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

Évaluation de l'impact de bandes riveraines sur la connectivité sédimentologique à l'aide d'un modèle d'érosion distribué et événementiel

G. Hould-Gosselin,
Alain N Rousseau, S.J. Gumiere

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

I. Objectifs spécifiques

II. Présentation du bassin versant à l'étude

III. Méthode
- MHYDAS-Érosion
- Modélisation

IV. Résultats
- Discrétisation et paramétrage
- Évènements couverts - été 2012
- Calage
- Simulations

V. Conclusions

I. Objectifs spécifiques

- Calage et validation de MHYDAS-Érosion[2] pour un petit bassin-versant sujet à une forte intensité d'activités agricoles sur la rive sud de la région de Québec

- Étude de diverses distributions spatiales de PGBs sur la connectivité sédimentologique

[2] Gumiere *et al*. (2010)

MHYDAS-Erosion

G. H. Gosselin

G. H. Gosselin

III. Méthode: MHYDAS-Érosion

- Modèle évènementiel
  - Évènement de quelques heures
- Distribué
- Pour de petites superficies (quelques km^2)
- Cheminement des sédiments
  - Topographie
  - Aspects topologiques définis par l'utilisateur

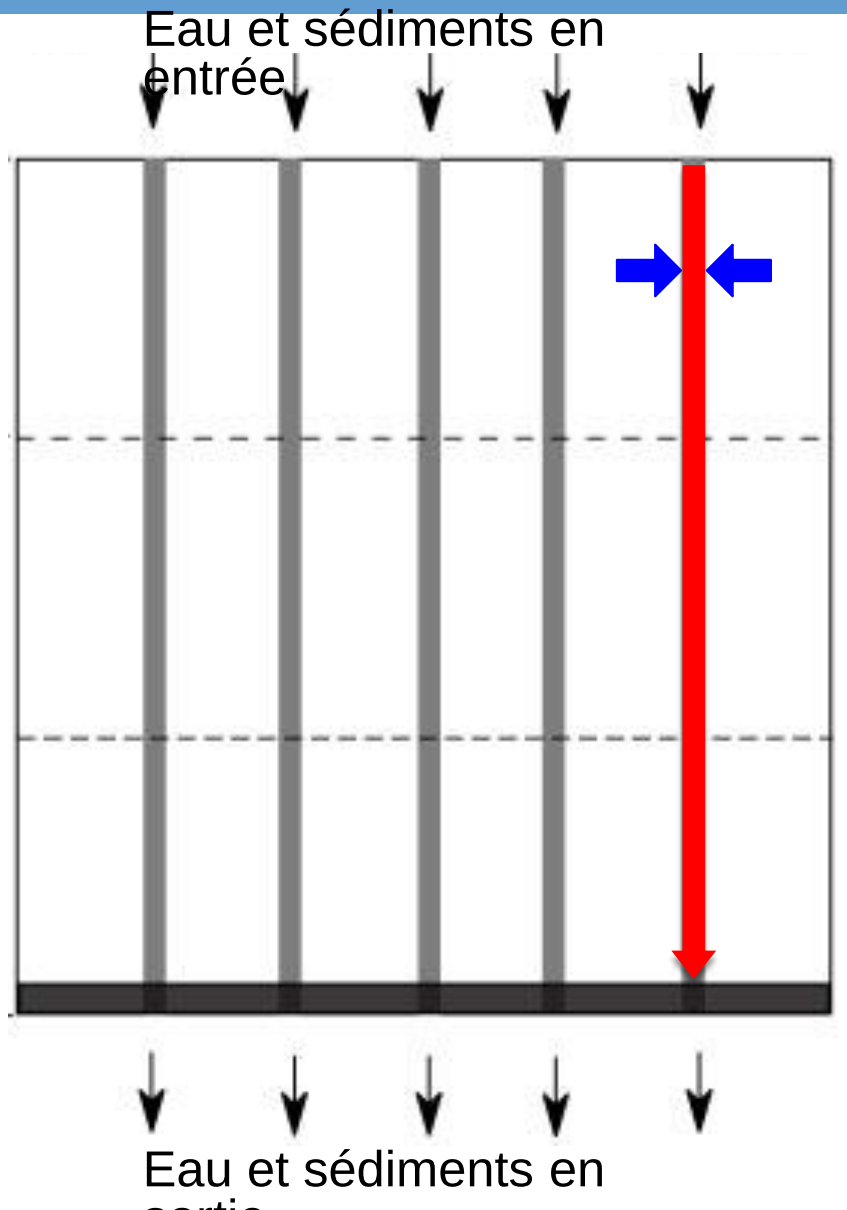
III. MHYDAS-Érosion

- Deux types d'unité spatiale
  - Régions homogènes (SU)
  - Segments du réseau d'écoulement (RS)

- Un SU pouvant s'écouler dans les autres SU (SU-SU), ou directement dans un segment appartenant au réseau de d'écoulement (SU-RS)

III. Méthode: MHYDAS-Érosion

- Érosion sur les champs
  - Impact des goutes d'eau et transport vers les rigoles
  - Soulèvement et transport dans les rigoles
- Nombre de rigoles
  - Fonction du type de culture
  - Limite supérieure de 30



III. Méthode: Modélisation

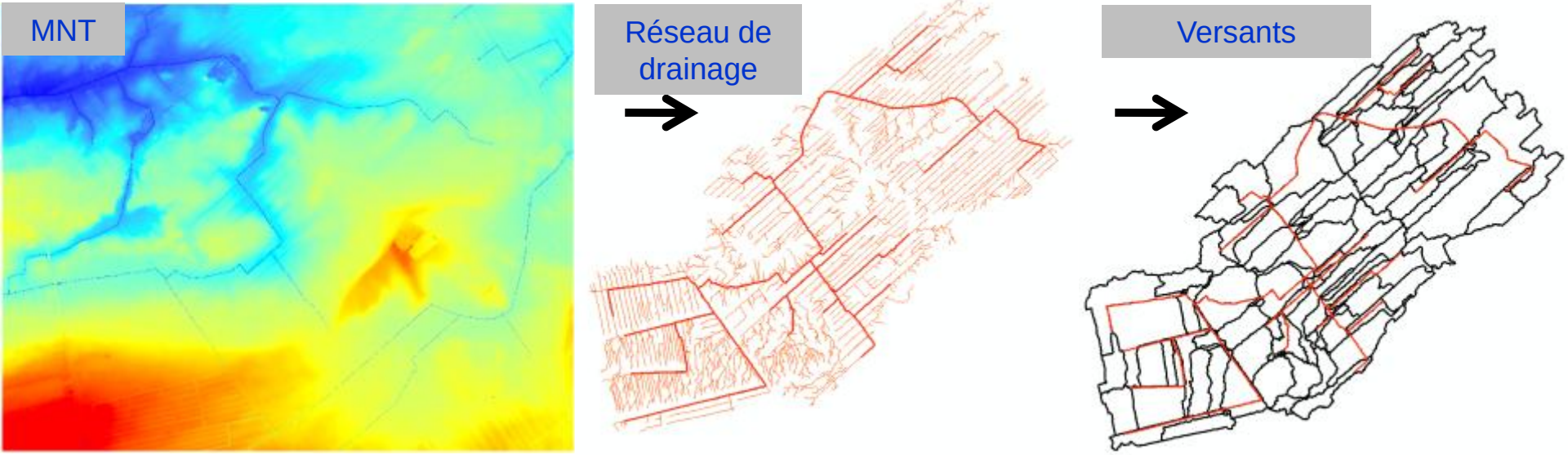
- Créer une base de donnée spatiotemporelle pour MHYDAS-Érosion
- Campagne d'échantillonnage pendant les évènements
  - Pluviométrie (entrée)
  - Débits (calage)
  - Flux sédimentaires (calage)
- Caler et valider le modèle
- Simulations
  - Configurations spatiales de PGBs

V. Résultats

G. H. Gosselin

IV. Résultats: Discrétisation spatiale

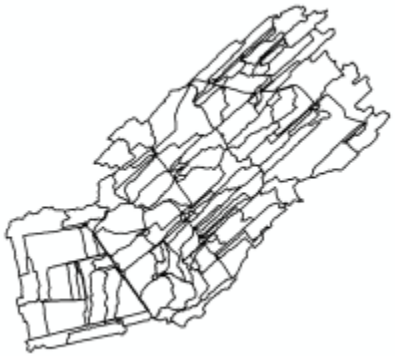
- Réseau d'écoulement et versants calculés avec PHYSITEL[4]
  - Matrice d'accumulation tirée d'un MNT (LIDAR 1m)
  - Échelle convenable pour MHYDAS-Érosion



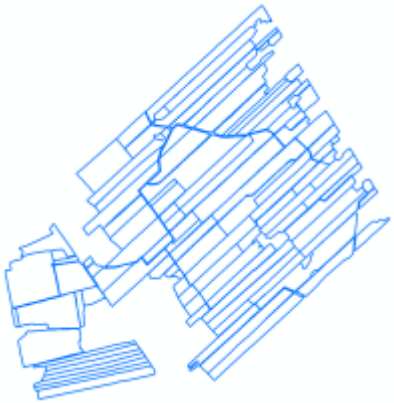
[4] Rousseau *et al*. (2011)

