

*Colloque sur la restauration des bandes riveraines et
la protection de la qualité de l'eau en milieu agricole*

Fonctionnement de la bande riveraine en milieu agricole - de la théorie à la pratique

Alain N Rousseau,
M.N.M. Martinez, S.J. Gumiere, G. Hould-Gosselin,
R. Nigel, K. Chokmani, P. Lafrance

Jeudi, 1 mai, 2014

Université Laval, Québec, Québec

Centre - Eau Terre Environnement



CENTRE DE LA SCIENCE DE LA BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC
QUEBEC CENTRE FOR BIODIVERSITY SCIENCE

INRS

Université d'avant-garde

Plan de la présentation

1. Processus théoriques de fonctionnement de la bande riveraine

- **Hydraulique**
- **Atténuation des contaminants**
 - Sédiments
 - Nutriments
 - Pesticides

Plan de la présentation (*suite*)

2. Processus réels de fonctionnement de la bande riveraine

- **Bassins de la Chevrotière (Portneuf) et du Bras d'Henri (Chaudière-Appalaches)**
 - Connectivité hydrologique (*contrôle hydraulique*)
 - Connectivité sédimentologique (*contrôle topographique*)
 - Variabilité spatiale des bandes riveraines pour leur rendement d'atténuation des herbicides

Plan de la présentation (*suite*)

3. Perspectives de R&D

- **Outils géomatiques de diagnostics**
 - Construction d'une base de données géospatiales
- **Le modèle VFDM**
 - Exemple d'application
 - Travaux futurs

Processus théoriques de fonctionnement



Hydraulique^[1,2]

Efficacité d'une bande riveraine, fonction de

- *Propension à la genèse d'écoulements de surface*
- *Rugosité de surface*
- *Taux d'infiltration....*

... réduire la vitesse de l'écoulement (décélération) et le volume de ruissellement de surface (*nappe élevée & écoulement hypodermique*)

... et ainsi favoriser la déposition net des particules...sans détachement et réentraînement

[1] Gumiere, S.J., Y. Le Bissonnais, D. Raclot, and B. Cheviron. 2011. Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modelling: a review. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 3–19.

[2] Gumiere, S. J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema, P.-É. Isabelle. 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. (accepté 1/07/2013) *Canadian Water Resources Journal* doi10.1080/07011784.2013.830372.

Atténuation des contaminants – Sédiments^[1]

Flux de sédiments quittant une bande végétative gouvernée par la fonction

$$q_{s,out} = f_1(l, V, h, V_s, q_{in,s})$$

$q_{s,out}$	taux de sortie des sédiments
l	largeur de la bande végétative
V	vitesse de l'écoulement
h	hauteur de la lame de ruissellement
V_s	vitesse de dépositions des particules
$q_{in,s}$	taux d'entrée des sédiments

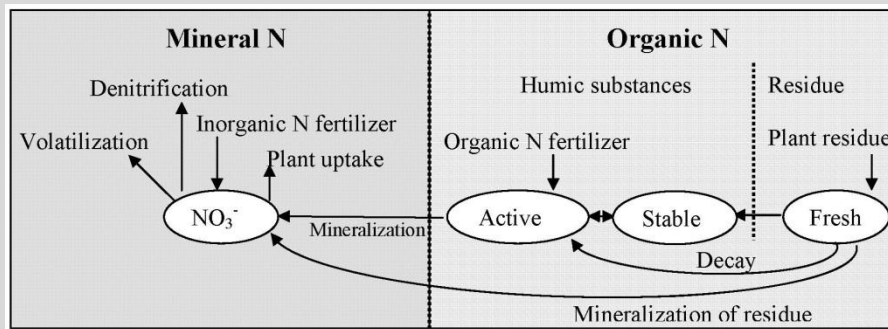
[1] Gumiere, S. J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema, P.-É. Isabelle. 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. (accepté 1/07/2013) *Canadian Water Resources Journal* doi10.1080/07011784.2013.830372.

Atténuation des contaminants - Nutriments

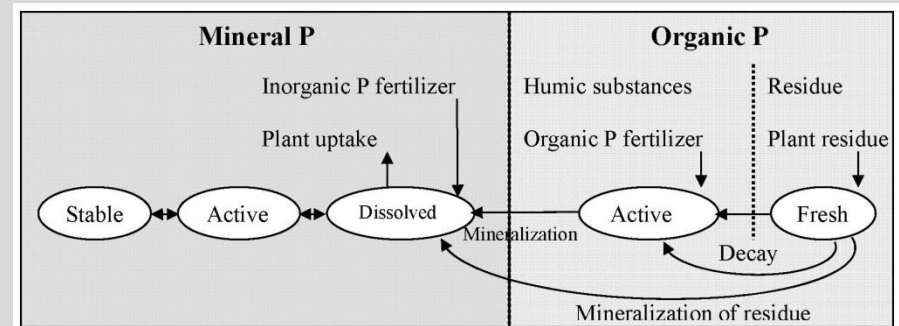
Atténuation du transfert dans le système eau/sol

- Bilan/cycle des nutriments
 - Variation du stock = $f(\text{entrées, sorties, puits \& sources})$

Flux et stocks dominants des cycles de l'azote et du phosphore



Azote



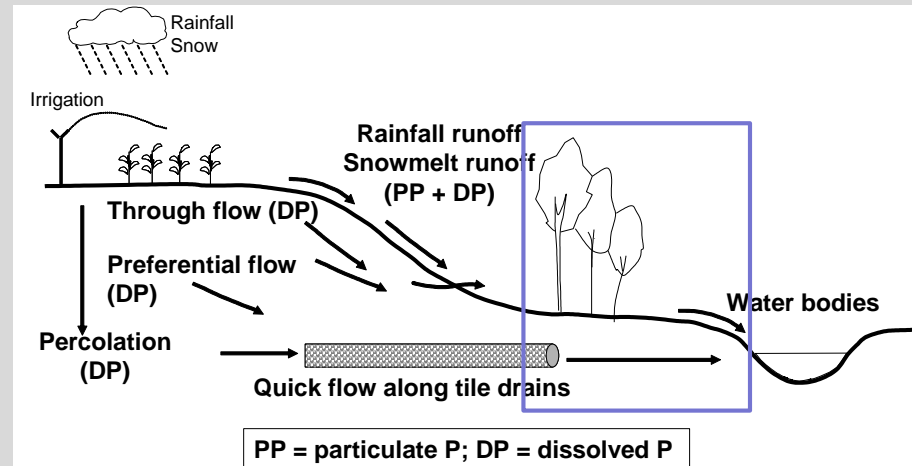
Phosphore

Atténuation des contaminants - Nutriments

Atténuation du transfert dans le système eau/sol

- **Particulaires**
 - *Briser connectivité sédimentologique*
- **Dissoutes**
 - *Briser connectivité hydrologique*
 - *Favoriser les prélèvements*
 - Par les végétaux
 - Par la récolte agroforestière

Exemple: Transport du phosphore^[1]



Variation du stock dans la bande riveraine
 $= f(\text{entrées, sorties, puits \& sources})$

[1] van Bochove, É., G. Thériault, F. Dechmi, A.N. Rousseau, R. Quilbé, M.-L. Leclerc, N. Goussard. 2006. Indicator of risk of water contamination by phosphorus from Canadian agricultural land. *Water, Science & Technology* 53(2): 303-310.

