

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 1 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter

Modélisation de l'écoulement sur une topographie avec des hétérogénéités orientées et des différences d'échelle

Frédéric DARBOUX

Frederic.Darboux@orleans.inra.fr

François JAMES

Francois.James@univ-orleans.fr

Stéphane CORDIER

Stephane.Cordier@univ-orleans.fr

23 juin 2006

1. Introduction

1.1. Position du problème

Lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols

De l'amont...



(Photos : Yves Le Bissonnais, INRA)

...à l'aval.



(Photo : C. Douyer / DRAF Haute Normandie)



(Photo : Yves Le Bissonnais, INRA)

Aménagements au sein des zones amonts (bassins versants)



- ▷ D'où vient l'eau ?
- ▷ Où va-t-elle ?

Utilisation de modèles numériques pour :

- ▷ simuler les flux (volumes et localisation)
- ▷ proposer des aménagements.

~> prédire les chemins d'écoulement

En contexte agricole (INRA !), plusieurs objets peuvent contrôler les directions d'écoulements :

- ▷ topographie
- ▷ travail du sol (sillons)
- ▷ traces de roues
- ▷ fossés et chemins



(Photo : Yves Le Bissonnais, INRA)

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 6 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter



(Photo : José Luis, univ. Austin TX)

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 7 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter



(Photo : inconnu)

Pour une topographie et un travail du sol donné, la direction d'écoulement va-t-elle être contrôlée par :

- ▷ la topographie (plus grande pente) ?
- ▷ la direction du travail du sol ?



(Photo : C. Gascuel, INRA)

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 9 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter



(Photo : V. Souchère, INRA)

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 10 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter



(Photo : V. Souchère, INRA)

2. Du terrain à la modélisation opérationnelle

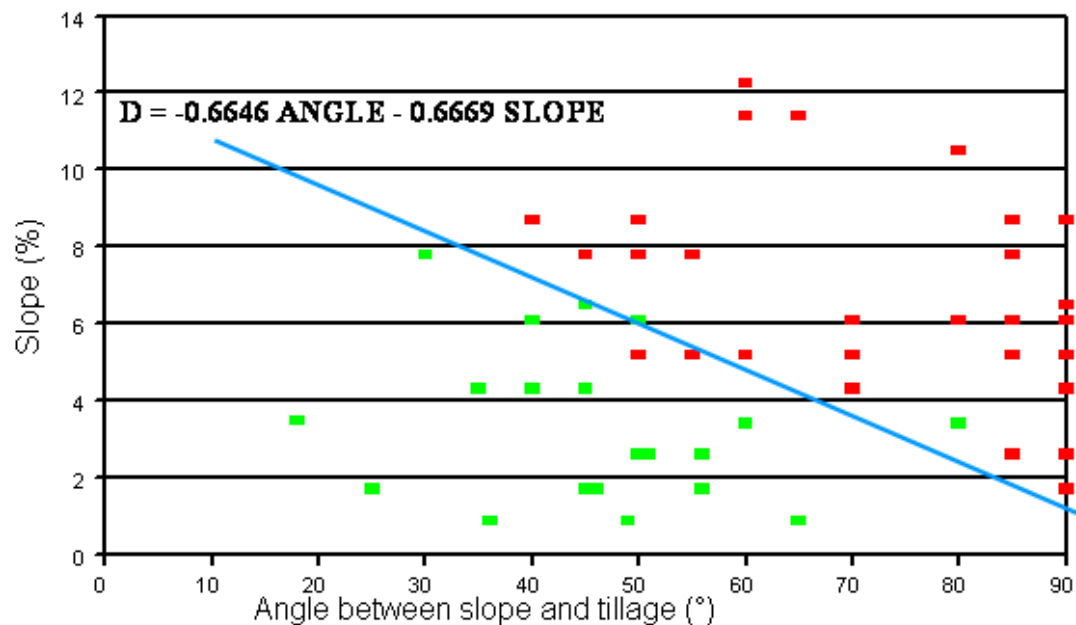
On (V. Souchère, INRA Grignon - 1995) a pu créer une loi empirique permettant de discriminer entre :

- ▷ les cas où les sillons contrôlent les directions d'écoulement
- ▷ les cas où la pente générale les contrôle.

3 paramètres :

