INRS
Université d'avant-garde

Évaluation in situ de l'effet de bandes riveraines sur les flux de contaminants agricoles:

Cas d'un petit sous-bassin de la rivière Bras d'Henri

Claudie Ratté-Fortin, INRS-ETE
Alain N. Rousseau, INRS-ETE
Georges Thériault, Agriculture et Agroalimentaire Canada

1er mai 2014

Centre - Eau Terre Environnement

Agriculture et Agroalimentaire Canada
Agriculture and Agri-Food Canada
Canada

INRS
Université d'avant-garde

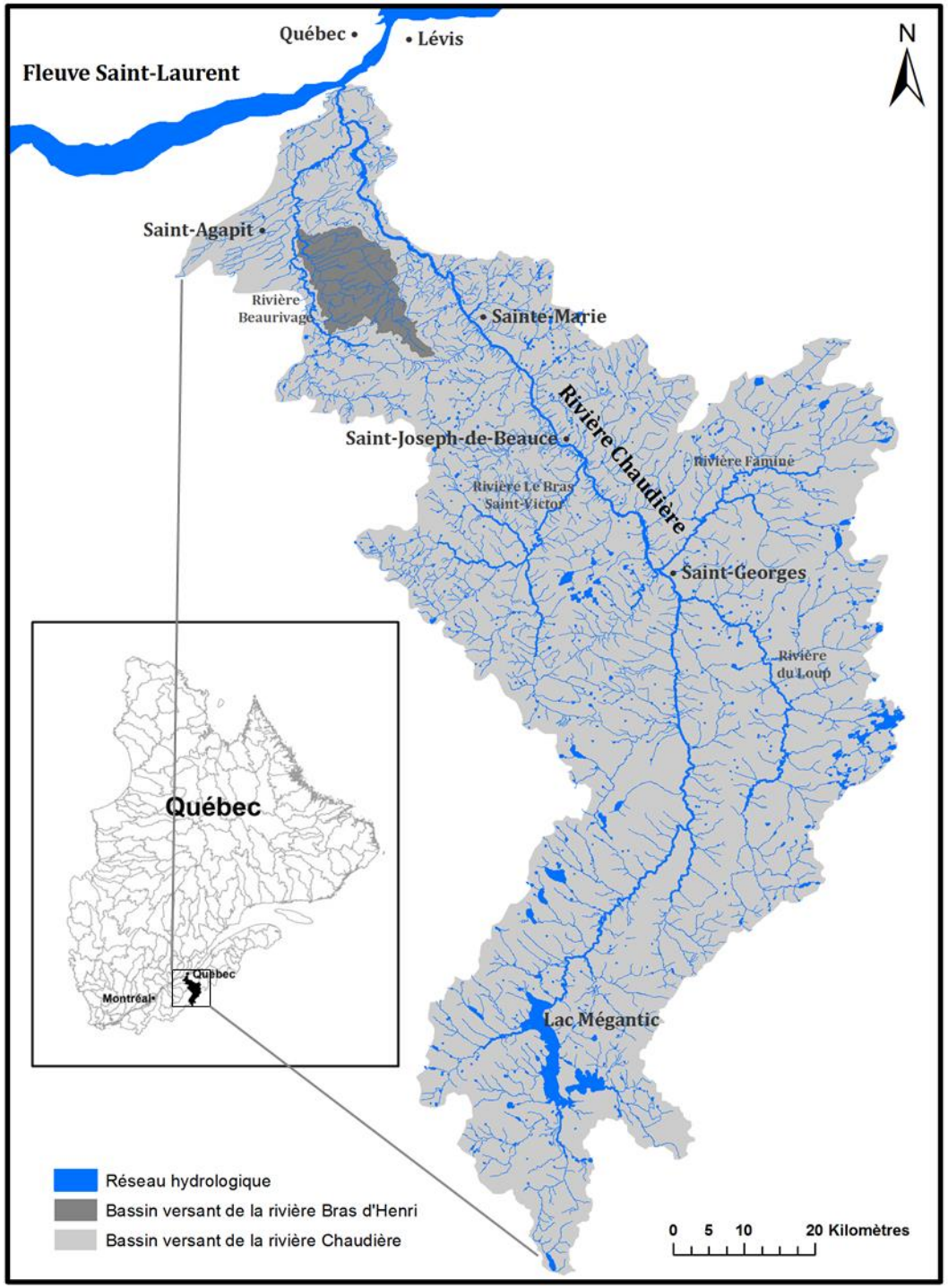
Projet d'Évaluation des Pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle de Bassins Hydrographiques

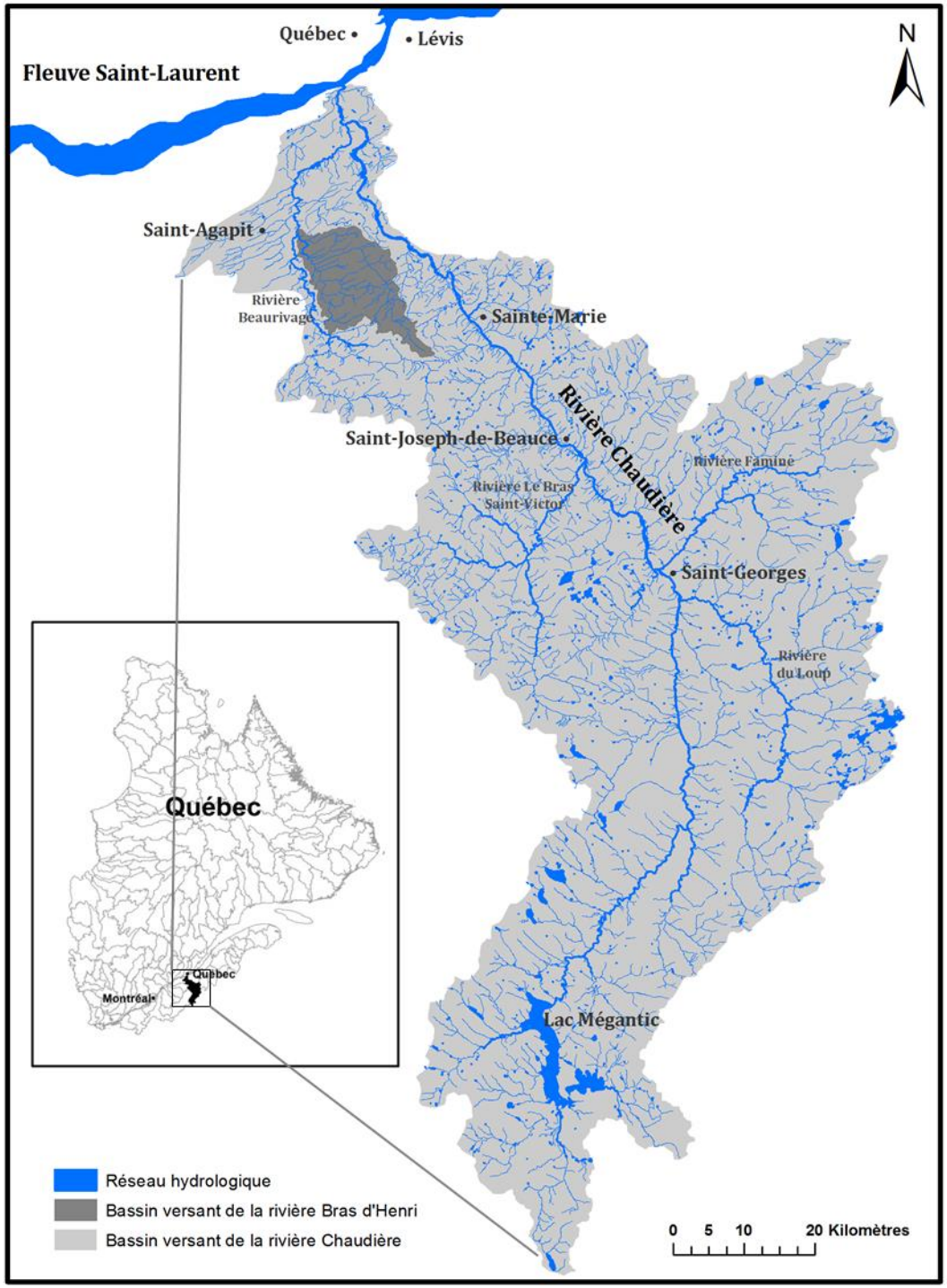
Objectif

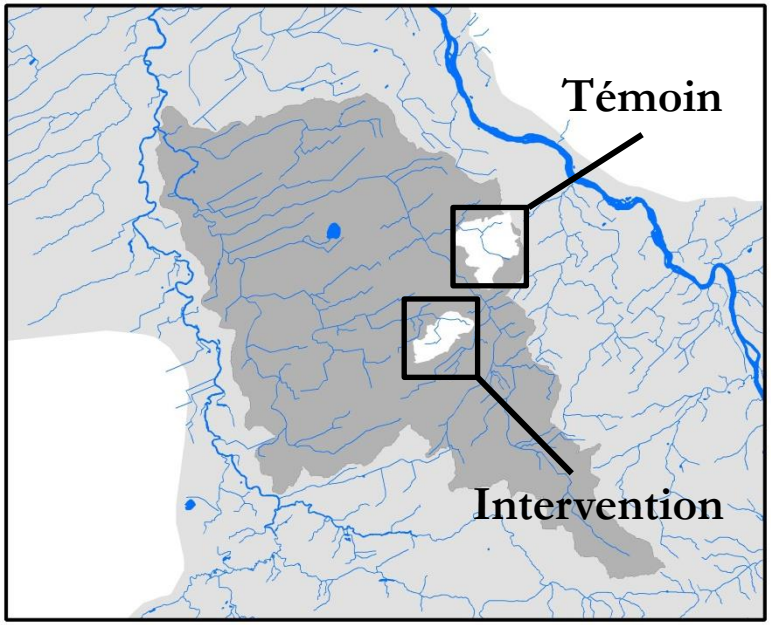
Mesurer l'impact économique et environnemental de pratiques de gestion bénéfiques (PGB) à l'échelle de petits bassins versants.

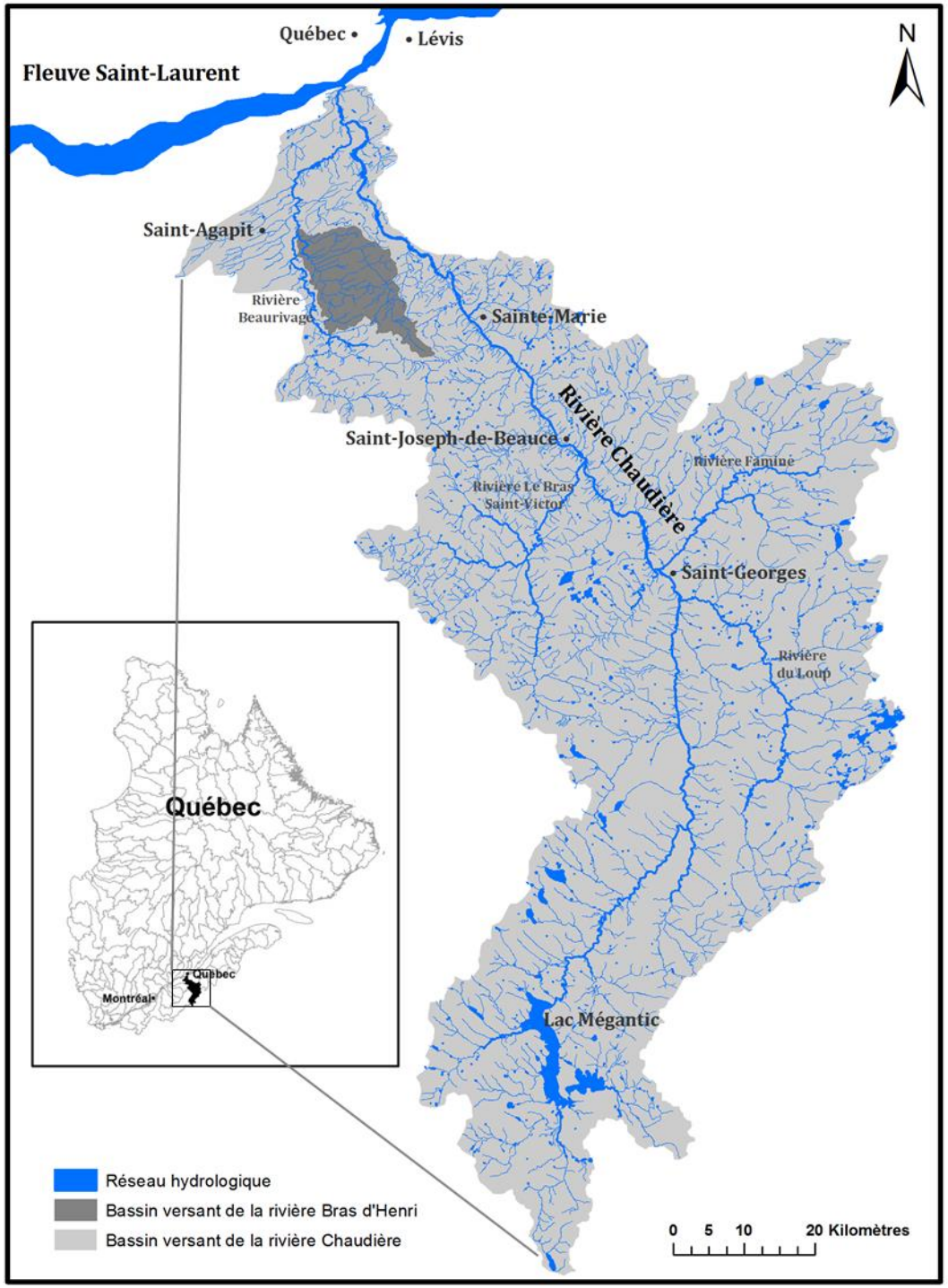
- Évaluation biophysique
- Évaluation économique
- Modélisation hydrologique

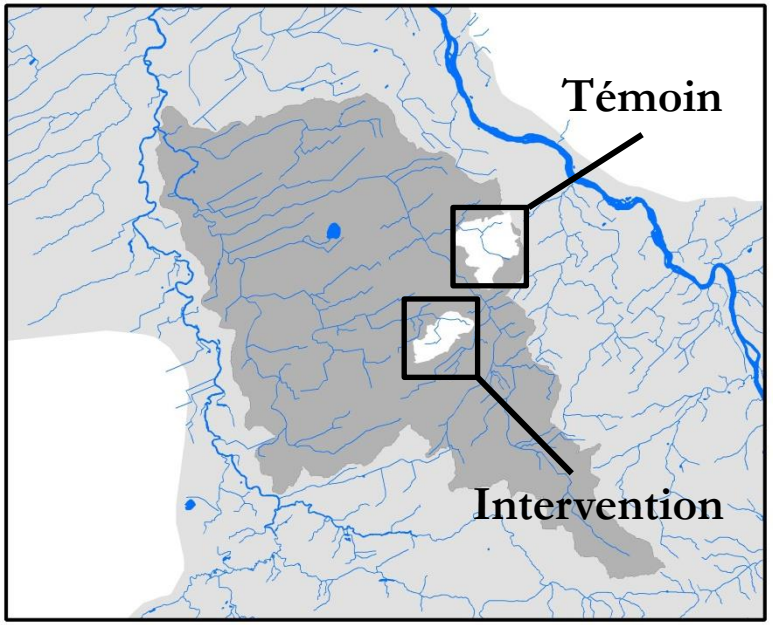
Données fournies par Agriculture et Agroalimentaire Canada

