temps, il y a environ sept millions de données en SB et 16 millions

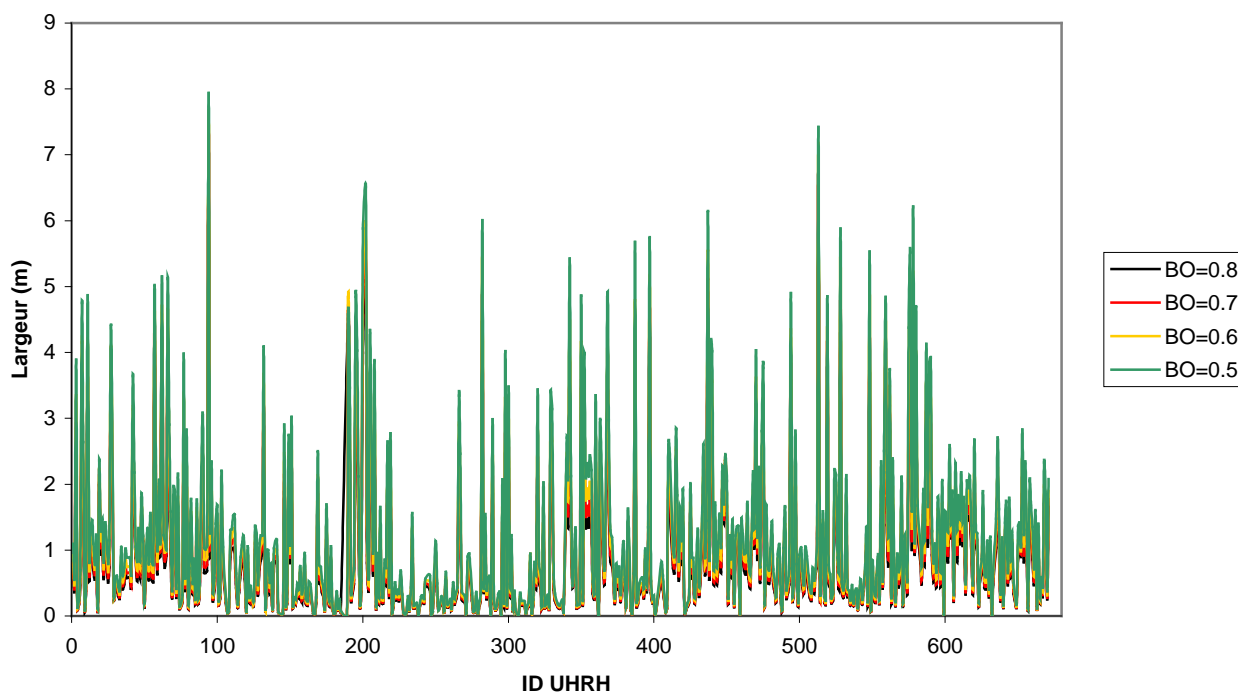
de données en VER. Pour les besoins de l'analyse, les données ayant été conservées sont seulement celles où la largeur se situe au-dessus de zéro et en-dessous de 30 m. Une largeur calculée égale à zéro est extrêmement fréquente, puisque l'absence de pluie implique l'absence de ruissellement, et donc la bande riveraine est inutile. Les valeurs au dessus de 30 m sont considérées comme des événements extrêmes rares qui ne sont pas utiles pour la conception. Par la suite, c'est à l'aide des moyennes de largeur par UHRH que les analyses sont réalisées.

Tel que stipulé plus tôt, l'ensemble des paramètres d'entrée de VFDM qui doivent être choisis par l'utilisateur demeurent constant, exception faite de la densité de végétation B0, qui varie entre 0,5 et 0,8. Un autre facteur qui modifie les largeurs calculées est le découpage en SB ou en VER. Lors du découpage en VER, les versants qui formaient un sous-bassin sont regroupés et la moyenne des largeurs est prise. Ainsi, il y aura le même nombre d'UHRH dans les graphiques, que le découpage soit en VER ou en SB, puisque les versants sont combinés et moyennés pour recréer leur sous-bassin original.

Les figures 1 et 2 présentent donc les moyennes des largeurs calculées par UHRH pour les deux découpages.



**Figure 1. Largeur de bande riveraine calculée pour chaque UHRH et B0, découpage en VER.**



**Figure 2. Largeur de bande riveraine calculée pour chaque UHRH et B0, découpage en SB.**

Le premier point à noter en comparant ces figures est la différence de largeur entre les deux découpages. Ceci est visible en superposant les deux graphiques, mais la prochaine section traitera plus en profondeur de ces différences. Il est aussi possible de noter la tendance logique dictant que plus la végétation est dense, moins la largeur calculée de bande riveraine est importante. Les figures 3 à 6 illustrent mieux ce fait. Elles représentent les largeurs calculées pour les deux découpages avec différentes densités de végétation pour des UHRH arbitraires. Les figures 7 à 11 proposent le même graphique pour des UHRH précis, représentant les maximums et minimums des deux découpages.

Avec ces histogrammes, la dépendance vis-à-vis la densité de végétation devient très claire. Plus la densité de végétation est élevée, plus la largeur calculée de la bande riveraine diminue.

