

Transfert multi-particulaire par ruissellement

projet CNRS TelluS INSU-INSMI 2016

Carine Lucas, Amina Nouhou Bako, Frédéric Darboux,
Cédric Legout, Guillaume Nord

Cinquième école EGRIN - Cargèse

1^{er} juin 2017



Introduction



Thèse de A. Nouhou Bako, INRA-MAPMO, jan. 2014 - déc. 2016
dirigée par F. James et co-encadrement F. Darboux (INRA), C.L.

Etude du transport de sédiments

Introduction



Thèse de A. Nouhou Bako, INRA-MAPMO, jan. 2014 - déc. 2016
dirigée par F. James et co-encadrement F. Darboux (INRA), C.L.

Etude du transport de sédiments

... → érosion par splash $\xrightarrow{h \nearrow}$ érosion diffuse $\xrightarrow{h \nearrow}$ érosion concentrée → ...

Introduction



Thèse de A. Nouhou Bako, INRA-MAPMO, jan. 2014 - déc. 2016
dirigée par F. James et co-encadrement F. Darboux (INRA), C.L.

Etude du transport de sédiments

... → ~~érosion par splash~~ $\xrightarrow{h \nearrow}$ **érosion diffuse** $\xrightarrow{h \nearrow}$ ~~érosion concentrée~~ → ...

Introduction



Thèse de A. Nouhou Bako, INRA-MAPMO, jan. 2014 - déc. 2016
dirigée par F. James et co-encadrement F. Darboux (INRA), C.L.

Etude du transport de sédiments

... → ~~érosion par splash~~ $\xrightarrow{h \nearrow}$ **érosion diffuse** $\xrightarrow{h \nearrow}$ ~~érosion concentrée~~ → ...