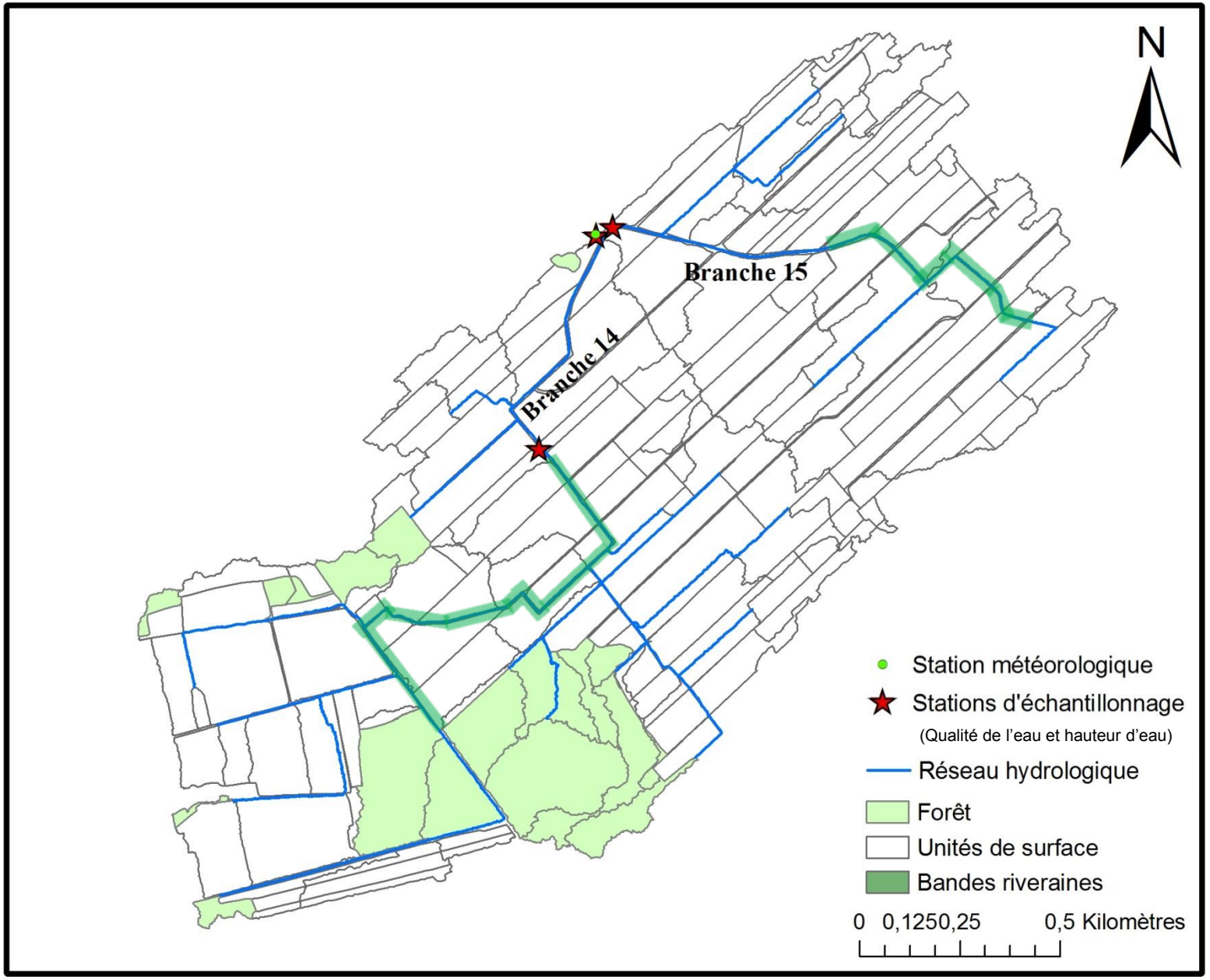

Québec
Lévis
Fleuve Saint-Laurent
N
Saint-Agapit
Rivière Beaurivage
Sainte-Marie
Rivière Chaudière
Saint-Joseph-de-Beauce
Rivière Famine
Rivière Le Bras Saint-Victor
Saint-Georges
Rivière du Loup
Québec
Québec
Montréal
Lac Mégantic
Réseau hydrologique
Bassin versant de la rivière Bras d'Henri
Bassin versant de la rivière Chaudière
0 5 10 20 Kilomètres


Québec
Lévis
Fleuve Saint-Laurent
N
Saint-Agapit
Rivière Beaurivage
Sainte-Marie
Rivière Chaudière
Saint-Joseph-de-Beauce
Rivière Famine
Rivière Le Bras Saint-Victor
Saint-Georges
Rivière du Loup
Québec
Québec
Montréal
Lac Mégantic
Réseau hydrologique
Bassin versant de la rivière Bras d'Henri
Bassin versant de la rivière Chaudière
0 5 10 20 Kilomètres


Témoin
Intervention


Québec
Lévis
Fleuve Saint-Laurent
N
Saint-Agapit
Rivière Beaurivage
Sainte-Marie
Rivière Chaudière
Saint-Joseph-de-Beauce
Rivière Famine
Rivière Le Bras Saint-Victor
Saint-Georges
Rivière du Loup
Québec
Québec
Montréal
Lac Mégantic
Réseau hydrologique
Bassin versant de la rivière Bras d'Henri
Bassin versant de la rivière Chaudière
0 5 10 20 Kilomètres


Témoin
Intervention


N
Branche 15
Branche 14
Station météorologique
Stations d'échantillonnage
(Qualité de l'eau et hauteur d'eau)
Réseau hydrologique
Forêt
Unités de surface
Bandes riveraines
0 0,1250,25 0,5 Kilomètres

Bandes riveraines

	Longueur (m)	Largeur (m)
→Arbustives et arborescentes	3480	3
→Herbacées	3204	3

Bandes riveraines

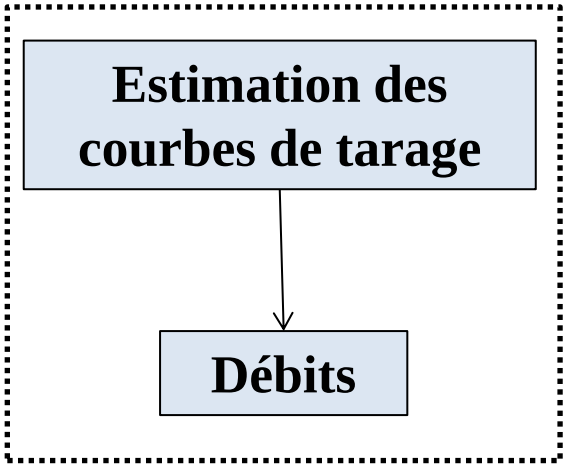
	Longueur (m)	Largeur (m)
→Arbustives et arborescentes	3480	3
→Herbacées	3204	3

Objectifs du mémoire

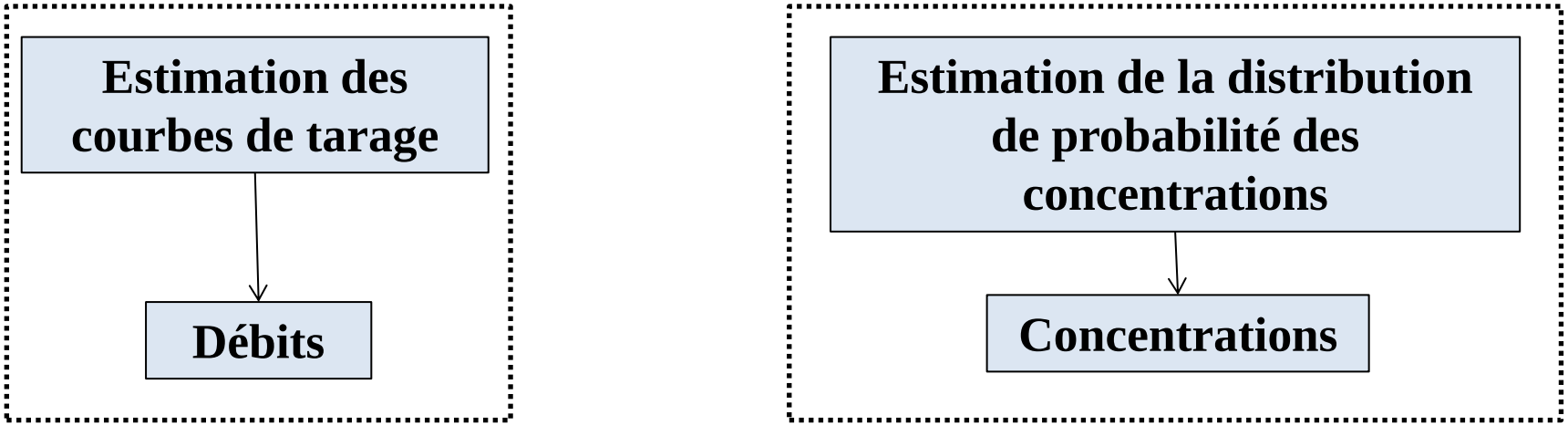
1) **Développer une méthode d'évaluation de l'efficacité des bandes riveraines sur la base de données *in situ*.**

2) **Évaluer l'efficacité des bandes riveraines implantées sur le micro-bassin de la rivière Bras d'Henri.**