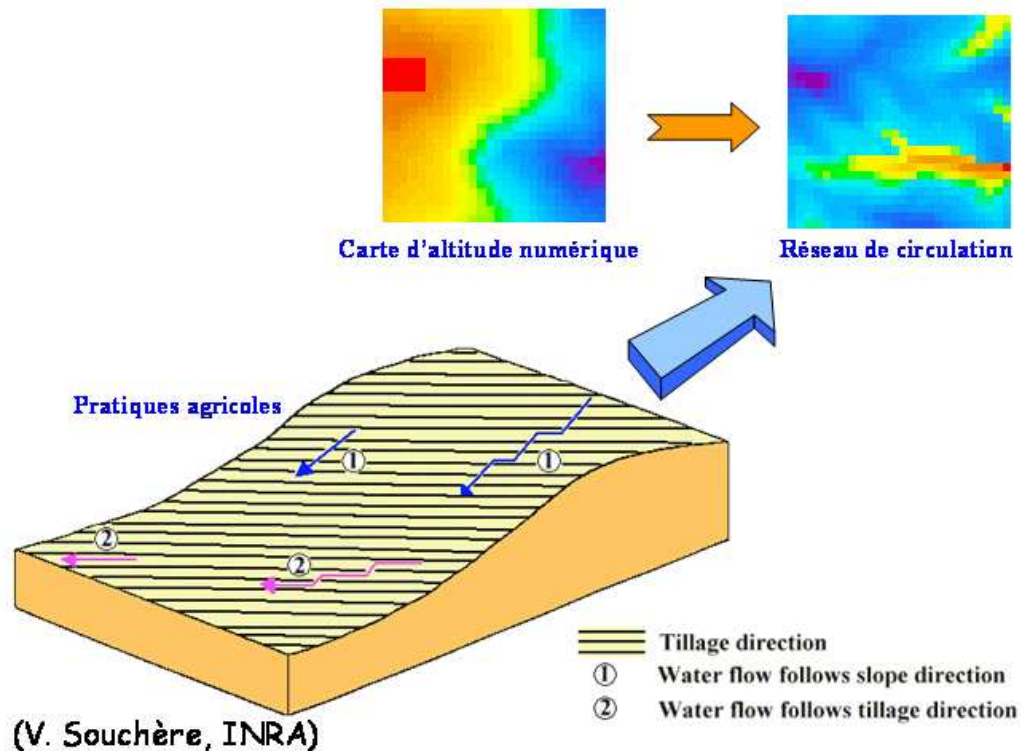
- ▷ pente générale
- ▷ amplitude des sillons (hauteur)
- ▷ angle entre la direction de la pente générale et la direction des sillons

Loi discriminante empirique

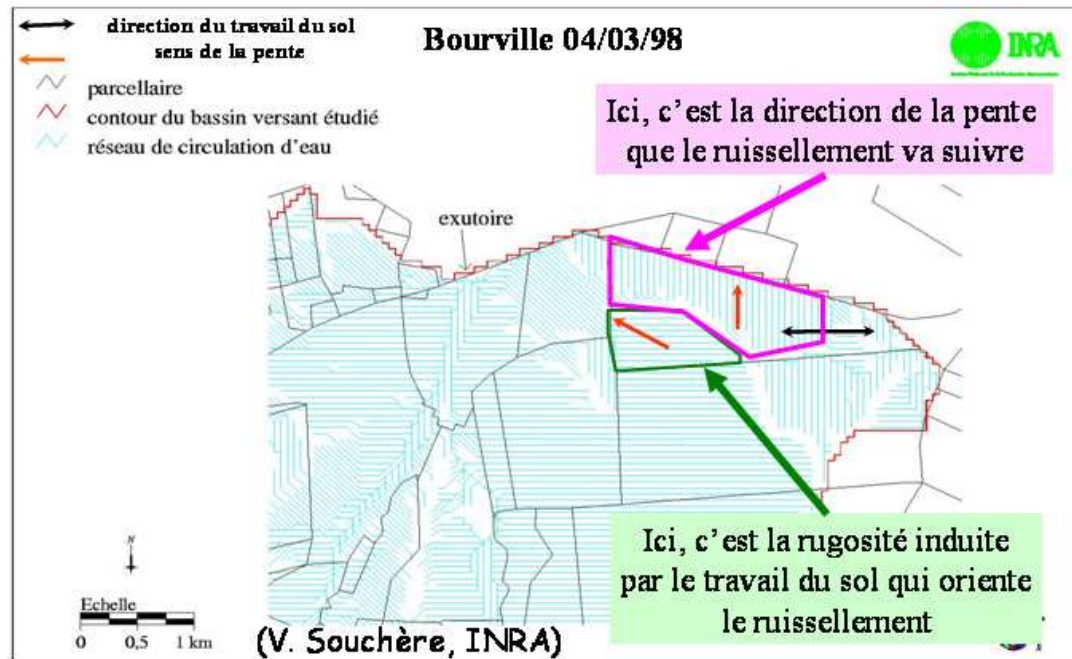


(V. Souchère, INRA)