Interaction gouttes - ruissellement

Plan de l'exposé

- 1 Modèle de transfert de particules
- 2 Etude expérimentale
- 3 Perspectives

1 Modèle de transfert de particules

2 Etude expérimentale

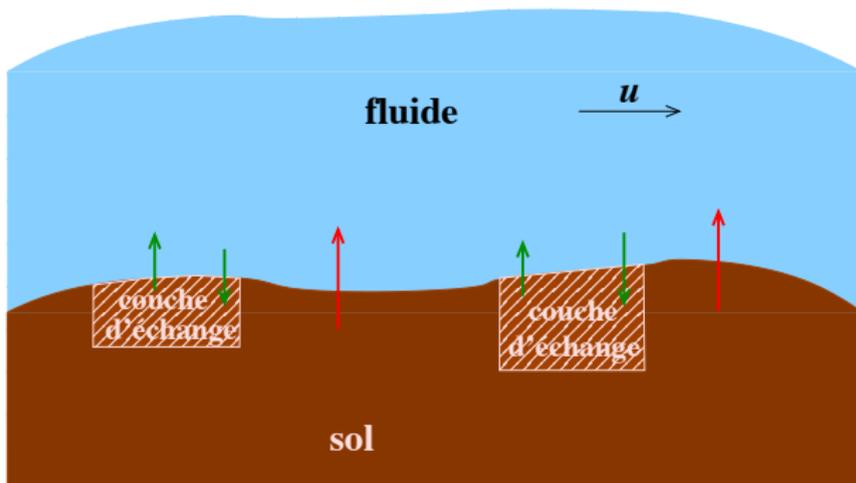
3 Perspectives

Transfert de particules

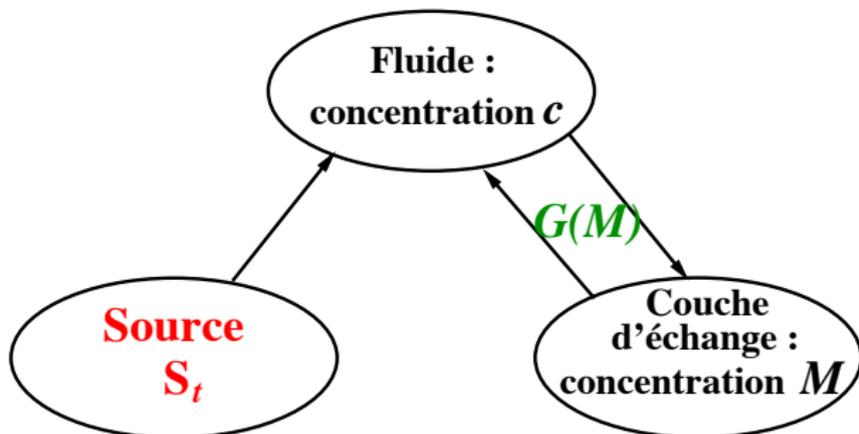
Modèle à 2 couches :

- sédiments en suspension dans le fluide (vitesse = vitesse du fluide)
- sédiments immobiles dans la couche d'échange

Transferts entre les 2 couches et apport, depuis le sol, de sédiments en suspension.



Écriture du modèle de transfert de particules



$$\begin{cases} \partial_t(hc) + \partial_x(qc) & = \frac{1}{ts} (G(M) - hc) + S_t, \\ \alpha \partial_t M & = -\frac{1}{ts} (G(M) - hc). \end{cases}$$

Modèle de transfert de particules dans la littérature

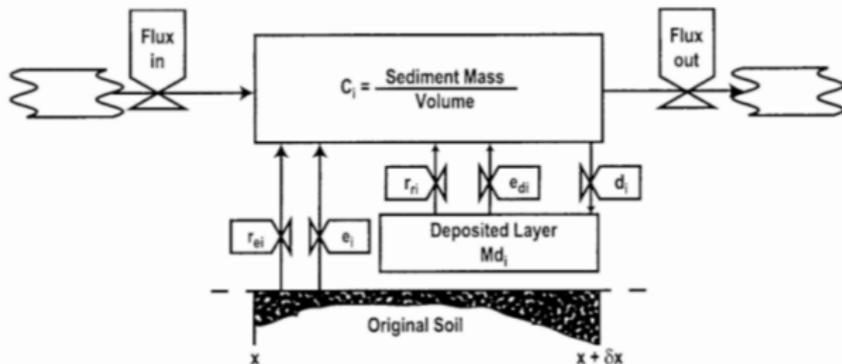
Modèle unifié qui englobe :

- le modèle de Hairsine et Rose [Hairsine Rose 1991 1992]
- le modèle de transport par charriage [Lajeunesse *et al.* 2013]
- les modèles du type « transport chimique » [Gao *et al.* 2004]
- ...

Modèle de transfert de particules dans la littérature

Modèle unifié qui englobe :

- le modèle de Hairsine et Rose [Hairsine Rose 1991 1992]



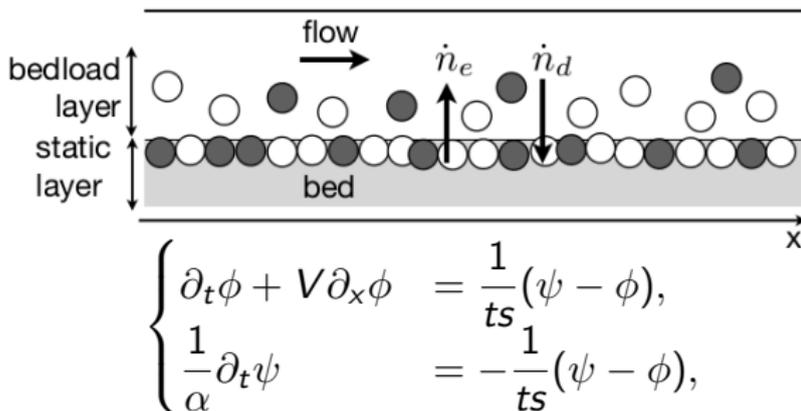
$$\begin{cases} \partial_t(hc_i) + \partial_x(qc_i) & = r_{ri} + e_{di} - d_i + r_{ei} + e_i, \\ \partial_t Md_i & = d_i - r_{ri} - e_{di}. \end{cases}$$

- le modèle de transport par charriage [Lajeunesse *et al.* 2013]
- les modèles du type « transport chimique » [Gao *et al.* 2004]
- ...