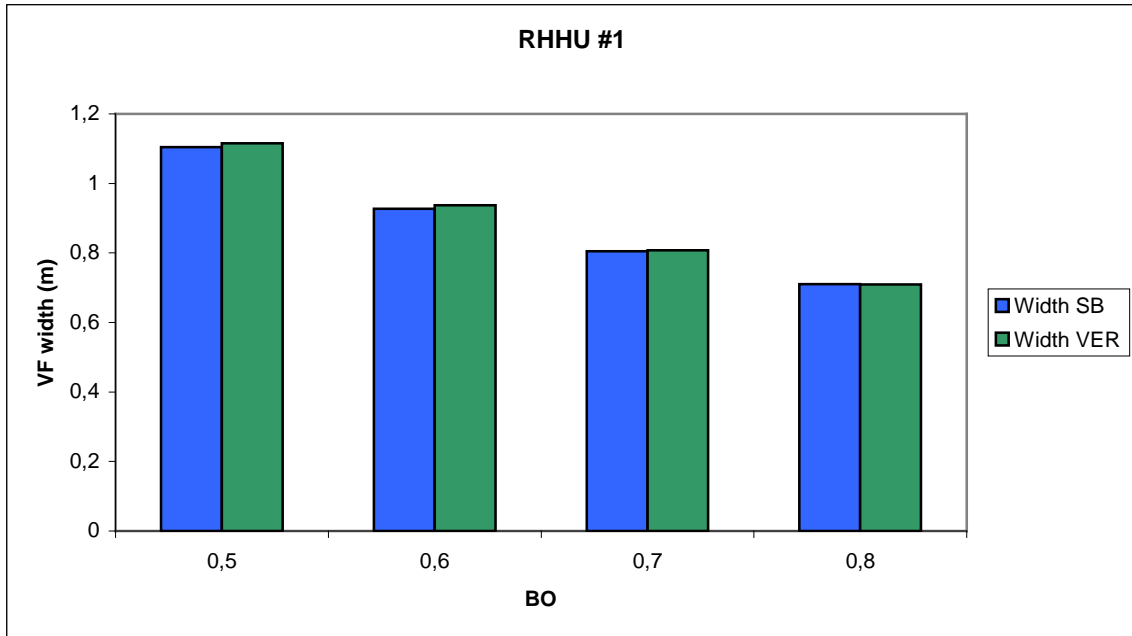


Figure 3. UHRH #1.

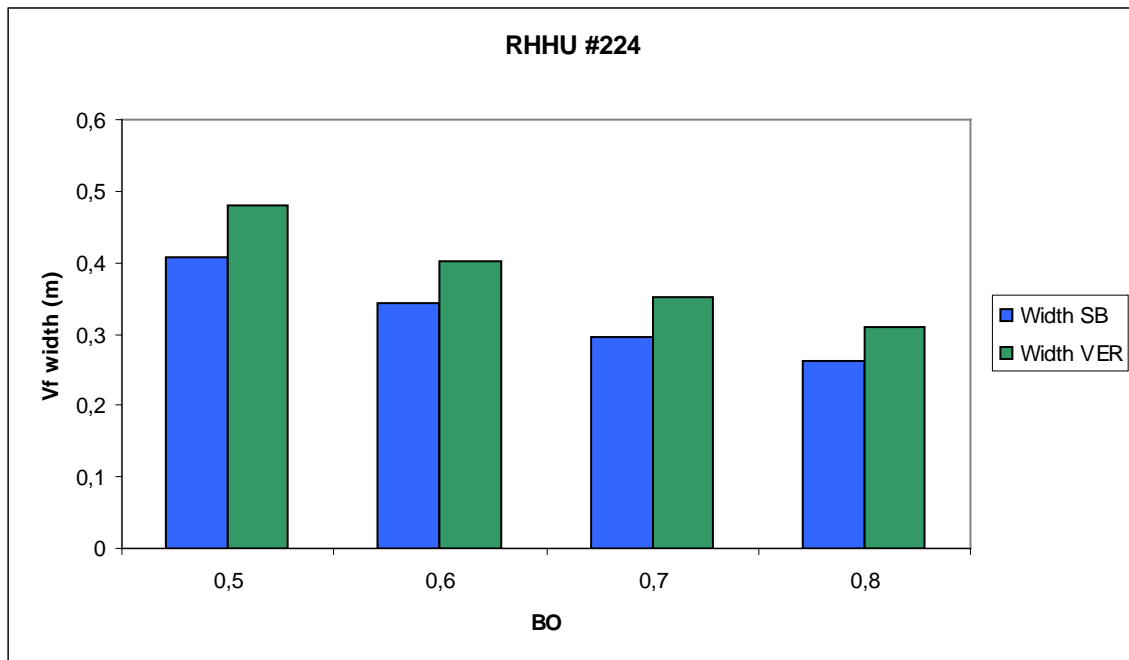


Figure 4. UHRH #224.

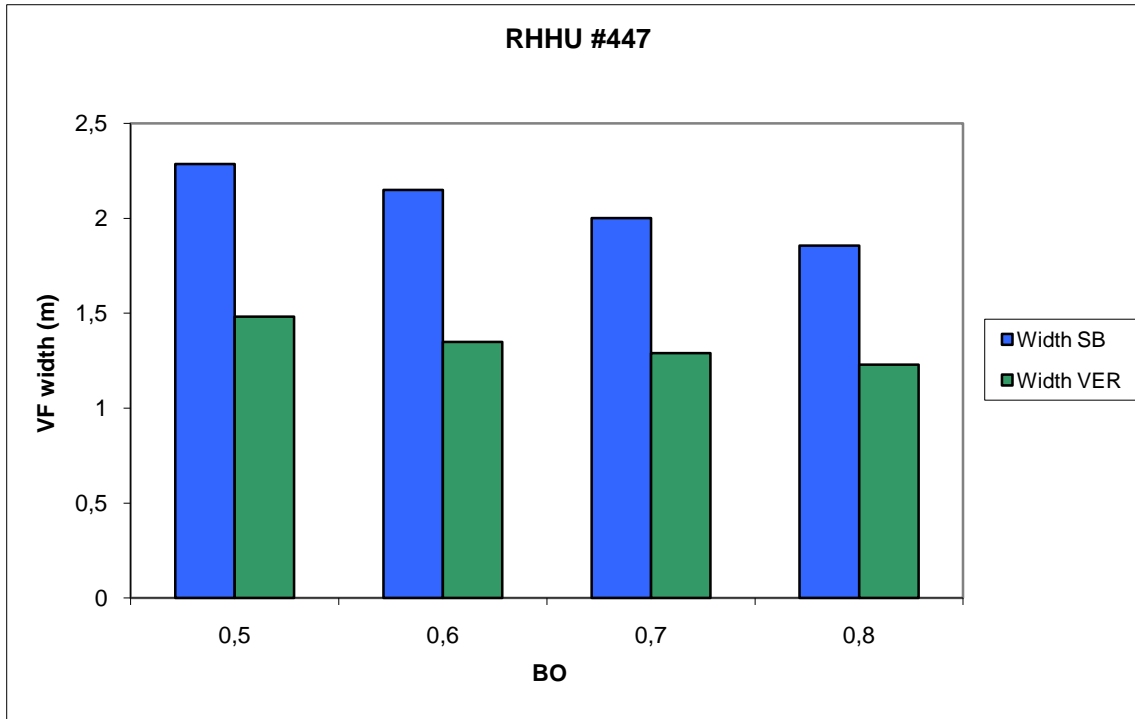


Figure 5. UHRH #447.