IV. Résultats: Discrétisation spatiale

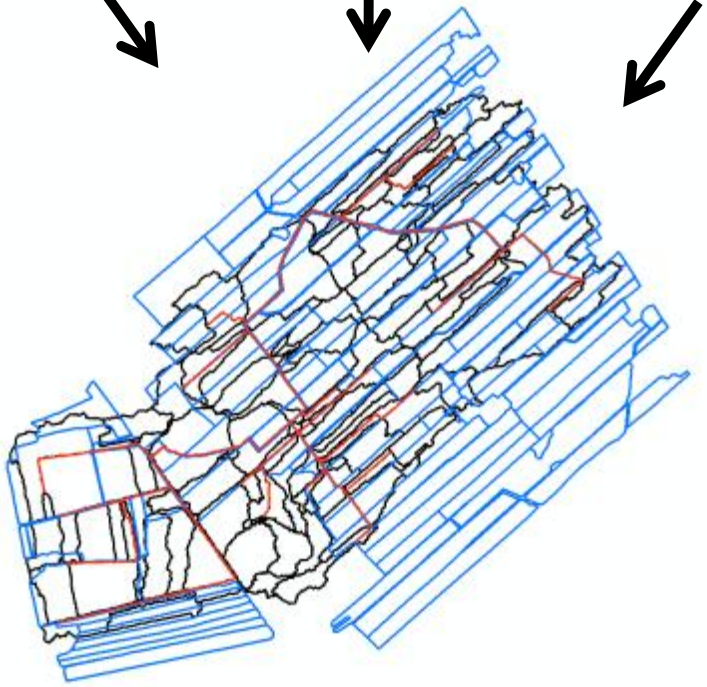
Réseau de drainage

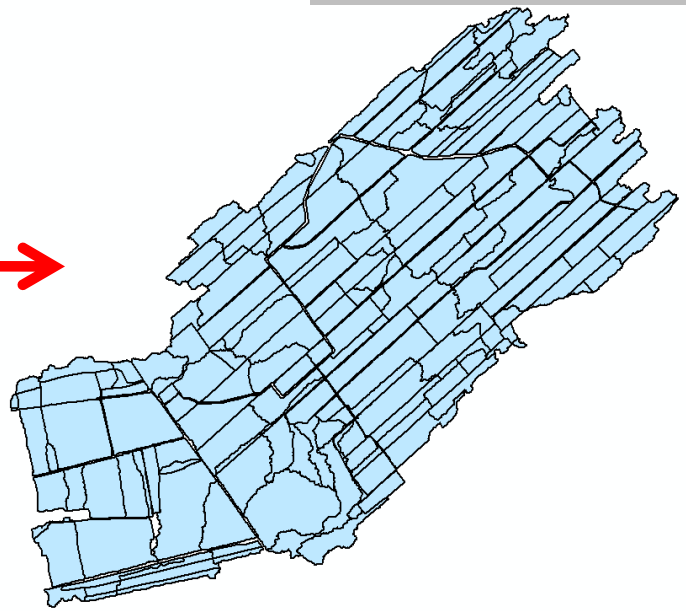


Versants



Champs et chemins agricoles

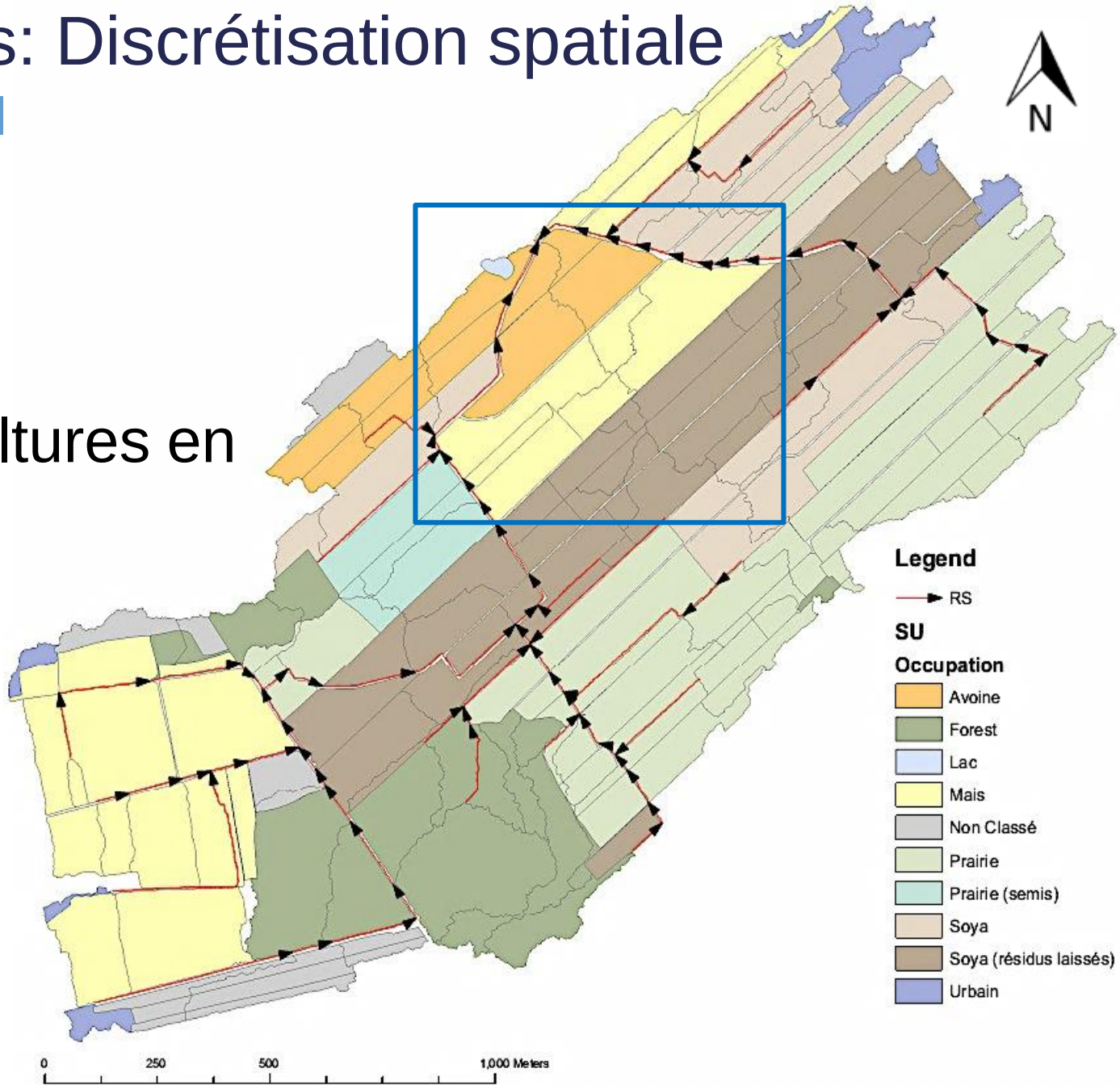




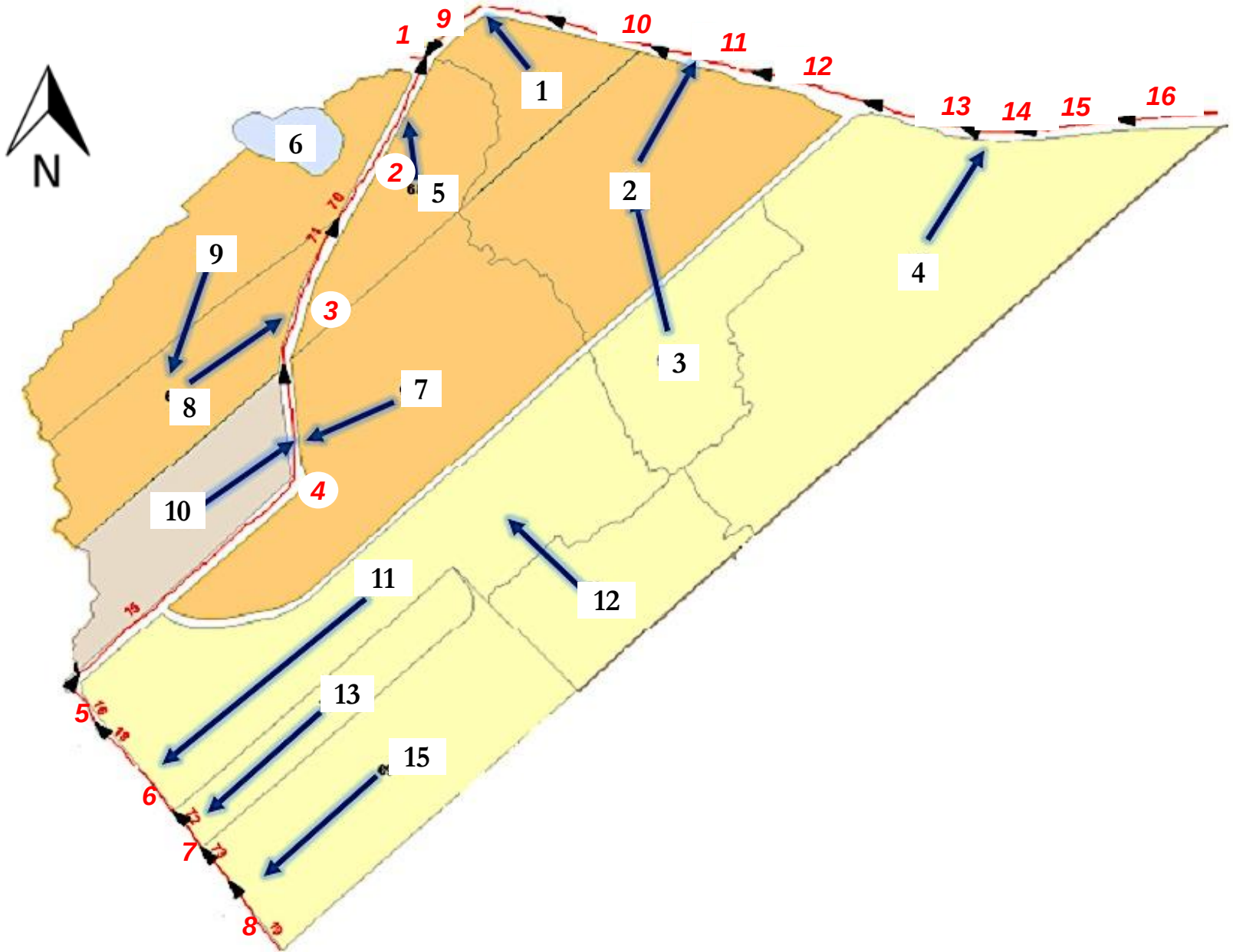
Aires homogènes

IV. Résultats: Discrétisation spatiale

- Occupation hétérogène
- Grandes cultures en majorité



IV. Résultats: Discrétisation spatiale



IV. Résultats: Collecte de données

- À chaque évènement, suivi de la **précipitation** horaire, du **débit** et du **flux sédimentaire**
- Données prises à différents stades des activités agricoles
- Station météorologique sur le site (précipitomètre à auget basculant)