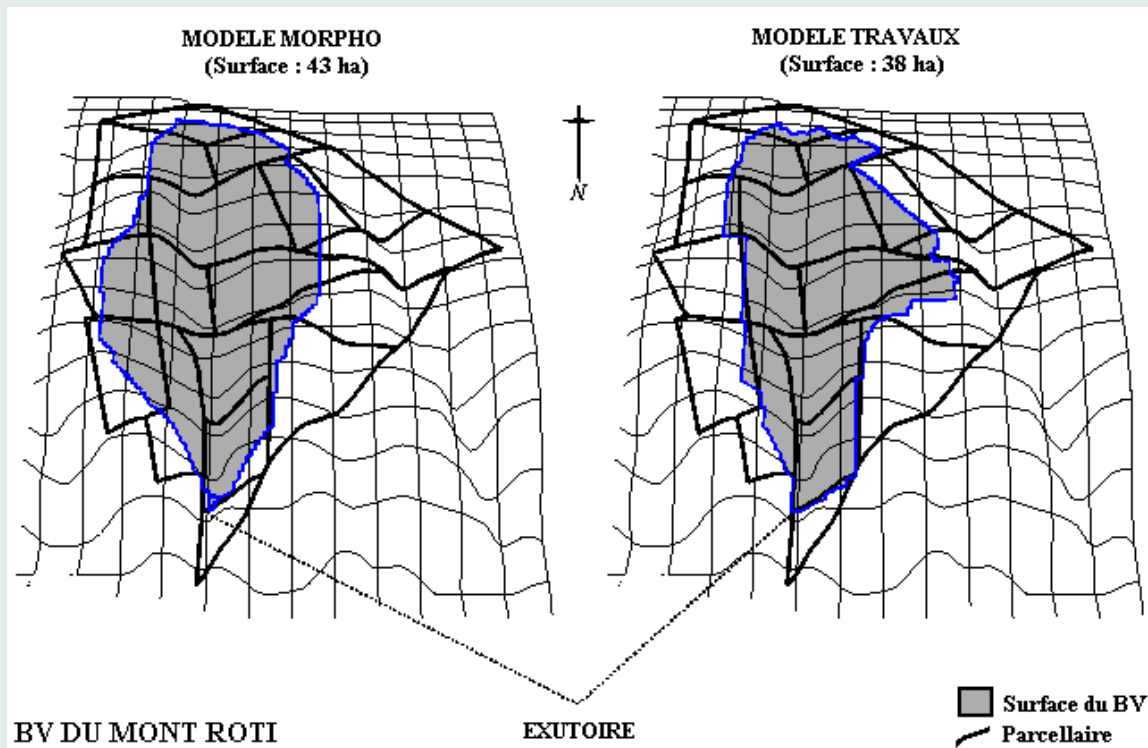
Inclusion de cette loi dans un modèle (quasi-)opérationnel :
STREAM (INRA Orléans).



Conséquences à l'échelle d'une parcelle

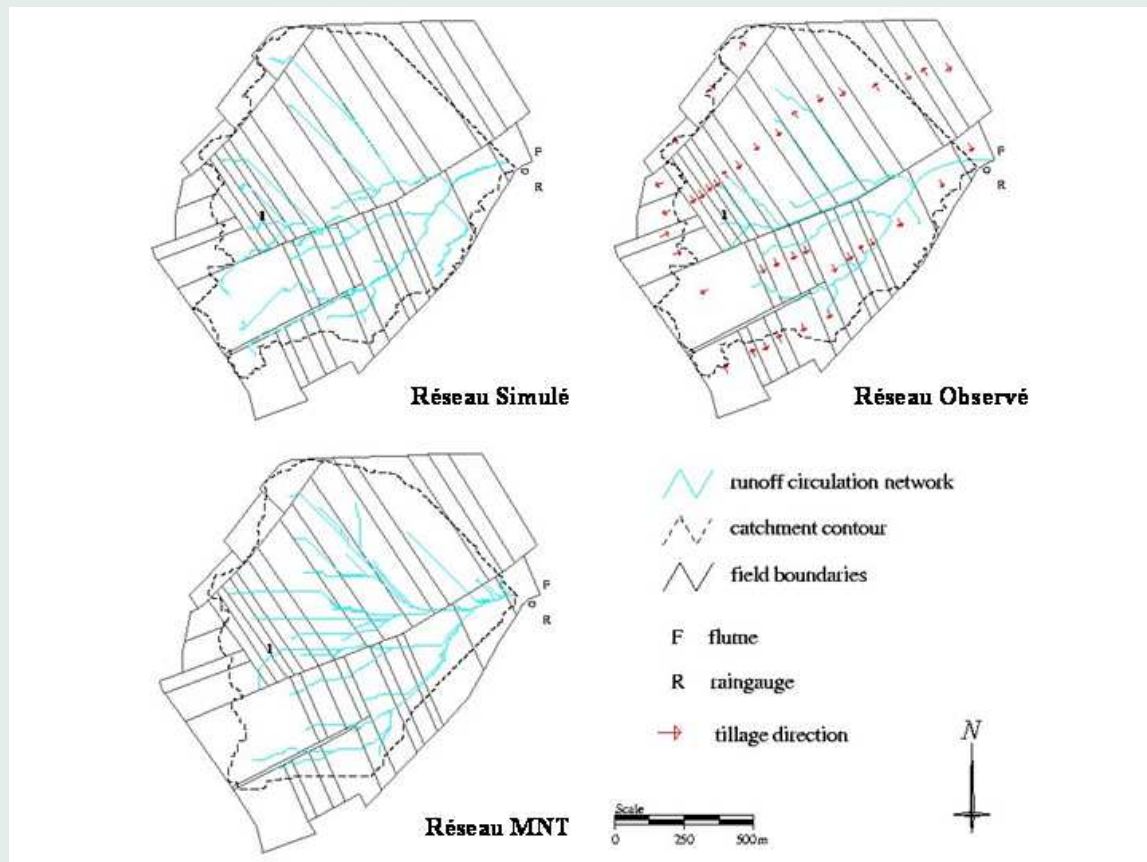


Conséquences à l'échelle d'un bassin versant



(V. Souchère, INRA)

Une meilleure prédiction des directions d'écoulement



(V. Souchère, INRA)

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre



Page 17 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter

Approche terrain difficile à poursuivre :

- ▷ problèmes métrologiques
- ▷ études de cas

Comment aller plus loin ?