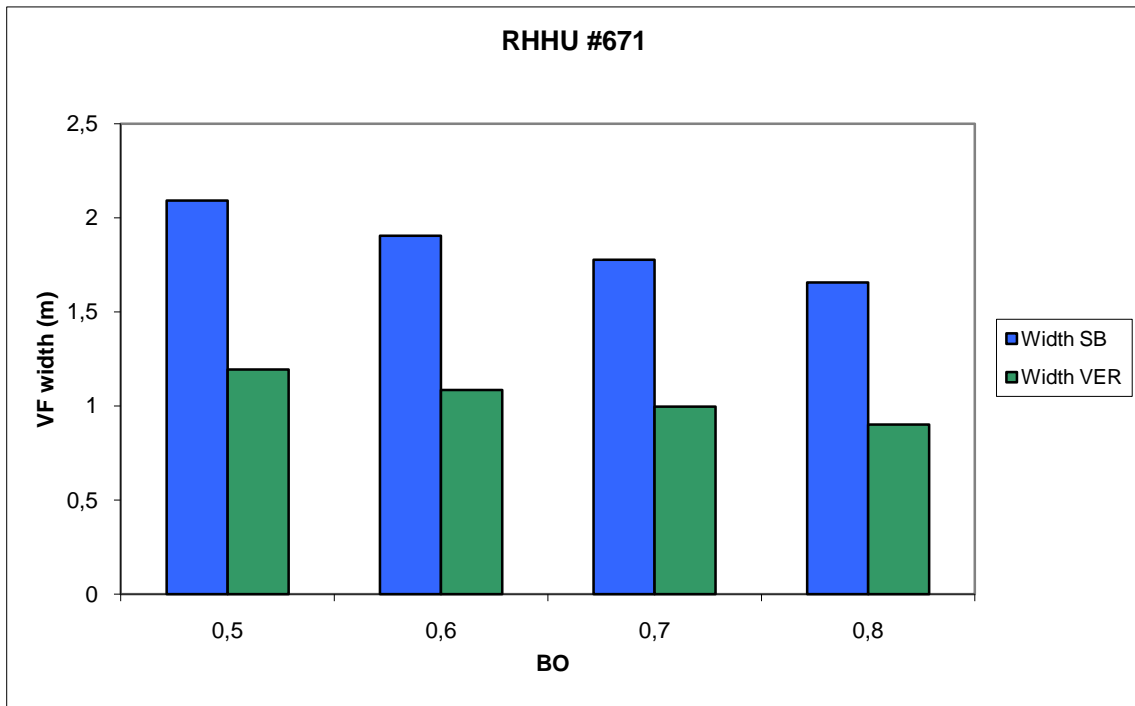


Figure 6. UHRH #671.

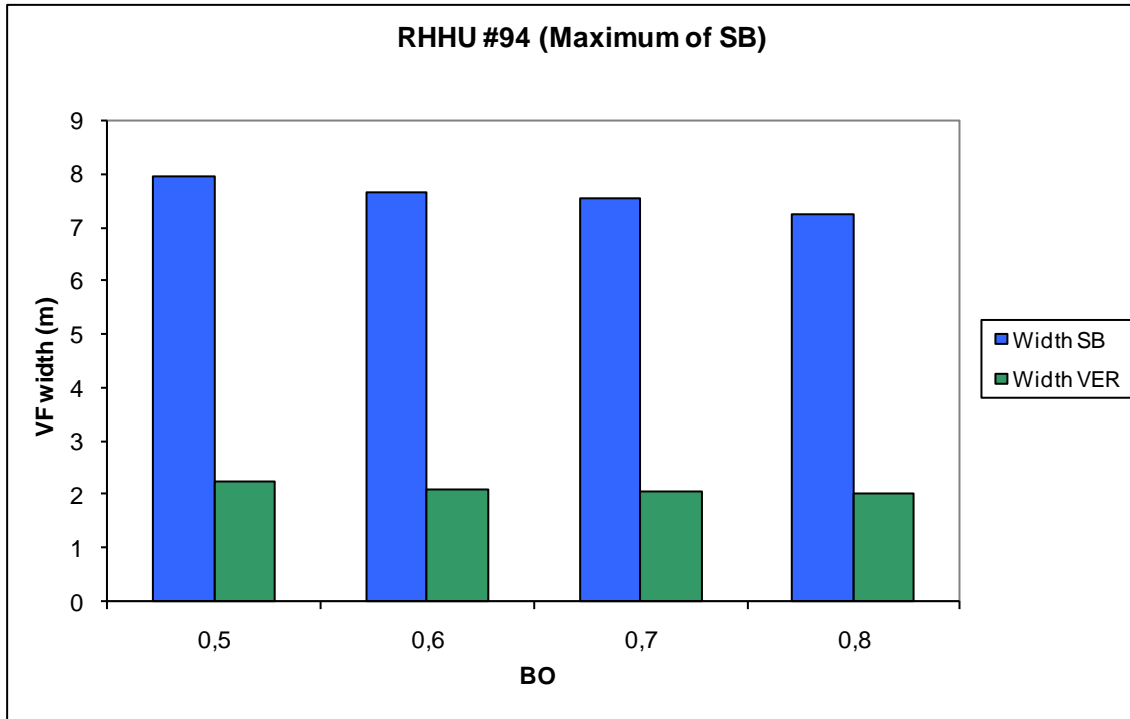


Figure 7. UHRH #94, maximum du découpage en SB.