Modèle de transfert de particules dans la littérature

Modèle unifié qui englobe :

- le modèle de Hairsine et Rose [Hairsine Rose 1991 1992]
- le modèle de transport par charriage [Lajeunesse *et al.* 2013]



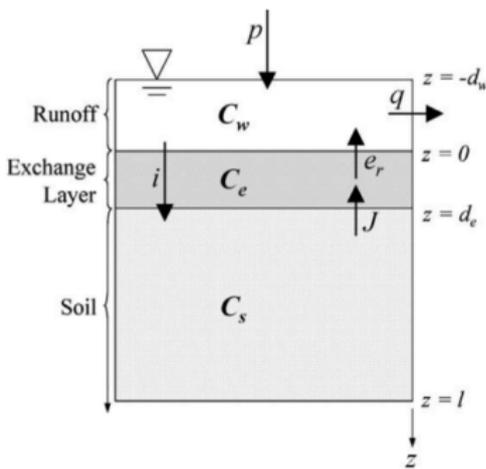
ϕ (ψ) : proportion de grains marqués dans l'écoulement (immobiles)

- les modèles du type « transport chimique » [Gao *et al.* 2004]
- ...

Modèle de transfert de particules dans la littérature

Modèle unifié qui englobe :

- le modèle de Hairsine et Rose [Hairsine Rose 1991 1992]
- le modèle de transport par charriage [Lajeunesse *et al.* 2013]
- les modèles du type « transport chimique » [Gao *et al.* 2004]



$$\begin{cases} \partial_t(d_w c_w) + \partial_x(q c_w) & = e_r (c_e - \lambda c_w) - l c_w, \\ \partial_t(\alpha d_e c_e) & = -e_r (c_e - \lambda c_w) + l (c_w - c_e) + J. \end{cases}$$

Un avantage du modèle de transfert de particules

Prise en compte d'effets non linéaires possible

$G : M \mapsto G(M)$ peut être non linéaire.

Un avantage du modèle de transfert de particules

Prise en compte d'effets non linéaires possible

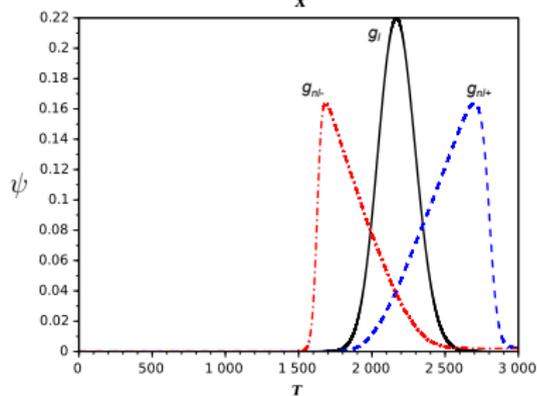
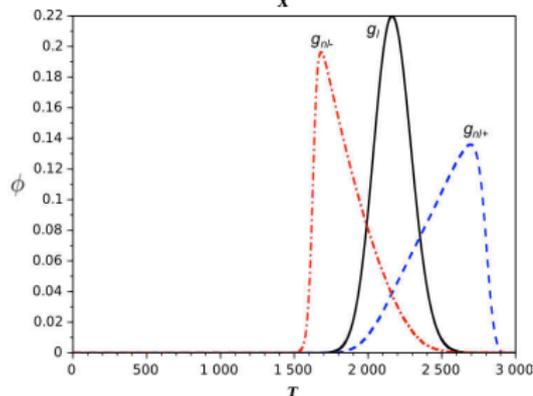
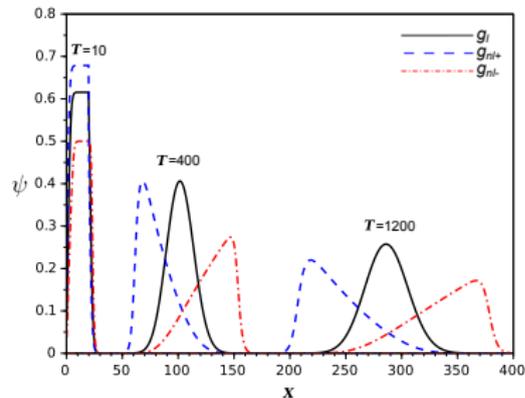
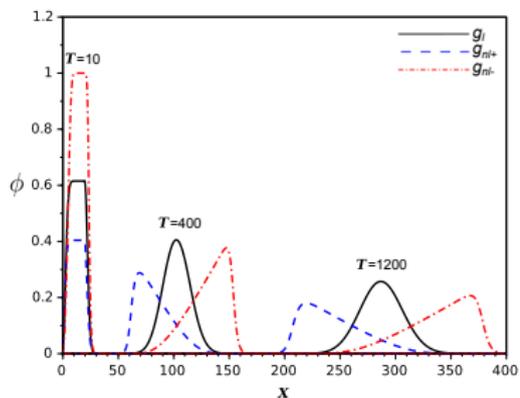
$G : M \mapsto G(M)$ peut être non linéaire.