Fonctionnement réel



Cultivons l'avenir, une initiative fédérale-provinciale-territoriale



Canada

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation
Québec

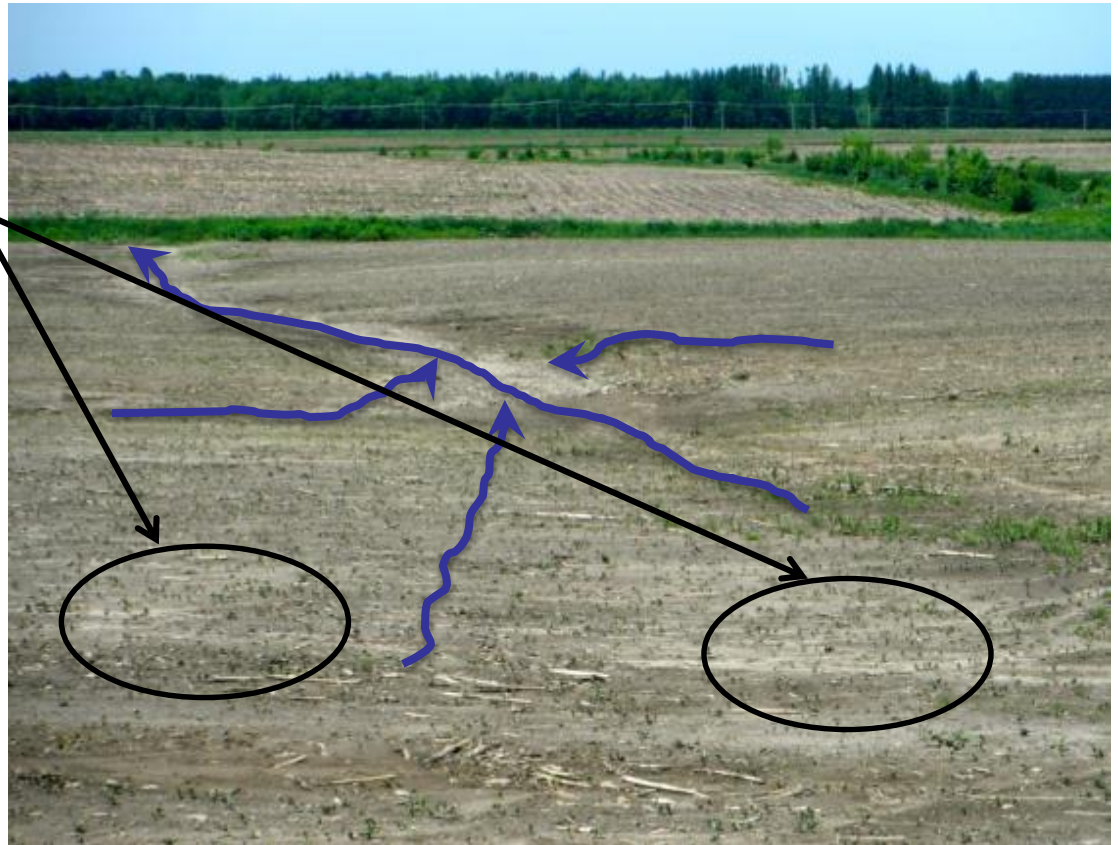


Connectivité hydrologique

Micro-bassin du Bras d'Henri

Deux (2) processus de ruissellement

- (1) Ruissellement de surface
- (2) Ruissellement concentré



Connectivité hydrologique

Micro-bassin du Bras d'Henri

Ruissellement concentré
= *Écoulement*
préférentiel, court-
circuit la bande riveraine



Connectivité hydrologique^[1]

Bassin de La Chevrotière

En surface,
ruissellement
concentré



En souterrain –
tuyau de
drainage

[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Connectivité hydrologique^[1]

Bassin de La Chevrotière



Formation
de tunnel



[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Connectivité sédimentologique^[1]

Bassin de La Chevrotière

Par du ravinement dû au ruissellement concentré....et entraînant des particules de sol depuis le replat



[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Connectivité sédimentologique^[1]

Bassin de La Chevrotière



...ou des systèmes de puisard non-fonctionnels, en surverse...

[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Connectivité sédimentologique^[1]

Bassin de La Chevrotière

*...et du
décrochement du
talus*

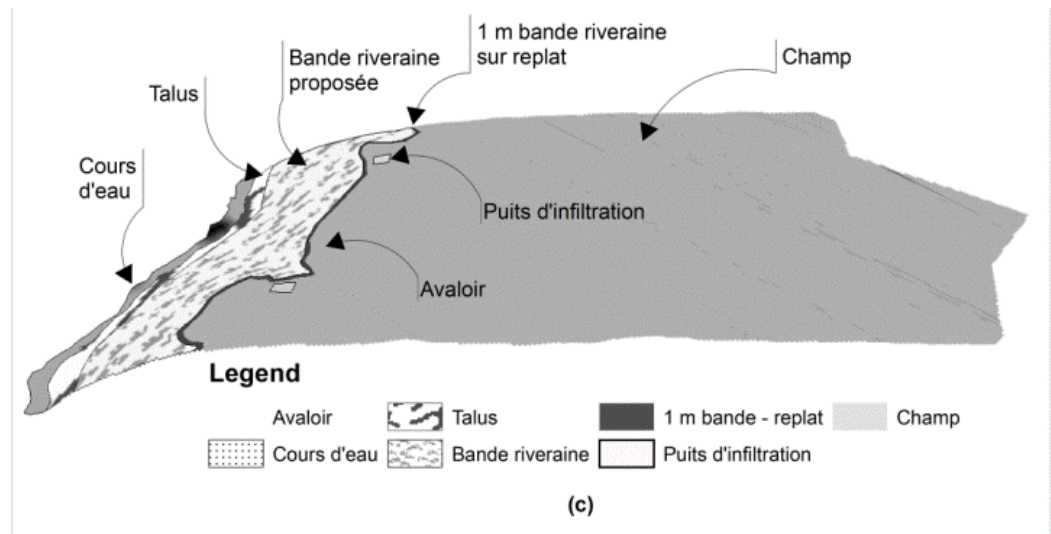


[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Perspectives de R&D

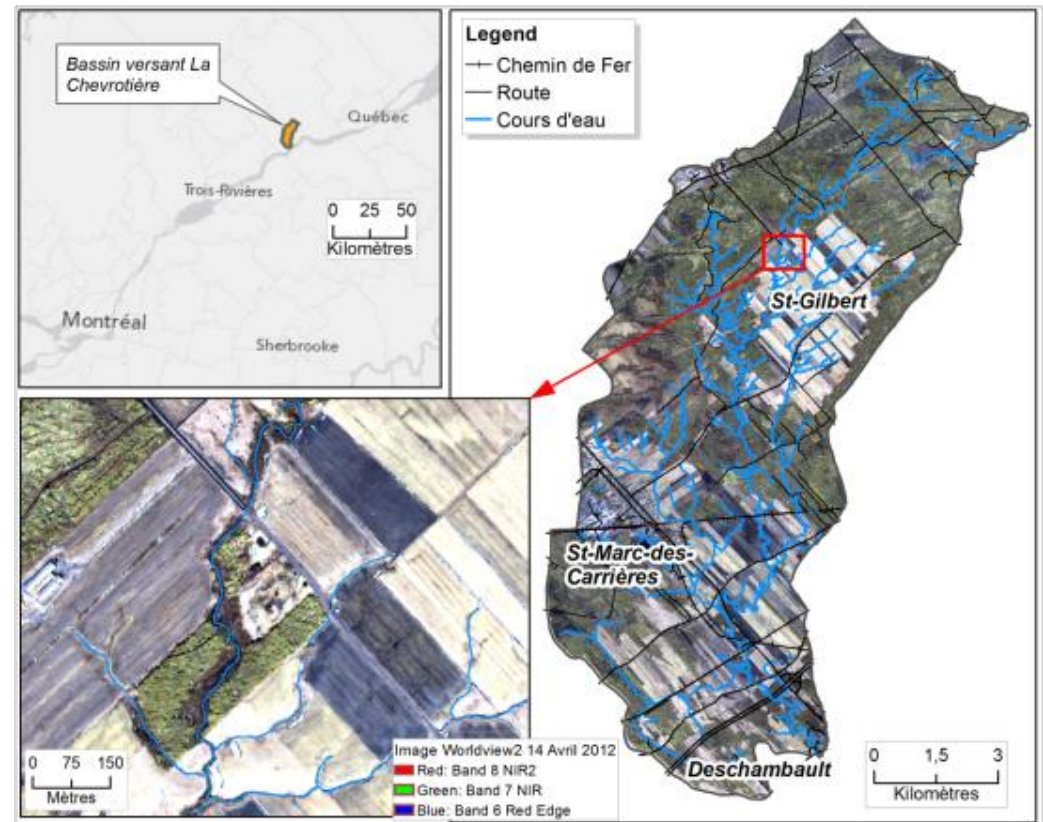


Outils géomatiques



Outils géomatiques de diagnostics [1]