Sonde ultrasonique module 710

Matériel d'échantillonnage manuel

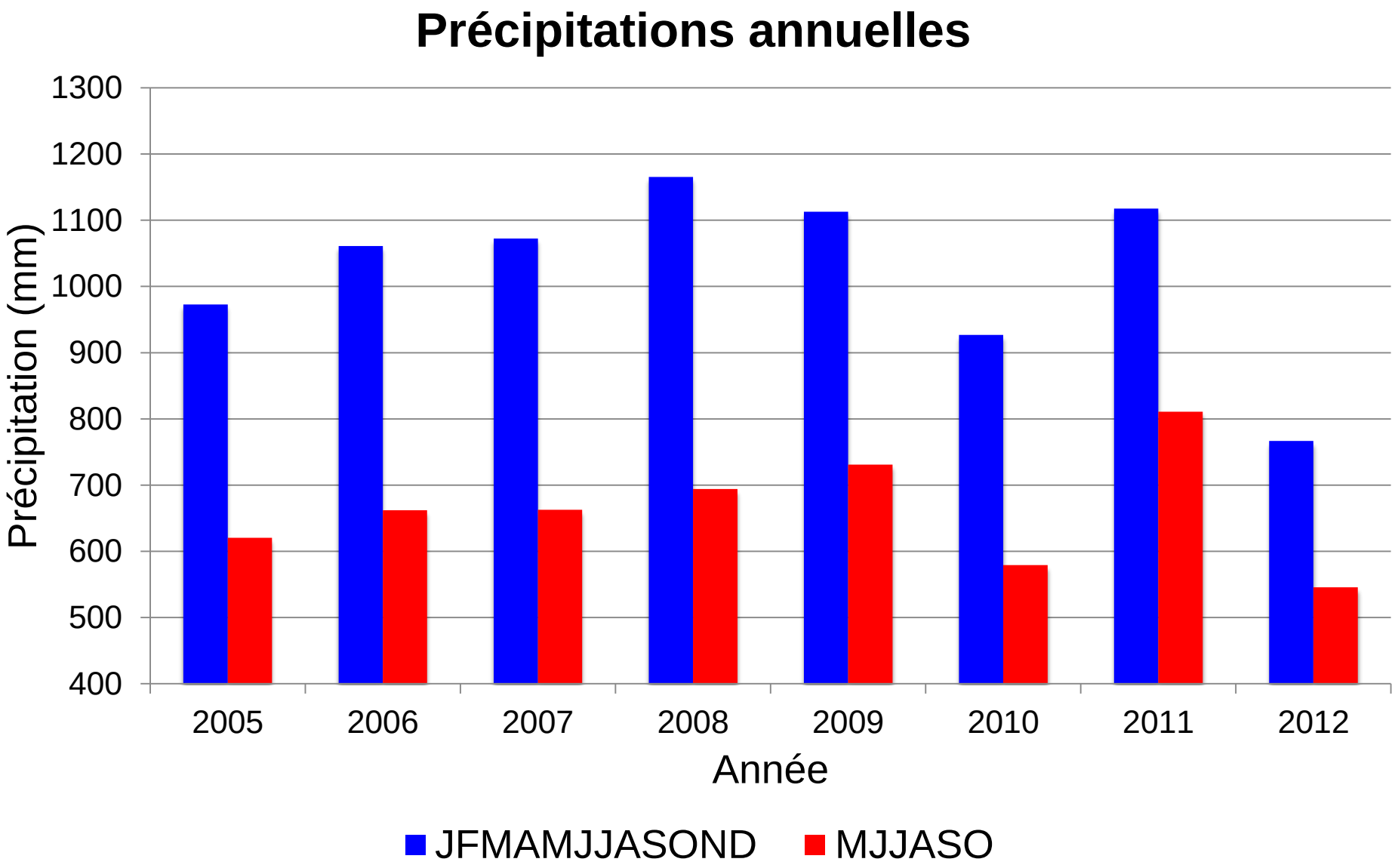
IV. Résultats: Collecte de données

- À chaque évènement, suivi de la **précipitation** horaire, du **débit** et du **flux sédimentaire**
- Données prises à différents stades des activités agricoles
- Station météorologique sur le site (précipitomètre à auget basculant)
- 8 évènements couverts de juillet à octobre 2012
  - Précipitation: 12 à 32 mm
  - Intensité: 2 à 12 mm/h
  - Été et automne **TRÈS SECS** avec peu d'évènements de précipitation

Sonde ultrasonique module 710

Matériel d'échantillonnage manuel

MHYDAS-Erosion



IV. Résultats: Calage

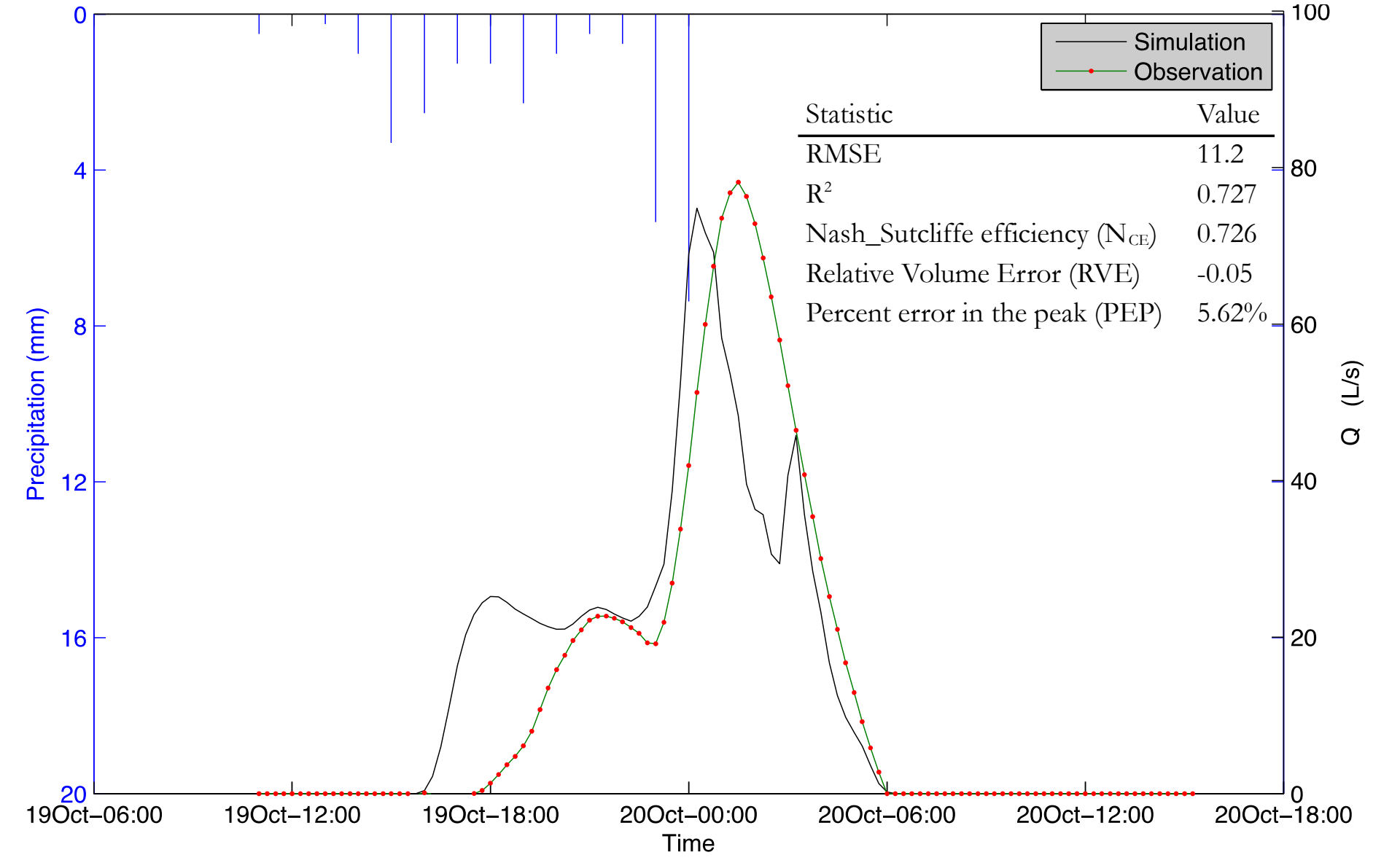
8 jeux de données
Calage Hydrologique

R^2_{moy}= 0.69 ± 0.2
$Nash_{moy}$= 0.55 ± 0.25
RVE_{moy}= 2.68 ± 0.06

Jeux de données le plus sensible

Évènement du 19 octobre
Durée: **14 h**
Précipitation totale: **27.4 mm**
Intensité maximale: **7.4 mm/h**