Exemple : modèle de transport par charriage

$$g_l(\psi) = \psi, \quad g_{nl+}(\psi) = \frac{\psi}{1 + \psi}, \quad g_{nl-}(\psi) = \frac{\psi}{1 - \psi}$$

(aucun argument physique)

Un avantage du modèle de transfert de particules



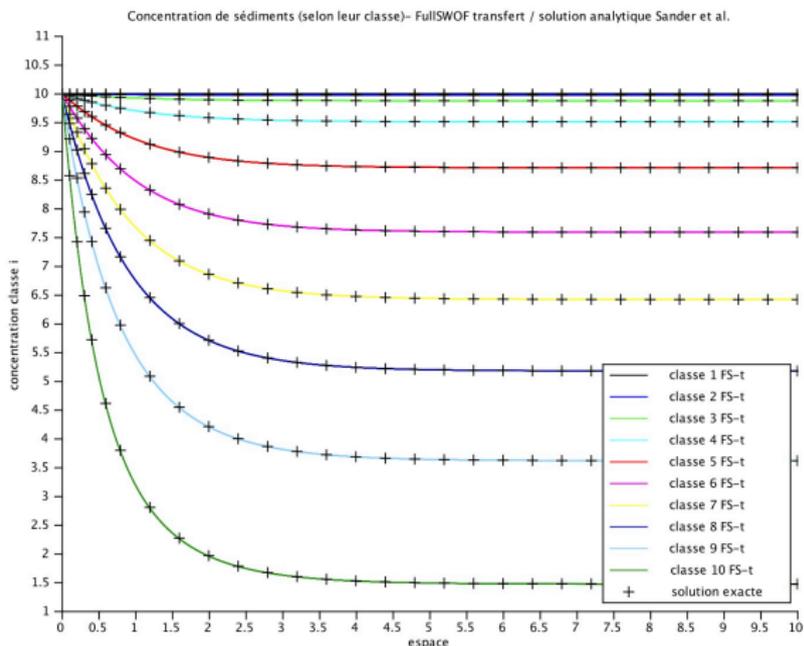
Programmation du modèle de transfert

Équations programmées dans le logiciel FullSWOF
qui résout les équations de Saint-Venant
(sans modification de la topographie pour le moment).