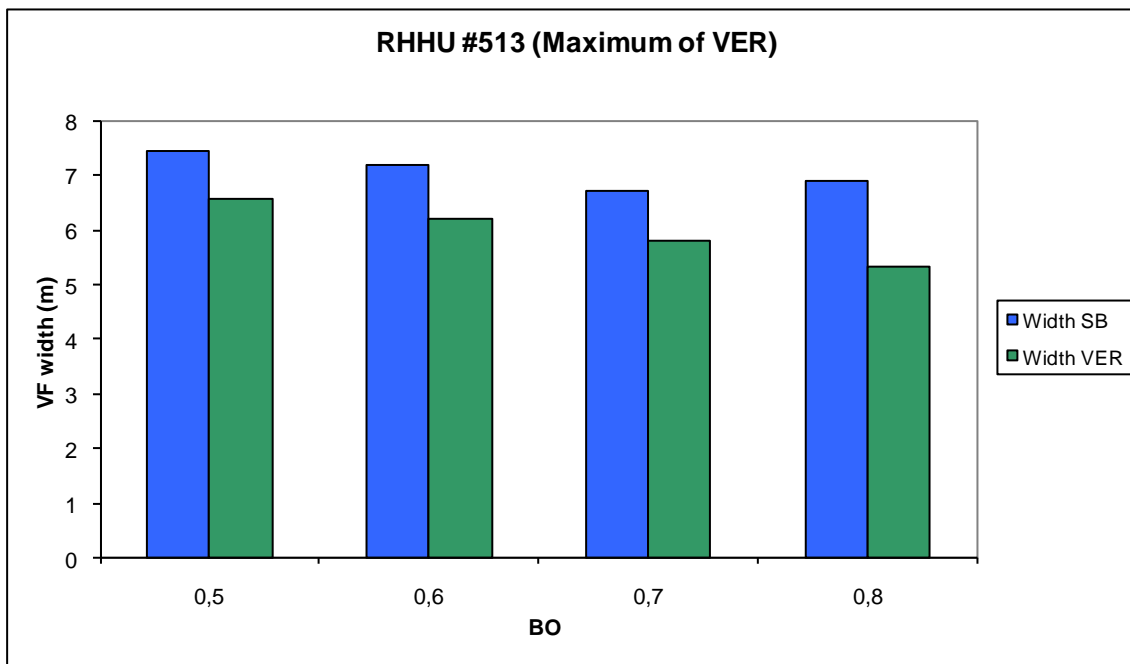


Figure 8. UHRH #513, maximum du découpage en VER.

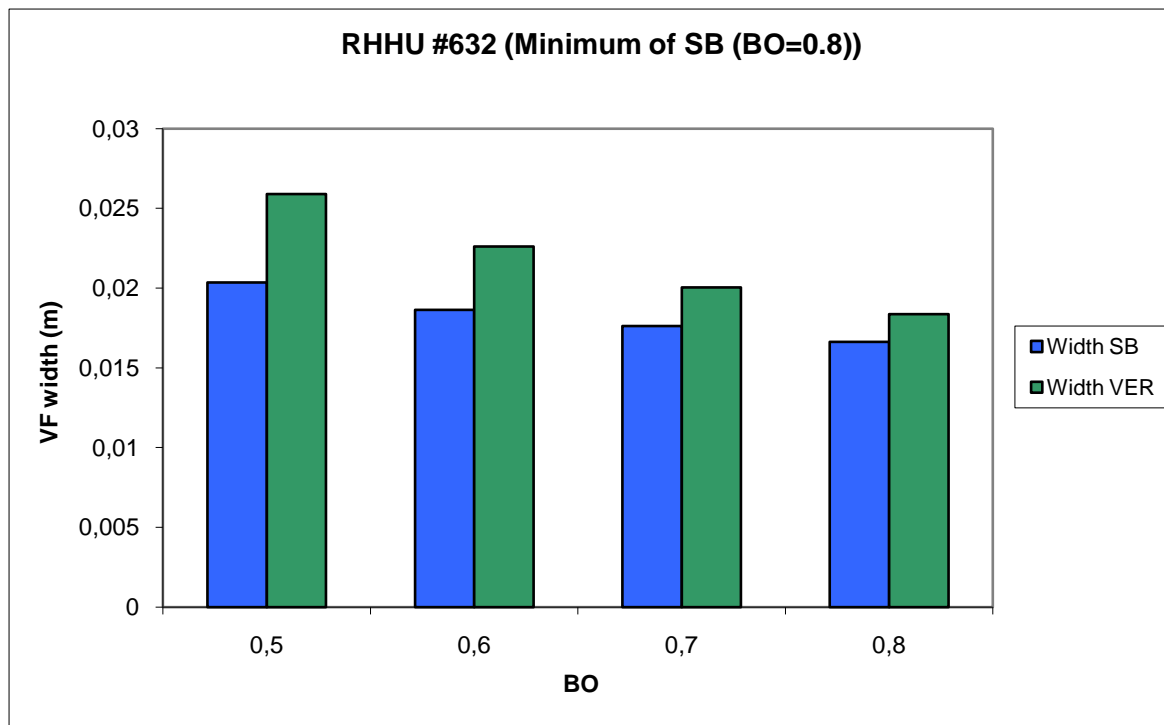


Figure 9. UHRH #632, minimum du découpage en SB pour  $B_0 = 0,8$ .