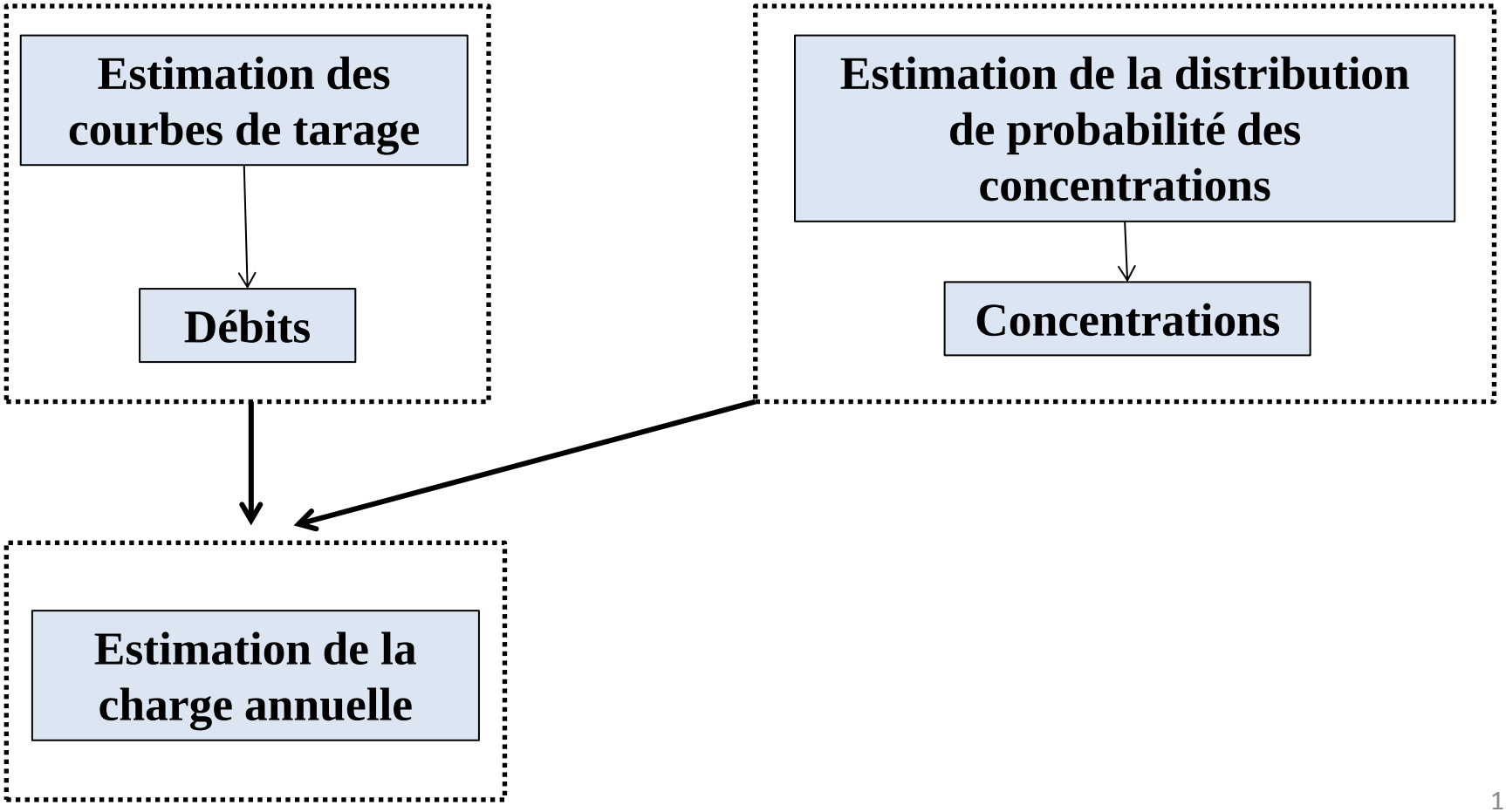
Étapes méthodologiques



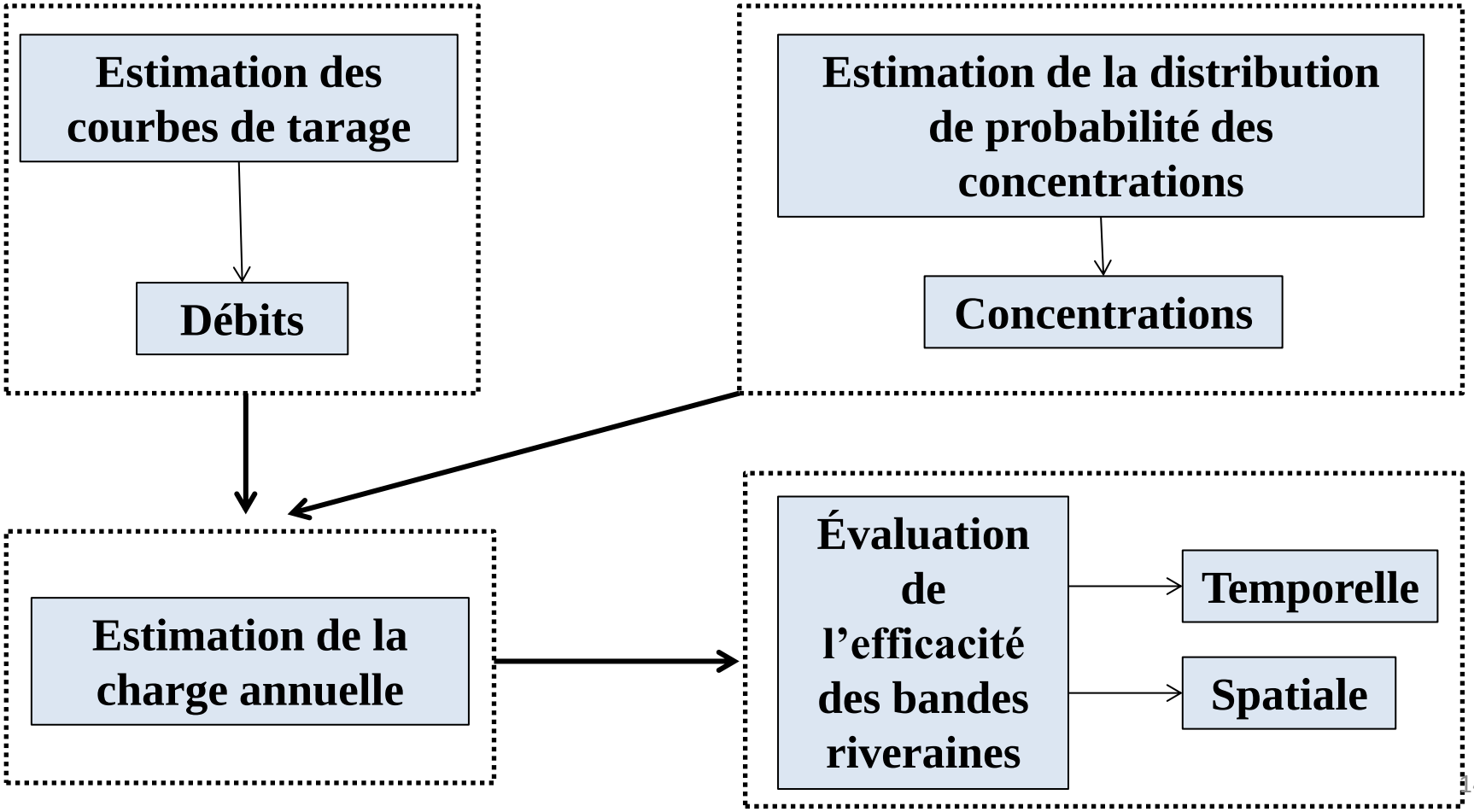
Étapes méthodologiques



Étapes méthodologiques



Étapes méthodologiques



1. Estimation des courbes de tarage

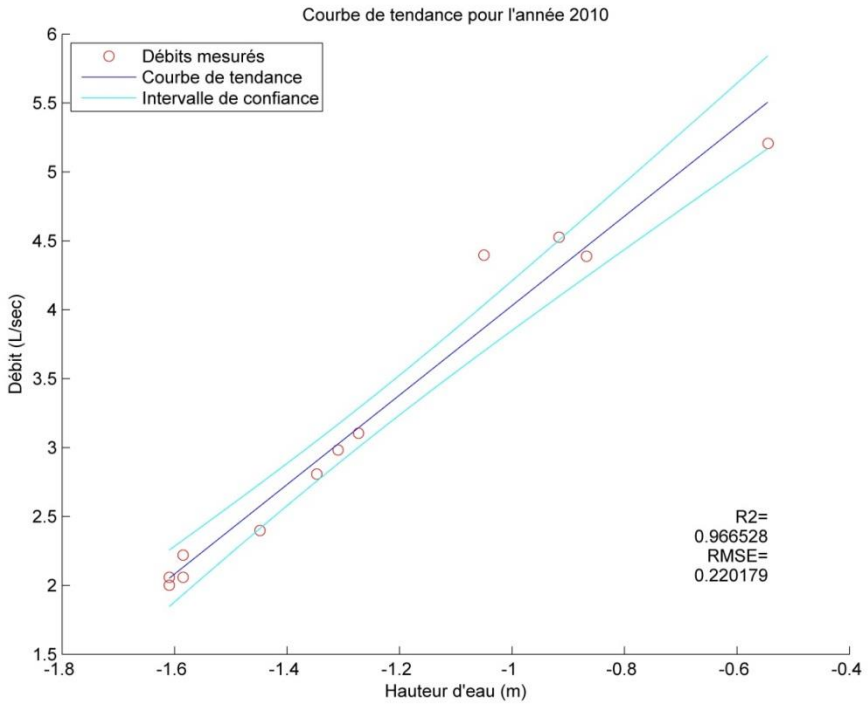
a) Régression:

$$ln(Q) = \beta_0 + \beta_1 ln(h)$$

h: Hauteur d'eau (m)

Q: Débit (L/s)

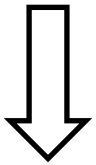
β_0, β_1: Paramètres de régression



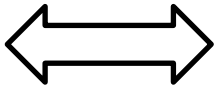
1. Estimation des courbes de tarage

b) Validation des courbes de tarage:

Évapotranspiration réelle (*ETR*) ≅ Précipitation (*P*) – Écoulement (*E*)



ETR
E
E/P



Valeurs de référence

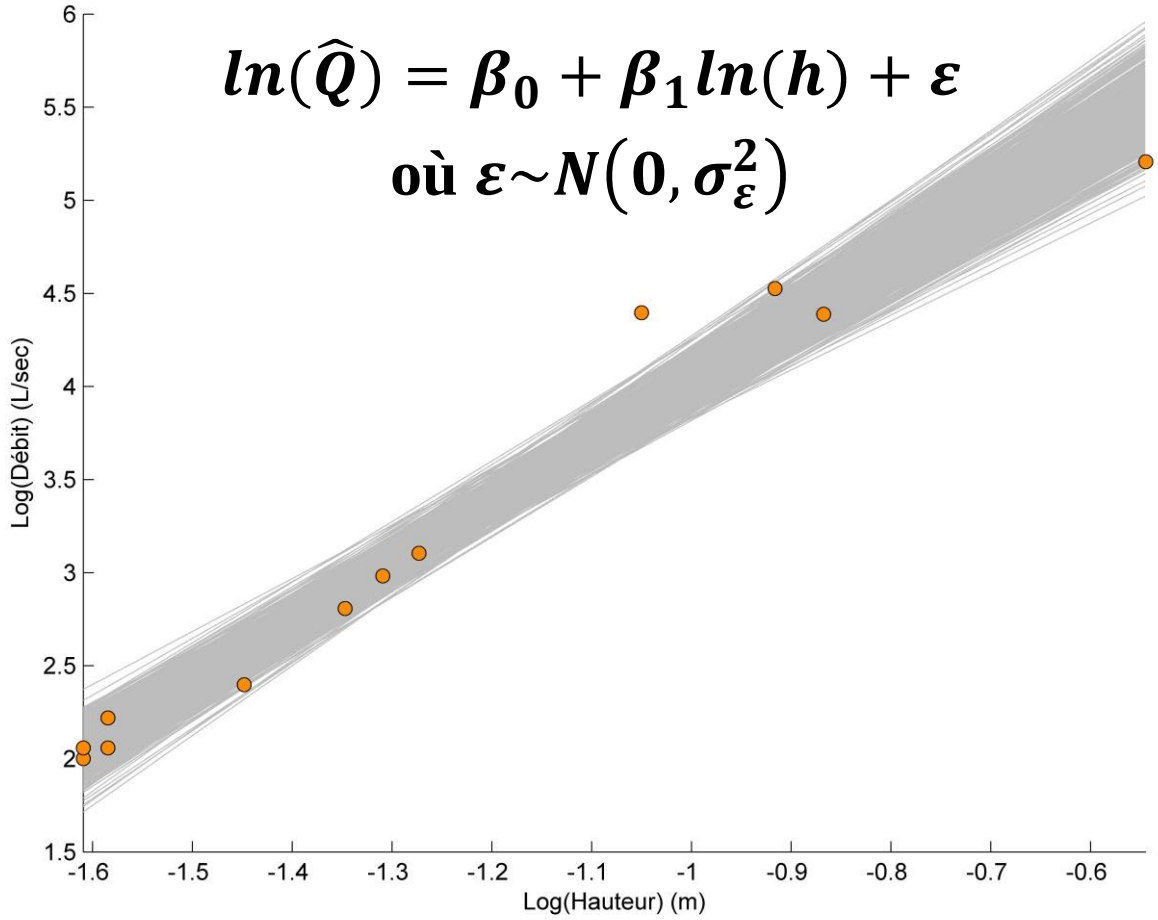
Atlas hydroclimatique du Québec méridional
Atlas hydroclimatique du Québec
etc…

1. Estimation des courbes de tarage

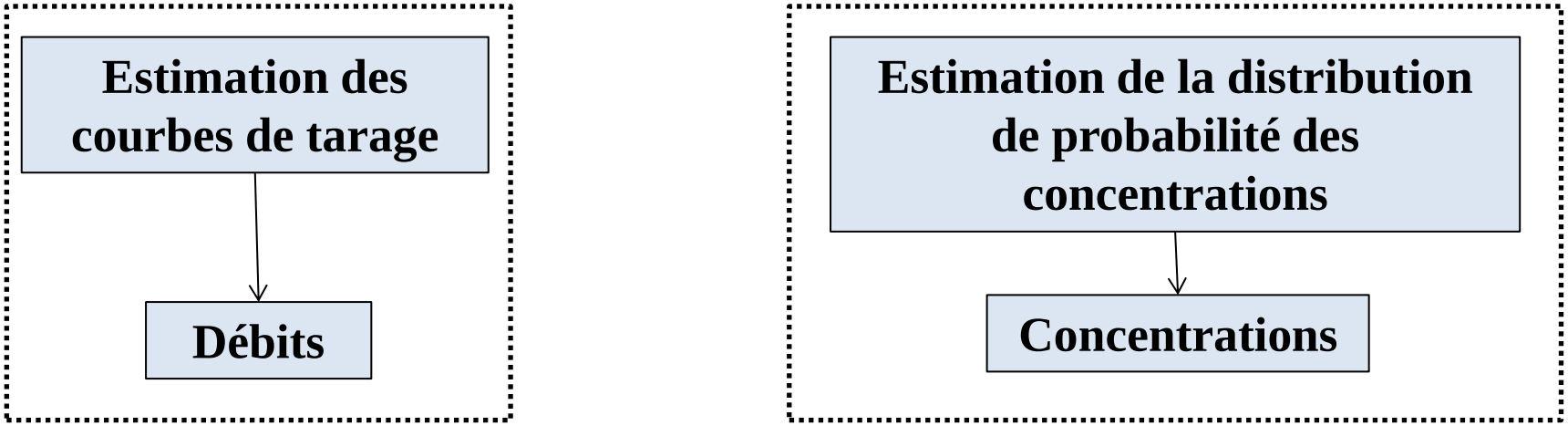
c) Incertitude associée à l'estimation des débits:

$$ln(\widehat{Q}) = \beta_0 + \beta_1 ln(h) + \varepsilon$$

où $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$



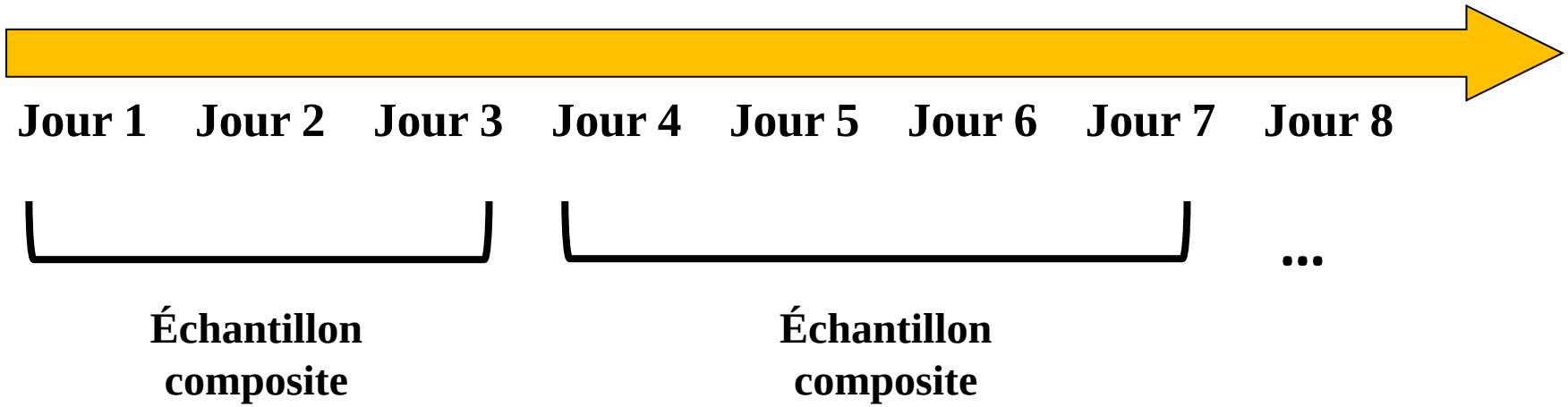
Étapes méthodologiques



Estimation de la distribution de probabilité des concentrations

Données de qualité de l'eau

- 2005 à 2012
- +/- avril à novembre
- N-total, P-total, SES, NO2, NO3, NH4, P-particulaire, P-dissous.