<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/soft/FullSWOF/>

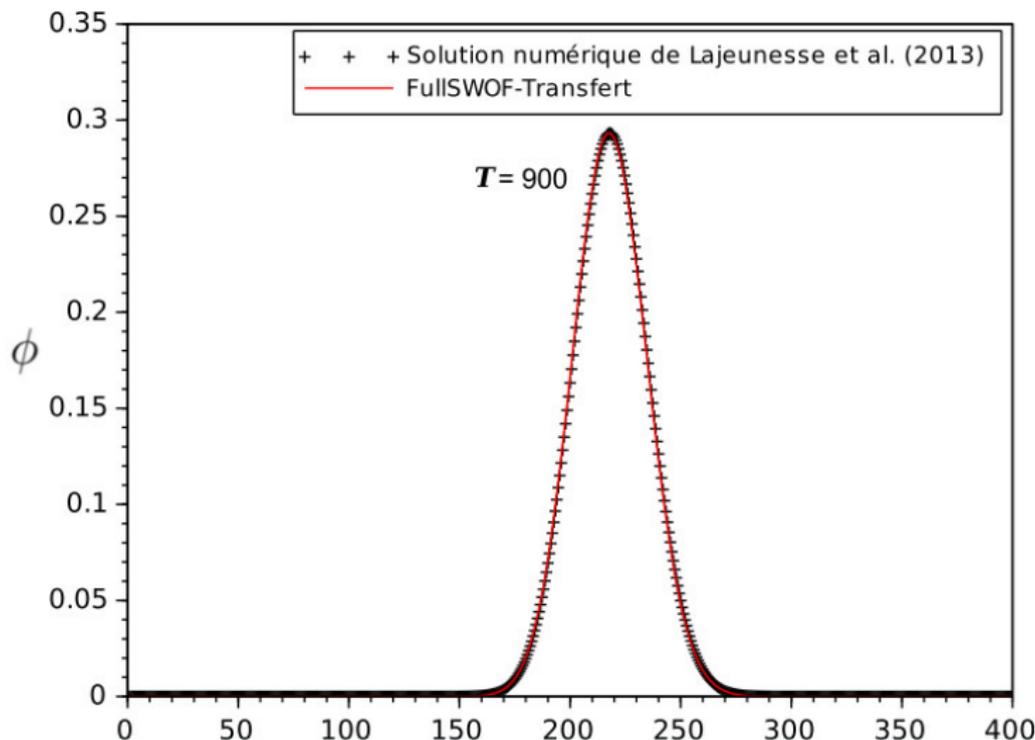
Validation du code de transfert

Solution exacte sans pluie, fluide stationnaire [Sander *et al.* 2012]



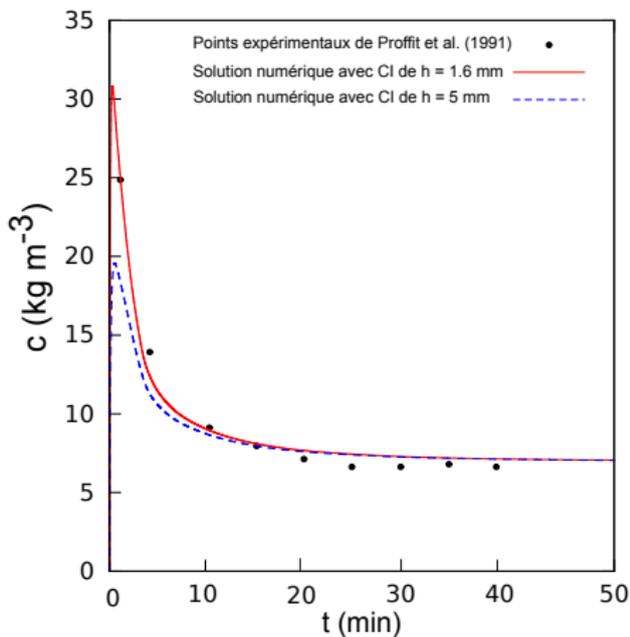
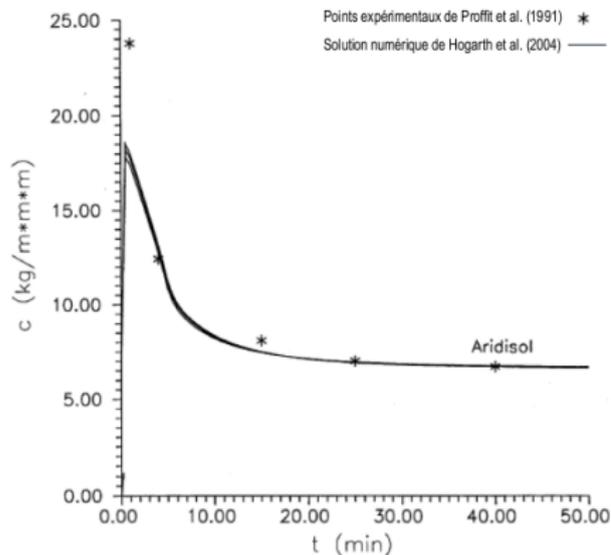
Validation du code de transfert