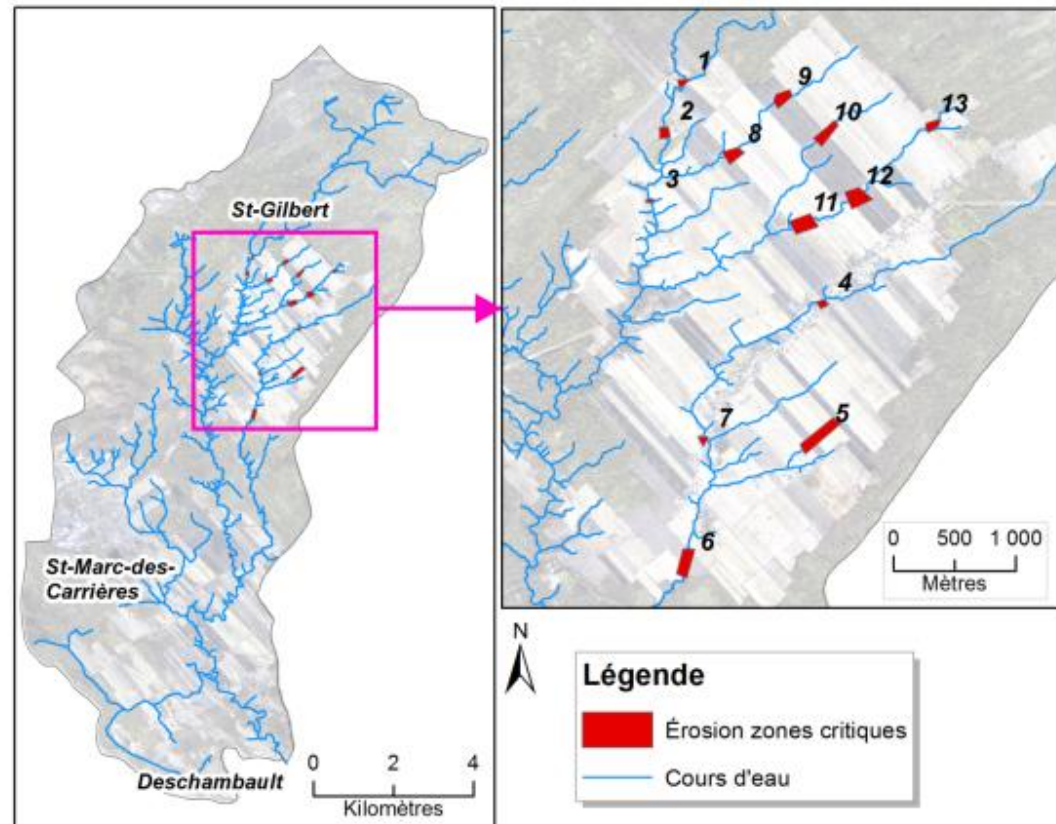
- *GPS*
- *Imagerie satellitaire à 0,5 m résolution*
- *Model Numérique de Terrain à 1,0 m résolution*



[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Outils géomatiques de diagnostics [1]

- *Relevés terrain*
- *4 jours d'avril, 2012*
- *2 zones (53 ha)*
- *328 traces d'érosion*
- *12 catégories*
- *8,206 m longueur de traces*



[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Outils géomatiques de diagnostics [1]

- *E.g Zone 1*

Obj	Sh	Id	Zone	Ero	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	Serie	s	Drainage
1	Pol	1	11	9	0,715824	13,75072	13,034896	3,530309	3,073949	Ri-e		Moderément bi
2	Pol	2	9	9	8,761941	17,560848	8,798907	11,446815	2,411399	Ri-e		Moderément bi
3	Pol	3	9	9	7,781355	21,64917	13,867815	12,908144	4,686912	Ri-e		Moderément bi
4	Pol	4	9	9	7,413142	20,095245	12,682103	12,562204	3,514836	Ri-e		Moderément bi
5	Pol	5	9	2	12,57055	20,880001	8,309451	14,171858	1,733785	Ri-e		Moderément bi
6	Pol	6	9	1	14,866527	24,358173	9,791646	15,520129	2,019719	Ri-e		Moderément bi
7	Pol	7	9	9	9,192495	29,838171	20,645676	13,865493	4,749936	Ri-e		Moderément bi
8	Pol	8	9	9	7,718313	23,955765	16,237452	13,8322	4,064578	Ri-e		Moderément bi
9	Pol	9	9	9	9,723164	28,82436	17,101196	14,368453	3,913767	Ri-e		Moderément bi
10	Pol	10	9	9	1,3159	20,485235	19,169334	10,678054	3,930387	Ri-e		Moderément bi
11	Pol	11	9	9	9,83659	35,431114	25,594524	14,435508	6,082659	Ri-e		Moderément bi
12	Pol	12	9	2	11,874957	15,011767	3,13681	13,10714	1,173242	Ri-e		Moderément bi
13	Pol	13	9	1	11,524465	14,428644	2,90418	12,57071	0,712305	Ri-e		Moderément bi
14	Pol	14	9	2	9,967075	15,811905	5,84483	12,554871	2,235679	Ri-e		Moderément bi

Legend

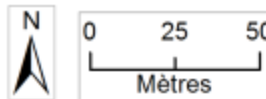
Zone d'érosion

Direction de la prise du photo

(chiffre e.g 73 = # du photo)

Traces d'érosion - Catégorie d'érosion

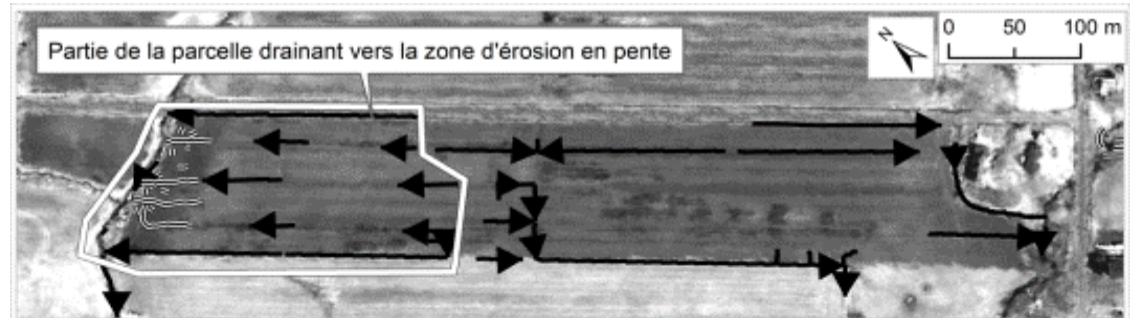
- 1 - Érosion en nappe
- 2 - Ravinement au champ
- 3 - Érosion aux confluences
- 4 - Ravinement des berges
- 5 - Érosion due au mauvais drainage des dépressions
- 6 - Érosion due à la résurgence d'écoulement hypodermique ou de nappe phréatique
- 7 - Érosion en tunnel
- 8 - Érosion due aux mauvais drainages des puisards
- 9 - Ravinement au champ connecté aux berges
- 10 - Ravinement au champ connecté aux fossés



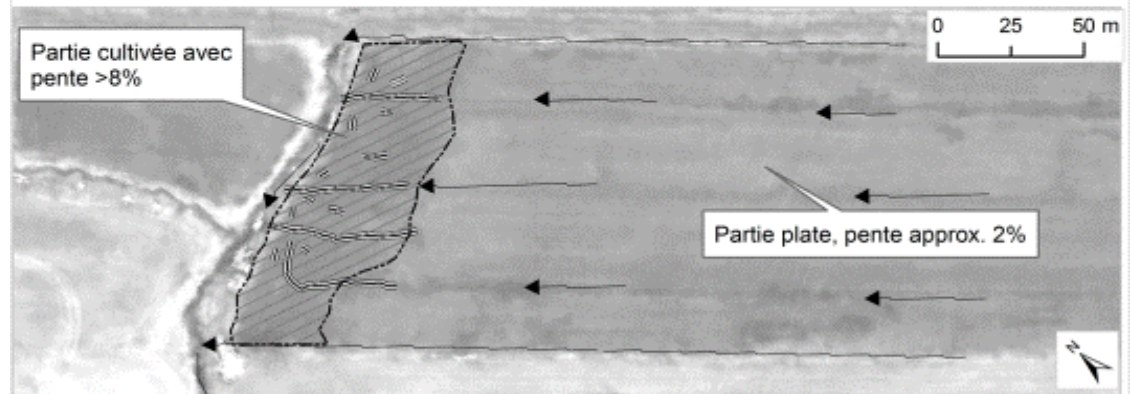
[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Outils géomatiques de diagnostics ^[1]

*Étude détaillée
de l'écoulement
par apport aux
traces d'érosion...*



(a) La parcelle agricole de la zone 12. La partie de la parcelle à gauche draine vers le site où les marques d'érosion ont été relevées dans la pente près de la berge.



(a) Une vue rapprochée de la partie de la parcelle drainant vers les pentes où les marques d'érosion ont été relevées. La partie près de la berge ayant des pentes >8%, constitue 19% de la parcelle drainant vers cette berge.

