

Simuler un écoulement mince sur une surface complexe

Cas du ruissellement sur des parcelles agricoles

S. Cordier, F. Darboux, O. Delestre, F. James, P.-A. Ksinant,
C. Lucas, Ch. Laguerre, U. Razafison

SMAI, 24 mai 2011



Ruissellement et Érosion — Conséquences

Un transfert de l'amont vers l'aval

En amont : ravines



[Source : Y. Le Bissonnais]

Ruissellement et Érosion — Conséquences

Un transfert de l'amont vers l'aval

En aval : coulées boueuses



Ruissellement et Érosion — Lutte

Ré-aménagement : diguette



[Source : SmageAa]

Ruissellement et Érosion — Lutte

Ré-aménagement : bande enherbée



[Source : EPTB]

Ruissellement et Érosion — Simulation

Logiciels d'aide à la décision : simulation du ruissellement



[Source : V. Souchère]

2 choses essentielles :

- Prévoir les zones sources
- Prévoir la localisation des écoulements

Ruissellement et Érosion — Simulation

Logiciels d'aide à la décision : simulation du ruissellement



[Source : V. Souchère]

2 choses essentielles :

- Prévoir les zones sources
- Prévoir la localisation des écoulements

Ruissellement et Érosion — Simulation

Logiciels d'aide à la décision : simulation du ruissellement



[Source : V. Souchère]

2 choses essentielles :

- Prévoir les zones sources
- Prévoir la localisation des écoulements

Ruissellement et Érosion — Processus

2 objets peuvent contrôler la direction du ruissellement :

- topographie
- sillons



Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Représentation

Prendre en compte 2 objets d'échelles et de formes très différentes :

- topographie
- sillons

Comment prendre en compte *à la fois* les sillons et la topographie ?

- Mesures avec une résolution de 1 cm x 1 cm ... sur quelques mètres-carrés.
- Dans les logiciels d'aide à la décision : résolution 10 m x 10 m

⇒ on ne peut y pas représenter explicitement les sillons.

Axe de recherche sur la représentation

Prendre en compte les sillons en les représentant implicitement.

Axes de recherche — Simulation

Équations de Saint Venant :

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} = P - I, \quad \text{fluide homogène } (\rho \text{ constant}),$$
$$H \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} \right) = -ku, \quad g \text{ gravité, } k \text{ coeff. de frottement}$$

État de l'art en hydrologie :

Codes "Saint Venant"

- vieux (schéma de MacCormak, 1969)
- simplifiés (approximations de l'onde cinématique, de l'onde diffusive, etc.)

Axe de recherche sur la simulation

Mettre en place un code Saint Venant utilisant les méthodes mathématiques actuelles et utilisable en hydrologie.

Axes de recherche — Simulation

Équations de Saint Venant :

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} &= P - I, & \text{fluide homogène } (\rho \text{ constant}), \\ H \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} \right) &= -ku, & g \text{ gravité, } k \text{ coeff. de frottement} \end{aligned}$$

État de l'art en hydrologie :

Codes "Saint Venant"

- vieux (schéma de MacCormak, 1969)
- simplifiés (approximations de l'onde cinématique, de l'onde diffusive, etc.)

Axe de recherche sur la simulation

Mettre en place un code Saint Venant utilisant les méthodes mathématiques actuelles et utilisable en hydrologie.