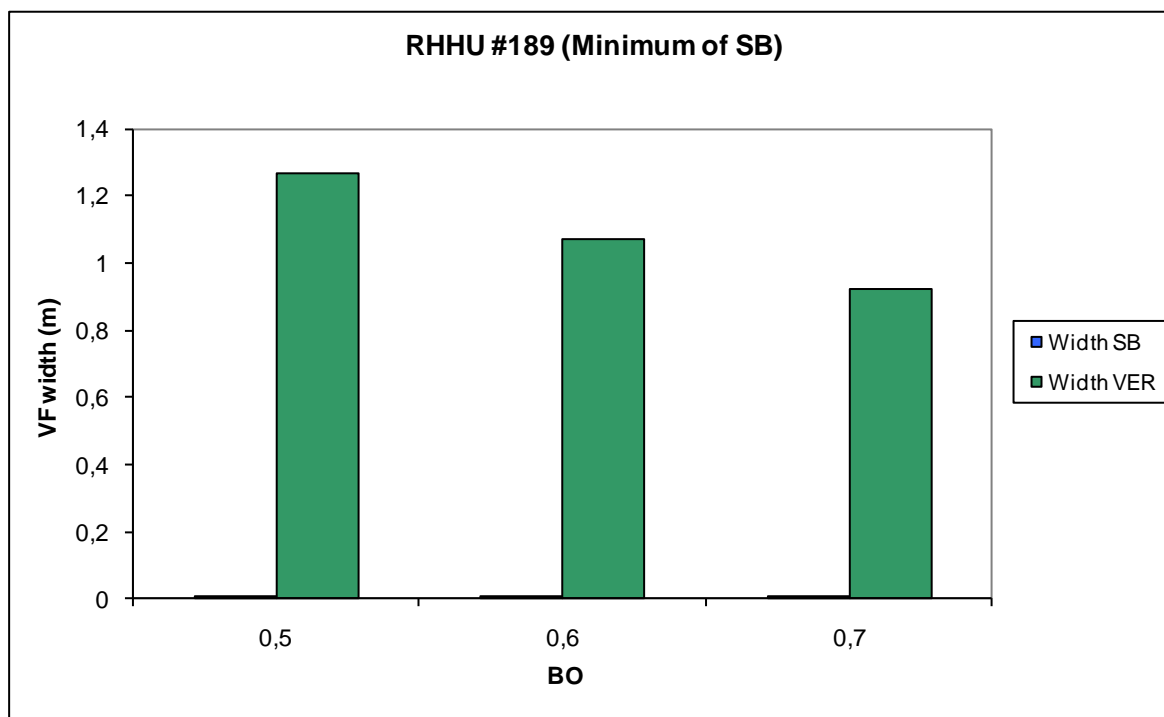


Figure 10. UHRH #189, minimum du découpage en SB pour  $B_0 < 0,8$ .

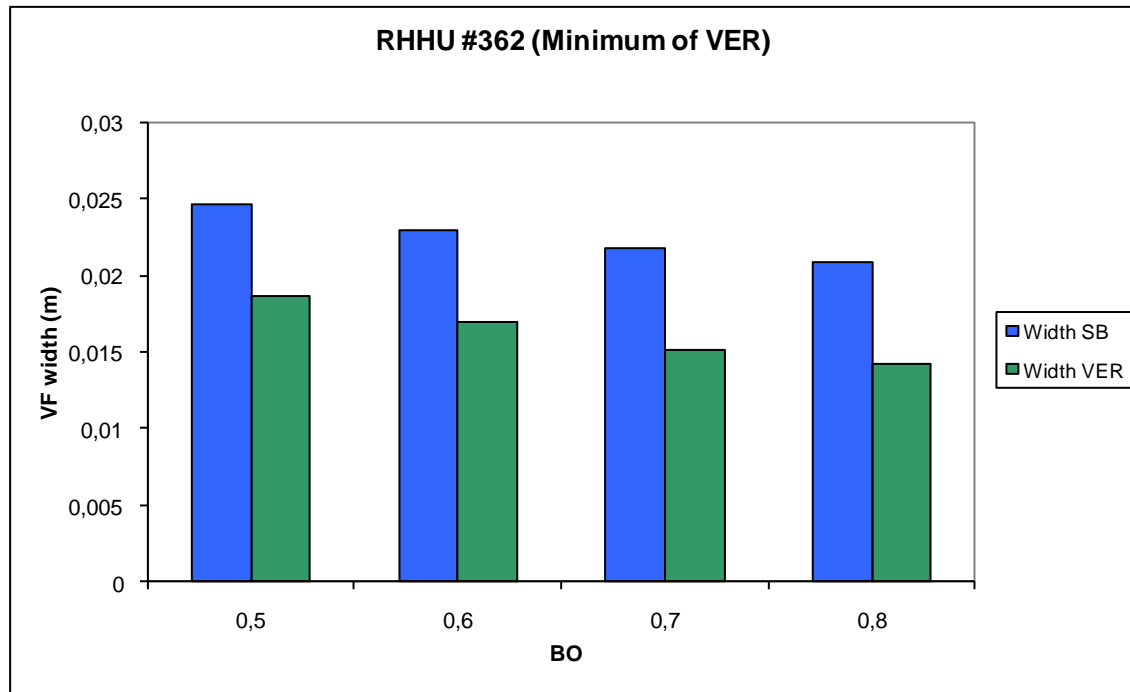


Figure 11. UHRH #362, minimum du découpage en VER.

### 4.3 Écart et différence entre les deux découpages

Les figures 3 à 11 démontrent extrêmement bien les écarts entre la largeur selon les deux découpages. En général, le découpage en VER occasionne une largeur calculée plus petite. Ceci est particulièrement vrai lorsque la largeur du découpage en SB est à son maximum. Par contre, lorsque la largeur du découpage en SB est à son minimum, la largeur du découpage en VER est plus grande. Ceci est aussi vrai pour les UHRH plus près de 1, soit plus près de l'embouchure du bassin versant, étant donné que ce terrain est plus plat et que le découpage de l'une ou l'autre des façons n'interfère pas beaucoup sur la pente moyenne de l'UHRH.

Globalement, une hypothèse plausible est d'affirmer que le découpage en SB, en étant moins précis, occasionne des débits de ruissellement plutôt stables, puisque la pente est une moyenne sur l'ensemble du sous-bassin, alors que celle des deux versants le composant peuvent être grandement différentes. De ce fait, les versants d'un sous-bassin sont sujets à une variabilité des débits de ruissellement pour un même événement de pluie, vu leur caractéristiques physiques différentes. Comme la comparaison est faite

avec la moyenne de largeur des deux ou trois versants d'un sous-bassin, la variabilité des débits de ruissellement occasionne une plus large gamme de largeurs, ce qui a un effet important sur la moyenne. Ainsi, le découpage en SB semble surdimensionner les bandes riveraines dans la majeure partie des cas, mais lorsque le débit est très faible, il la sous-dimensionne. Par exemple, si deux versants A et B de même aire possèdent des pentes très différentes; A a une pente très prononcée et B une pente très douce. Pour un même événement de pluie, A occasionnera un plus grand ruissellement que B, et ainsi une plus grande largeur de bande riveraine, mais par un facteur plus petit. Comme A et B ont la même aire, la pente du sous-bassin C formé de A et B sera la moyenne des pentes de A et B. Par contre, la largeur calculée sera plus grande que la moyenne des largeurs des versants, sauf pour des débits de pluie très faible, ou la plus forte pente de A a plus d'influence sur la moyenne des largeurs. La figure 12 illustre le genre de système expliquant ce phénomène.