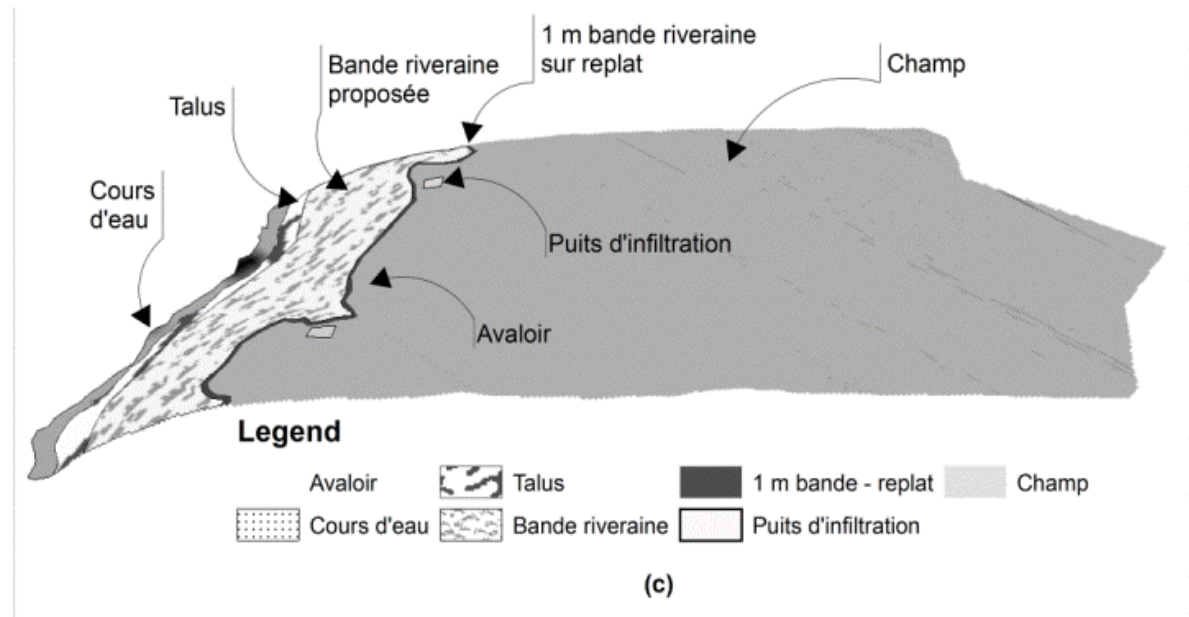
Legend

— Traces d'érosion → Direction d'écoulement d'eau

Outils géomatiques de diagnostics^[1]

...proposer des mesures de conservation, tels que des bandes de 10–60 m du talus jusqu'au replat...

Règlementation actuelle = 1 ou 3 m



[1] Nigel, R., K. Chokmani, J. Novoa, A.N. Rousseau, P. Dufour. 2013. Recommendation of riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. (accepté le 2013/07/24 au *Canadian Water Resources Journal* DOI:10.1080/07011784.2013.830815) .

Bandes riveraines 10–60 m dans des pentes >8%?

*...cela
existe
dans la
réalité...*

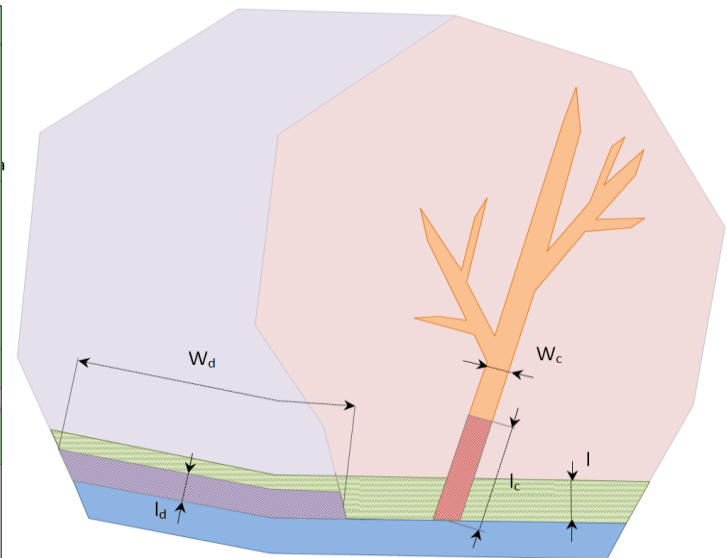
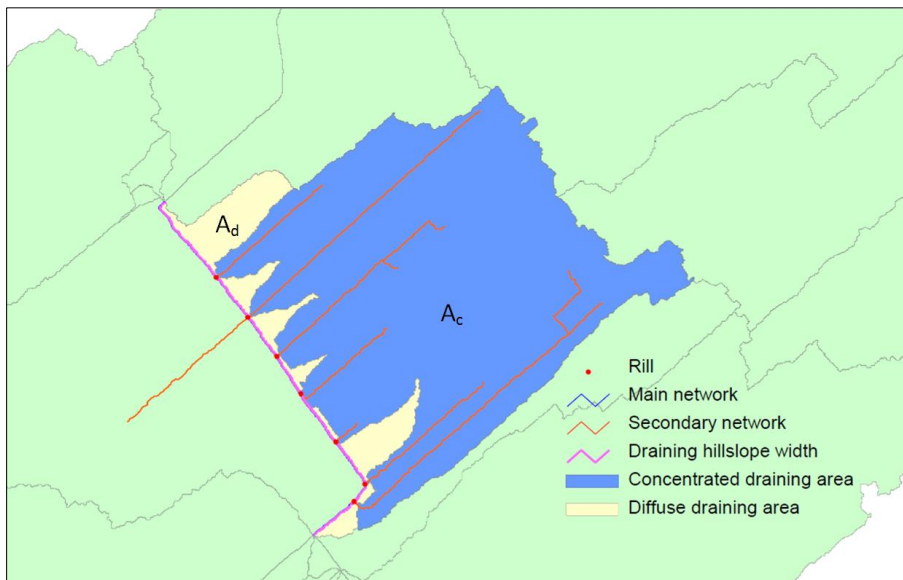


Bandes riveraines 10–60 m dans des pentes >8%?

*...oui cela
existe bel et
bien...,
Et en
harmonie
avec des
cultures sur
le replat*



Modèle VFDM



Le Modèle de Dimensionnement des Bandes de Végétation Filtrantes^[1] (VFDM)

- Intégré dans le modèle économique/hydrologique GIBSI^[2,3]
- Largeur ou efficacité calculée par versant
- Fonction de variables hydrologiques (vitesse et hauteur d'écoulement), caractéristiques physiographiques des écoulements concentrés et diffus (pente, nombre de rigoles, rugosité), occupation du sol, diamètre moyen et densité moyenne des sédiments, densité de végétation

[1]Gumiere, S. J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema, P.-É. Isabelle (2013). Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. (accepté 1/07/2013) *Canadian Water Resources Journal* doi10.1080/07011784.2013.830372

[2] Quilbé, R., A.N. Rousseau. 2007. GIBSI : An integrated modelling system for watershed management - Sample applications and current developments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11:1785-1795.

[3]Rousseau, A.N., S. Savary, D.W. Hallema, S.J. Gumiere, E. Foulon. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada) *Canadian Water Resources Journal*, 38(2): 99-120.