Estimation de la distribution de probabilité des concentrations

Méthode: Mailhot et al. (2008)

Distribution

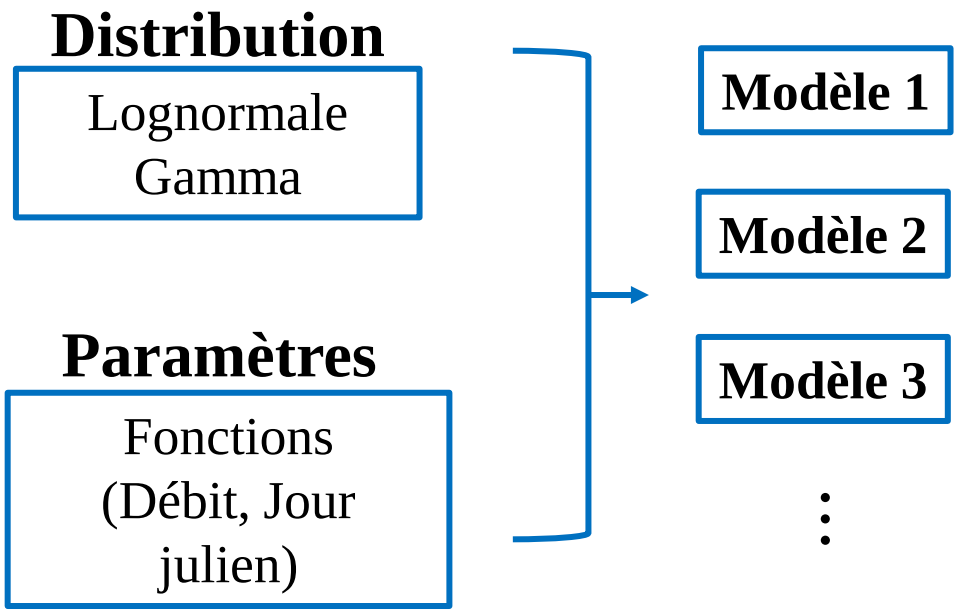
Lognormale
Gamma

Paramètres

Fonctions (Débit, Jour julien)

Estimation de la distribution de probabilité des concentrations

Méthode: Mailhot et al. (2008)



Estimation de la distribution de probabilité des concentrations

Méthode: Mailhot et al. (2008)

Distribution

Lognormale
Gamma

Paramètres

Fonctions (Débit, Jour julien)

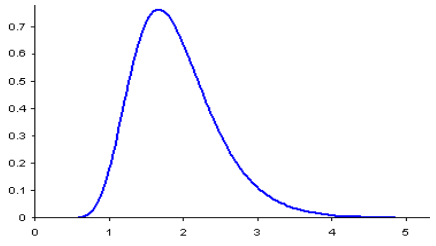
Modèle 1

Modèle 2

Modèle 3

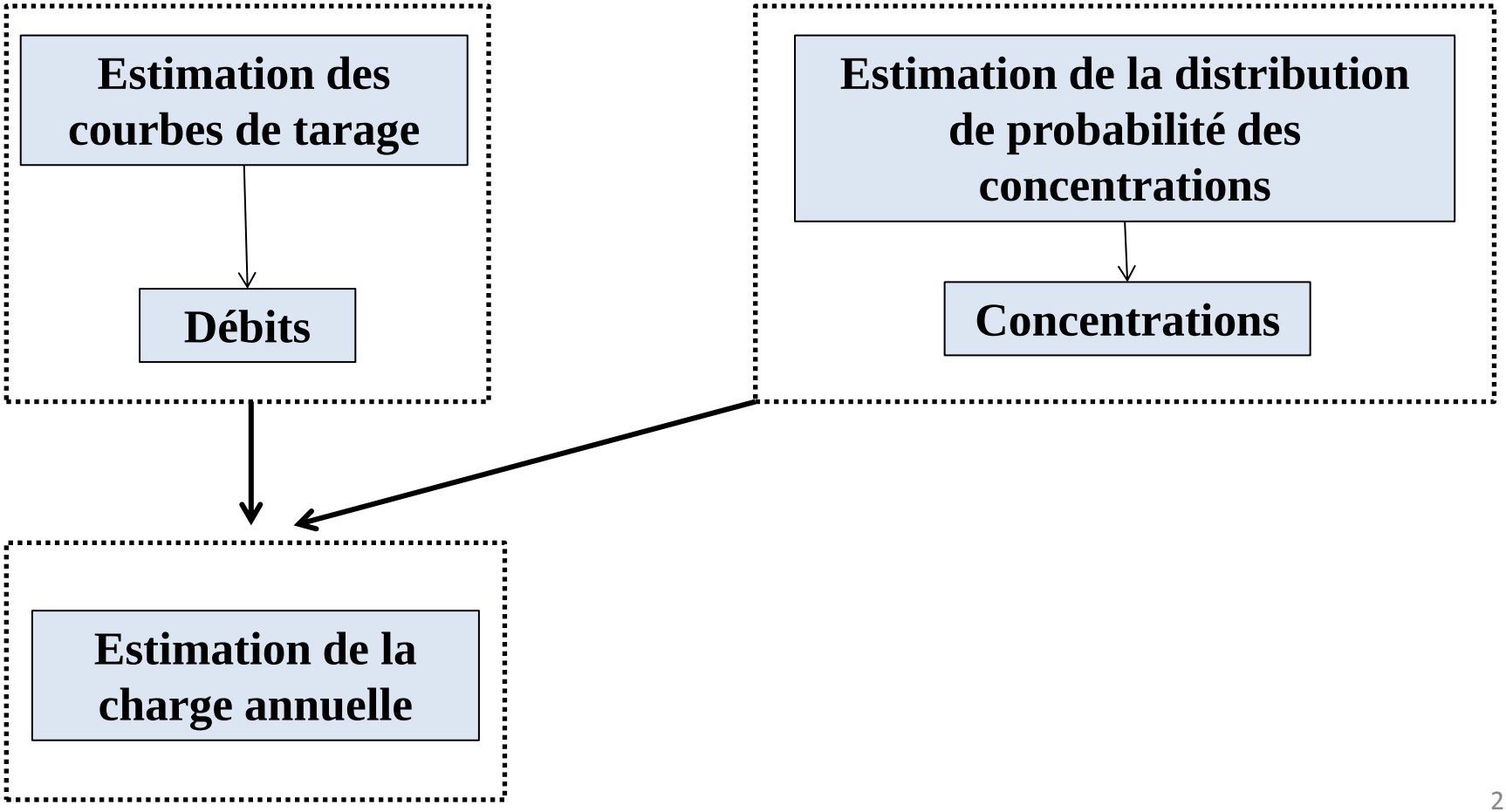
⋮

Modèle retenu

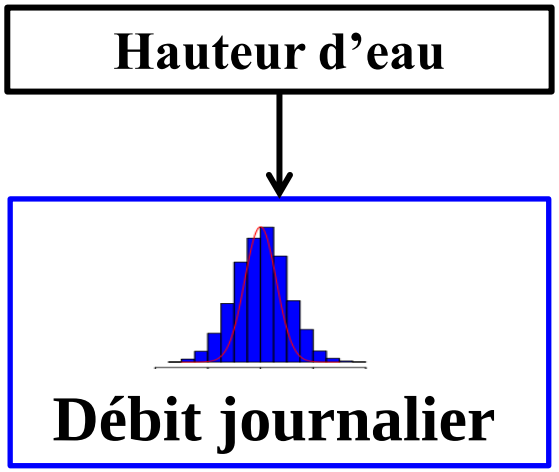


Distribution de probabilité des concentrations

Étapes méthodologiques

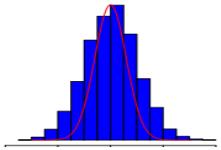


Estimation de la charge annuelle



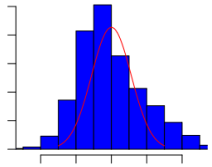
Estimation de la charge annuelle

Hauteur d'eau



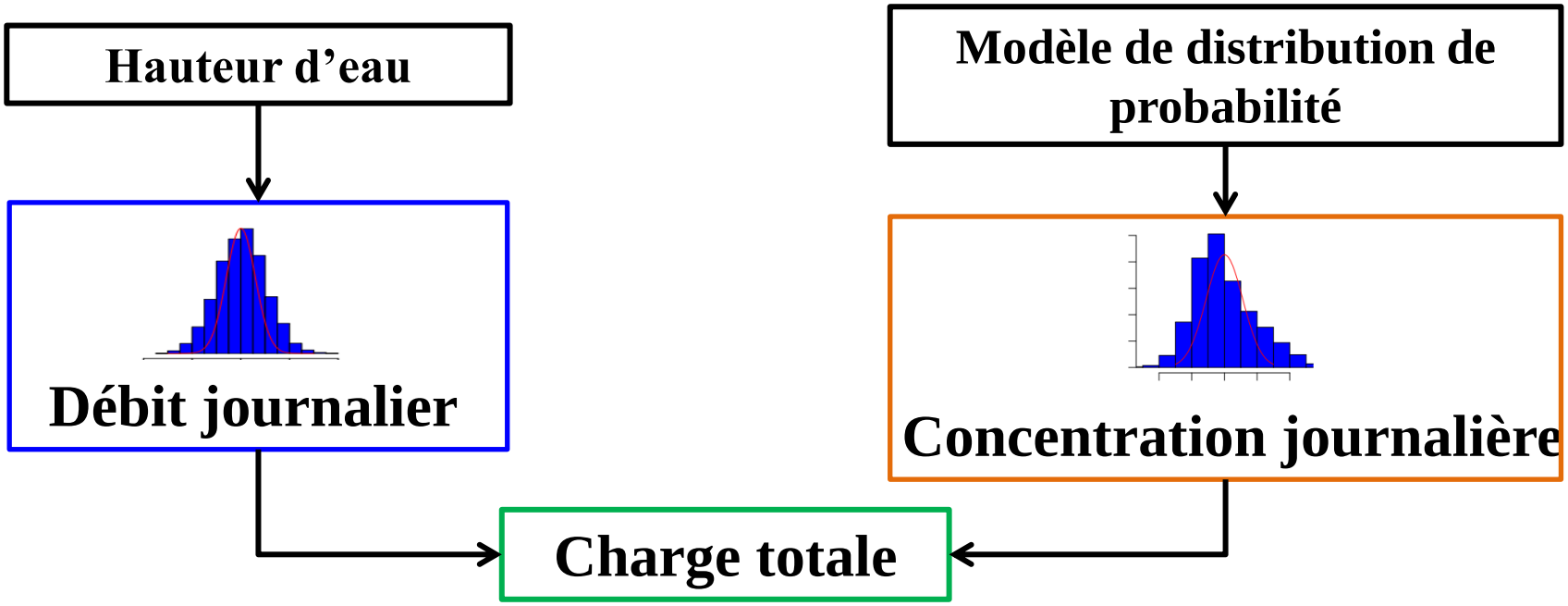
Débit journalier

Modèle de distribution de probabilité



Concentration journalière

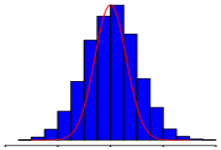
Estimation de la charge annuelle



$$Charge\ totale = \sum_{Jour\ i}^{n} Débit_i \cdot Concentration_i$$

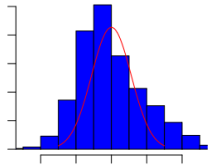
Estimation de la charge annuelle

Hauteur d'eau



Débit journalier

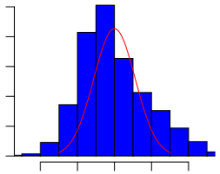
Modèle de distribution de probabilité



Concentration journalière

Charge totale

10 000 itérations



Charge totale

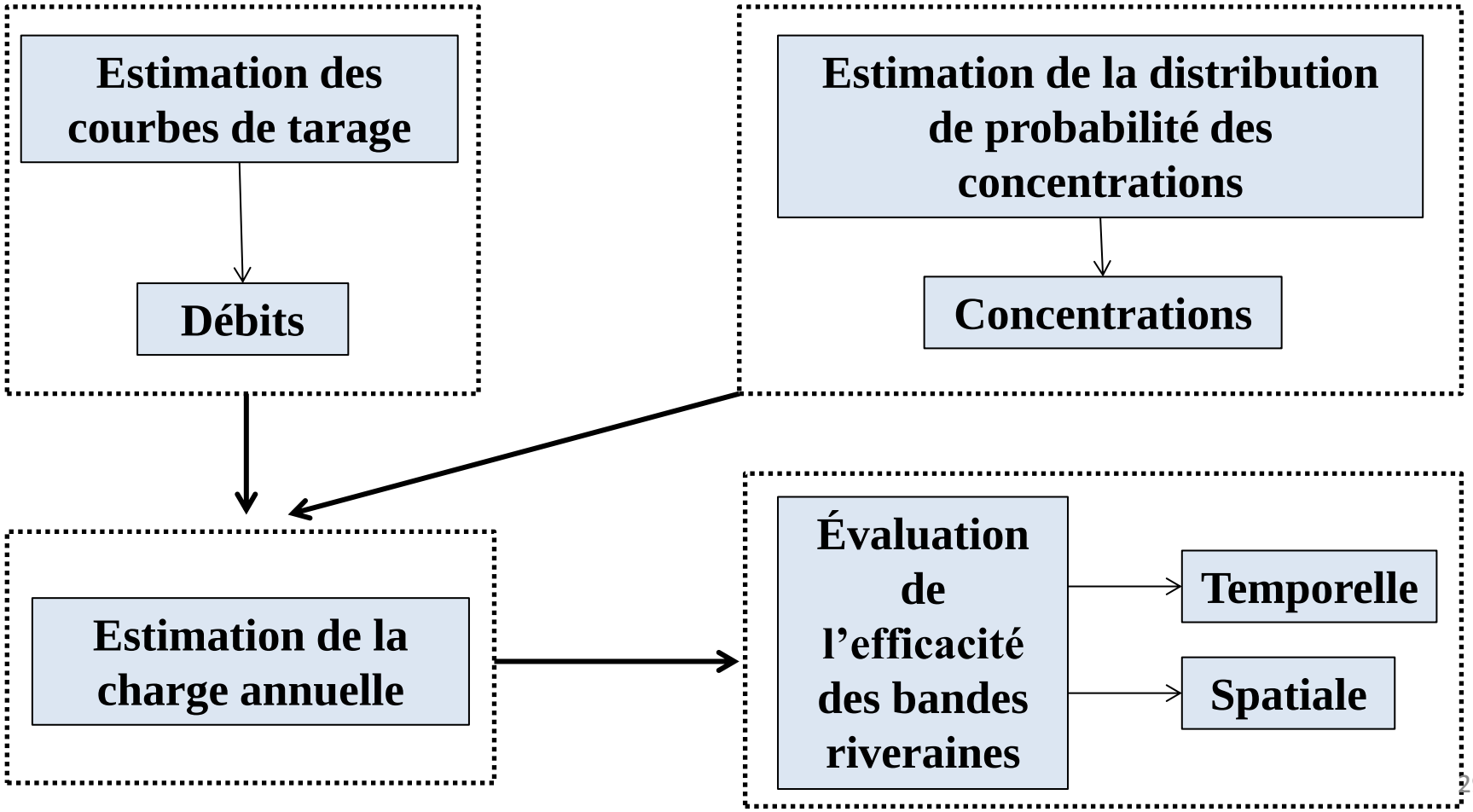
Bilans des nutriments à la surface du sol

Engrais organique et minéral

-

Besoins de la culture
(rendement X prélèvement)