Projet METHODE

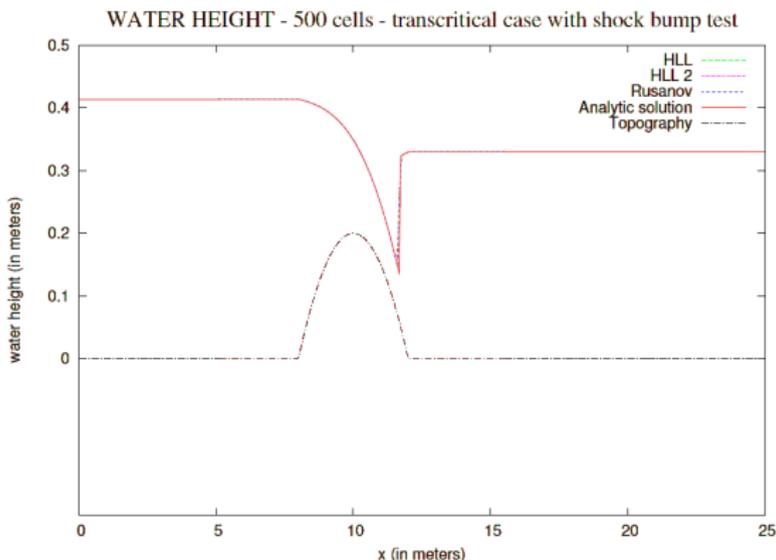
Modélisation des Ecoulements sur une Topographie avec des Hétérogénéités Orientées et des Différences d'Echelle

- ANR Blanc bidisciplinaire
- mathématiciens et hydrologues
- 200 k€
- 2008-2011

Outil 1 : FullSWOF

Full-Shallow Water equations for Overland Flow

- Code Saint-Venant avec pluie et infiltration
- C++, Libre, 1D et 2D



Outil 2 : SWASH

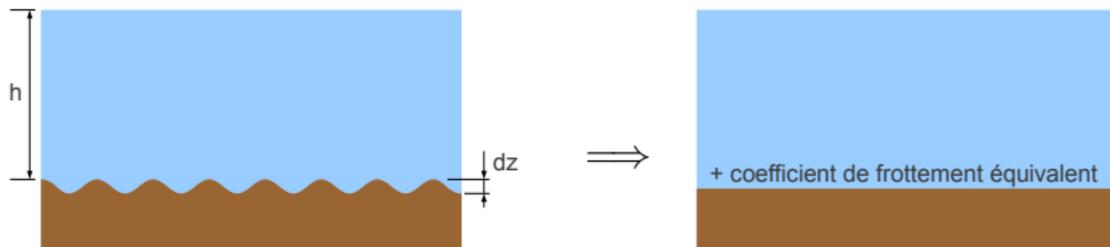
Shallow Water Analytic Solutions for Hydraulics

- Compilation de cas tests (semi-)analytiques
 - Construction de benchmark
 - Code C++, Libre, 1D et 2D
-
- Solutions à l'état stationnaire
 - Bosses
 - Canaux
 - Solutions à l'état transitoire
 - Ruptures de barrage
 - Oscillations