Étude de cas: **micro-bassin du Bras d'Henri**

Paramètres physiographiques de VFDM

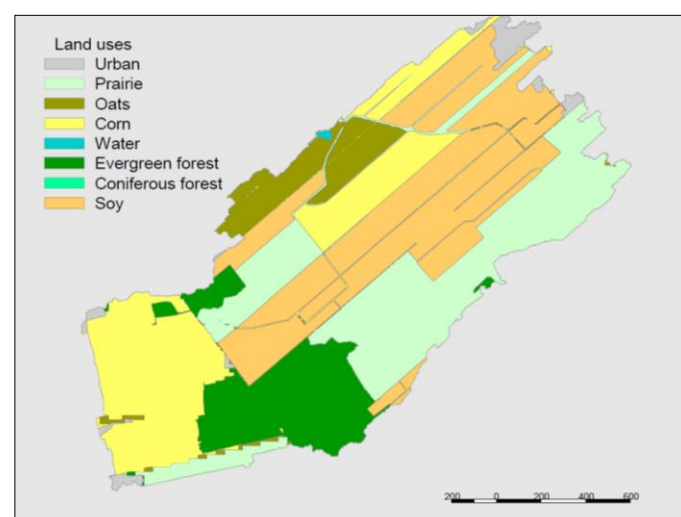
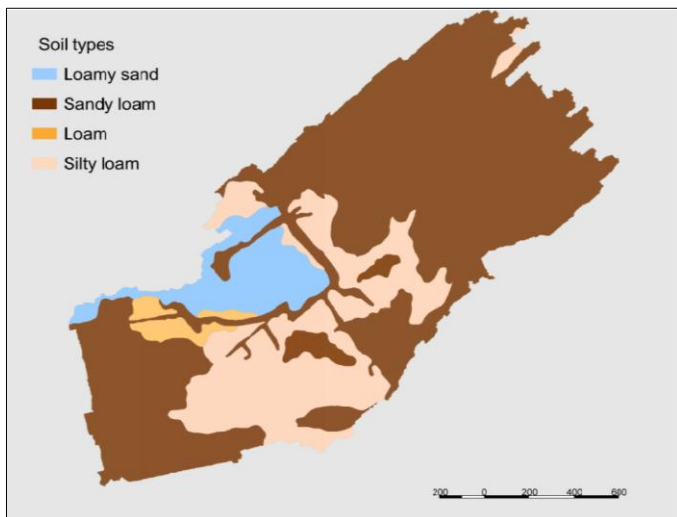
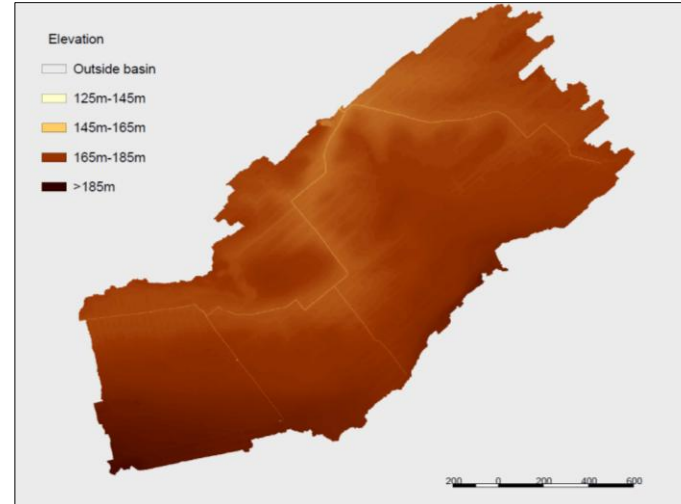
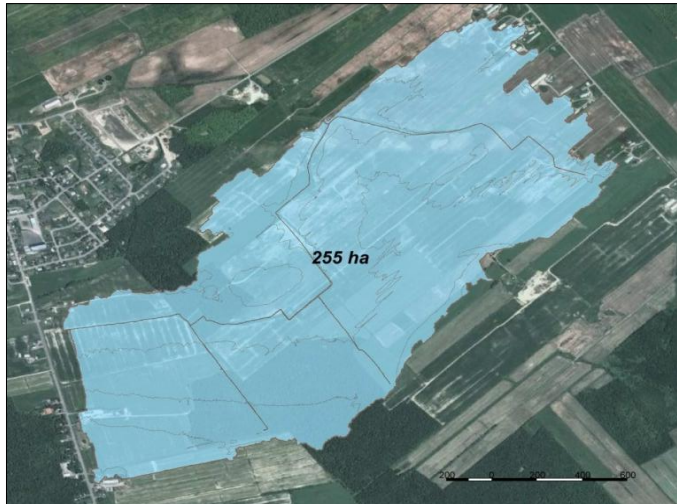
- Produits par PHYSITEL^[1,2]

Variables hydrologiques de VFDM

- Produits par HYDROTEL^[3] (GIBSI)

-
- [1] Rousseau, A. N., Fortin, J. P., Turcotte, R., Royer, A., Savary, S., Quévy, F., Paniconi, C. (2011). Physitel, a specialized GIS for supporting the implementation of distributed hydrological models. *Official Magazine of the Canadian water Resources Association*, 18-20.
- [2] Noël, P., Rousseau, A. N., Paniconi, C., & Nadeau, D. F. (2013). An Algorithm for Delineating and Extracting Hillslopes and Hillslope Width Functions from Gridded Elevation Data. *Journal of Hydrologic Engineering*, doi: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000783.
- [3] Fortin, J. P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., & Villeneuve, J. P. (2001). Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. I: Description of model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(2), 91-99. doi: Doi 10.1061/(Asce)1084-0699(2001)6:2(91)

Étude de cas: micro-bassin du Bras d'Henri



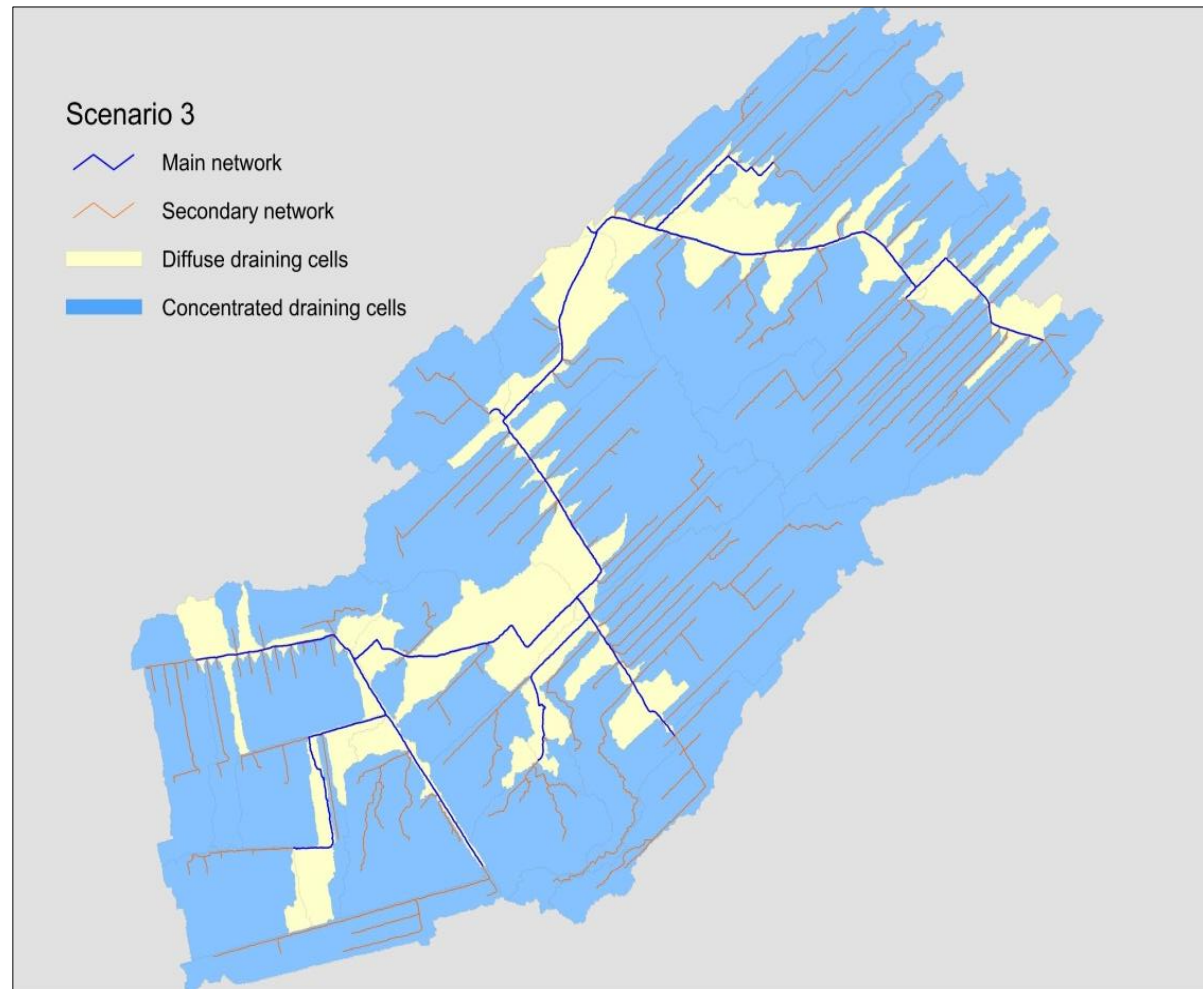
Étude de cas: micro-bassin du Bras d'Henri