Transport par charriage [Lajeunesse *et al.* 2013]



Validation du code de transfert

Comparaison aux données expérimentales de [Proffitt *et al.* 1991]



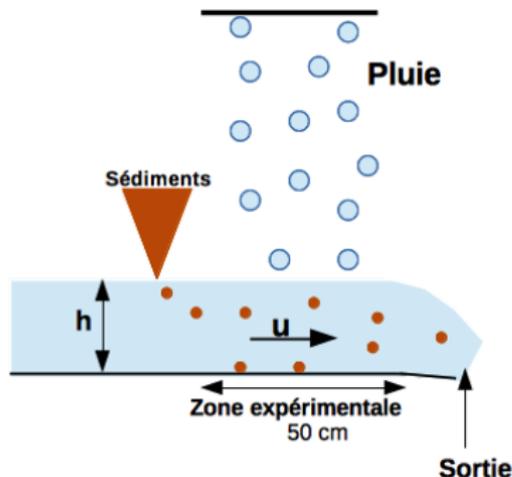
- 1 Modèle de transfert de particules
- 2 Etude expérimentale
- 3 Perspectives

Transfert de particules - étude expérimentale

Effet de la pluie sur le transport et le dépôt de sédiments

influence de la pluie sur les paramètres (t_s , ...)?

Principe de l'étude :



pas de détachement (h et rugosité)

Dispositif expérimental



Expériences réalisées avec l'aide de Lionel Cottenot et Pierre Courtemanche (INRA)

Dispositif expérimental - simulateurs de pluie

buses oscillantes (fortes intensités) ou tuyau poreux (intensités modérées)