IV. Résultats: Calage



IV. Résultats

IV. Résultats: Calage

8 jeux de données

Calage Hydrologique

R^2_{moy}= 0.69 ± 0.2

$Nash_{moy}$= 0.55 ± 0.25

RVE_{moy}= 2.68 ± 0.06

Jeux de données le plus sensible

Évènement du 19 octobre

Durée: **14 h**

Précipitation totale: **27.4 mm**

Intensité maximale: **7.4 mm/h**

Pluies synthétiques

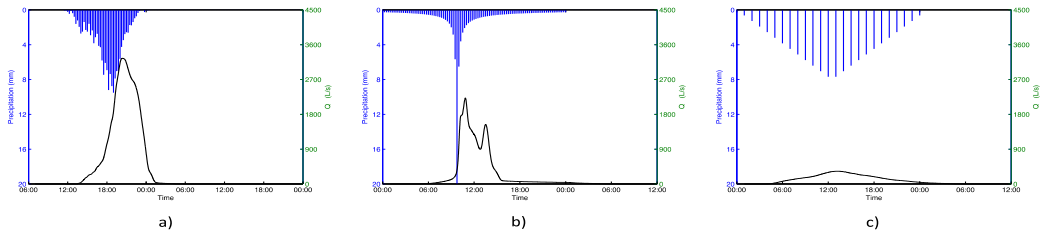
Précipitation: 55 à 99 mm

$Intensité_{max}$: 5 à 41 mm/h

Perte de sol: 14 à 81 kg/ha

IV. Résultats: Calage

- Pluies Synthétiques
- Chicago
  - Haute intensité sur une courte durée
- Triangulaire
  - Précipitations plus distribuées
  - Plus représentative des pluies pour la région[5]
- Vraie pluie de haute intensité
  - Queue de l'ouragan Irène en 2011



SIMULATION	Precipitation (mm)	Maximum Intensity (mm h^{-1})
Chicago 6h	55.6	29.8
10 years	71.4	38.2
50 years	78.1	41.8
100 years		
Chicago 24h		
10 years	75.0	26.6
50 years	92.5	32.8
100 years	99.9	35.5
Triangular 24h		
10 years	75.0	5.8
50 years	92.5	7.1
100 years	99.9	7.7
Irene	166.2	31.5

[5] Pelletier *et al.* (2009)

IV. Résultats: Calage

8 jeux de données

Calage Hydrologique

R^2_{moy}= 0.69 ± 0.2

$Nash_{moy}$= 0.55 ± 0.25

RVE_{moy}= 2.68 ± 0.06

Jeu de donnée le plus sensible

Évènement du 19 Octobre

Durée: **14 h**

Précipitation totale: **27.4 mm**

Intensité maximale: **7.4 mm/h**

Lennoxville (1991-1993) [7]

Superficie: 0.78-km^2

Précipitation: 43 à 57 mm

Perte de sol: **50 à 71 kg/ha**

Pluies synthétiques

Précipitation: 55 à 99 mm

$Intensité_{max}$: 5 à 41 mm/h

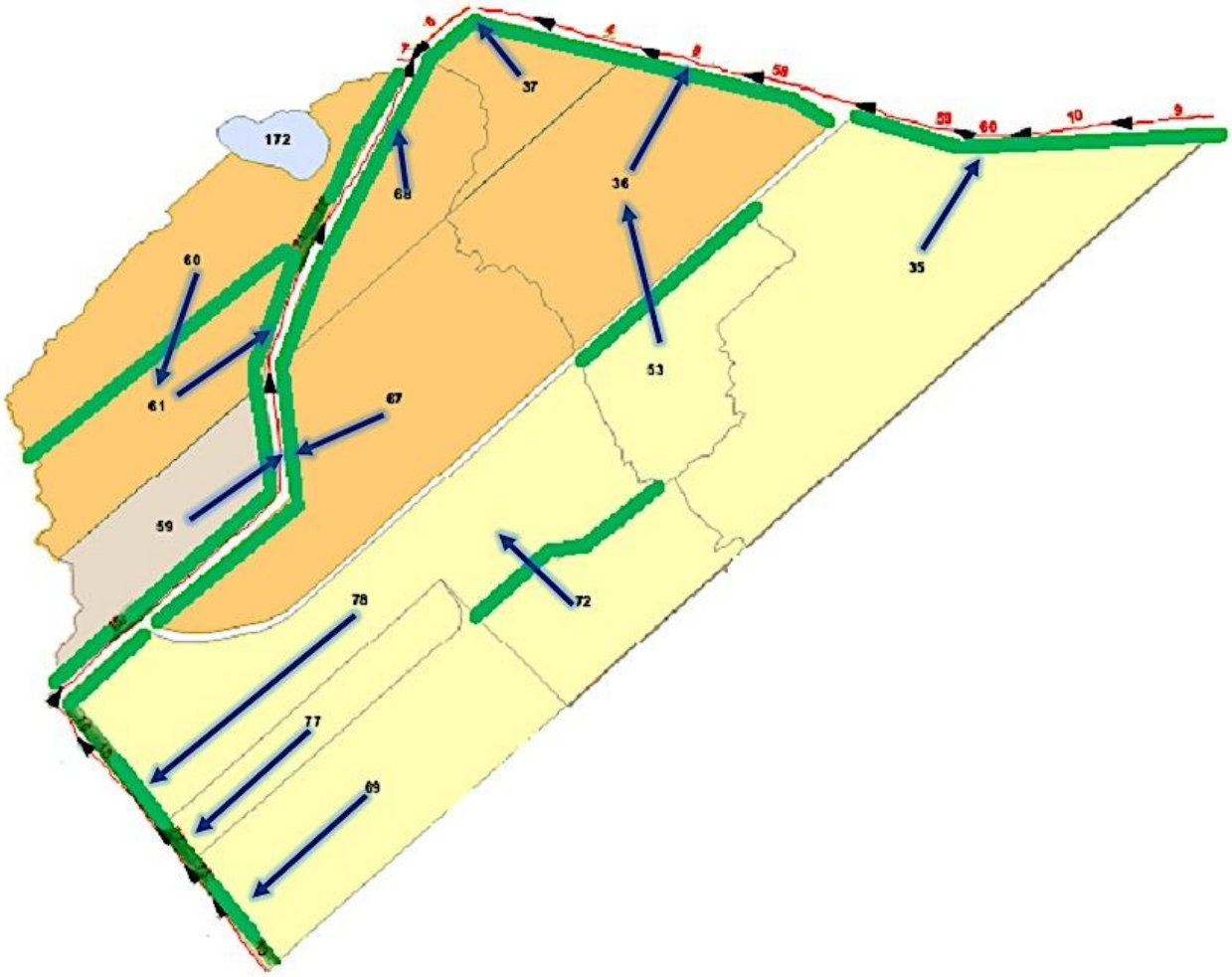
Perte de sol: **14 à 81 kg/ha**

[7] Duchemin et al. (2001)

IV. Résultats: Simulations

Couplage VFDM[6] - MHYDAS-Érosion
(Vegetated Filter Dimentioning Model)

- Largeur f(Efficacité voulue)
- Efficacité f(Largeur bandes)
- Bandes enherbées



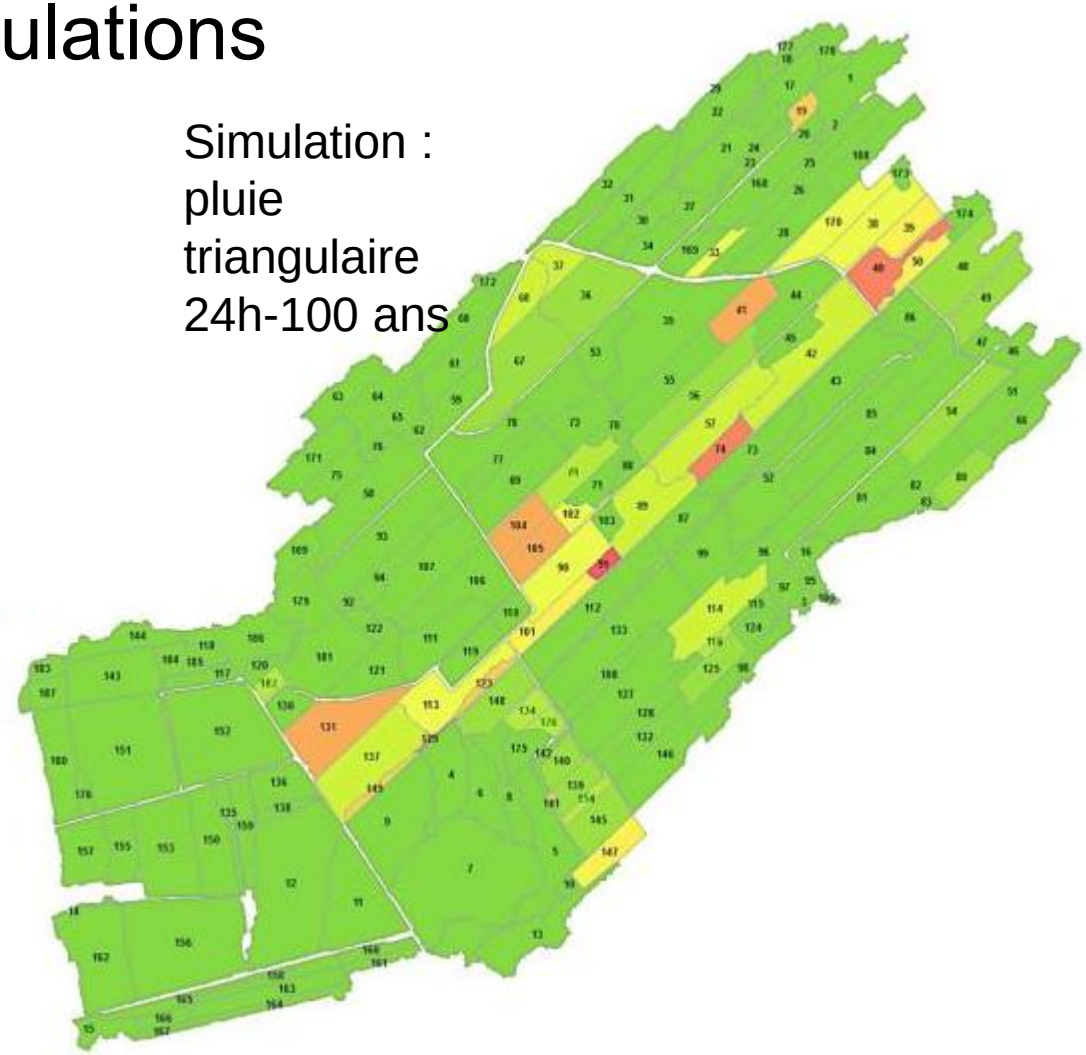
[6] Gumiere *et al*. (2013)