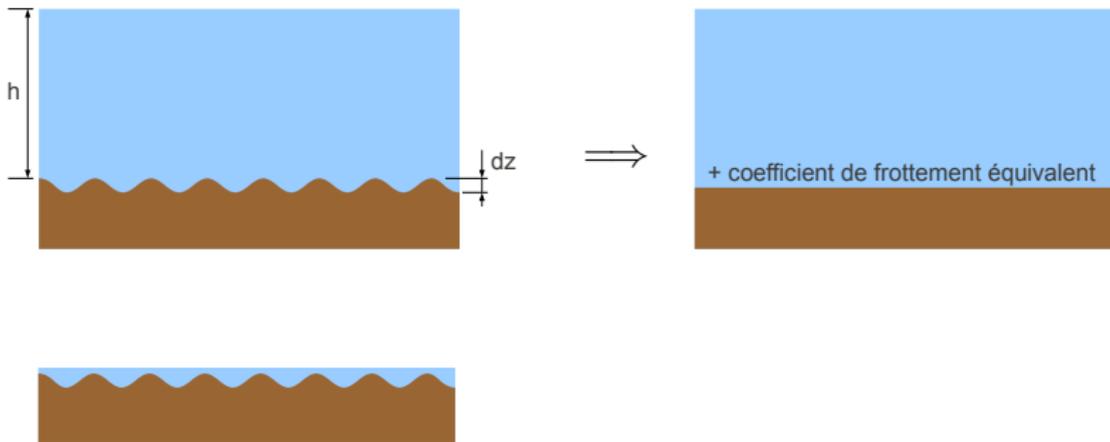
Idée 1 : Homogénéisation



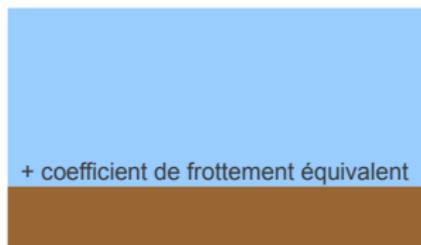
Idée 1 : Homogénéisation



Idée 1 : Homogénéisation

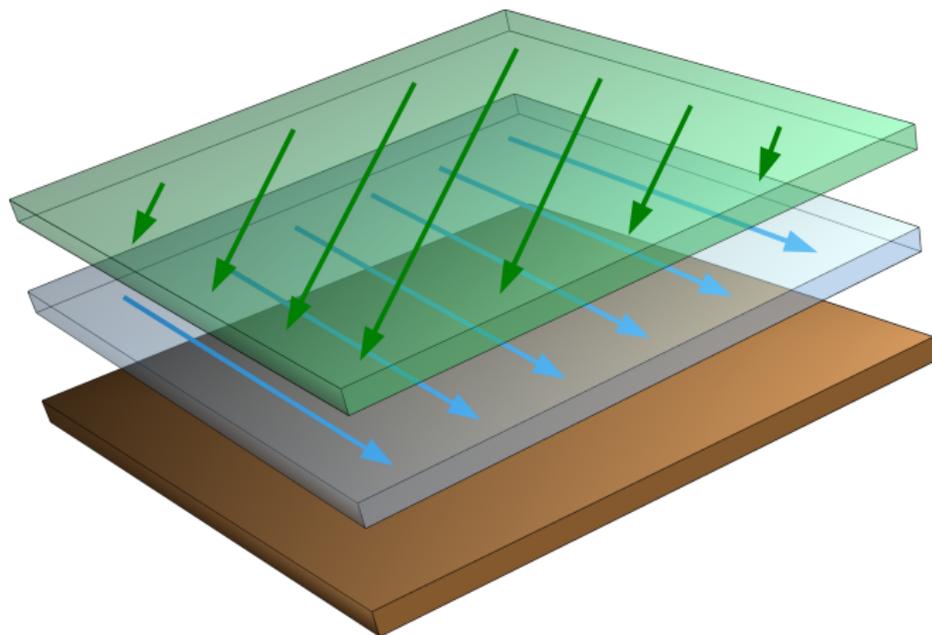


Idée 1 : Homogénéisation



Technique pas adaptée

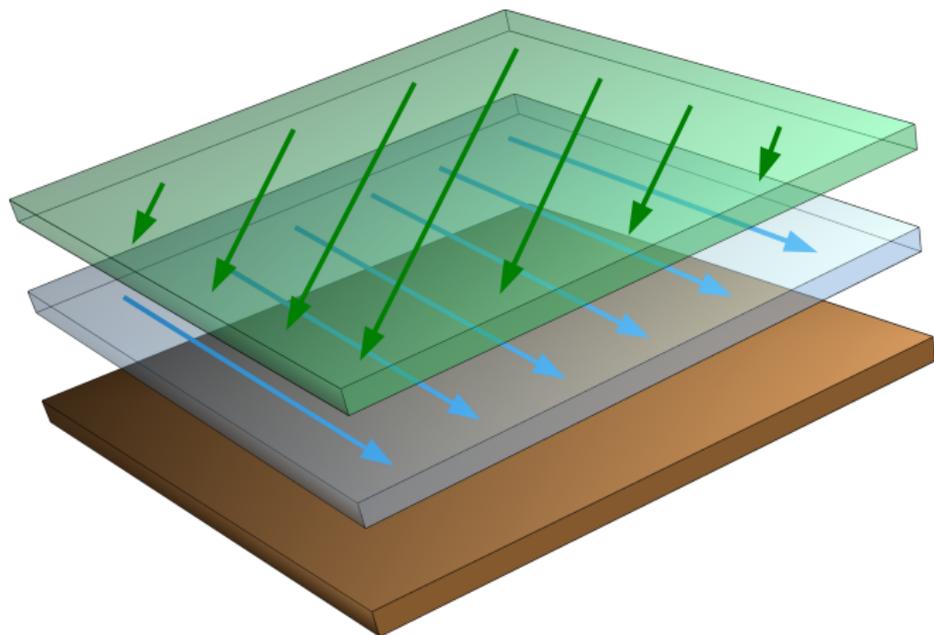
Idée 2 : Bicouche



1D OK

2D + difficile