- ▷ Cas général ?
- ▷ Tenir compte de la hauteur d'eau ?

3. Modélisation par marcheurs - 1999

Objectif : déclenchement du ruissellement par remplissage progressif des flaques

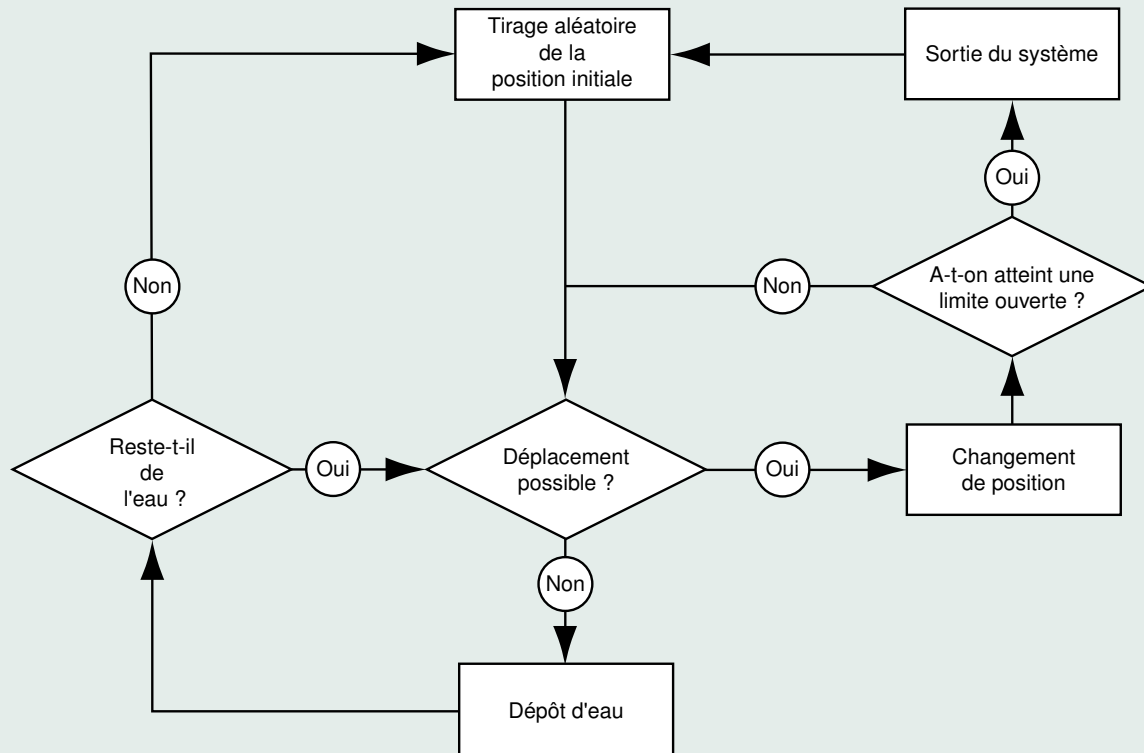
3.1. Le Modèle

Famille des automates cellulaires

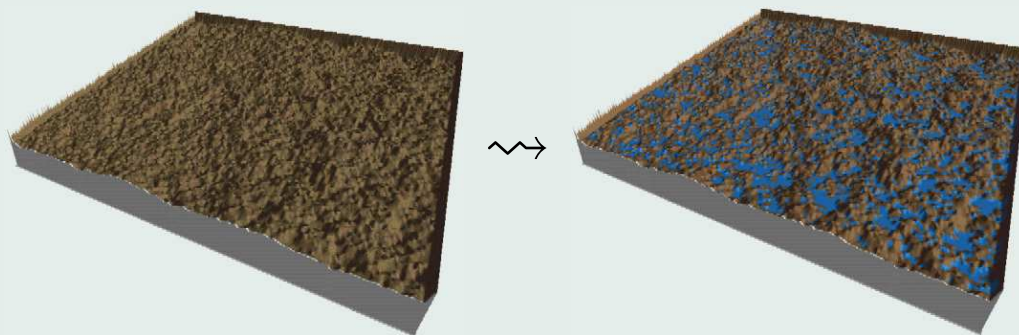
Modèle de marcheurs conditionnés

18	8	10	15	23
33	22	21	5	10
45	35	28	19	14
30	16	17	28	24
52	10	12	11	34

Principe de fonctionnement



- ▷ Pas de vitesse, pas d'inertie
- ▷ Plus grande pente



- ▷ Cas avec rugosité isotrope
- ▷ Cas avec rugosité orientée
- ▷ Cas avec infiltration
- ▷ Cas avec érosion-sédimentation

3.2. Données d'entrée

Grille de hauteur et conditions aux limites

- ▷ Surfaces mesurées
- ▷ Surfaces générées (FFT2D^{-1} + pente générale + sinusoïde)