Étapes méthodologiques



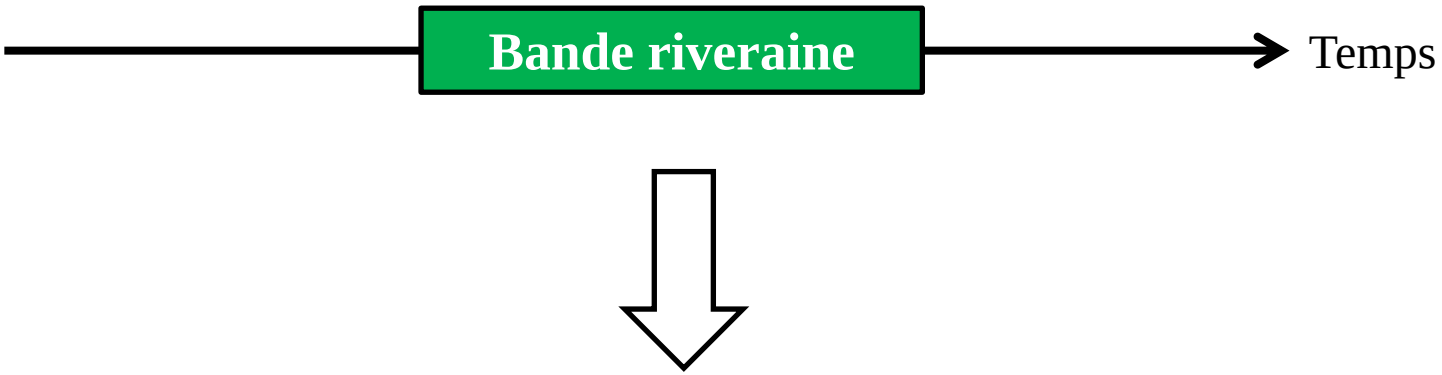
Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

Méthodes

1) Étude comparative de bassins versants jumelés
2) Étude avant/après
3) Étude amont/aval

Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

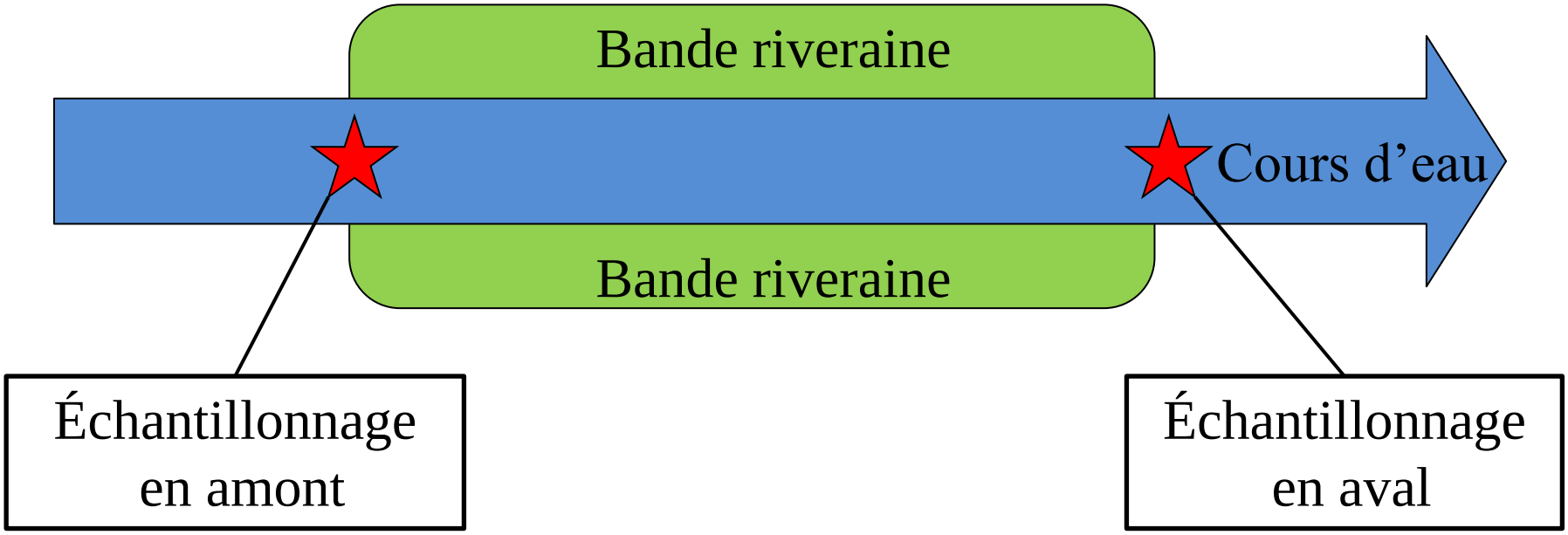
Étude avant / après

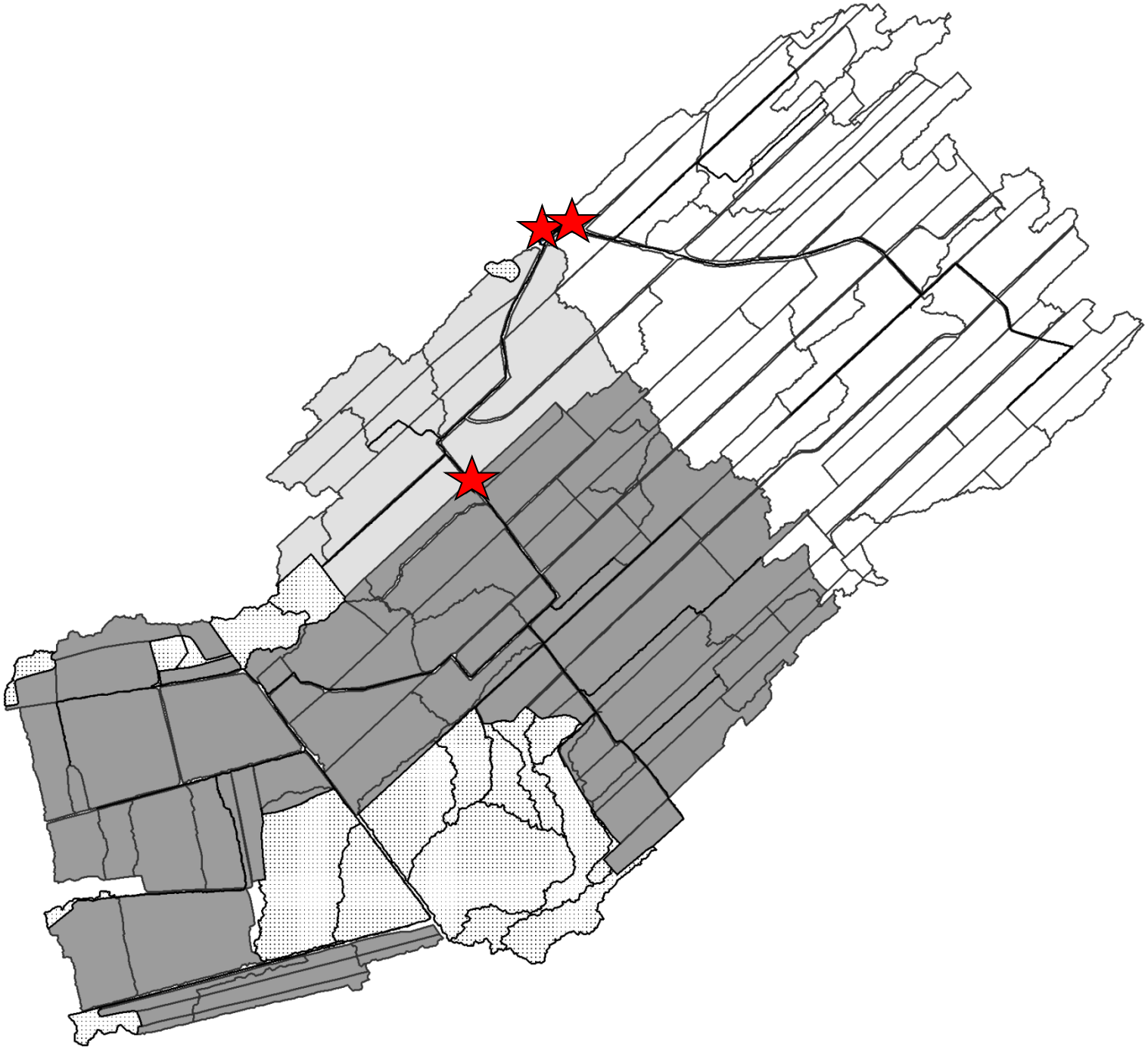


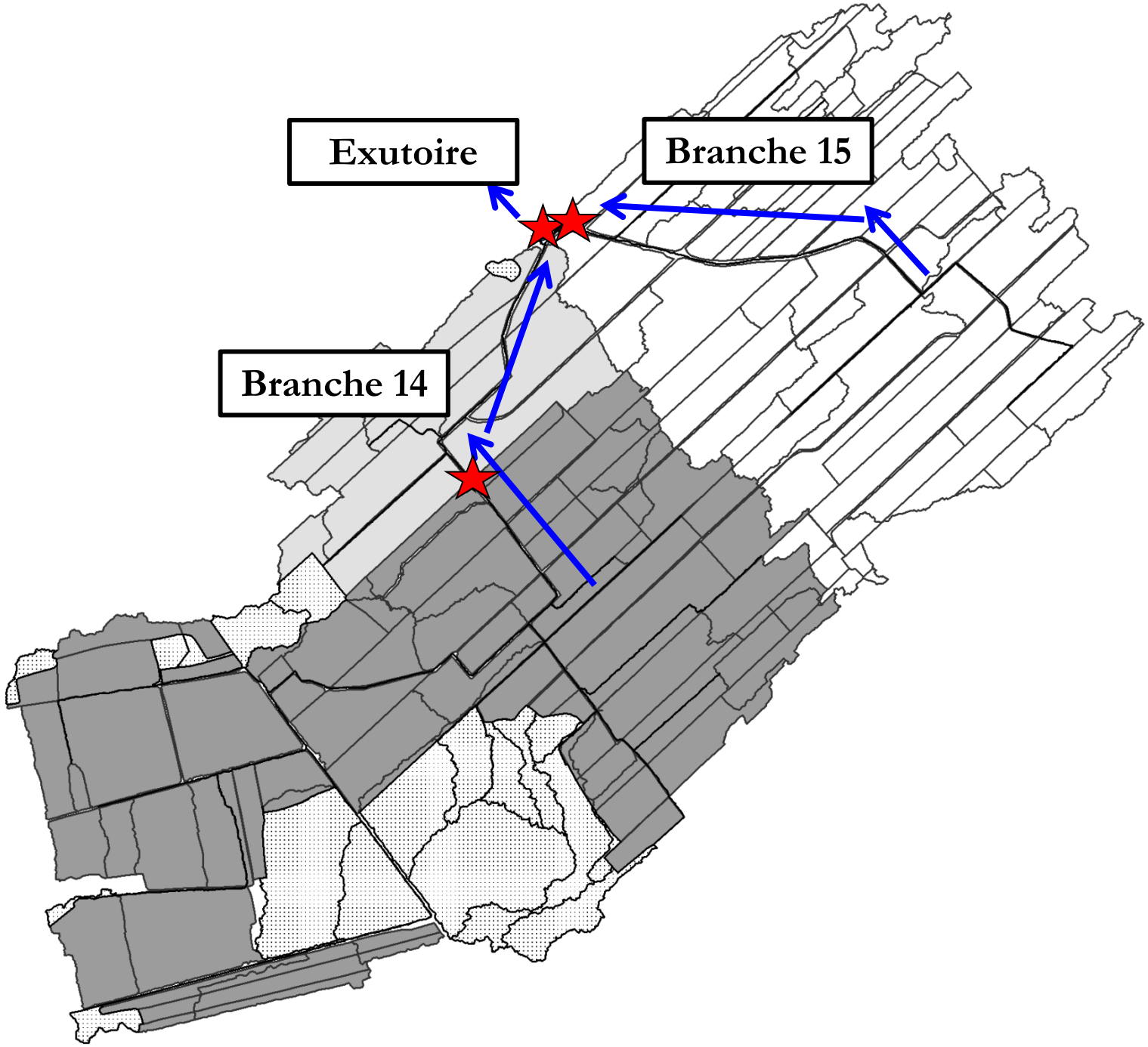
Variabilité interannuelle

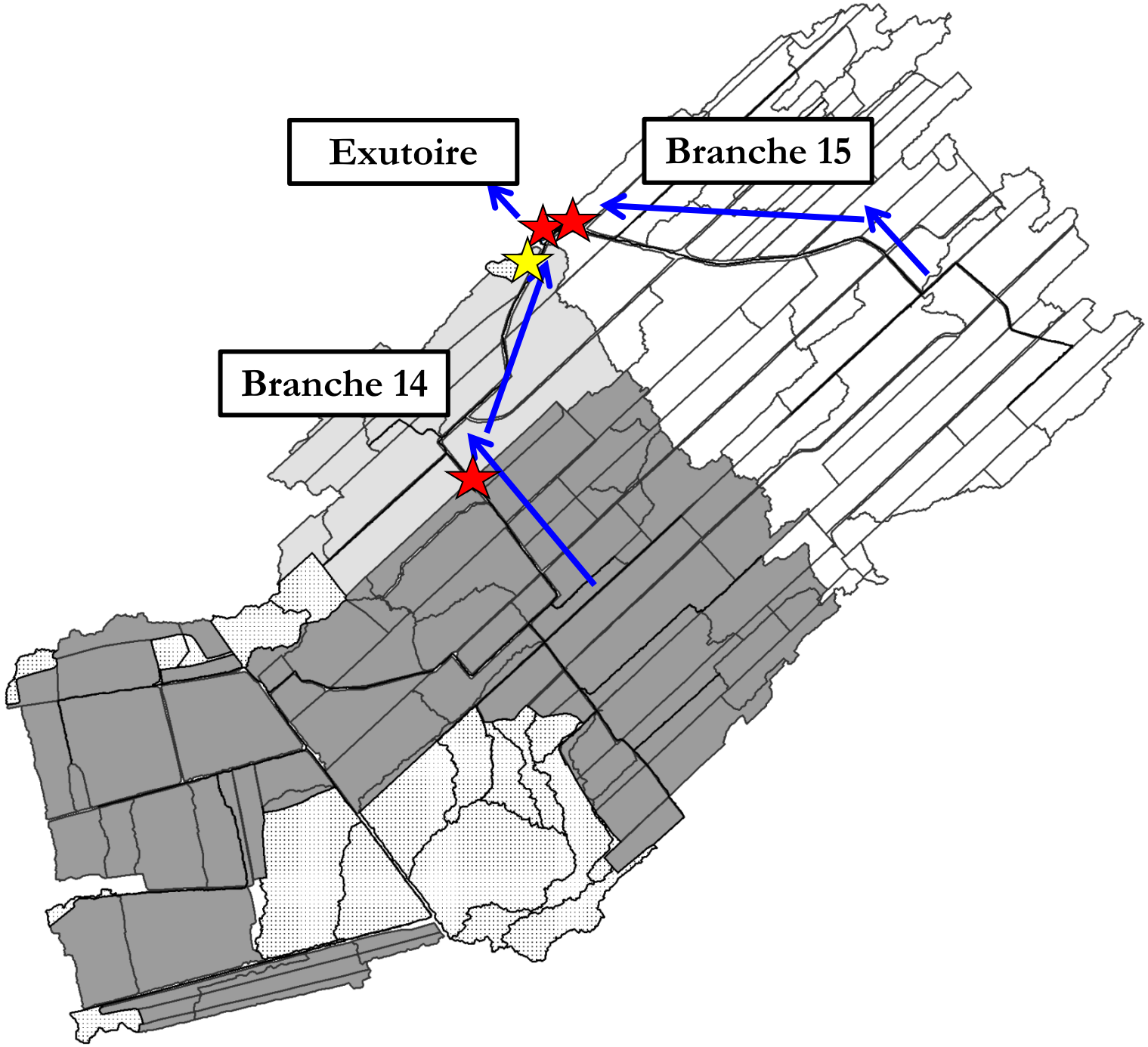
Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