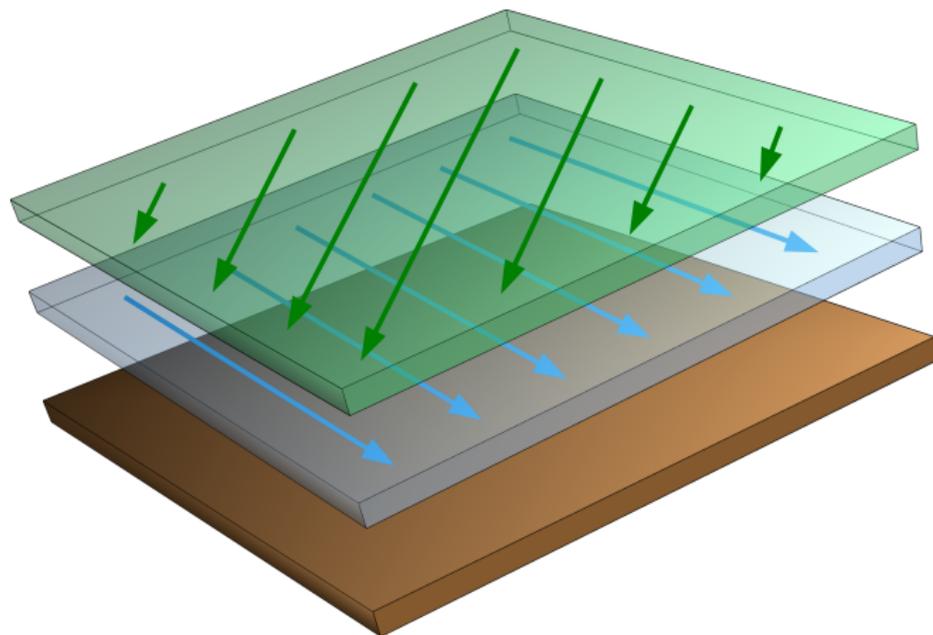
Idée 2 : Bicouche



1D OK

2D + difficile

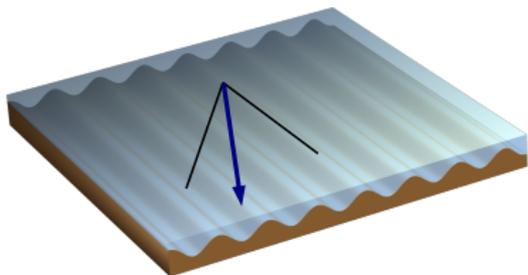
Idée 2 : Bicouche



1D OK

2D + difficile

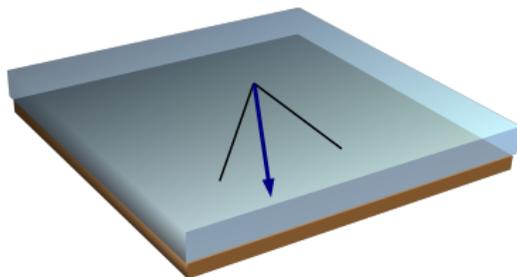
Idée 3 : Frottement anisotrope



1D OK

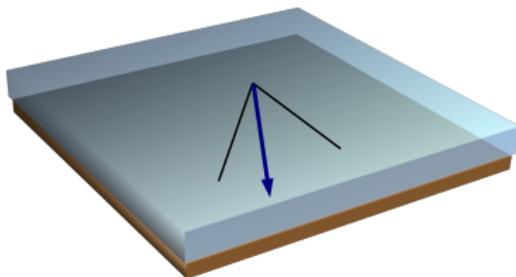
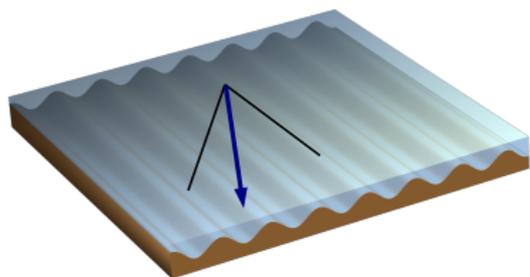
2D En cours