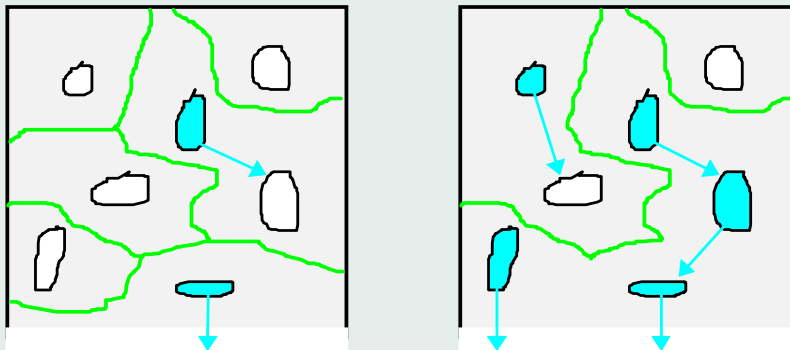
3.3. Moyens de calcul

Station Unix IBM RS/6000

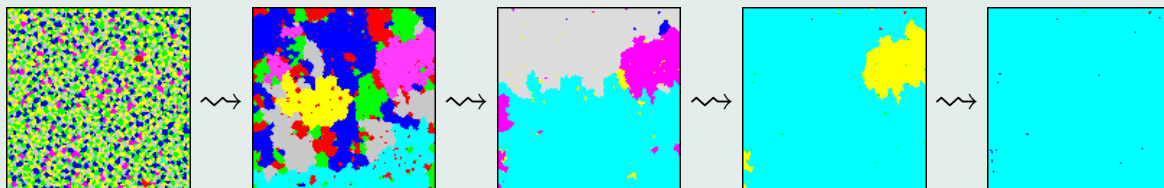
Temps de calcul : de qq secondes à 1 journée par grille

3.4. Comportement

Dépressions, flaques, connexions et aires drainées.



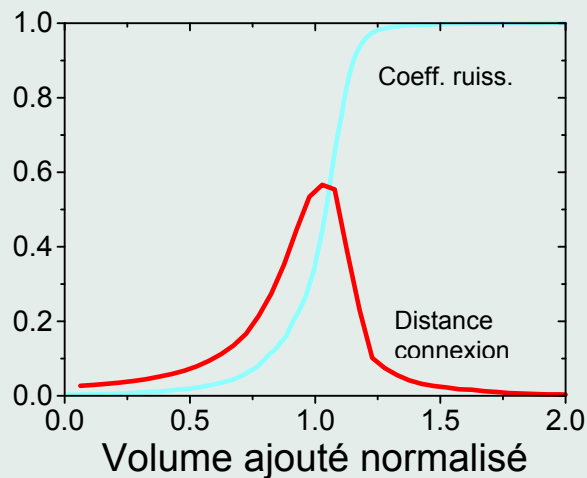
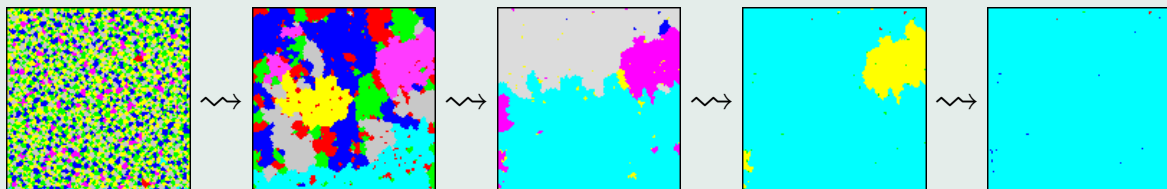
- ▷ Une aire drainée connectée à la bordure
- ▷ Des aires drainées internes



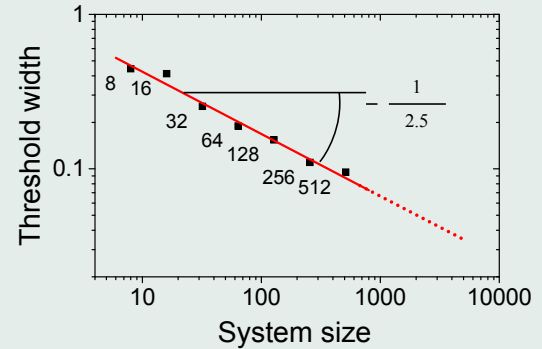
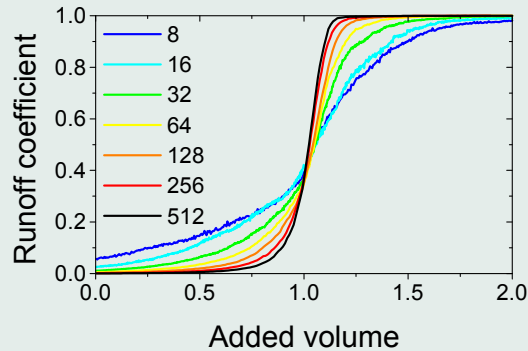
3.5. Caractérisation

Basée sur la théorie de la percolation (simple utilisateur) :

- ▷ Taille moyenne des aires non connectées
(= distance de connexion interne)
- ▷ Taille de l'aire connectée
(= coefficient de ruissellement)