L'écart de largeur entre les deux découpages est évidemment différent pour chacun des UHRH en présence. Pour mieux représenter ces écarts, les figures 12 et 13 présentent la différence entre la largeur SB et la largeur VER, en erreur absolue par rapport à la largeur SB :

$$\Delta W_{\%} = \frac{|\Delta W|}{W_{SB}} \times 100 = \frac{|W_{SB} - W_{VER}|}{W_{SB}} \times 100$$

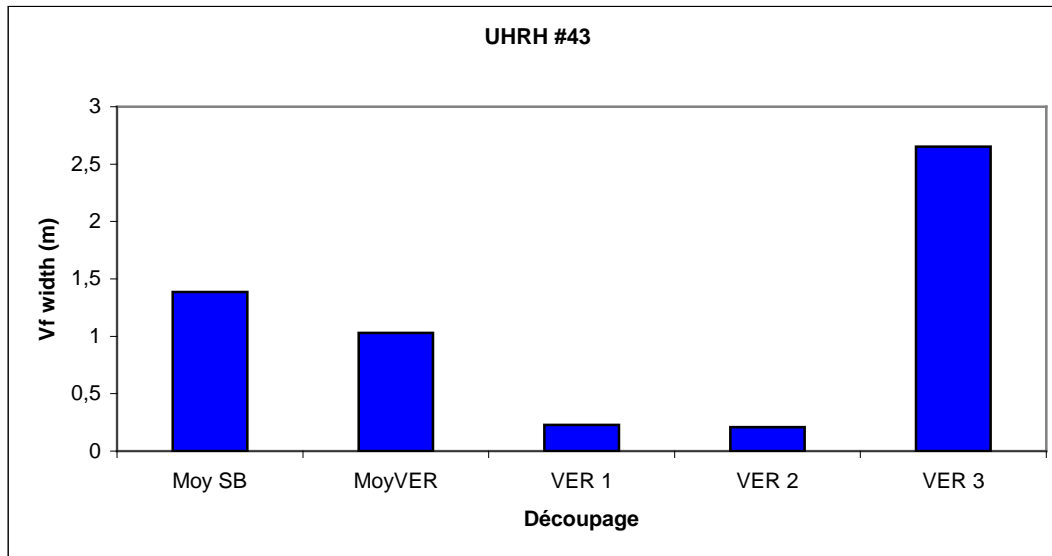


Figure 12. Différence entre les largeurs versants et leur moyenne, UHRH #43.

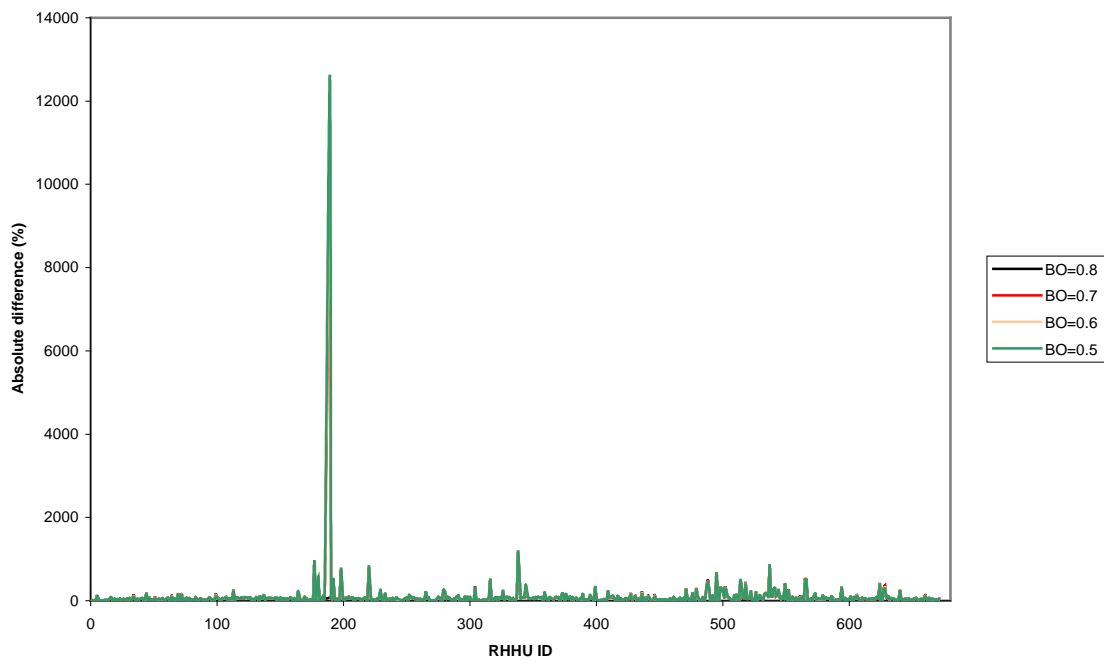
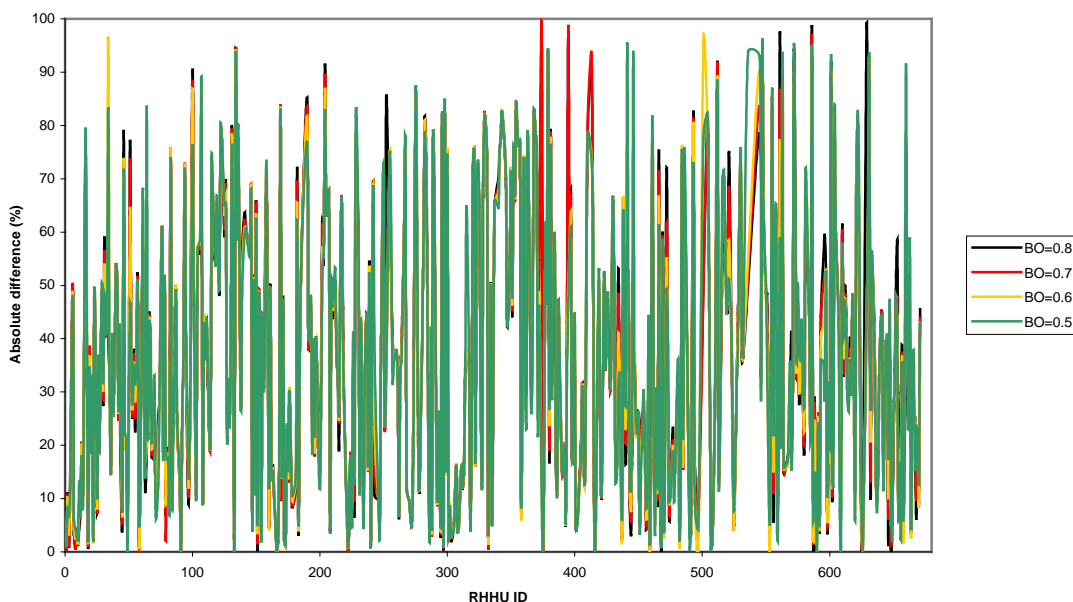


Figure 13. Erreur absolue entre la largeur SB et la largeur VER, en fonction de l'UHRH, donnée complète.