pour intégration dans code hydro



Nécessite reprogrammation

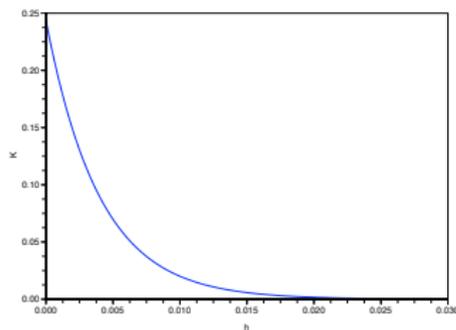
Idee 3 : Frottement anisotrope



$$K(h) = K_0 \exp\left(\frac{-h + \langle h \rangle}{C \langle h \rangle}\right),$$

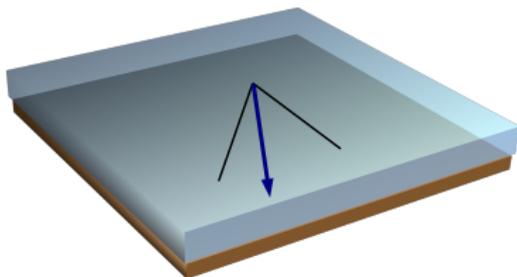
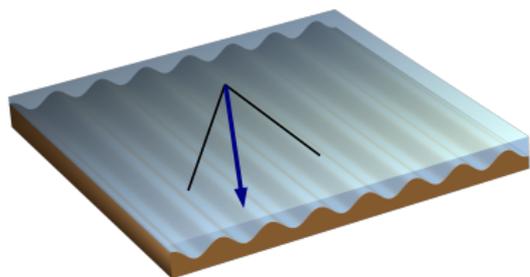
1D OK

2D En cours



Nécessite reprogrammation pour intégration dans code hydro

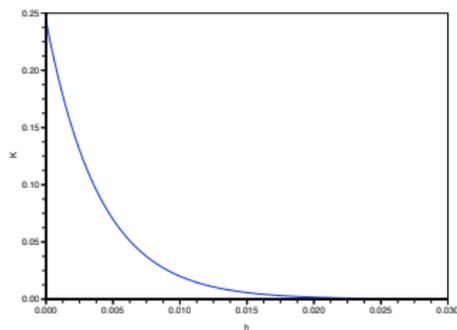
Idee 3 : Frottement anisotrope



$$K(h) = K_0 \exp\left(\frac{-h + \langle h \rangle}{C \langle h \rangle}\right),$$

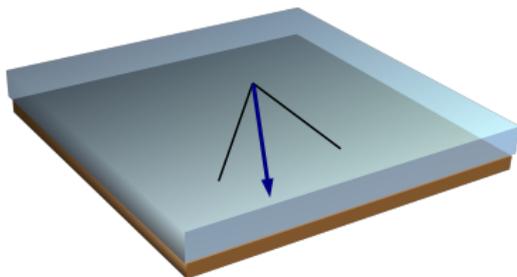
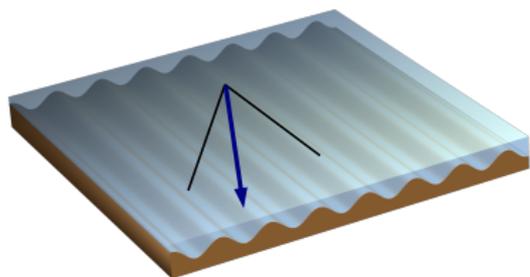
1D OK