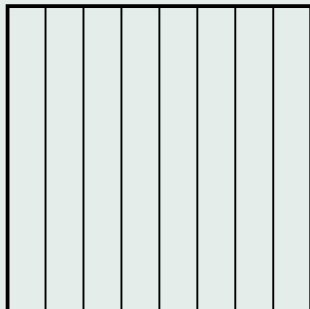


3.6. Modèle avec rugosité isotrope non corrélée

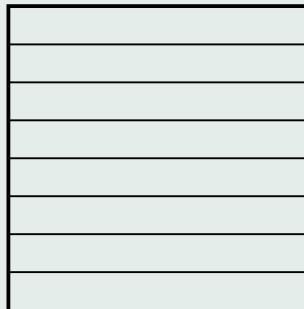


⇒ Changement d'échelle possible en hydrologie de surface
(... dans le cas le plus simple)

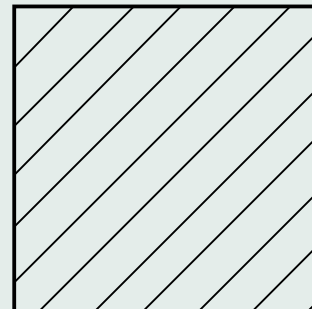
3.7. Modèle avec rugosité orientée



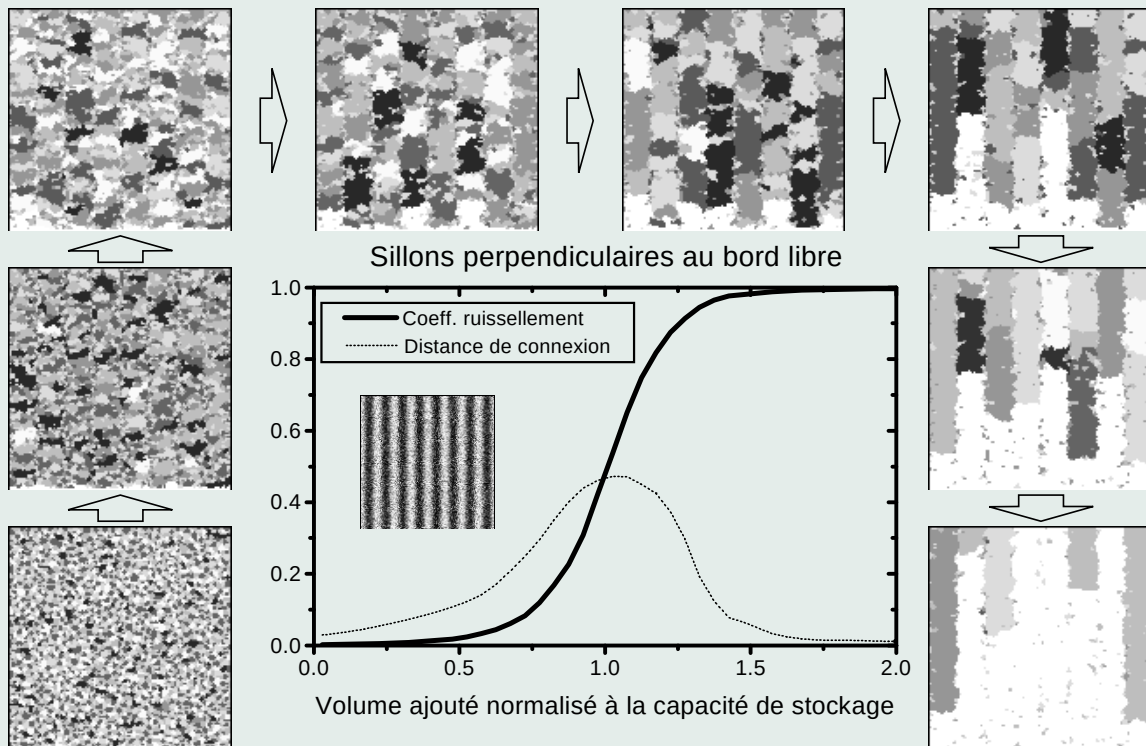
(a)

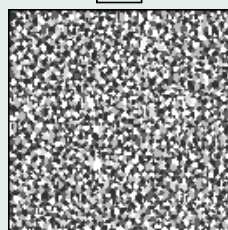
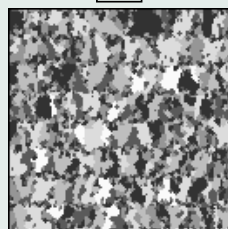
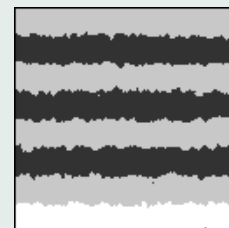
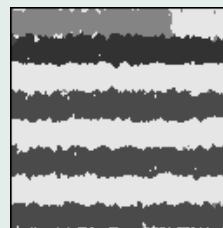
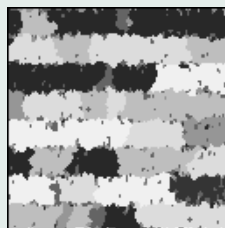
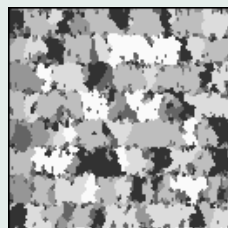