• PHYSITEL

- Seuil primaire, 6,5 ha
- Seuil secondaire, 0,5 ha
- 17 tronçons
- 43 versants
- 99 rigoles
- 2,3 rigoles/versant
- Max 11 rigoles/versant
- 81,4% drainé par EC
- 18,6% drainé par ED

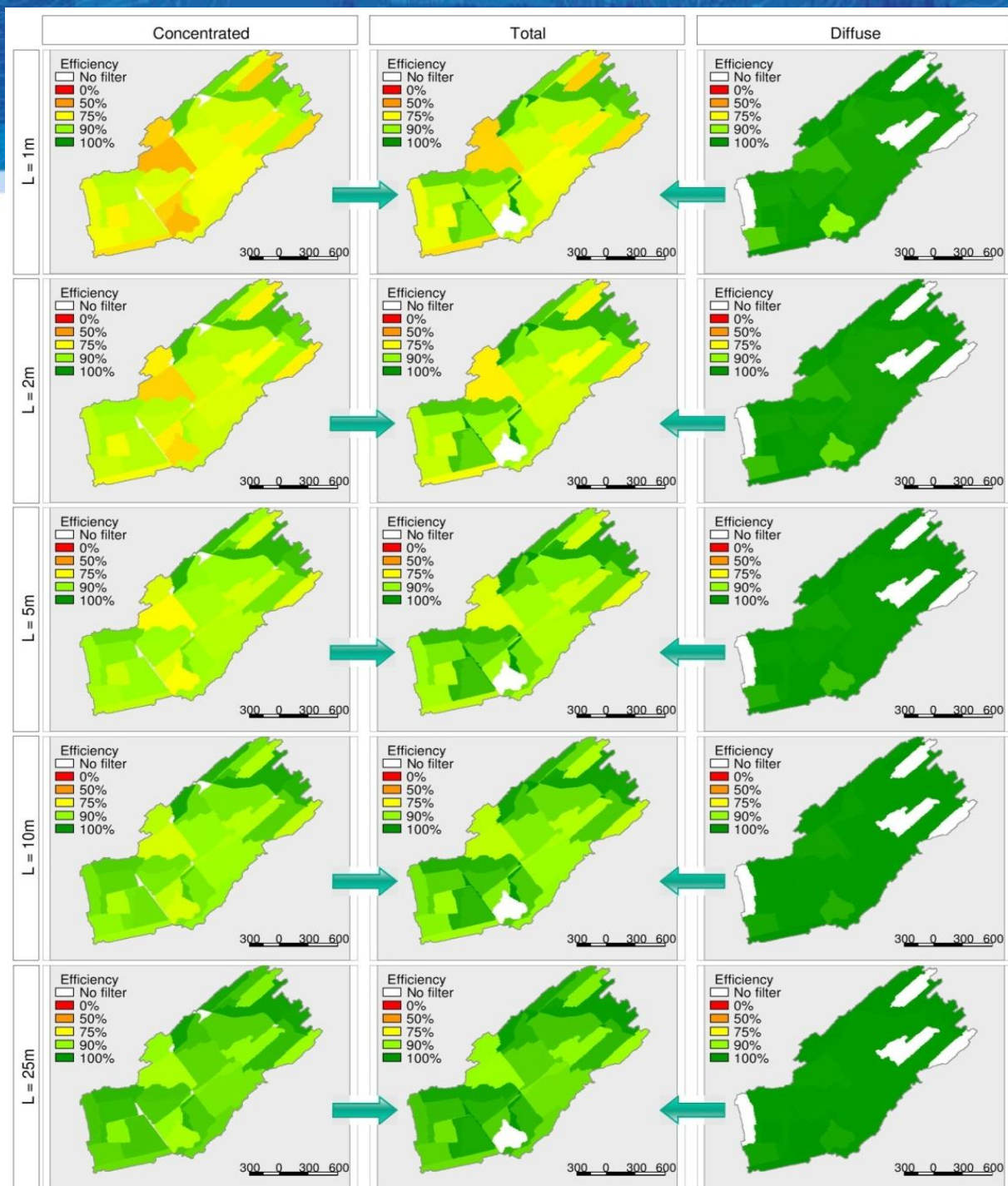
• HYDROTEL

- 24 hres
- 2005-2012 (-2010/11)
- $0,60 < NS < 0,88$



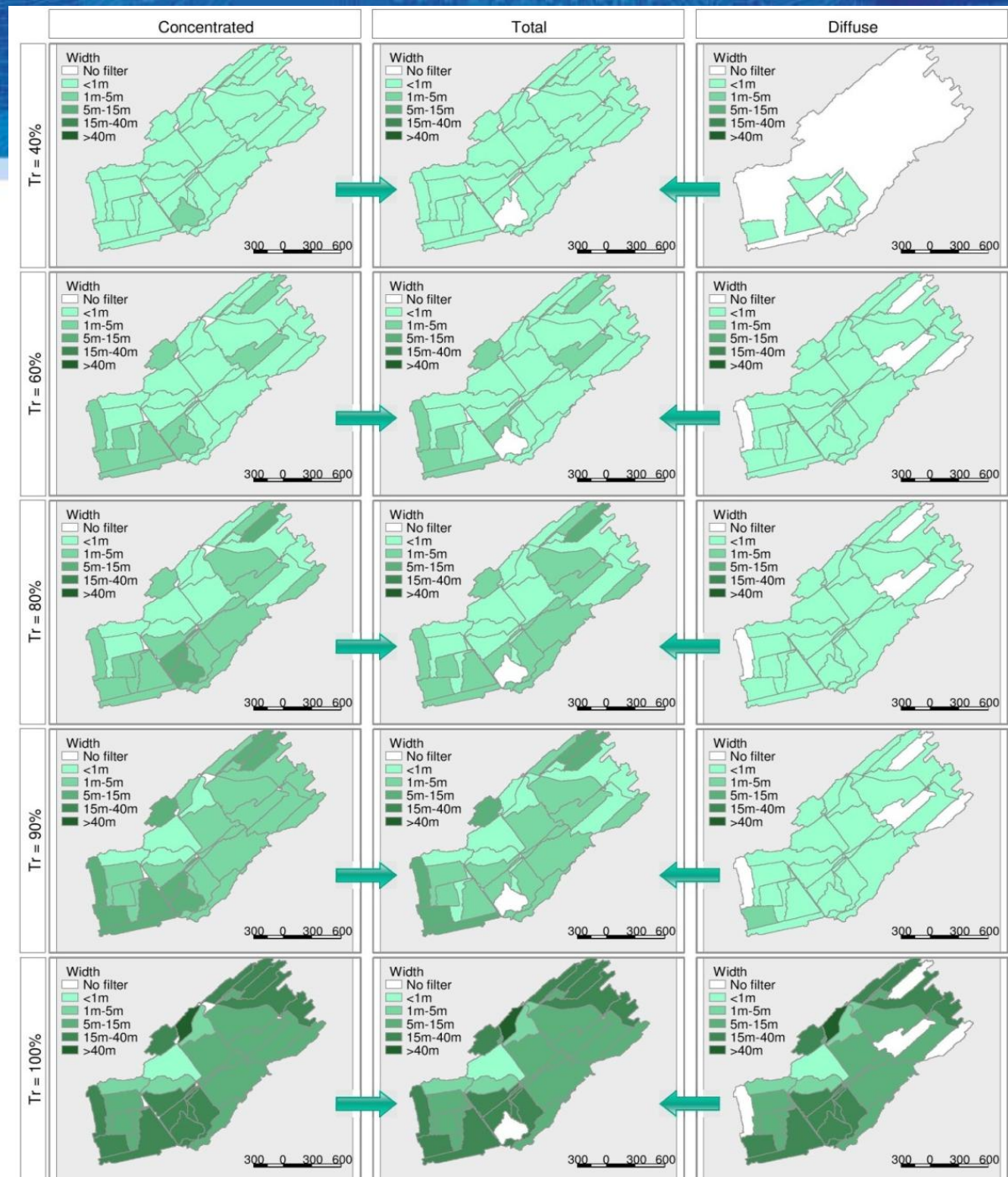
Étude de cas

- Efficacité moyenne en fonction de différentes largeurs de bandes et type d'écoulement (2005/10-2012/09)