**Figure 14. Erreur absolue entre la largeur SB et la largeur VER, en fonction de l’UHRH,  $\Delta W\% < 100\%$ .**

Il est aisé de remarquer qu’il y a pratiquement toujours un écart entre les deux largeurs, sauf en quelques points isolés. C’est donc dire que le découpage a un impact direct sur le calcul de la largeur de bande riveraine.

Il est aussi conséquent de voir l’effet d’une variation de la densité de végétation sur l’écart moyen entre les largeurs. La figure 14 présente les écarts moyens en fonction de la densité de végétation. Cette figure montre que lorsque la moyenne des écarts est faite sur les données plus petites que 100 %, elle est indépendante de la densité de végétation. Par contre, lorsque la moyenne est faite sur l’ensemble des données, une augmentation de la densité de végétation fait diminuer l’écart moyen entre les deux découpages. Il est donc possible de penser que la densité de végétation a un effet plus prononcé sur les écarts extrêmes, qui sont donc au-dessus de 100 %. De plus, comme la tendance normale est que l’augmentation de la densité de végétation fait diminuer la largeur de la bande riveraine, les deux largeurs calculées se rapprochent.

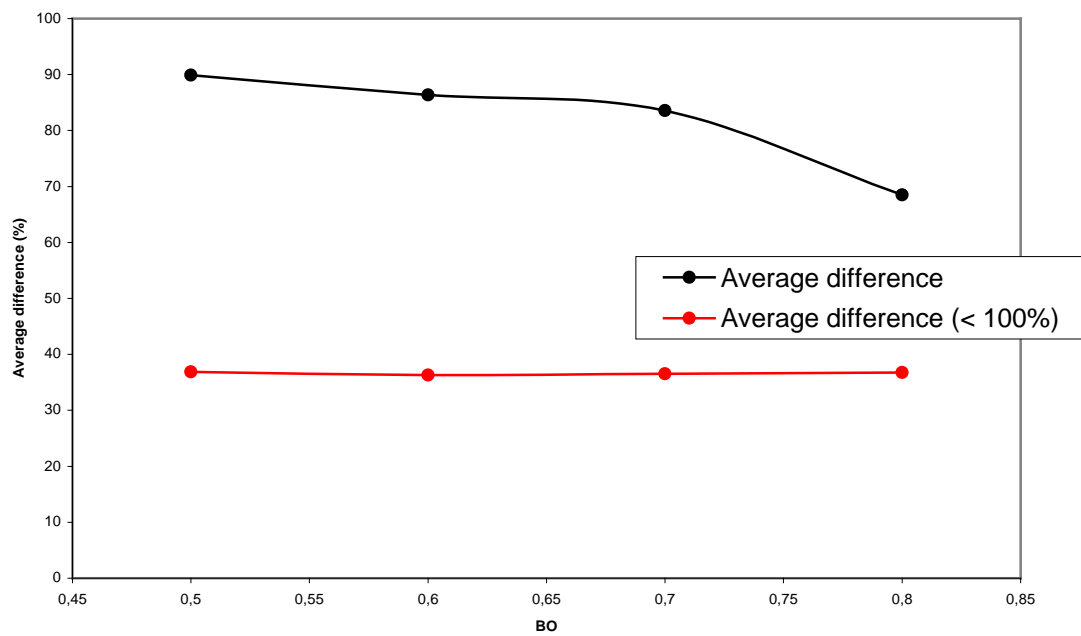


Figure 15. Écart moyen entre les largeurs SB et VER.

## 5. Limitations et améliorations suggérées

Cette section présente les limitations rencontrées lors de ce projet, en plus de proposer des améliorations possibles pour pallier à ces limitations. Plus précisément, la largeur des versants, les paramètres physiques d'entrée de VFDM et la durée du temps de pluie sont présentés.

### 5.1 Largeur de versant

Tel qu'il fut stipulé plus tôt, la largeur du versant est une donnée d'entrée qui entre dans le calcul de la largeur de la bande riveraine sur ce versant. La largeur du versant est un concept difficile à calculer avec précision, étant donné que le tronçon de rivière est rarement rectiligne et que le versant lui-même est rarement de largeur constante en parallèle avec le tronçon.

Pour les données recueillies lors de ce projet, la largeur de versant fut prise comme la longueur du tronçon calculée par PHYSITEL. C'est une approximation assez juste pour la plupart des bassins, puisque l'important est de connaître la largeur moyenne des rigoles ( $W/Nrill$ ) et que ces rigoles touchent obligatoirement le tronçon.

Toutefois, ce calcul devient très peu approprié pour les versants de tête, c'est-à-dire qui s'écoulent vers la source d'un tronçon de tête. Une technique plus efficace serait de prendre la largeur du tronçon elle-même, puisque le nombre de rigoles calculées dans ce genre de bassin est généralement 1. Il est par contre très difficile pour l'instant de savoir quel UHRH est un versant de tête.

Les améliorations souhaitables seraient donc de pouvoir identifier les UHRH de tête dans l'algorithme qui sépare les sous-bassins en versants. Il serait ensuite possible d'associer, comme largeur de versant, la largeur du tronçon, ce que PHYSITEL calcule déjà.

## **5.2 Paramètres d'entrée fixés par l'utilisateur**

L'ensemble des paramètres d'entrée de VFDM que l'utilisateur doit choisir a été considéré comme fixe lors de ce projet, sauf pour la densité de végétation (B0). C'est évidemment une approximation grossière qui a été faite pour permettre la comparaison entre quelques paramètres définis (pente, densité de végétation, débit de ruissellement, nombre de rigoles, largeur de versant). Il serait évidemment souhaitable de pouvoir ajuster ces paramètres avec précision en fonction de l'occupation du sol et du type de sol (coefficient de Manning, infiltrabilité, densité de végétation).