IV. Résultats: Simulations

Points chauds de perte de sol identifiés sur l'ensemble des simulations

- **En rouge** sur la carte
- Champs de Soya

Simulation : pluie triangulaire 24h-100 ans



Évènements de faible intensité (Triangulaire)

- **58.6 ± 2.8** fois plus des sédiments à l'exutoire proviennent des cours d'eaux (RS) (16 ± 2.8 kg ha^{-1} et 0.27 ± 0.12 kg ha^{-1} respectivement)

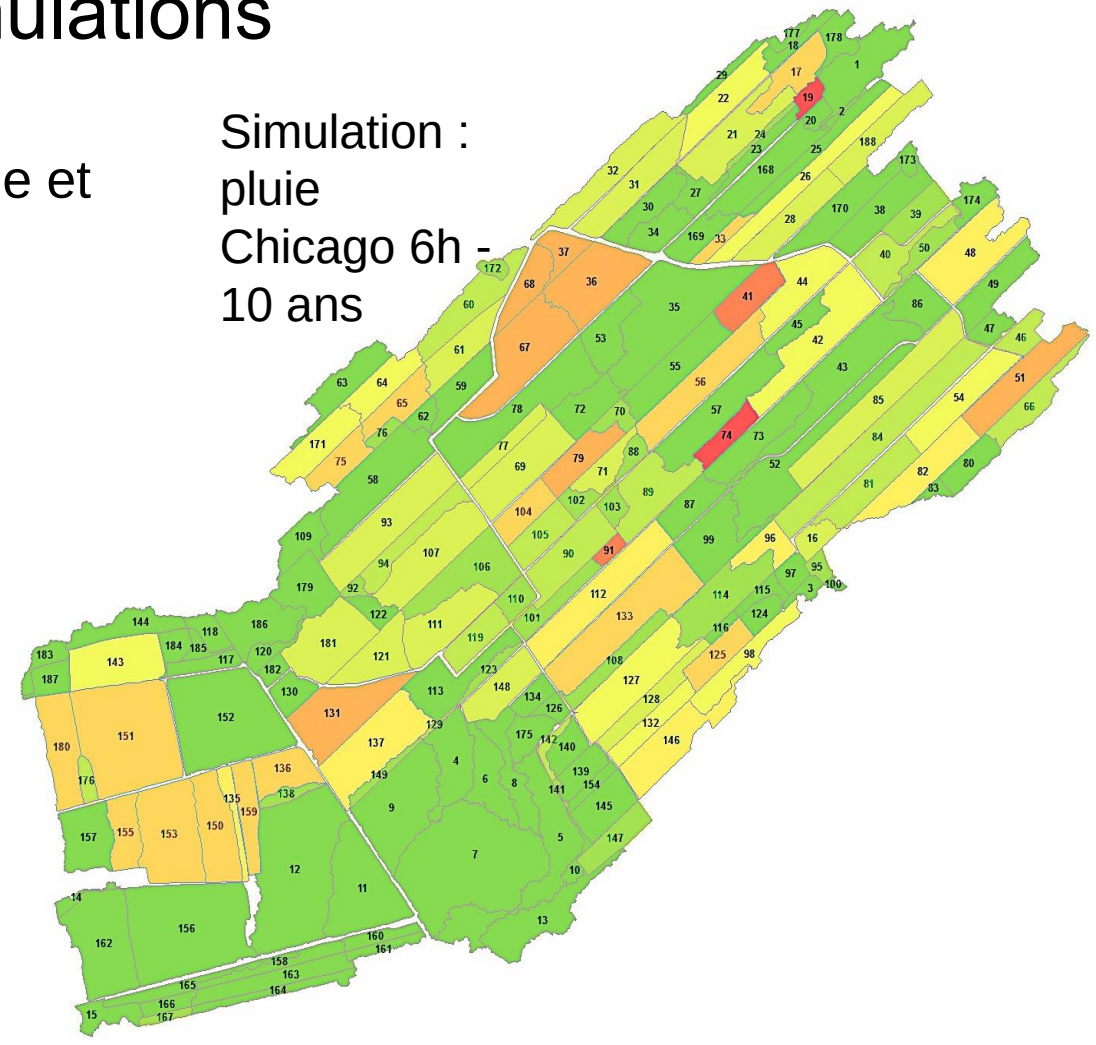
IV. Résultats: Simulations

Points chauds de perte de sol identifiés sur l'ensemble des simulations

- **En rouge** sur la carte
- Champs de Soya, maïs, avoine et jeunes prairies en pentes

Évènements de haute intensité (Chicago)

- **7.5 ± 0.5** fois plus des sédiments à l'exutoire proviennent des terres agricoles (SU) (550 ± 190 kg ha^{-1} et 72 ± 23 kg ha^{-1} respectivement)



IV. Résultats: Simulations

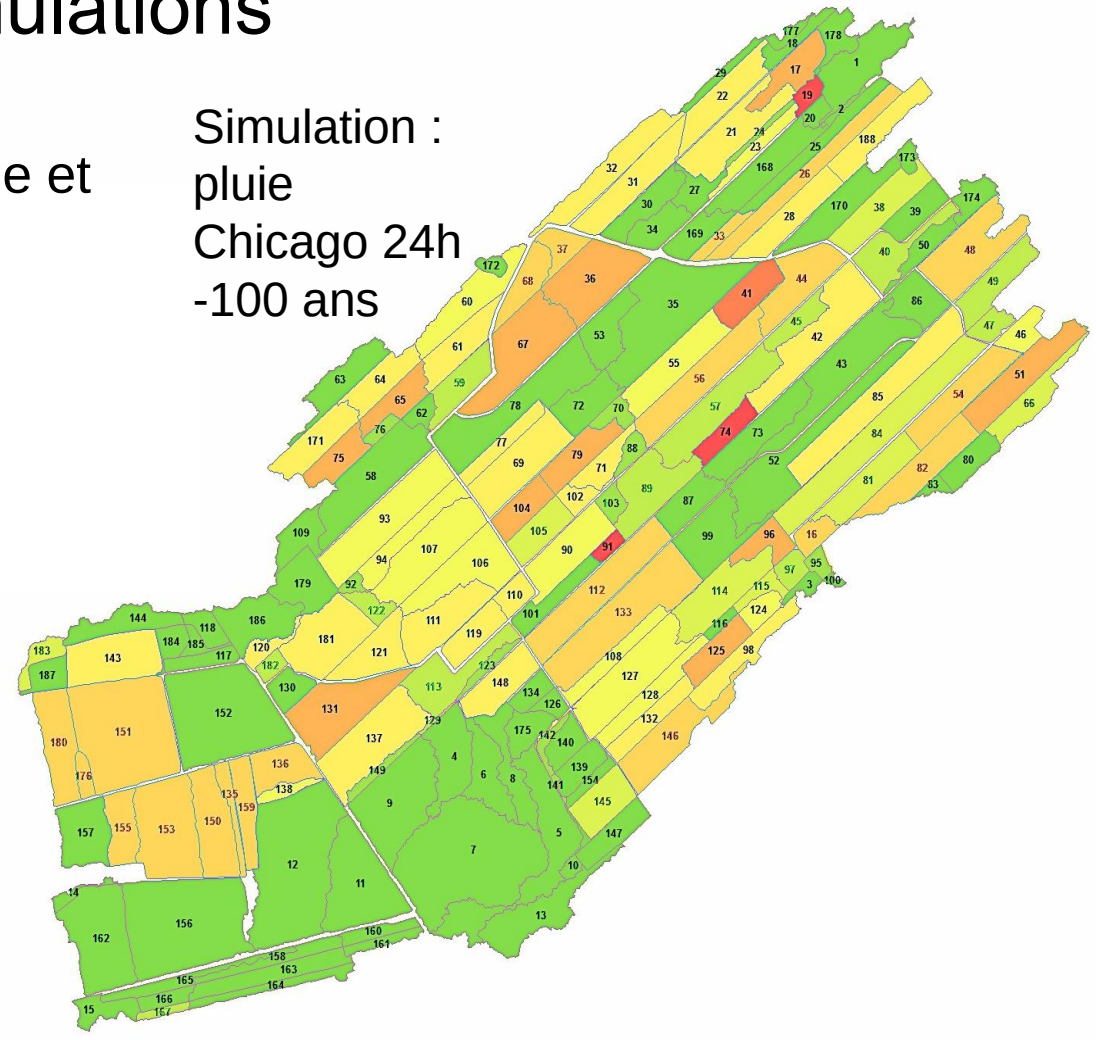
Points chauds de perte de sol identifiés sur l'ensemble des simulations

- **En rouge** sur la carte
- Champs de Soya, maïs, avoine et jeunes prairies en pentes