2D En cours



Nécessite reprogrammation pour intégration dans code hydro

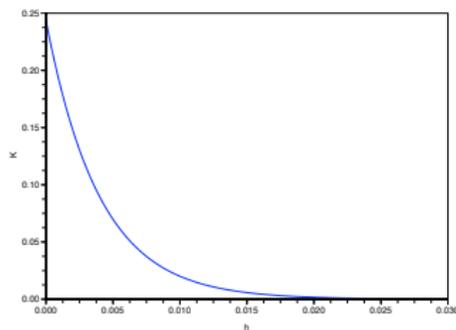
Idee 3 : Frottement anisotrope



$$K(h) = K_0 \exp\left(\frac{-h + \langle h \rangle}{C \langle h \rangle}\right),$$

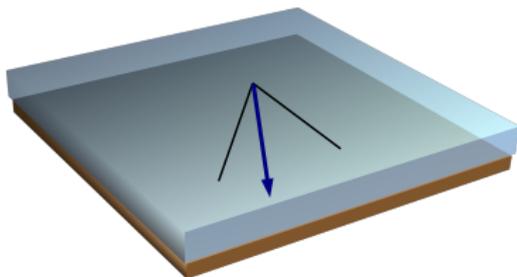
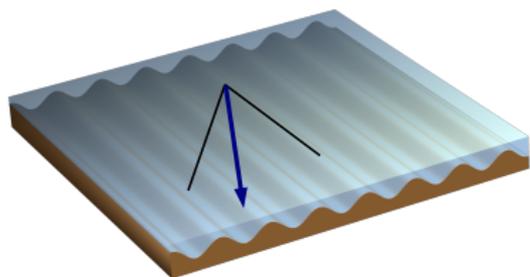
1D OK

2D En cours



Nécessite reprogrammation pour intégration dans code hydro

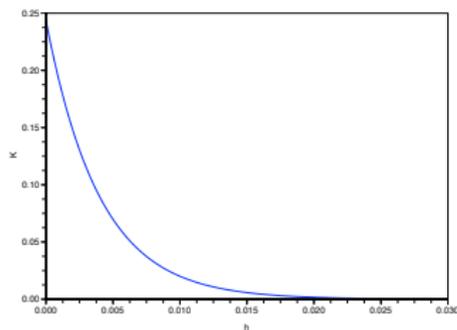
Idee 3 : Frottement anisotrope



$$K(h) = K_0 \exp\left(\frac{-h + \langle h \rangle}{C \langle h \rangle}\right),$$

1D OK

2D En cours



Nécessite reprogrammation pour intégration dans code hydro

Idée 4 : Loi phénoménologique

Calcul paramétrique 2D (FullSWOF_2D)

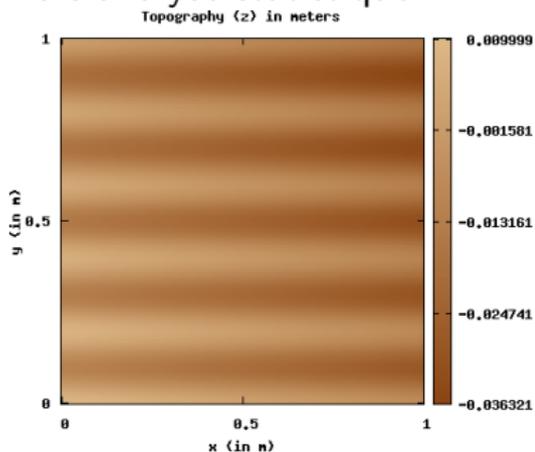
Puis analyse statistique

Facile pour intégration par hydrologues

Idee 4 : Loi phénoménologique

Calcul paramétrique 2D (FullSWOF_2D)