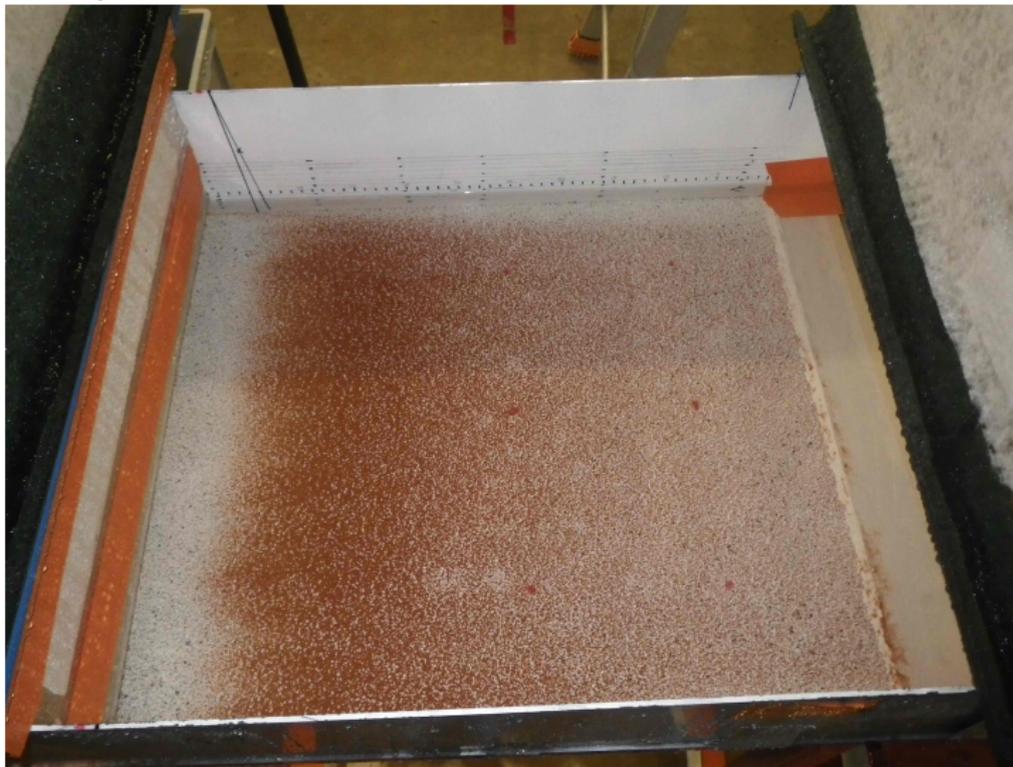
Conditions expérimentales

- débit de l'eau imposé
- apport de sédiments à débit fixé homogène en espace
- vitesse d'écoulement de l'eau quasiment pas influencée par la pluie