Évènements de haute intensité (Chicago)

- **7.5 ± 0.5** fois plus des sédiments à l'exutoire proviennent des terres agricoles (SU) (550 ± 190 kg ha^{-1} et 72 ± 23 kg ha^{-1} respectivement)

Simulation :
pluie
Chicago 24h
-100 ans



IV. Résultats: Simulations

Scénarios de bandes enherbées

Pluie de l'ouragan Irène et jeu de données du 19 Oct

- 5m sur tous les champs
  - Rétention globale sédimentaire 51% ± 1.2%
- 20m en bordure des huit UH les plus sensibles (4% des champs)
  - Rétention globale sédimentaire 30% ± 6.8%

VI. Conclusion

- Calage et validation
  - Hydrologie seulement
  - Bon ordre de grandeur
  - Comparable à un autre bassin/évènements similaires

- Simulations PGBs
  - Huit (8) champs plus à risque
  - Réduction de 54% des sorties sédimentaires des UH avec 4% du territoire

VI. Conclusion

Avenues pour les travaux futurs

- Meilleure validation utilisant une plus grande variété d'évènements de précipitation
  - Possibilité de meilleures scénarios de gestion
- Intégration de (VFDM) à MHYDAS-Érosion pour observer l'effet des bandes enherbées à l'exutoire

VII. Remerciements

- Georges Thériault et Geneviève Montminy pour leur support constant (AAC dans le cadre de WEBS)
- MNT corrigé pour les ponceaux fourni par Isabelle Beaudin (IRDA)
- Patrons de pluies de conception fournis par Samuel Bolduc (INRS)
- Relation hauteur/débit fournie par Claudie Ratté-Fortin (INRS)

VII. Bibliographie

1. R. Quilbé, A.N Rousseau, J.-S. Moquet, S. Savary, S. Ricard, M.S. Garbouj. 2007. Hydrological responses of a watershed to historical land use evolution and future land use scenarios under climate change conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci*., 12, 101–110, 2008

2. Gumiere, S.J., D. Raclot, B. Cheviron, G Davy, X. Louchart, J.-C. Fabre, R. Moussa, Y. Le Bissonnais, Y. 2010. MHYDAS-Erosion: A distributed single-storm water erosion model for agricultural catchments. *Hydrological Processes* 25: 1717-1728.

3. Yang, W., A. N. Rousseau, P. Boxall. 2007. An integrated, economic-hydrologic, modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *Journal of Soil and Water Conservation,* **62**(6): 423-432.

4. Rousseau A.N., J.-P. Fortin, R. Turcotte, A. Royer, S. Savary, F. Quévy, P. Noël, C. Paniconi. 2011. *Water News – CWRJ*, 31: 18-20. 4

5. Pelletier, G., F. Anctil, M. Filion. 2009. Characterization of 1-h rainfall temporal patterns using a Kohonen neural network: a Quebec City case study. *Canadian Journal of Civil Engineering* 36: 980-990.

6. 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. *Canadian Water Resources Journal* doi10.1080/07011784.2013.830372

7. Duchemin, M., M. Lachance, G. Morin, R. Lagace. 2001. Approche geomatique pour simuler l'erosion hydrique et le transport des sediments a l'echelle des petits bassins versants. *Water Quality Research Journal of Canada* 36: 435-473.

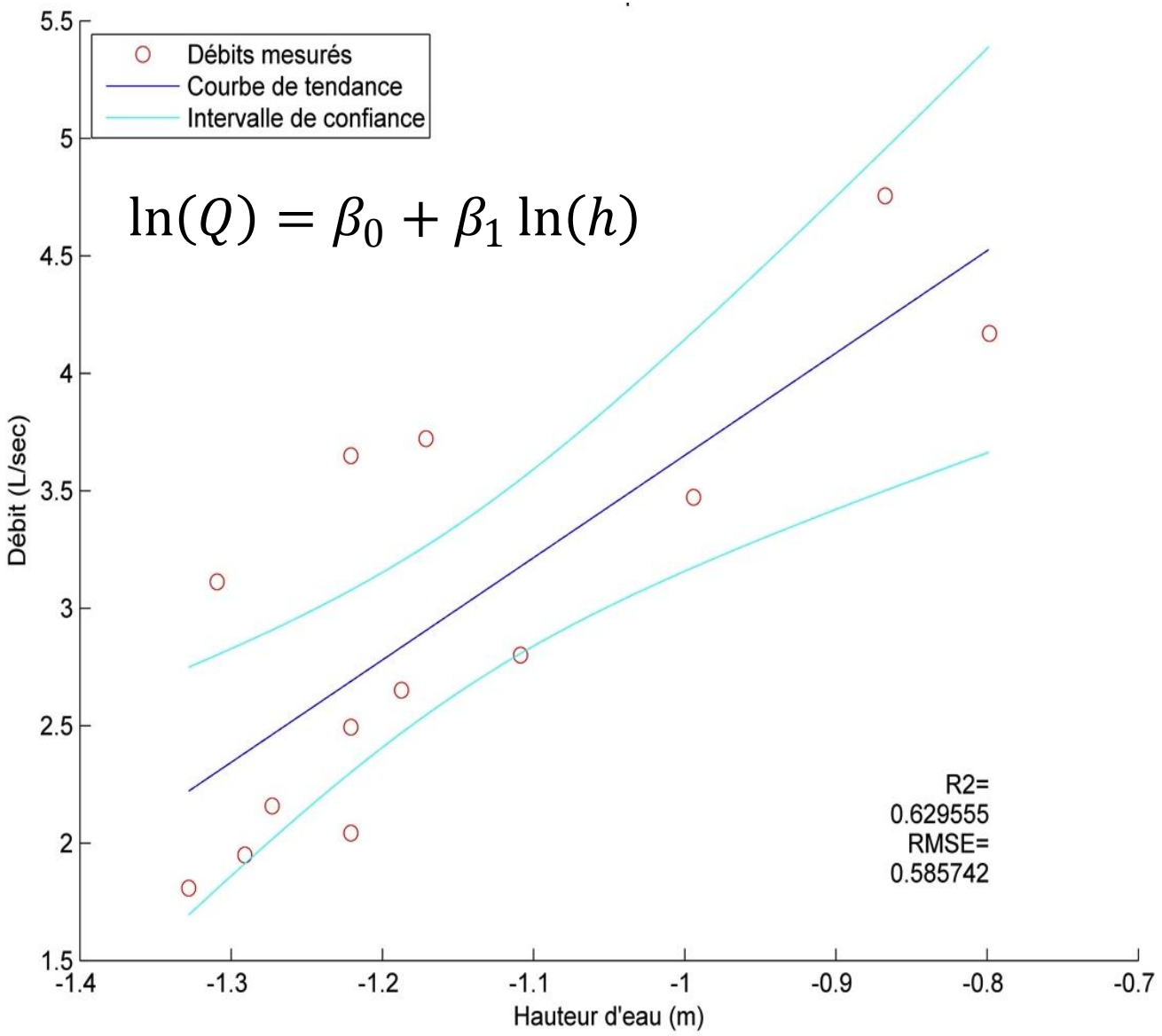
Merci de votre attention

IV. Résultats: Collecte de données

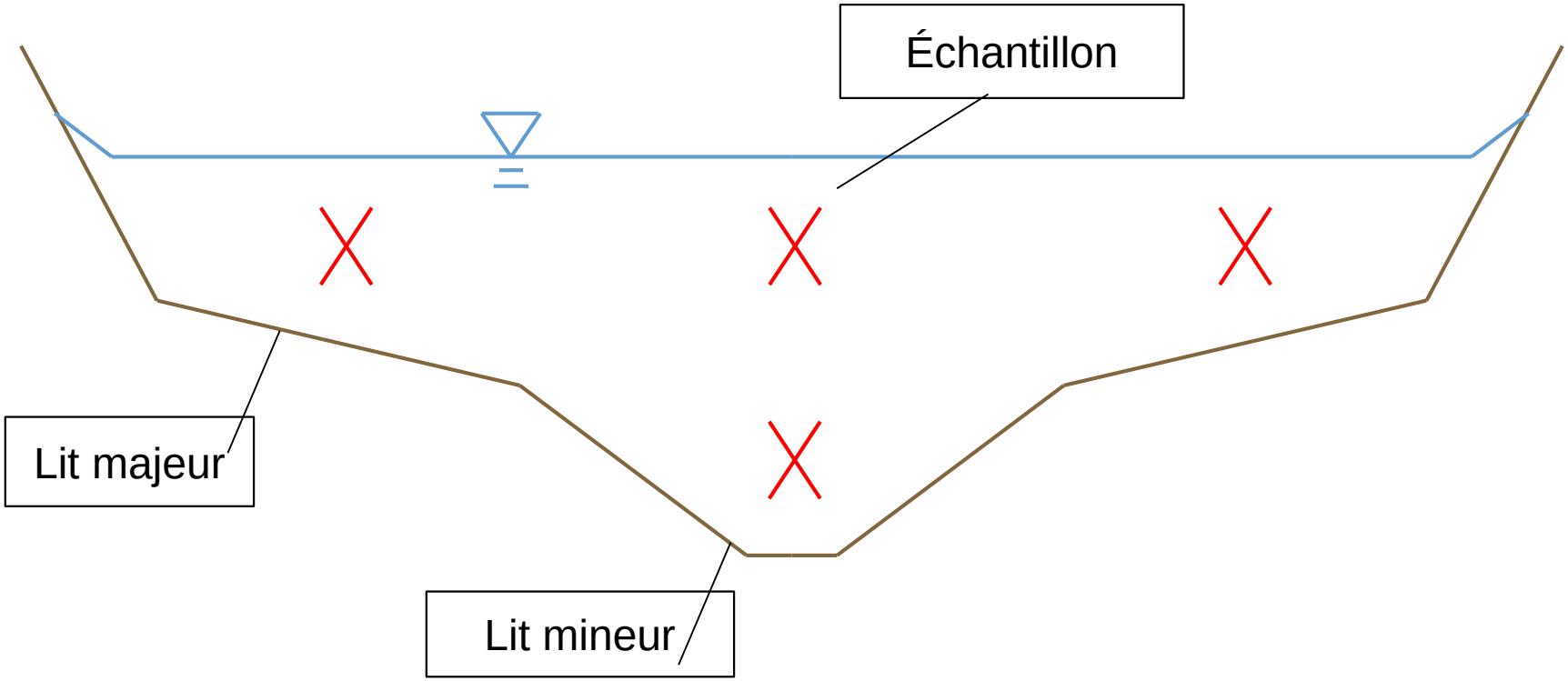
Courbe de tarage hauteur débit à l'exutoire pour l'été 2012, où:

- **h** = hauteur d'eau (m)
- **Q** = débit (L/s) et
- **β_0, β_1** = constantes

(*C.R.Fortin 2013*)



IV. Résultats: Collecte de données



MHYDAS-Erosion

- Écoulement de surface diffus
  - Hayami (1951)
- Infiltration
  - Morel- Seytoux (1984)
- VFDM
  - Deletic & Fletcher (2008)
- Érosion pluie
  - Yan *et al*. (2008) (pluie)
- Érosion transport
  - Foster *et al*. (1995) (dans les rigoles et entre les rigoles)

MHYDAS-Erosion

Parameter	Description	Unit
SU		
K_s	Saturated hydraulic conductivity	m s^{-1}
h_c	Air entry potential	m
θ_r	Soil residual humidity	m^3 m^{-3}
θ_r	Soil saturation moisture	m^3 m^{-3}
n_{SU}	Manning's roughness coefficient	s $m^{-1/3}$
A_s	Aggregate stability index	-
N_{rill}	Number of rills/gullies	-
W	Rill/gulley width	m
$d50_{sed}$	Median sediment diameter	m
τ_c	Critical soil shear stress	Pa
Transfcode	Interface type indicator (SU-SU or SU-RS)	-
K_r	Rill erodibility	s m^{-1}
Cetimax	Maximum transport coef. From interrill erosion	-
Strip.width	Vegetated filter width	m
Strip.Dencity	Density of vegetation in filter	-
RS		
K_s	Saturated hydraulic conductivity	m s^{-1}
n_{RS}	Manning's roughness coefficient	s $m^{-1/3}$
K_r	Rill erodibility	s m^{-1}
τ_c	Critical soil shear stress	Pa

MHYDAS-Erosion

Parameter	Value	Land Use or Soil Type
A_s	0.001	Farm Roads
	0.7	Annual Crops
	0.5	Prairies & Forests
$CETI_{max}$	0.25	Farm Roads
	0.06	Annual Crops (Tilled)
	0.12	Annual Crops (Tilled)
	0.01	Prairies & Forests
T_c	100	Farm Roads
	2	Sand, Soamy sands, Sandy loams
	3	Loams, Silty loams
	10	Clay, Loamy clay
K_r	1.00E-09	Farm Roads
	0.1	Sand, Loamy sands, Sandy loams
	0.01	Loams, Silty loams
	0.005	Clay, Loamy clay

MHYDAS-Erosion

Tableau 1: Occupation du microbassin

Occupation	Aire (km2)	Pourcentage d'occupation
Non Classé	0.09	4%
Mais	0.50	20%
Avoine	0.14	6%
Soya	0.33	13%
Soya (semi-directe)	0.45	18%
Prairie	0.52	21%
Prairie (semis tardive)	0.07	3%
Forêt	0.32	13%
Urbain	0.05	2%