Étude amont / aval

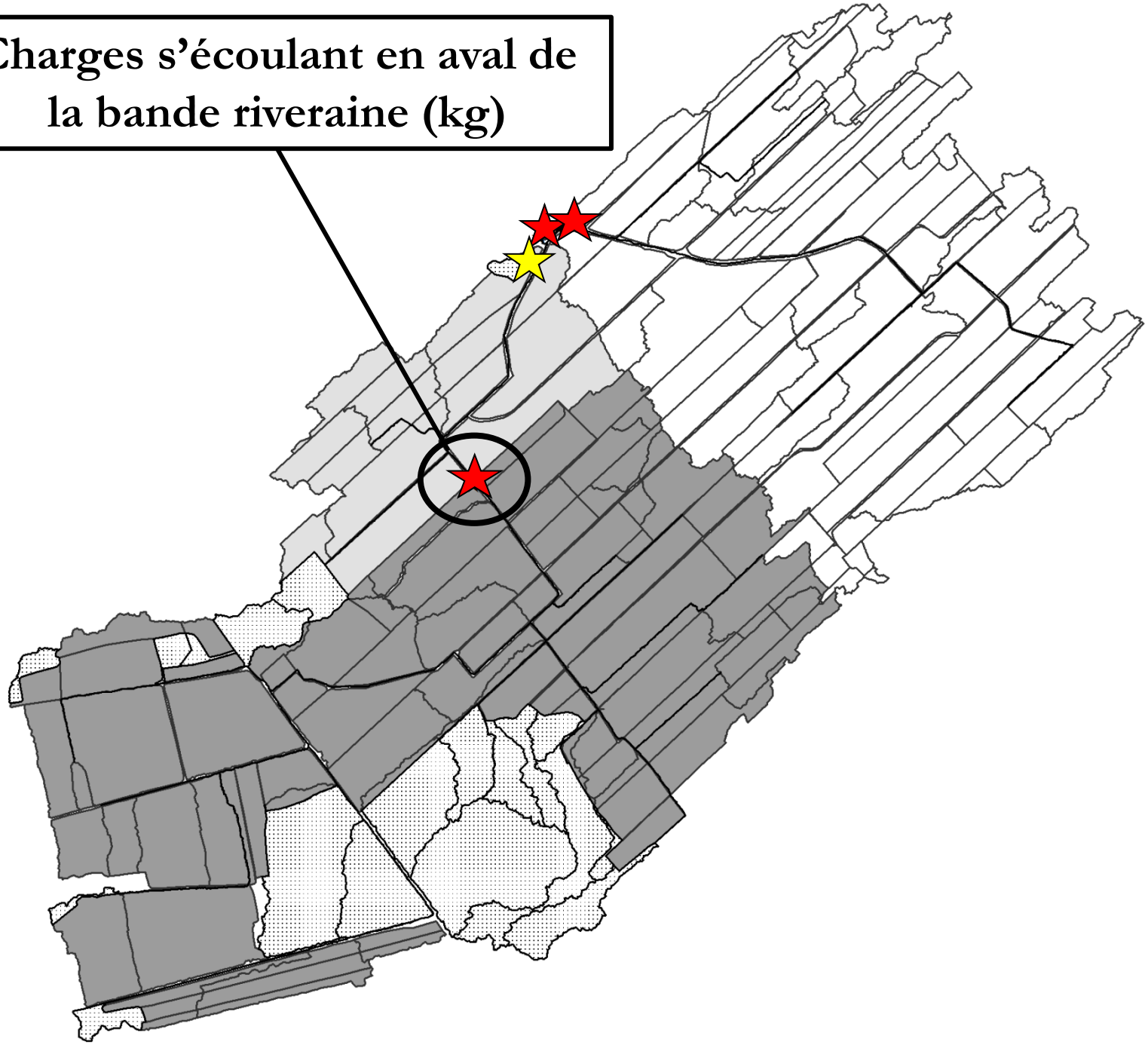


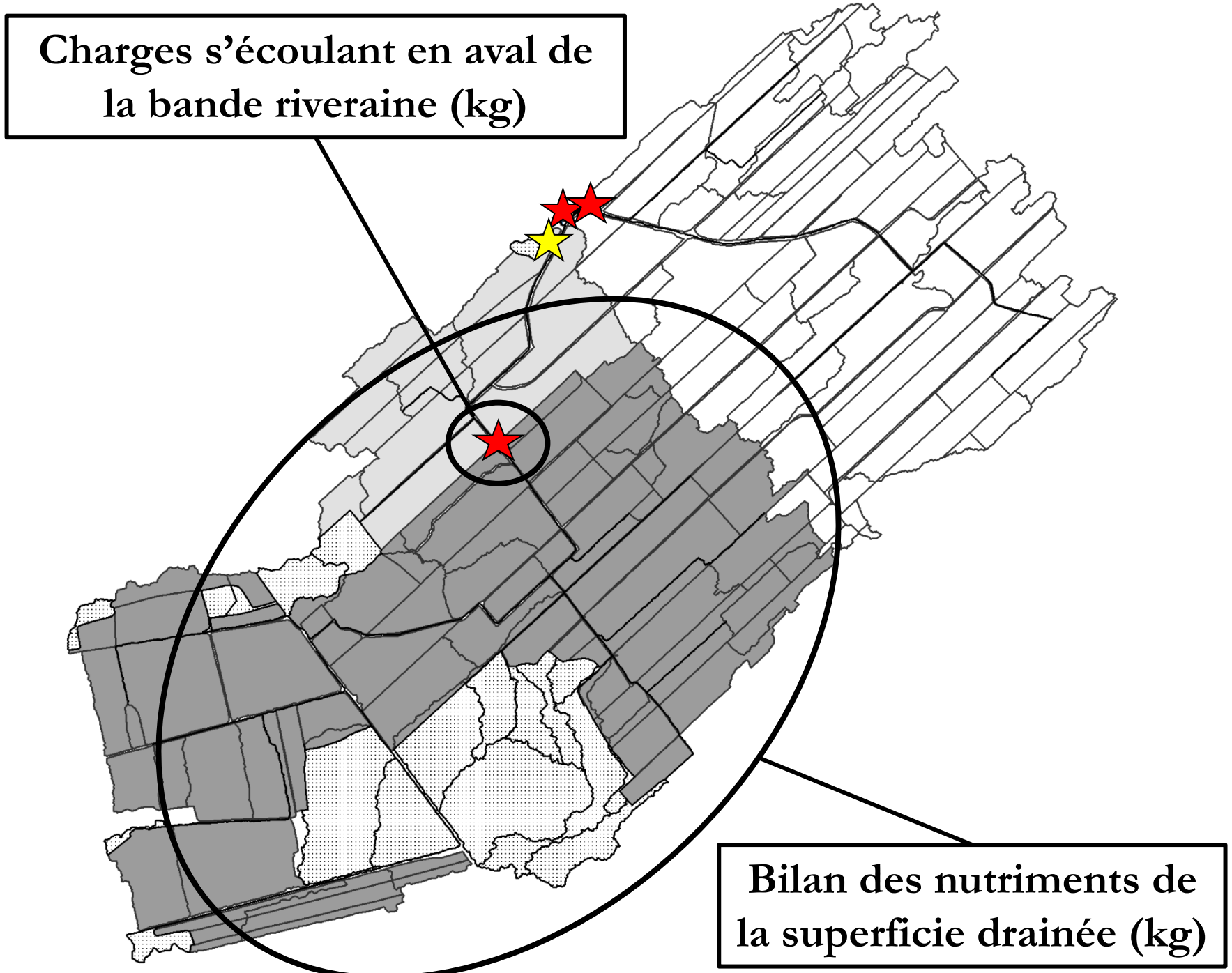


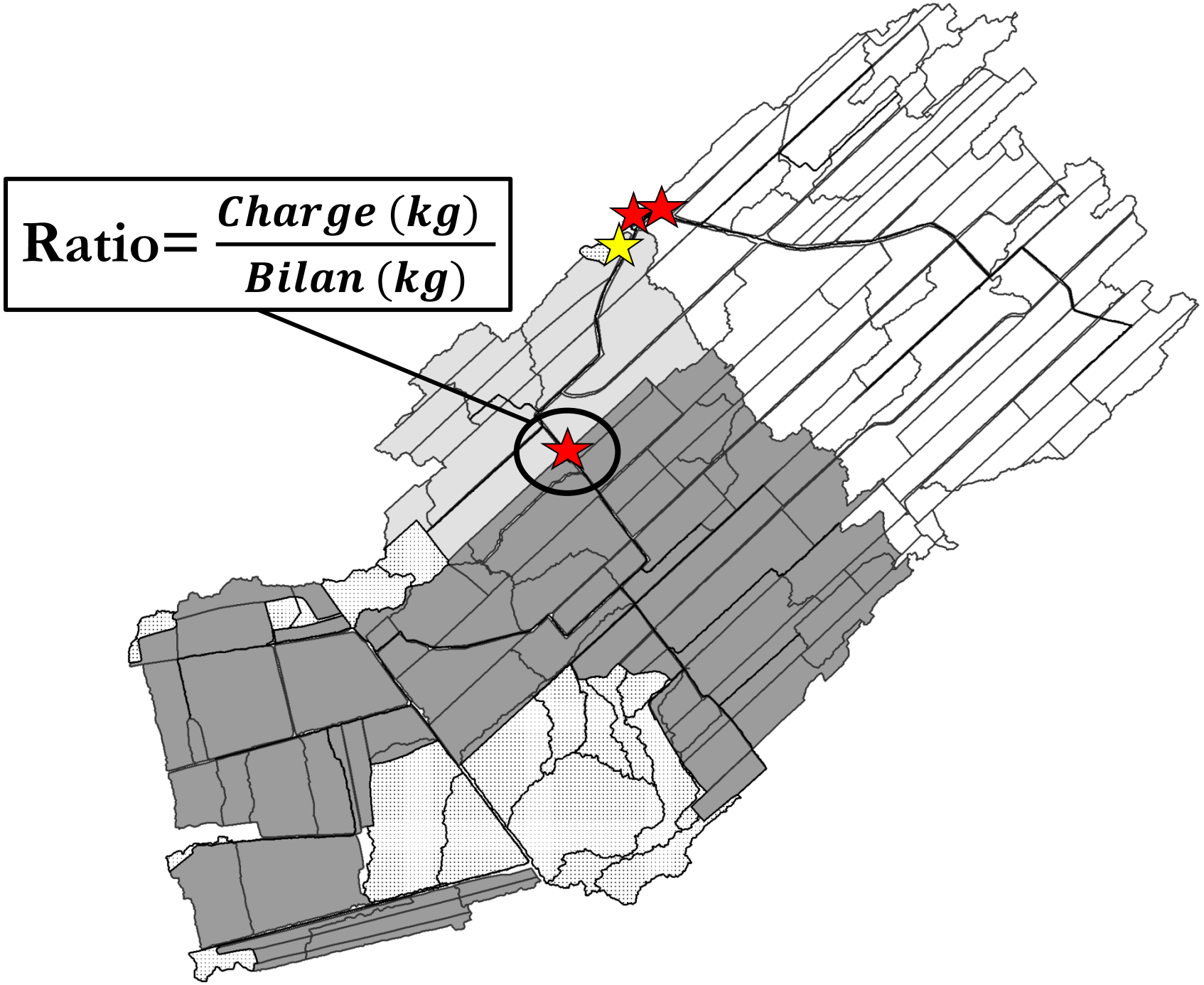

Exutoire
Branche 15
Branche 14

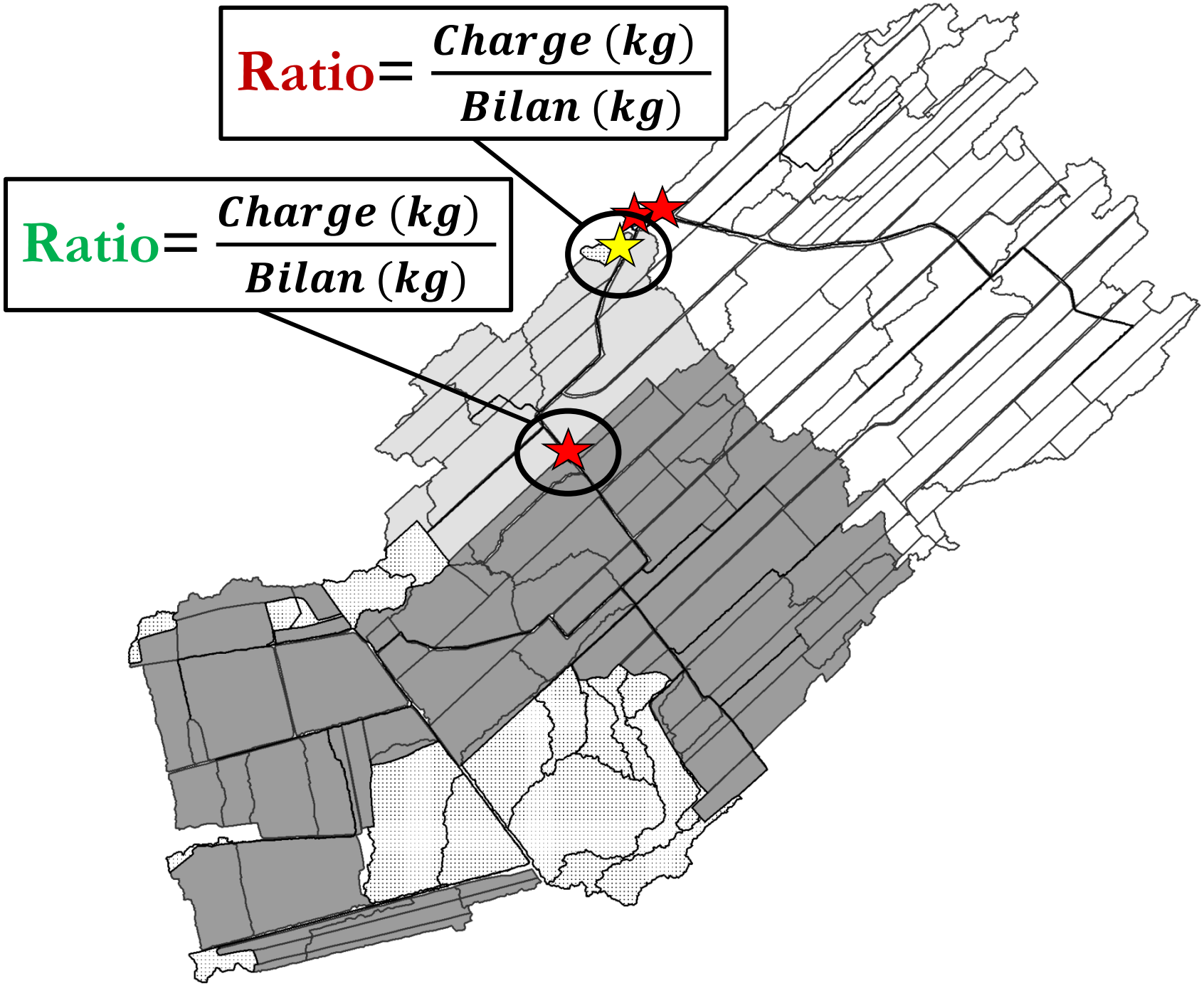

Exutoire
Branche 15
Branche 14

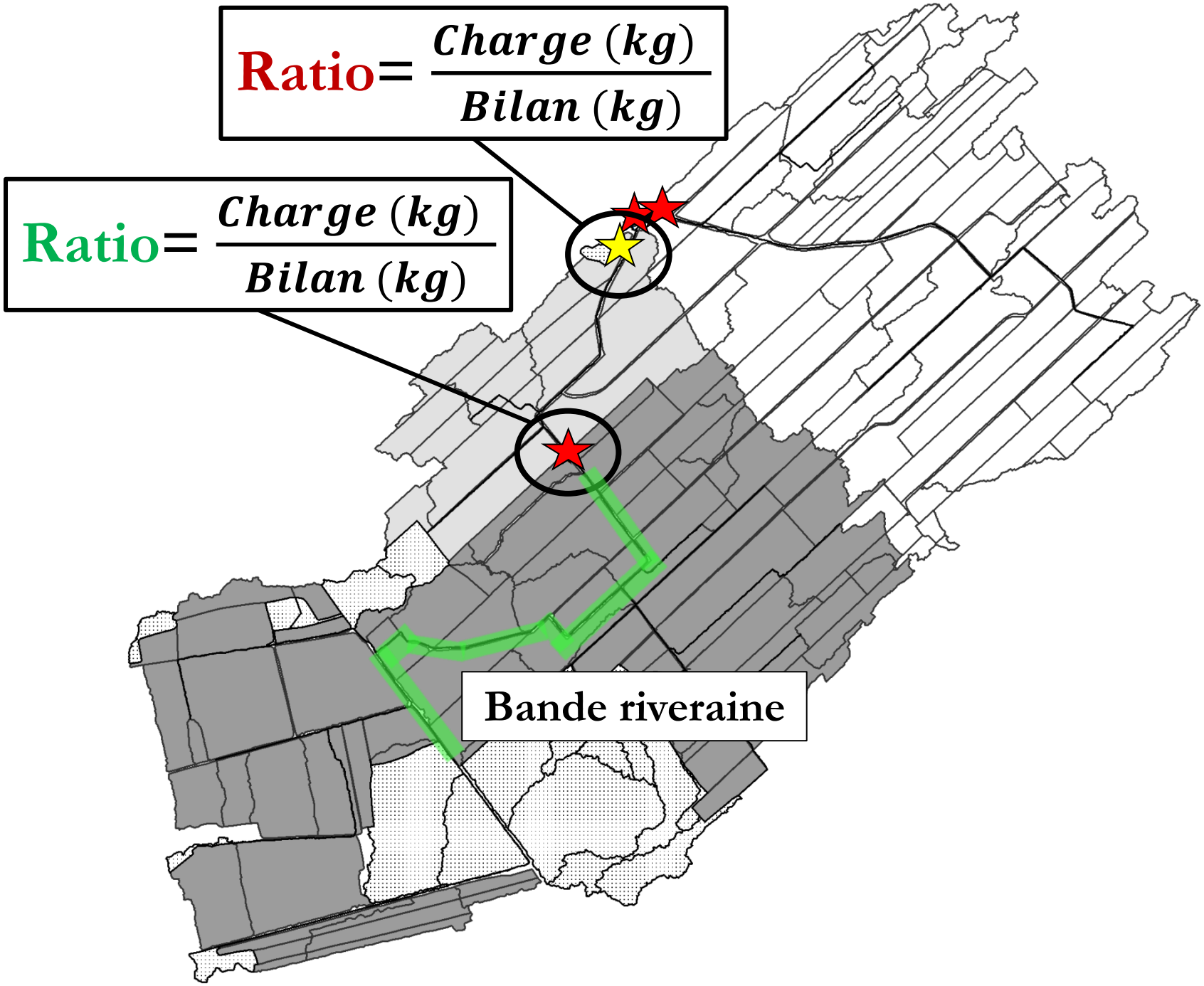
Charges s'écoulant en aval de la bande riveraine (kg)