Il serait pertinent d'associer une valeur de ces paramètres à chaque combinaison occupation/type de sol et de pouvoir ainsi directement générer, à partir de PHYSITEL, les fichiers d'entrée adaptés. Les largeurs ne s'en trouveraient que plus précises.

## **5.3 Durée de la pluie**

La durée de la pluie (RainTime) est un paramètre très important pour la conception d'une bande riveraine, puisqu'elle influence grandement le ruissellement. Encore une fois, cette valeur fut considérée comme constante, ce qui ne pourrait pas être plus éloigné de la vérité.

Les données météorologiques utilisées dans HYDROTEL sont toutefois compilées par jour, ce qui limite grandement la possibilité de déterminer la durée exacte du ou des événements de pluie. De plus, le pas de temps normal d'HYDROTEL est aussi la journée, limitant les données de ruissellement de la même façon.

## 6. Conclusion

Ce projet a été mis en œuvre pour permettre de comprendre l'impact de la séparation des sous-bassins en versants. Il fallait donc voir si les différents découpages menaient à des changements dans les performances d'HYDROTEL et s'ils affectaient la largeur des bandes riveraines calculée dans VFDM.

Pour les simulations HYDROTEL, le découpage en versants a obtenu une meilleure performance et ce, qu'on utilise les paramètres de calage en versants ou non. Les quatre indicateurs (NSE, Pbiais, RMSE, R) tendent à le confirmer. De plus, les paramètres de calage en versants donnent aussi de meilleures performances lorsque le bassin est découpé en SB. Il est donc possible d'avancer que le découpage en versants permet une meilleure réponse dans HYDROTEL, ce qui porte à croire que la précision augmentée de ce découpage traduit mieux l'état réel du bassin.

Les résultats calculés par VFDM indiquent qu'il y a clairement une différence sur les largeurs de bandes riveraines selon les deux découpages. Cet écart tend toutefois à diminuer lorsque la densité de végétation augmente. Ceci est probablement dû au fait que l'augmentation de B0 diminue nécessairement les largeurs de bandes riveraines et qu'ainsi, l'écart entre les deux découpages s'amenuise aussi. L'écart n'est toutefois pas toujours du même signe. Par exemple, lorsque la largeur SB est à son minimum, la largeur VER est plus élevée. De même, lorsque l'analyse est faite sur des UHRH près de l'embouchure, le terrain plus plat à cet endroit minimise grandement l'écart entre les deux découpages. Pourtant, la majeure partie du temps, le découpage SB surdimensionne la bande riveraine. Ceci est une conséquence du fait que les largeurs VER traitées sont une moyenne des deux ou trois versants contenus dans un SB.

Globalement, le découpage VER assigne une largeur à chacun des côtés du tronçon, ce qui est plus adéquat et prévient efficacement l'érosion. Le découpage en SB assigne une seule largeur pour tous les côtés, même si les pentes sont très différentes. Il va de soit que le découpage en SB doit donc presque toujours surdimensionner un côté et sous-dimensionner l'autre.



## 7. Références bibliographiques

Borin, M., Vianello, M., Morari, F., Zanin, G., 2005. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in north-east Italy. *Agric. Ecosyst. Environ.* 105, 101–114.

Deletic, A., Fletcher, T. D., 2006. Performance of grass filters used for stormwater treatment - a field and modelling study. *Journal Of Hydrology* 317 (3-4), 261–275.

Fortin, J.P, 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 Model. *Journal of Hydrologic Engineering, American Society of Civil Engineering*, 6(2), 91-99.

Fortin, J.P, Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., Villeneuve, J.P. (2001b). A Distributed Watershed Model Compatible with Remote Sensing and GIS data. Part II: Application to Chaudière watershed. *Journal of Hydrologic Engineering, American Society of Civil Engineering*, 6(2), 100-108.

Gumiere, S. J., Le Bissonnais, Y., Raclot, D., Cheviron, B., 2011a. Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modelling: A review. *Earth Surf. Process. Landf.* 35, doi:10.1002/esp.2042.

Gumiere, S. J., Rousseau, A. N., 2011b. Vegetative filter dimensionning model. International Symposium on Erosion and Landscape Evolution CD-Rom Proceedings (18-21 September 2011, Hilton Anchorage, Anchorage Alaska) St. Joseph, Michigan ASABE .

Le Bissonnais, Y., Lecomte, V., Cerdan, O., 2004. Grass strip effects on runoff and soil loss. *Agronomie* 24 (3), 129–136.

Järvelä, J., 2002. Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. *J. Hydrol* 269, 44–54.

Noel, P. ; Rousseau, A.N. ; Paniconi, C.2011., Evaluation of hillslope and subcatchment-based hydrological response units for HYDROTEL streamflow simulations, in preparation.

Rousseau, A.N., J.-P. Fortin, R. Turcotte, A. Royer, S. Savary, F. Quévy, P. Noël, C. Paniconi. 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.

Turcotte, R., J.-P. Fortin, A. N. Rousseau, S. Massicotte, and 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(3-4): 225–242.

Turcotte, R., Rousseau, A. N., Fortin, J.-P., and Villeneuve, J.-P., 2003. "Development of a process-oriented, multiple-objective, hydrological calibration strategy accounting for model structure." *Advances in calibration of watershed models. Water science and application 6*, Q. Duan, S. Sorooshian, H. Gupta, A. N. Rousseau, and R. Turcotte, AGU, Washington, D.C., 153–163.

Turcotte, R., Fortin, L.G., Fortin, V., Villeneuve, J.P., 2007. Operational analysis of the spatial distribution and the temporal evolution of the snowpack water equivalent in southern Québec, Canada. *Nordic Hydrology Vol 38 No 3* pp 211–234.

Wilson, C. A. M. E., Stoesser, T., Bates, P. D., 2005. Modelling of open channel flow through vegetation (in: *Computational Fluid Dynamics: Applications in Environmental Hydraulics*). John Wiley and Sons.

Wu, F. C., Shen, H. W., Chou, Y. J., 1999. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 9, 934–942.