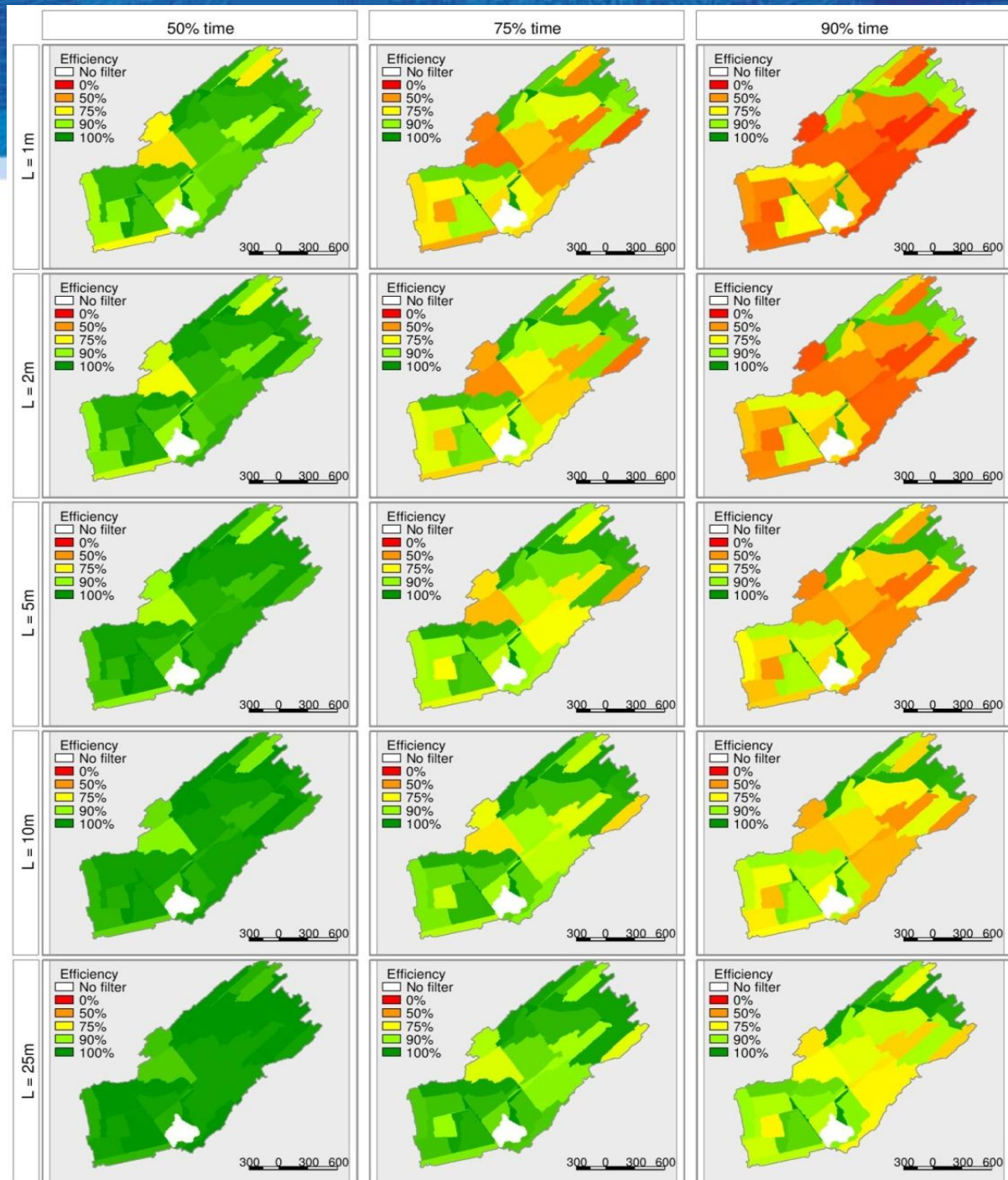
Étude de cas

- Largeur moyenne en fonction de différentes efficacités de bandes et type d'écoulement (2005/10-2012/09)



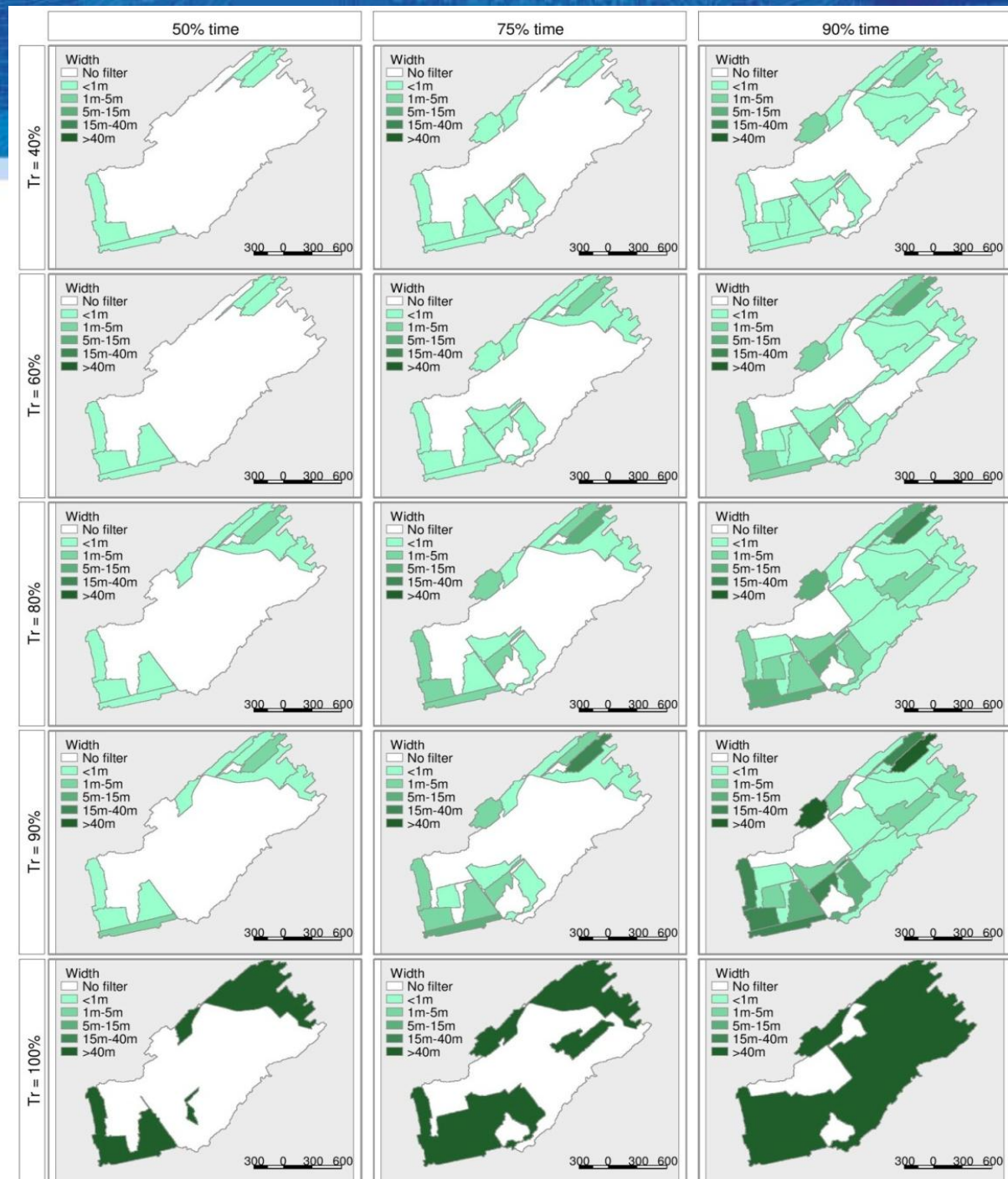
Étude de cas

- Efficacité moyenne en fonction de différentes largeurs de bandes et pourcentage du temps (2005/10-2012/09)