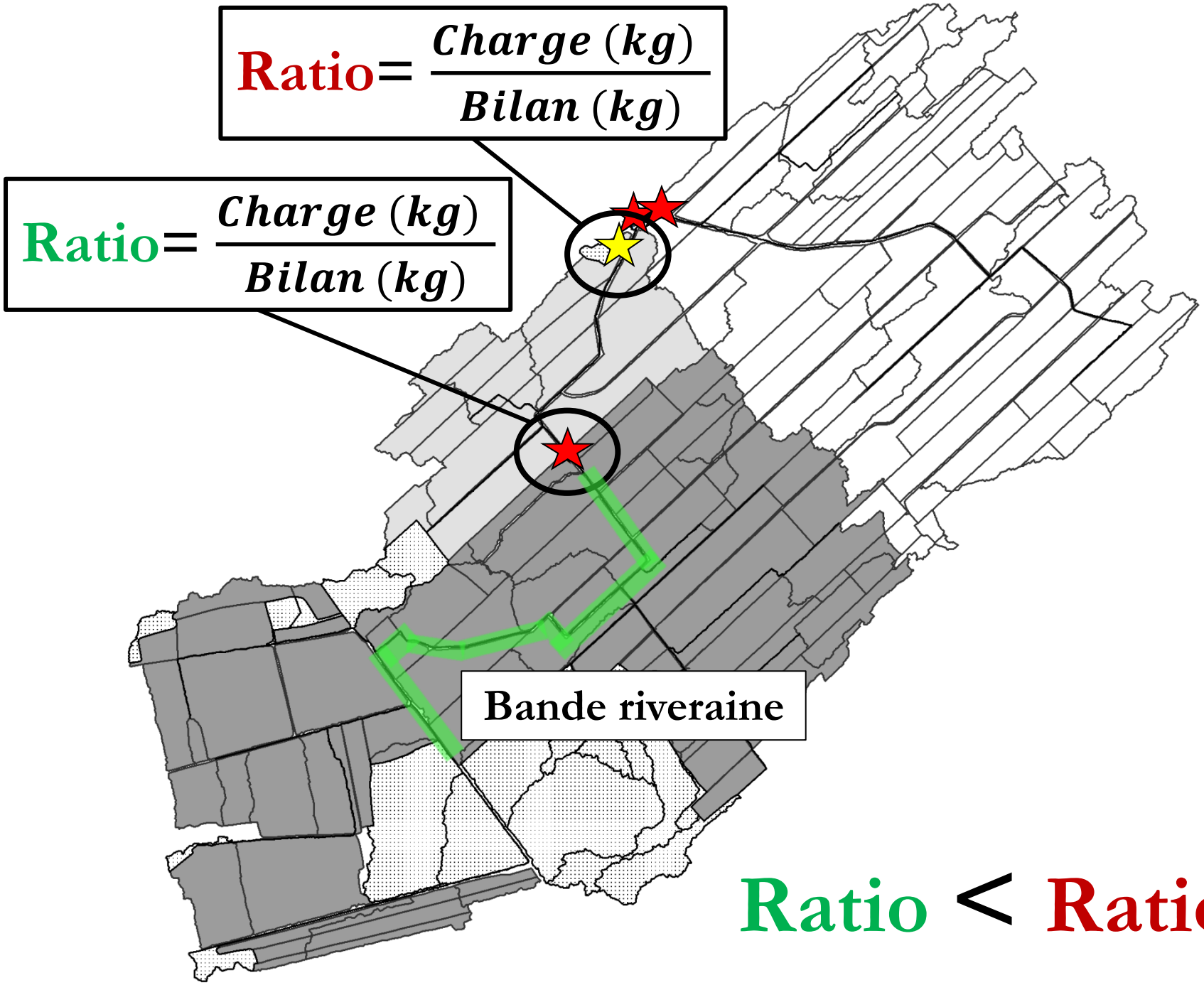



Charges s'écoulant en aval de la bande riveraine (kg)
Bilan des nutriments de la superficie drainée (kg)

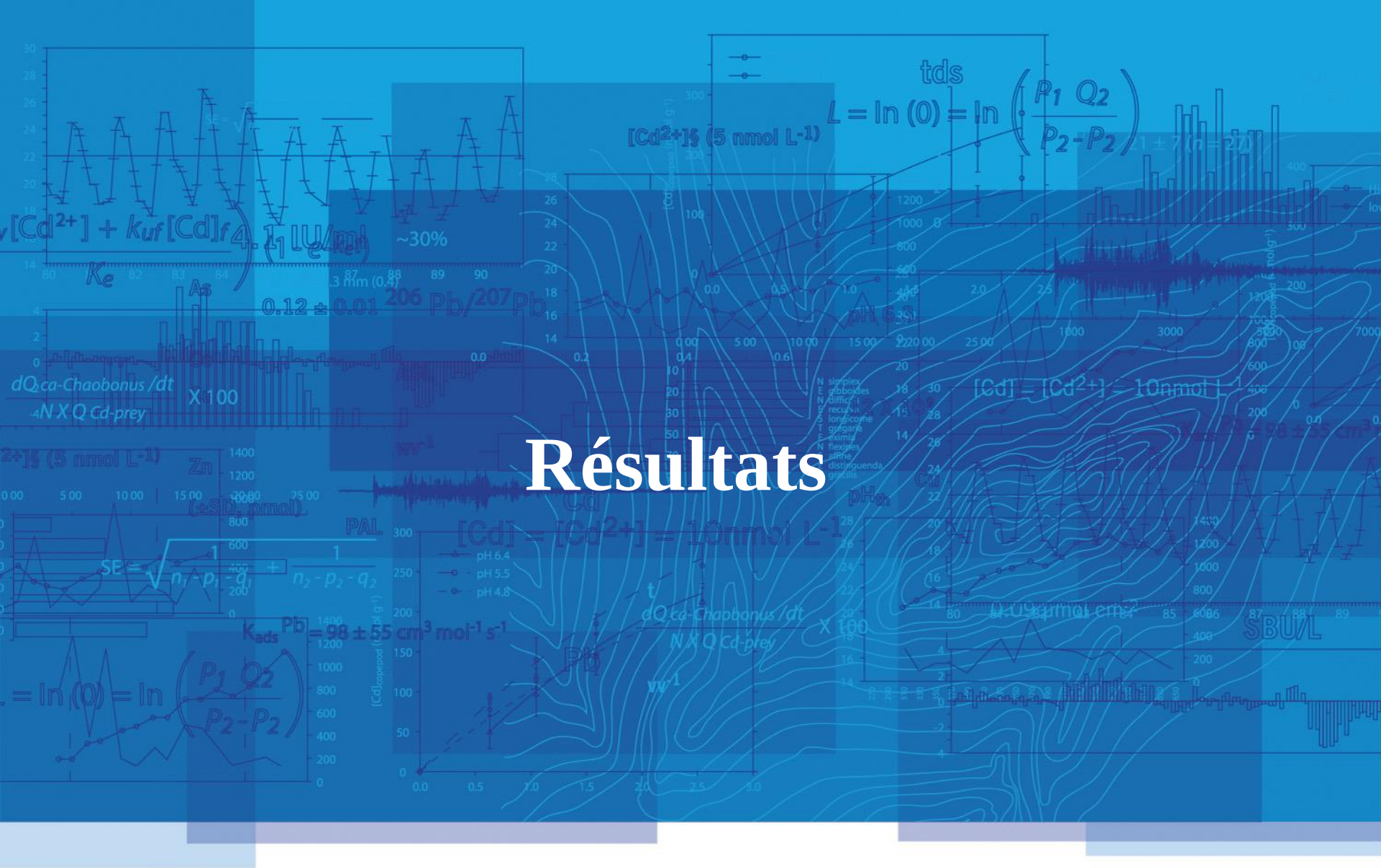

Ratio= $\frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ (kg)}$


Ratio= Charge (kg) / Bilan (kg)
Ratio= Charge (kg) / Bilan (kg)