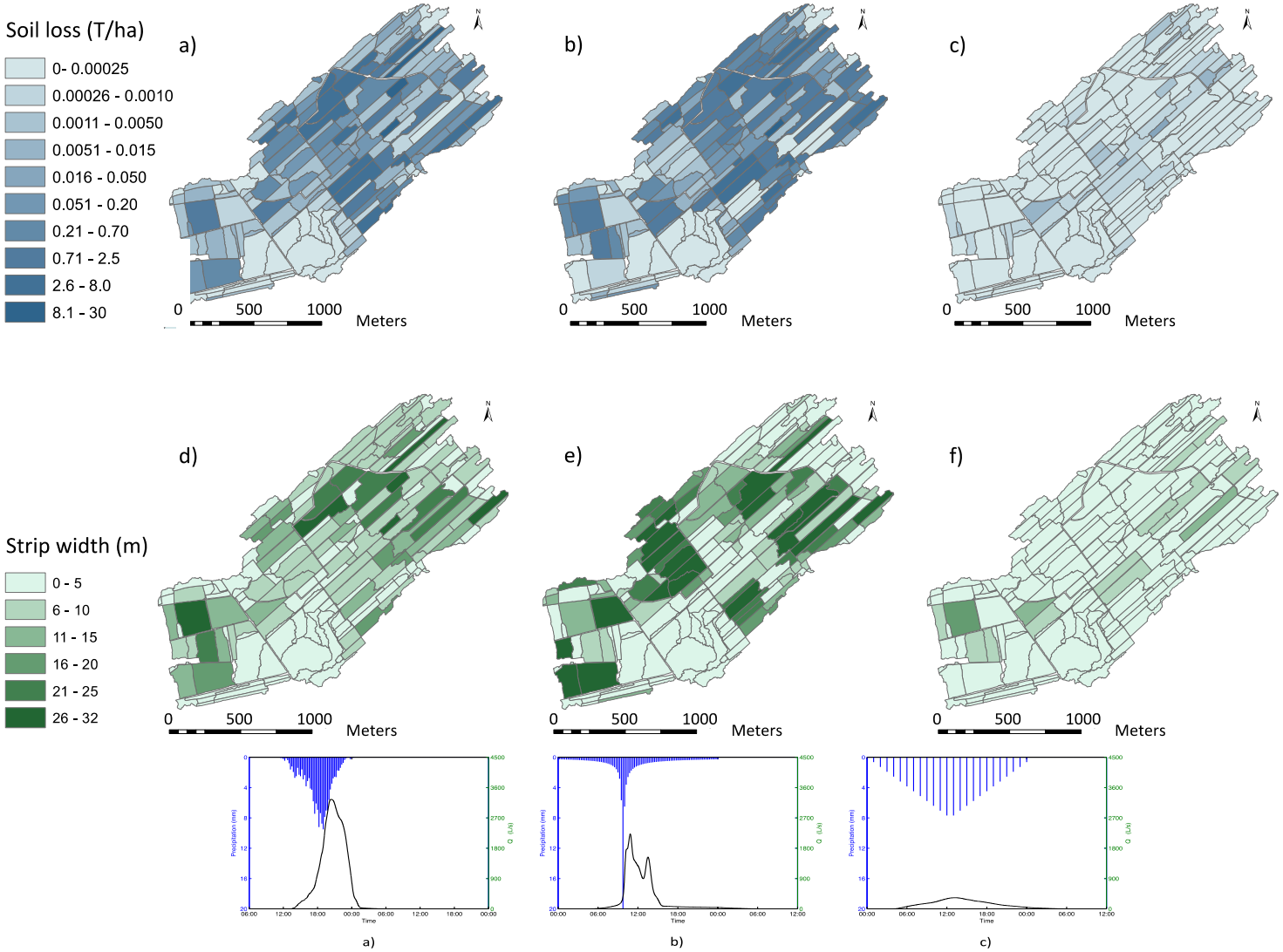
MHYDAS-Erosion

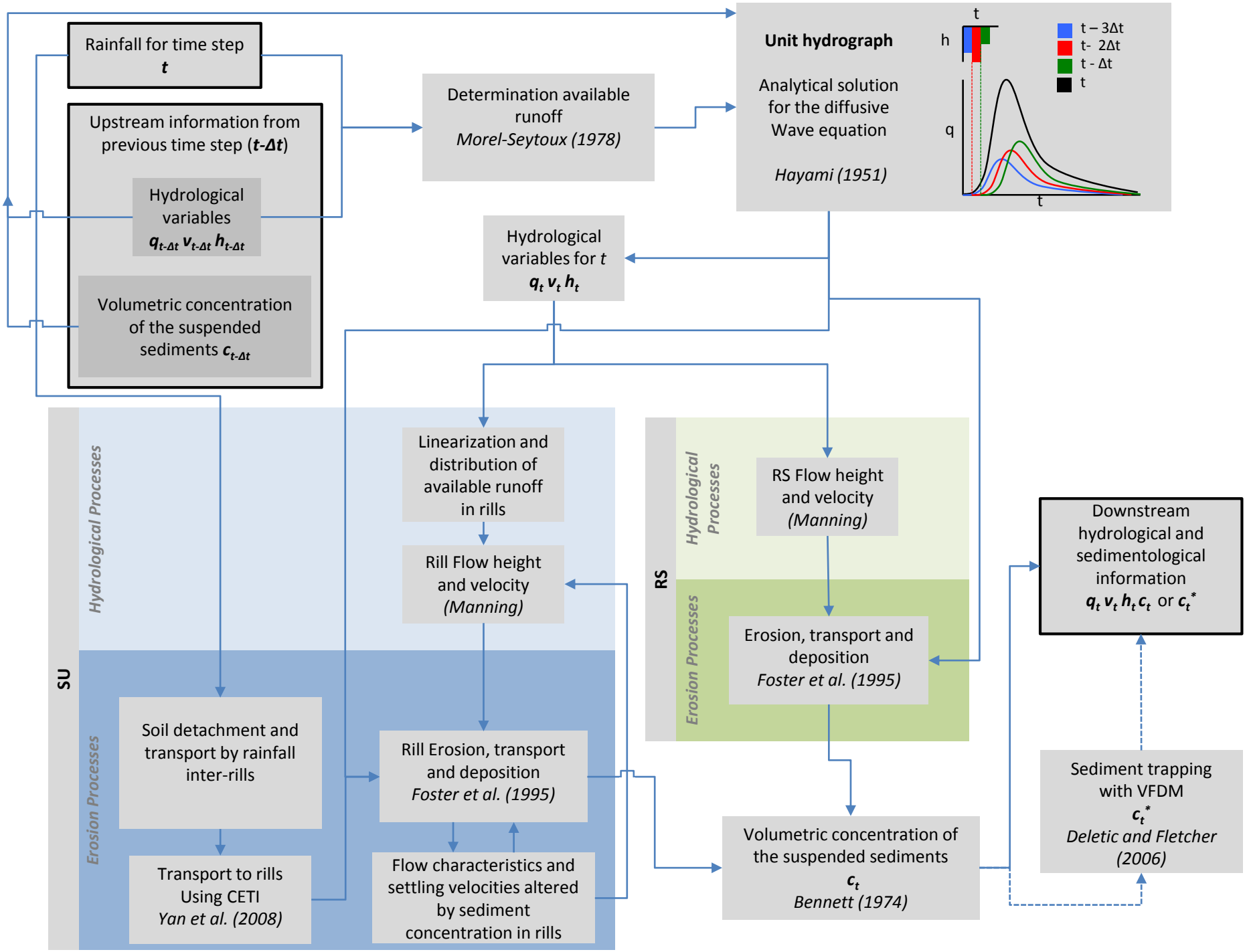
- Intersection entre les différentes cartes d'information spatiotemporelle
  - Champs et chemins agricoles
  - Sols
  - Occupation du territoire (type de culture et stade de croissance)
  - Pentes
  - PGBs
- Chaque zone homogène sélectivement nettoyée pour permettre le transfert de sédiments d'une zone à l'autre ou d'une zone à un segment de réseau de drainage
- Les court-circuitages dans les bandes riveraines aussi répertoriés

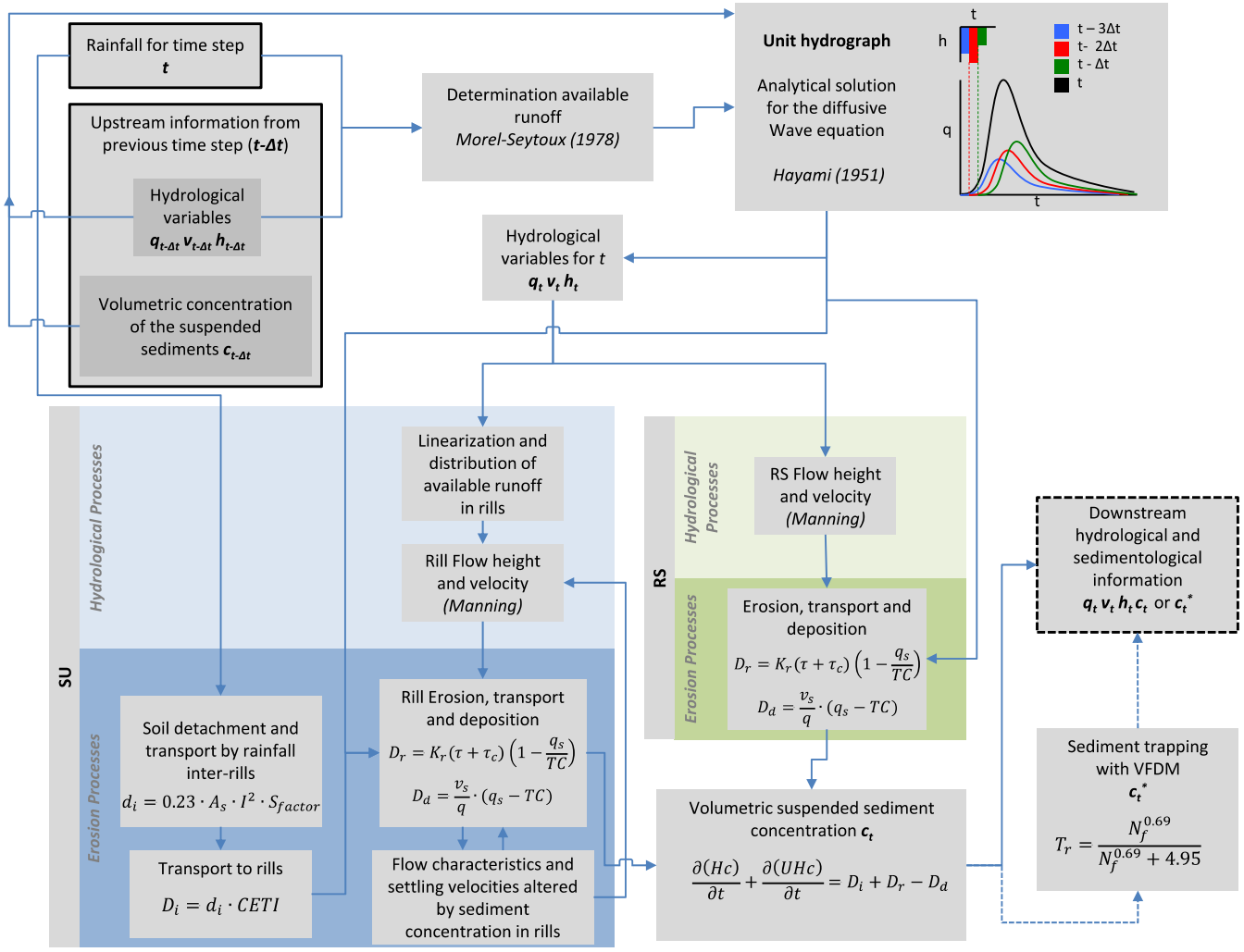
IV. Méthodologie: Évènement

Date	Durée (h)	Précip. totale (mm)	Intensité moyenne (mm/h)	Intensité max (mm/h)
2012 Juillet 04	8	14.4	1.81	11.9
2012 Aout 05	**11**	**26.7**	**2.4**	**10.1**
2012 Aout 10	**29**	**32.5**	**1.1**	**14.2**
2012 Sept. 08	10	12.2	1.2	7.8
2012 Sept. 18	14	16.0	1.1	6.9
2012 Oct. 06	15	24.1	1.6	4.6
2012 Oct. 14	22	13.2	0.6	2.3
2012 Oct. 19	**14**	**27.4**	**2.0**	**7.4**

Bandes végétales




Rainfall for time step
t
Upstream information from previous time step (t-Δt)
Hydrological variables
$q_{t-\Delta t}$ $v_{t-\Delta t}$ $h_{t-\Delta t}$
Volumetric concentration of the suspended sediments $c_{t-\Delta t}$
Determination available runoff
Morel-Seytoux (1978)
Unit hydrograph
Analytical solution for the diffusive Wave equation
Hayami (1951)
t
h
q
t – 3Δt
t- 2Δt
t - Δt
t
Hydrological variables for t
q_t v_t h_t
SU
Hydrological Processes
Linearization and distribution of available runoff in rills
Rill Flow height and velocity
(Manning)
Erosion Processes
Soil detachment and transport by rainfall inter-rills
Transport to rills Using CETI
Yan et al. (2008)
Rill Erosion, transport and deposition
Foster et al. (1995)
Flow characteristics and settling velocities altered by sediment concentration in rills
RS
Hydrological Processes
RS Flow height and velocity
(Manning)
Erosion Processes
Erosion, transport and deposition
Foster et al. (1995)
Volumetric concentration of the suspended sediments
c_t
Bennett (1974)
Downstream hydrological and sedimentological information
q_t v_t h_t c_t or c_t^*
Sediment trapping with VFDM
c_t^*
Deletic and Fletcher (2006)


Rainfall for time step t
Upstream information from previous time step (t-Δt)
Hydrological variables $q_{t-\Delta t}$ $v_{t-\Delta t}$ $h_{t-\Delta t}$
Volumetric concentration of the suspended sediments $c_{t-\Delta t}$
Determination available runoff Morel-Seytoux (1978)
Unit hydrograph
Analytical solution for the diffusive Wave equation
Hayami (1951)
t
h
q
t – 3Δt
t- 2Δt
t - Δt
t
Hydrological variables for t q_t v_t h_t
SU
Hydrological Processes
Linearization and distribution of available runoff in rills
Rill Flow height and velocity (Manning)
Erosion Processes
Soil detachment and transport by rainfall inter-rills
$d_i = 0.23 \cdot A_s \cdot I^2 \cdot S_{factor}$
Transport to rills
$D_i = d_i \cdot CETI$
Rill Erosion, transport and deposition
$D_r = K_r(\tau + \tau_c)\left(1 - \frac{q_s}{TC}\right)$
$D_d = \frac{v_s}{q} \cdot (q_s - TC)$
Flow characteristics and settling velocities altered by sediment concentration in rills
RS
Hydrological Processes
RS Flow height and velocity (Manning)
Erosion Processes
Erosion, transport and deposition
$D_r = K_r(\tau + \tau_c)\left(1 - \frac{q_s}{TC}\right)$
$D_d = \frac{v_s}{q} \cdot (q_s - TC)$
Volumetric suspended sediment concentration c_t
$\frac{\partial(Hc)}{\partial t} + \frac{\partial(UHc)}{\partial t} = D_i + D_r - D_d$
Downstream hydrological and sedimentological information q_t v_t h_t c_t or c_t^*
Sediment trapping with VFDM c_t^*
$T_r = \frac{N_f^{0.69}}{N_f^{0.69} + 4.95}$