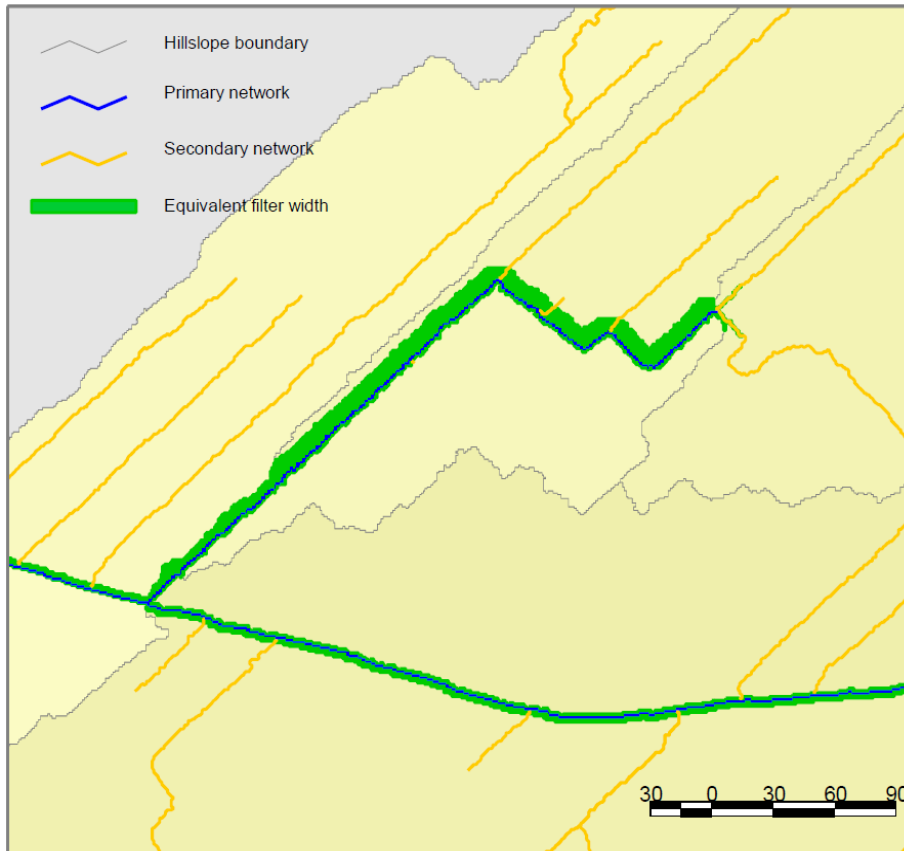
Étude de cas

- Largeur moyenne en fonction de différentes efficacité de bandes et pourcentage du temps (2005/10-2012/09)

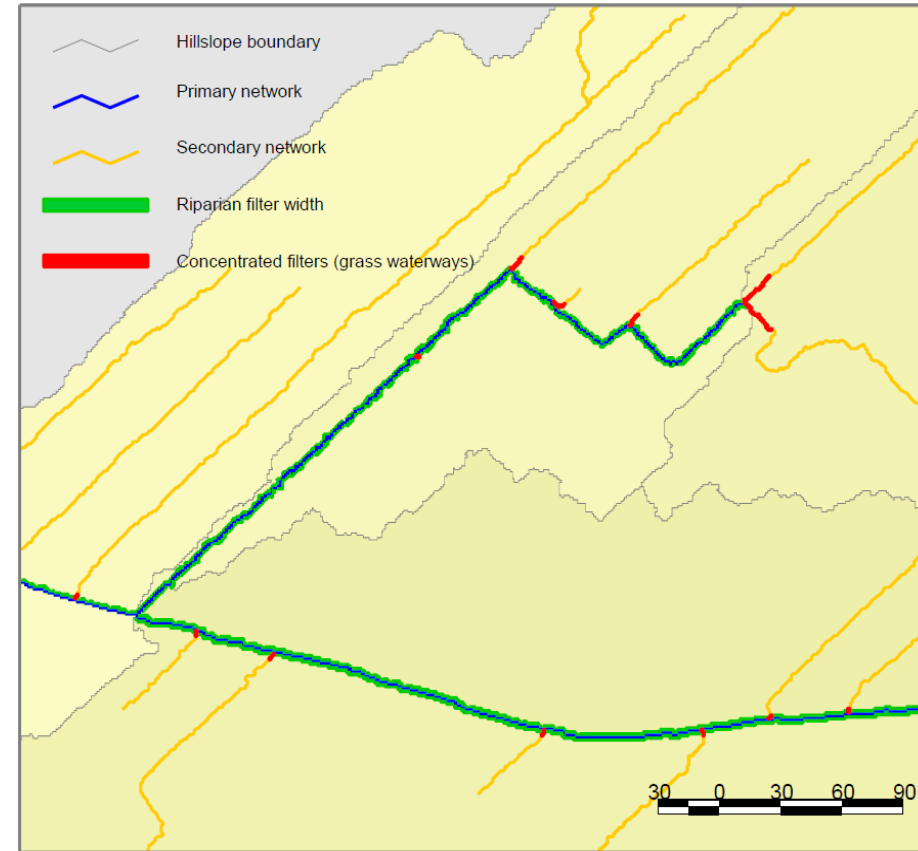


Approche afin de réduire les pertes de superficie

- Bandes équivalentes



- + voies engazonnées



Le modèle VFDM^[1]

- **Analyse de sensibilité**
 - Paramètres physiographiques, hydrologiques, sédimentologiques et densité de végétation
- **Validation *in situ***
 - Suivi dans le bassin de la Chevrotière et le micro-bassin du Bras d'Henri
 - Établir les connectivités sédimentologique et hydrologique (*détermination du nombre de chemins préférentiels dans la bande riveraine*) à l'aide de relevés terrain et de la télédétection

Collaborateurs

- **Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)**
 - Éric van ochove
 - Georges Thériault
 - Marie-Josée Simard
- **IRDA**
 - Aubert Michaud
 - Isabelle Beaudin
- **INRS-ETE**
 - Julio Novoa
- **CAPSA**
 - Philippe Dufour
 - Stéphane Blouin

Programmes

- **CRSNG-DI**
- **MAPAQ & AAC (Cultivons l'avenir – *Growing forward*)**
 - Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire (PSIA)
 - EPBH : Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (*WEBs – Watershed evaluation of beneficial management practices*)



Atténuation des contaminants – Pesticides^[1]

Transfert de phase et atténuation de la vitesse de transport et des masses dans le système eau/sol

- Volatilisation (aéroportés : problème déplacé...).
- Infiltration verticale avec adsorption et dégradation (*processus de photolyse, hydrolyse, oxydation, biodégradation*) dans le sol et dans la bande (dans le chevelu racinaire).

Prise en charge ou non par les sédiments érodés

- Fonction de la solubilité du pesticide et du fractionnement granulométrique par sédimentation des particules dans la bande
 - Abattement des concentrations dissoutes lors de l'infiltration
 - Pour les argiles fines riches en C.O. et peu retenues par des bandes peu profondes : pertes de composés adsorbés à travers la bande.

[1] Lacas JG, Voltz M, Gouy V, Carluer N, Gril JJ. (2005). Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agron. Sustain. Develop.* 25:253–266

Atténuation des contaminants – Pesticides^[1,2]

Pluviométrie et répartition des écoulements

- 85% à 95% des masses de pesticides exportées par ruissellement durant toute la saison lors des trois (3) premières pluies suivant leur application
- Les importances relatives du ruissellement et de l'infiltration, donc le rendement d'atténuation dans le sol cultivé et dans la bande, déterminées par la pluviométrie (durée-intensité)

Variabilité, complexité, interdépendance des processus, impact de divers facteurs environnementaux

- Conception des profondeurs de bandes souvent empirique
 - Tenir compte des fortes pluies parfois négligées et à l'origine de pertes de pesticides très importantes

[1] Lacas JG, Voltz M, Gouy V, Carluier N, Gril JJ. (2005). Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agron. Sustain. Develop.* **25**:253–266

[2] Lafrance P, Banton O. et Bernard F Inc. (1993-96). *Évaluation environnementale des pratiques culturales sur maïs pour la réduction des pertes d'herbicides*. Six rapports d'étape INRS-Eau, no 390. Rapport final en cinq volumes (919 p.)

Atténuation des pesticides

Contexte de l'étude [*Lafrance et Simard, 2012*]

Micro-bassin du Bras d'Henri

- Étude de quatre (4) ans sur l'efficacité de bandes riveraines végétales à atténuer les pertes d'herbicides par ruissellement
- Deux types de **bandes naturelles ou anthropisées** (aménagées)
- Suivi DURANT les 3 premières pluies après l'application d'herbicides (pertes très importantes)



Atténuation des pesticides

Conclusion [Lafrance et Simard, 2012]

Micro-bassin du Bras d'Henri

- **Bandes naturelles enherbées**, très hétérogènes et souvent étroites: très vulnérables aux pluies importantes et offrant un rendement très faible ou nul lors de pluies importantes
- **Bandes anthropisées** (revégétalisées sur talus et berge) avec un dense couvert: un bon rendement
- **Variabilité spatiale du rendement intra-bande** : selon densité du couvert végétal et écoulements préférentiels sub-surface