(b)

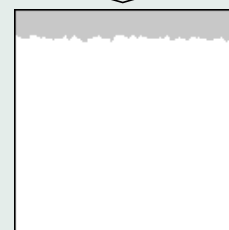
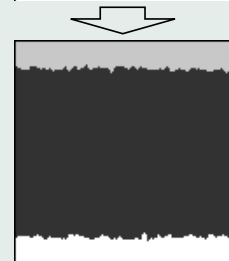
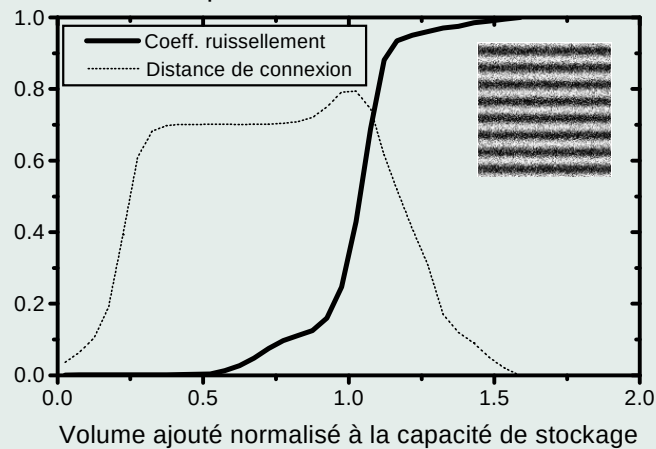


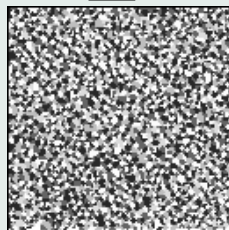
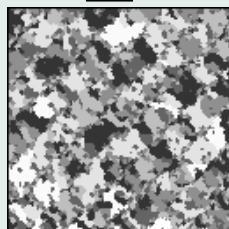
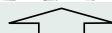
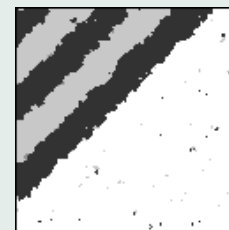
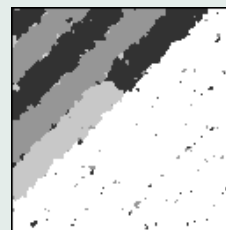
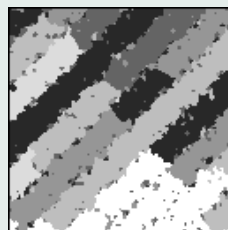
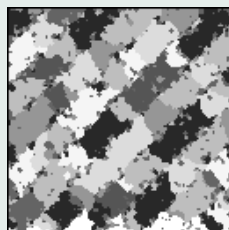
(c)



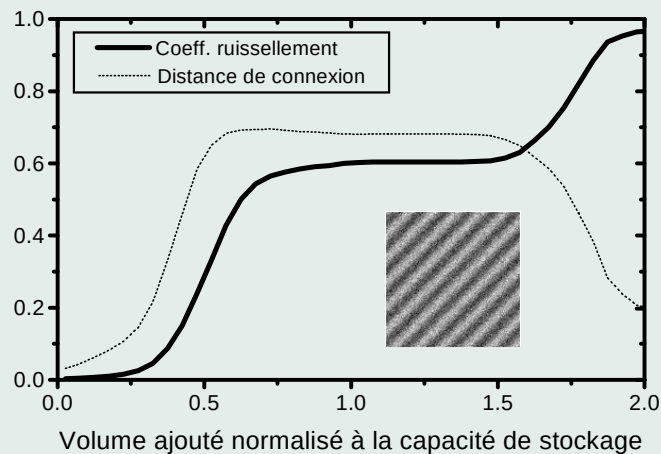


Sillons parallèles au bord libre





Sillons à 45° du bord libre



3.8. Limites

- ▷ Succession d'équilibres
- ▷ Pas de hauteur d'eau dans l'écoulement
- ▷ Uniquement du remplissage de flaques

Une autre approche est nécessaire...

4. Modélisation physique

4.1. Système de Saint-Venant à résoudre (1D)

Approcher les solutions du système de Saint-Venant suivant :

$$\begin{cases} \partial_t h + \partial_x(hu) = P + I \\ \partial_t(hu) + \partial_x(hu^2 + gh^2/2) = -gh\partial_x z + hf \end{cases}, \quad t > 0, x \in \mathbb{R}, \quad (1)$$

où

$h(t, x)$ la hauteur d'eau,

$u(t, x)$ la vitesse d'écoulement de l'eau,

$P(t, x)$ l'apport d'eau par la pluie,

$I(t, x)$ la soustraction d'eau par l'infiltration dans la sol,

g la constante de gravité,

$z(x)$ la topographie du sol (indép. de t car pas d'érosion),

f la force de frottement.