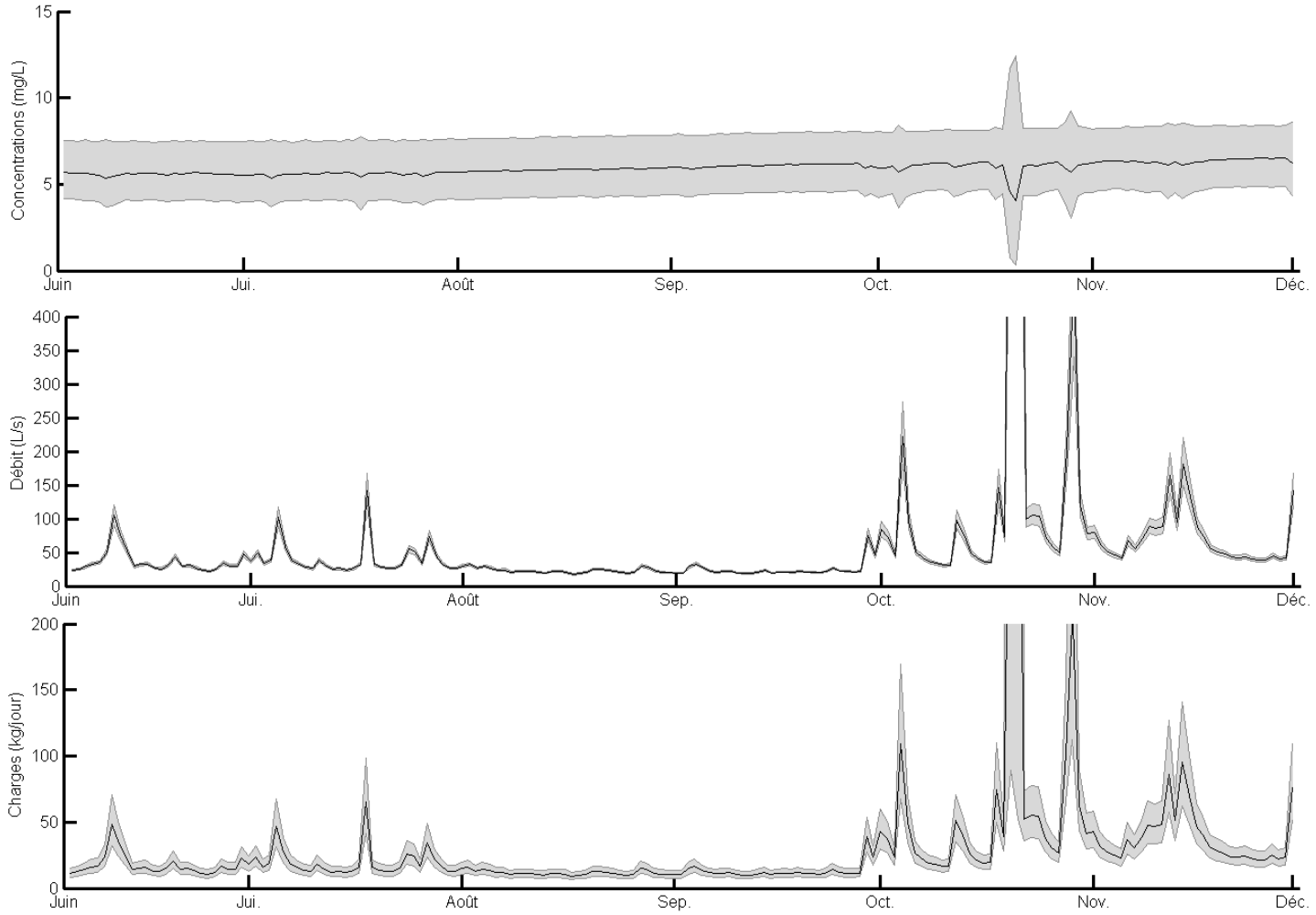

Ratio= Charge (kg) / Bilan (kg)
Ratio= Charge (kg) / Bilan (kg)
Bande riveraine


$\text{Ratio} = \frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ (kg)}$
$\text{Ratio} = \frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ (kg)}$
Bande riveraine
Ratio < Ratio

Résultats



Estimation des charges



Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

1) Analyse avant / après l'implantation des bandes riveraines

Diminution significative après l'implantation des bandes riveraines (seuil 5 %):

		N-total (05-11)	P-total	MES	NO_2 (05-11)	NO_3 (05-10)	NH_4 (05-11)	P. part	P. dissous
Moyenne	Concentrations	↘				↘			↘
	Charges	↘			↘	↘	↘	↘	
Médiane	Concentrations	↘	↘			↘		↘	
	Charges	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	

Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

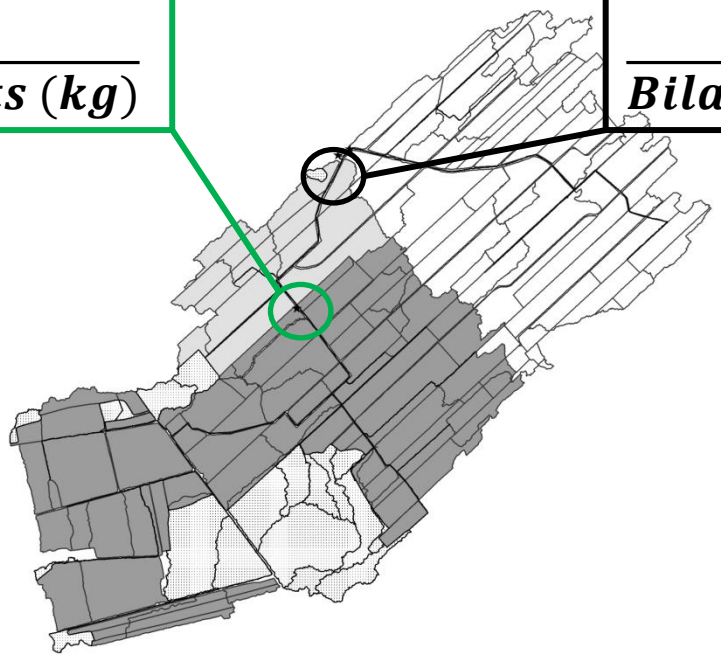
2) Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios

Ratio en aval de la bande riveraine

$$\frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ des\ nutriments\ (kg)}$$

Ratio à l'exutoire de la branche 14

$$\frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ des\ nutriments\ (kg)}$$



Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

2) Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios

Ratio en aval de la bande riveraine

$$\frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ des\ nutriments\ (kg)}$$

$<$

Ratio à l'exutoire de la branche 14

$$\frac{Charge\ (kg)}{Bilan\ des\ nutriments\ (kg)}$$

$$\frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}} < 1$$

Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

2) Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios

$$\text{Réduction significative des ratios (\%)} = \left[1 - \frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}}\right] \times 100$$

Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

2) Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios

$$\text{Réduction significative des ratios (\%)} = \left[1 - \frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}}\right] \times 100$$

	2009	2010	2011	2012
N-total	6			
P-total	2			
NO_2	*35*	*29*	*13*	
NO_3	*49*	*44*		
NH_4				
P-particulaire	*66*	*26*	*31*	
P-dissous			*36*	

Estimations obtenues avec les bilans des nutriments de N-total et de P-total

Évaluation de l'efficacité des bandes riveraines

2) Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios

- **Printemps:**

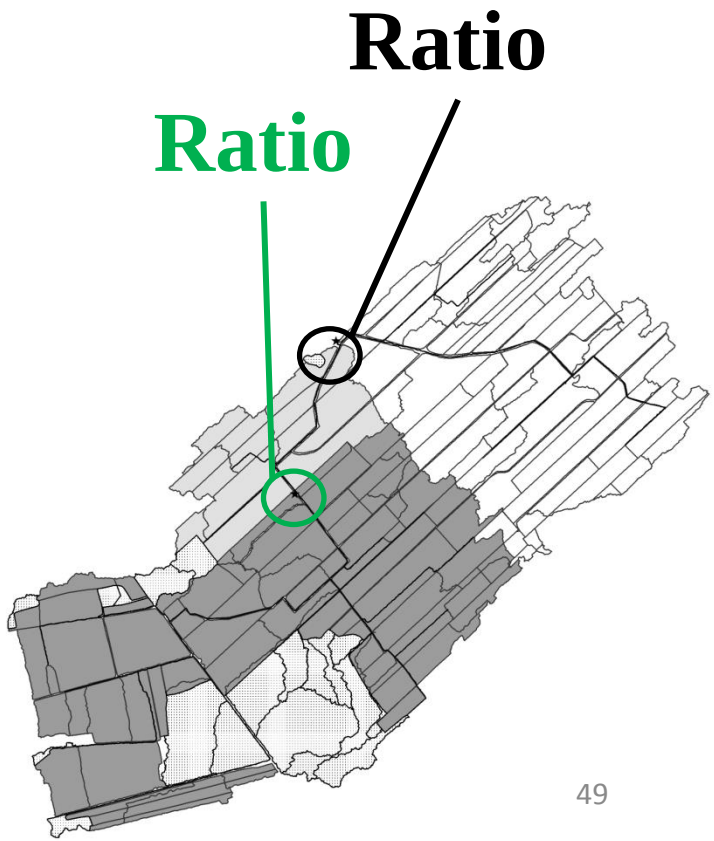
$\frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}}$ ↗ ……. Efficacité bande riveraine↘

- **Été, automne:**

$\frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}} < 1$ ……. Efficacité bande riveraine↗

- **Événements de pluie intenses (mm/jour)**

$\frac{\text{Ratio}}{\text{Ratio}}$ ↗ ……. Efficacité bande riveraine↘



Conclusion

Conclusion

1) **Développer une méthode d'évaluation de l'efficacité des bandes riveraines sur la base de données in situ.**

→ Base de données géo-référencées;

→ Estimation des débits par des courbes de tarage calées et validées;

→ Incertitude sur l'estimation des débits;

→ Estimation des charges en tenant compte des incertitudes associées aux courbes de tarage et aux données de qualité de l'eau.

Conclusion

2) Évaluer l'efficacité des bandes riveraines implantées sur le micro-bassin de la rivière Bras d'Henri.

→ Analyse temporelle avant et après l'implantation des bandes riveraines par la méthode du *bootstrap* non paramétrique;

→ Analyse spatiale des charges par l'approche des ratios;

→ Analyse comparative de bassins versants jumelés…

Conclusion

Comparaison avant-après l'implantation des bandes riveraines

- Diminution significative des concentrations et charges de:
  N-total, P-total, P-particulaire et NO_3

- Diminution significative des charges de:
  NH_4, NO_2 et MES

Conclusion

Comparaison avant-après l'implantation des bandes riveraines

- Diminution significative des concentrations et charges de:
  N-total, P-total, P-particulaire et NO_3

- Diminution significative des charges de:
  NH_4, NO_2 et MES

Variabilité interannuelle

→ Précipitations stables de 2005 à 2012
→ Bilans des nutriments ↗ de 2005 à 2012

Conclusion

Analyse spatiale par l'approche des ratios:

- Réduction significative du ratio (charge(kg) / bilan(kg)) en aval de la bande riveraine:

  N-total (2009) → **6 %**
  P-total (2009) → **2 %**

  P-particulaire (2009, 2010, 2011)
  NO_2 (2009, 2010,2011)
  NO_3 (2009, 2010)

Conclusion

Analyse spatiale par l'approche des ratios:

- Réduction significative du ratio (charge(kg) / bilan(kg)) en aval de la bande riveraine:

  N-total (2009) → **6 %**
  P-total (2009) → **2 %**

  P-particulaire (2009, 2010, 2011)
  NO_2 (2009, 2010,2011)
  NO_3 (2009, 2010)

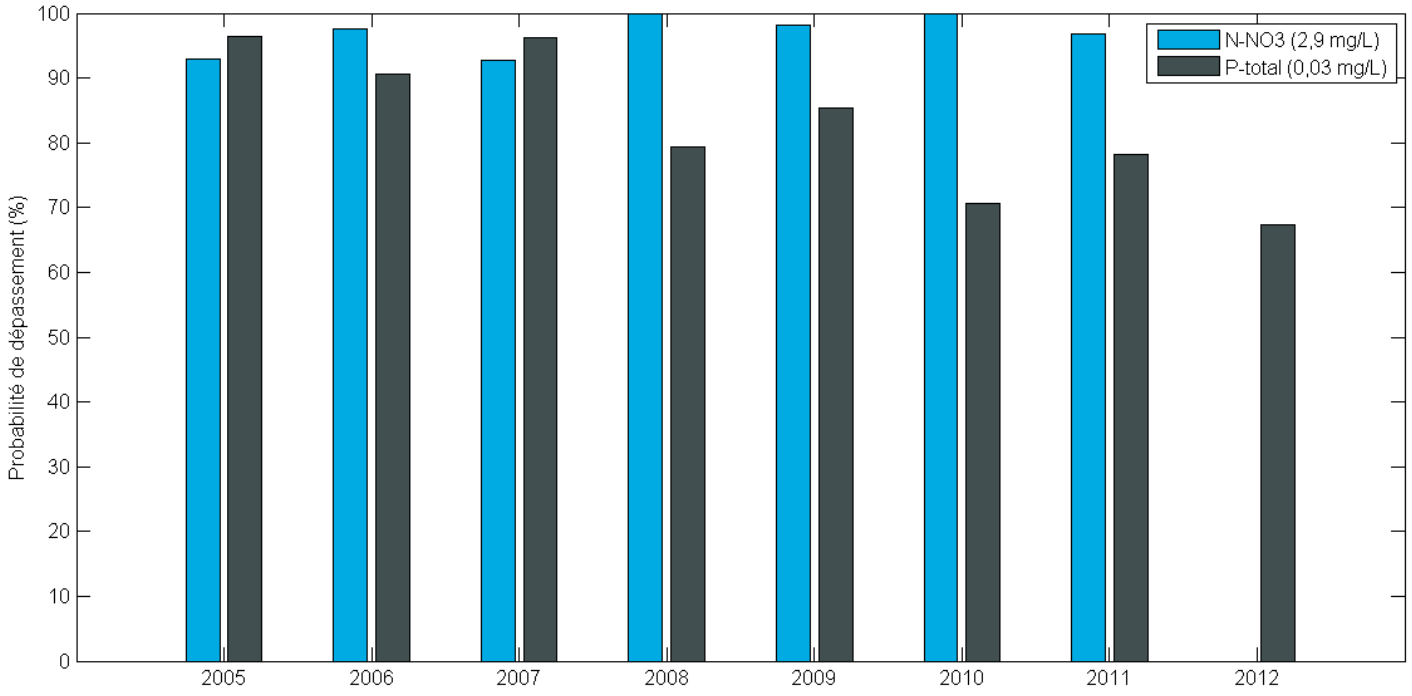
Régression multiple des charges par rapport aux précipitations, aux types de culture et aux bilans des nutriments…
→ **Bilans des nutriments**

Conclusion

Critères de qualité de l'eau à l'exutoire du micro-bassin:

P-total→ 0,03 mg/L

N-NO3→ 2,9 mg/L



Agriculture et Agroalimentaire Canada | Agriculture and Agri-Food Canada

Canada

INRS
Université d'avant-garde

Centre - Eau Terre Environnement

Remerciements

Alain N. Rousseau (INRS-ETE)

Georges Thériault, Nadia Goussard (Agriculture et Agroalimentaire Canada)

Catherine Bossé, Geneviève Montminy (Club de Fertilisation de la Beauce)

Gabriel Hould-Gosselin (INRS-ETE)

INRS
Université d'avant-garde

Efron, B., & Tibshirani, R. (1993). An introduction to the bootstrap (Vol. 57). CRC press.

Grabow, G.L, Spooner J, Lombardo L.A., Line D.E, Tweedy K.L. 1998. Has water quality improved? Use of a spreadsheet for statistical analysis of paired watershed, upstream/downstream and before/after monitoring designs. Prepared for the 6th National Nonpoint-Source Monitoring Workshop, 21-24 Sept. 1998, Cedar Rapids,IA.

Mailhot A, Rousseau A.N, Talbot G, Gagnon P, Quilbé R, 2008. A framework to estimate sediment loads using distributions with covariates: Beaurivages River watershed. Hydrological Processes ***22****(26): 4971-4985, DOI:10.1002/hyp.7103*