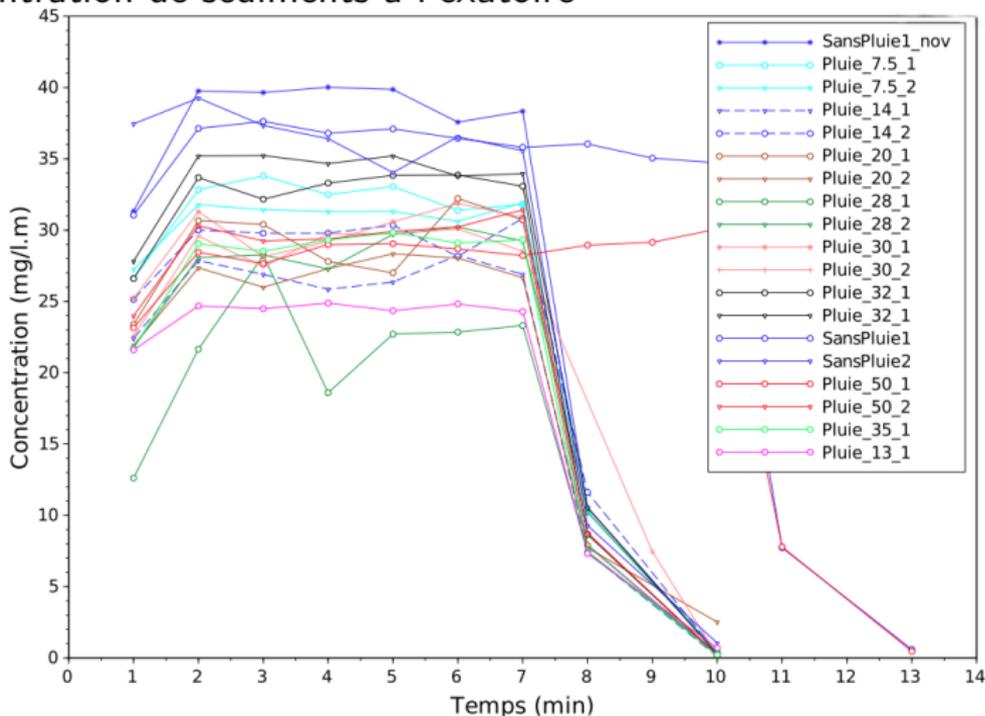
Résultats expérimentaux

- Dépôt des particules



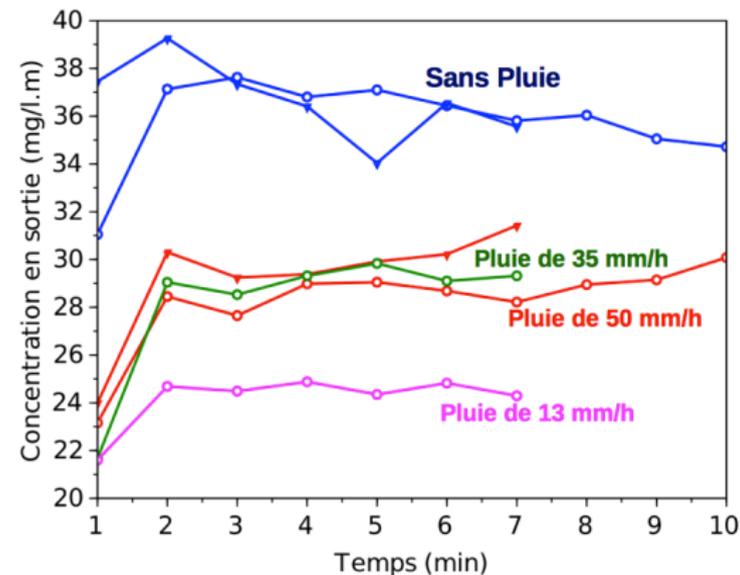
Résultats expérimentaux

- Dépôt des particules
- Concentration de sédiments à l'exutoire



Analyse des résultats expérimentaux (rappels)

Voir exposé d'Amina EGRIN 2016 :



la pluie accélère la sédimentation des particules
 effet non linéaire (effet d'une faible pluie plus grand qu'une forte pluie)

Analyse des résultats expérimentaux

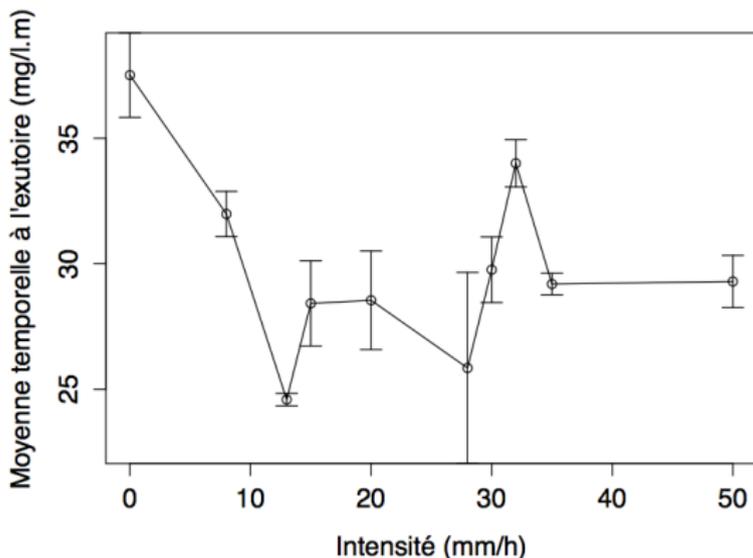
Projet TelluS : expériences complémentaires pour affiner ces résultats

- problème de variation de l'intensité de pluie avec les tuyaux poreux
- l'intensité de la pluie (ou pression dans les tuyaux) seul paramètre ?

Analyse des résultats expérimentaux

Projet TelluS : expériences complémentaires pour affiner ces résultats

- problème de variation de l'intensité de pluie avec les tuyaux poreux
- l'intensité de la pluie (ou pression dans les tuyaux) seul paramètre ?



Rôle de la distribution de taille des gouttes, de leur vitesse ?

- 1 Modèle de transfert de particules
- 2 Etude expérimentale
- 3 Perspectives**

Conclusions / Perspectives

Désormais disponibles :

- un modèle d'équations de transfert et son implémentation dans le logiciel FullSWOF
- une série de résultats expérimentaux sur le dépôt des particules

Conclusions / Perspectives

Désormais disponibles :

- un modèle d'équations de transfert et son implémentation dans le logiciel FullSWOF
- une série de résultats expérimentaux sur le dépôt des particules

Perspectives

- analyser les résultats pour mieux comprendre les paramètres influents lors du dépôt de particule soumis à de la pluie
- reproduire numériquement les expériences du simulateur de pluie et comparer les résultats