Puis analyse statistique

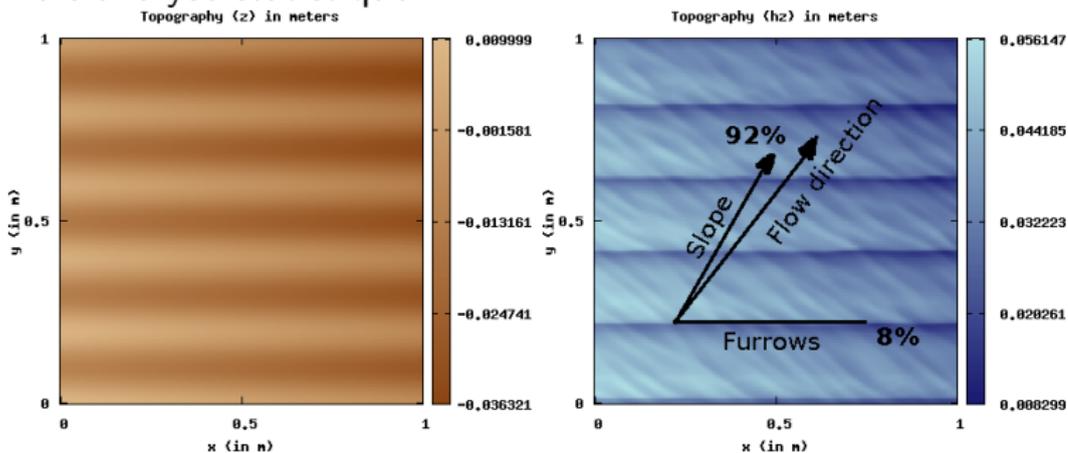


Facile pour intégration par hydrologues

Idee 4 : Loi phénoménologique

Calcul paramétrique 2D (FullSWOF_2D)

Puis analyse statistique

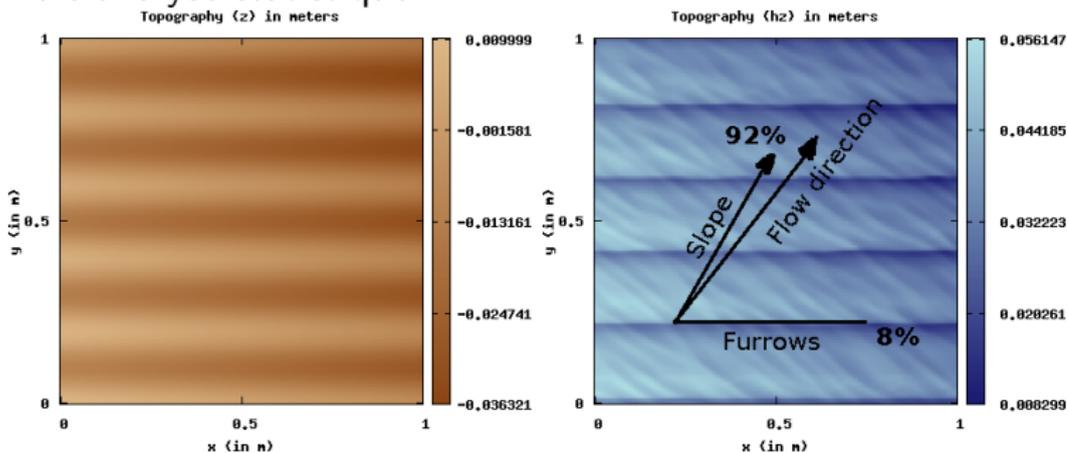


Facile pour intégration par hydrologues

Idee 4 : Loi phénoménologique

Calcul paramétrique 2D (FullSWOF_2D)

Puis analyse statistique



Facile pour intégration par hydrologues

Conclusions

FullSWOF

Un outil de référence pour la simulation du ruissellement

SWASH

Une compilation de cas tests pour évaluer les codes

3 solutions pour les écoulements sur des surfaces avec sillons

- Bicouche
- Frottement anisotrope
- Loi phénoménologique

Conclusions

FullSWOF

Un outil de référence pour la simulation du ruissellement

SWASH

Une compilation de cas tests pour évaluer les codes

3 solutions pour les écoulements sur des surfaces avec sillons

- Bicouche
- Frottement anisotrope
- Loi phénoménologique

Conclusions

FullSWOF

Un outil de référence pour la simulation du ruissellement

SWASH

Une compilation de cas tests pour évaluer les codes

3 solutions pour les écoulements sur des surfaces avec sillons

- Bicouche
- Frottement anisotrope
- Loi phénoménologique