4.2. Méthode de résolution numérique

Volumes finis

Schéma explicitement équilibré, au 1er ordre [E. Audusse]

4.3. Cas test

Chenal 1D à pente constante

Pluie homogène spatialement, en forme de porte

Infiltration nulle



$$\begin{cases} \partial_t h + \partial_x(hu) = P \\ \partial_t(hu) + \partial_x(hu^2 + gh^2/2) = -gh\partial_x z + hf \end{cases} \quad (2)$$

Introduction

Approche terrain

Marcheurs

Modélisation physique

Travaux à venir

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

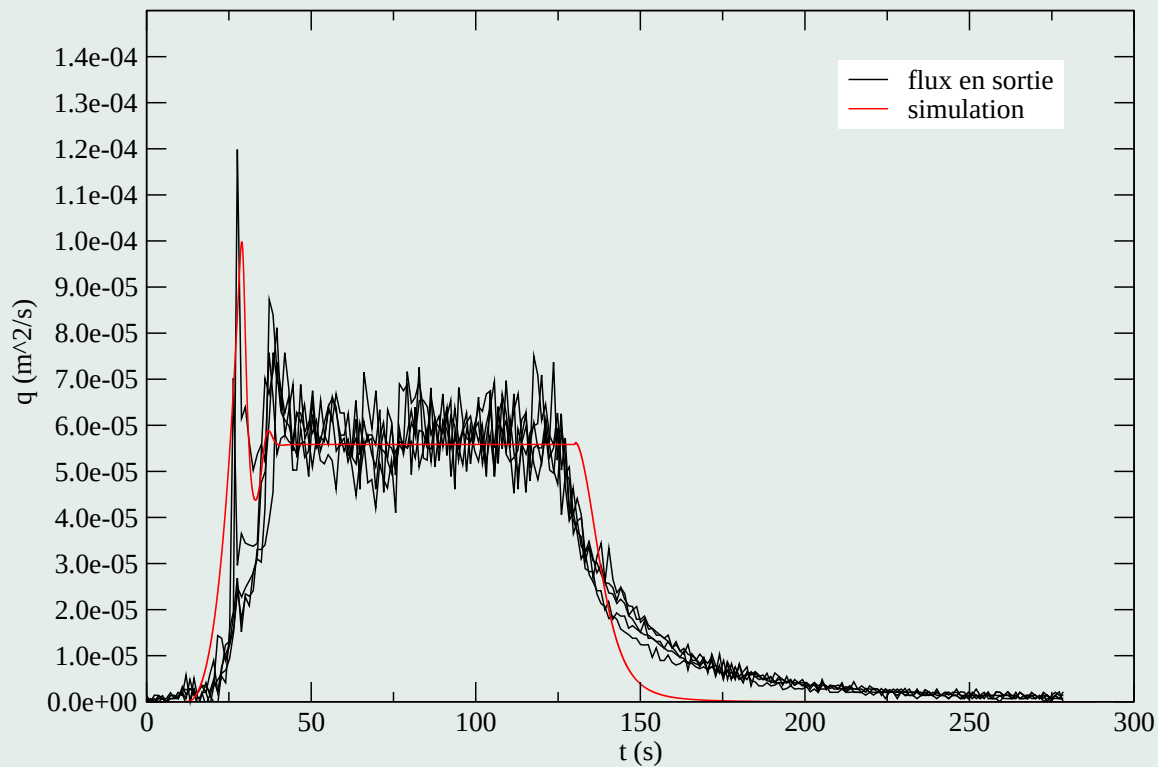
Page 31 de 34

Retour

Plein écran

Fermer

Quitter



(M2 Olivier Delestre)

5. Travaux à venir

« Modélisation de l'écoulement
sur une topographie
avec des hétérogénéités orientées
et des différences d'échelle »

5.1. Objectifs

Objectif appliqué :

obtenir de nouvelles lois phénoménologiques utilisables par les modèles opérationnels

Objectifs scientifiques :

Comparaison des méthodes et des schémas

En hydrologie de surface : différences finies avec McCormack (1969)

Représentation explicite à l'échelle du mètre-carré

Cartes topographiques avec une résolution du millimètre.

Représentation implicite pour des surfaces plus importantes

Cartes topographiques avec une résolution de 10 mètres.

5.2. Partenaires

1) Mapmo - INRA - BRGM

- ▷ Coordination
- ▷ St Venant
- ▷ Homogénéisation
- ▷ Expérimentation labo
- ▷ Application

2) INRIA - Univ Paris - ENS

- ▷ St Venant
- ▷ Volumes finis
- ▷ Schémas équilibres

3) ENPC - Cemagref

- ▷ Navier-Stokes
- ▷ Galerkin discontinu
- ▷ Hydraulique
- ▷ Etude terrain

+ 2 experts en modélisation hydrologique

5.3. Méthodes de travail

1) Comparaison des méthodes numériques avec les données expérimentales

Simulation de pluie en laboratoire (qq mètres carrés)



2) Construction d'un modèle d'interaction topo-sillons avec homogénéisation

- ▷ Hauteur d'eau faible ($\leq$ hauteur sillon) : écoulement selon la direction du sillon
- ▷ Hauteur d'eau $>$ hauteur sillon : débordement. Ecoulement selon la direction du sillon et la direction de la pente générale

3) Validation du modèle d'interaction

Données de terrain (validation sur cas d'études)

4) Extraction de lois macroscopiques et comparaison