

*Méthode pour la modélisation des sédiments déclenchés
par la rupture d'un barrage en terre. WP 4.2.2*

Dominique LAIGLE

Alex ANDREAULT, Romain PICCA, Hippolyte GIRARD

Regione Piemonte

*Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Protezione Civile,
Trasporti e Logistica*

Settore Difesa del Suolo (Ing. Gabriella GIUNTA)

Webinar

3-4 Dicembre 2020

WP 4.2.2 – Metodo per la modellazione dei sedimenti innescati dal cedimento di una diga in terra

- **Modélisation numérique / Modellazione numerica**
 - **Caractéristiques du modèle / Caratteristiche del modello**
 - **Génération des données d'entrée / Generazione di dati di input**
 - **Confrontation du modèle à un cas de rupture (La Josefina, 1993) / Confronto del modello con un caso di rottura**
- **Etude expérimentale / Studio sperimentale**
 - **Le dispositif expérimental / Il dispositivo sperimentale**
 - **Résultats obtenus / Risultati ottenuti**

Modèle numérique – équations du transport solide

Modello numerico - equazioni di trasporto solido

Hydraulique : équations de Saint-Venant / Idraulica: equazioni di Saint-Venant

Conservation de la masse: équation d'Exner / Conservazione della massa: equazione di Exner

$$(1-p) \frac{\partial z_s}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0$$

Calcul du débit solide: 4 formules / Calcolo del flusso solido: 4 formule

Exemple : Rickenmann (1990) / Esempio: Rickenmann (1990)

$$q_s = 12,6 \cdot \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0,2} \cdot \frac{I^2}{(s-1)^{1,6}} \cdot (q - q_{cr})$$

$$q_{cr} = 0,065 \cdot (s-1)^{1,67} \cdot \sqrt{g} \cdot d_{50}^{1,5} \cdot I^{-1,12}$$

N'inclut pas le calcul de formation de la brèche / Non include il calcolo della formazione del gap

Modèle numérique – génération des données d’entrée

Modello numerico - generazione dei dati di input

- Utilisation d’un modèle de calcul de la brèche : / Utilizzo di un modello di calcolo della breccia:
 - Hydrogramme amont / Idrogramma a monte
 - Sédimentogramme amont / Sedimentogramma a monte

Exemple : RubarBE, INRAE, Riverly

- Utilisation de formules empirique / Uso di formule empiriche
 - Débit de pointe / Flusso massimo
 - Largeur de brèche / Larghezza della breccia
 - Temps de montée de l’hydrogramme/
Tempo di salita idrografo

Ref.	Relation	Commentaire
Azimi et al. (2015)	$Q = 0,0163 \cdot g^{0,5} V_w^{0,501} H_w^{0,997}$	
Thornton et al. (2011)	$Q = 0,863 \cdot V_w^{0,335} H_b^{1,833} W_{avg}^{-0,663}$	Equation établie sur 38 cas de rupture. $r^2=0,871$
Thornton et al. (2011)	$Q = 0,012 \cdot V_w^{0,493} H_b^{1,205} E_l^{0,226}$	Equation établie sur 38 cas de rupture. $r^2=0,991$
		Equation établie sur 41 cas de rupture. $r^2=0,917$
De Lorenzo et Macchione (2014)	$Q = 0,293 \cdot \alpha_0^{0,3658} g^{0,258} (v_e V_w)^{0,485} H_b^{0,802}$ (a) $Q = 0,2497 \cdot \alpha_0^{0,3594} g^{0,263} (v_e V_w)^{0,474} H_w^{(1,764+0,491\alpha_0)} H_b^{-(0,923+0,491\alpha_0)}$ (b)	(a) Pour rupture par surverse (b) Pour rupture par érosion interne α_0 : exposant de la courbe $V=f(h)$. Si inconnu une valeur de 2,5 est suggérée $v_e = 0,07$ m/s

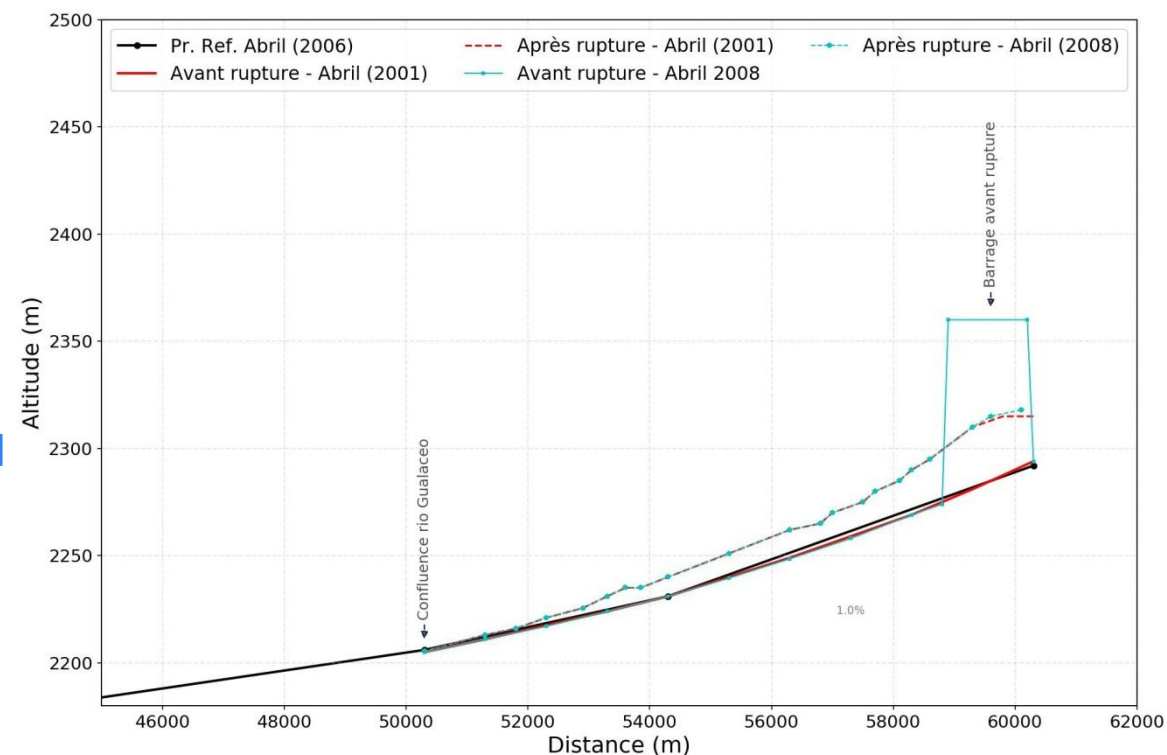
Confrontation à un événement de terrain – La Josefina, Equateur, 1993

Confronto con un evento sul campo - La Josefina, Ecuador, 1993

- Cas de terrain bien documenté / Caso sul campo ben documentato
- Barrage dû à un glissement de terrain / Diga per frana
- Longueur de cours d'eau modélisée / Lunghezza dell'alveo modellata: 60 km
- Volume d'eau / Volume d'acqua:

175.10^6 m^3

- Barrage : longueur 625 m, hauteur de brèche 70 m / Diga: lunghezza 625 m, altezza breccia 70 m
- Dépôt de sédiment localisé sur 8 km à l'aval du barrage / Deposito di sedimenti situato 8 km a valle dalla diga



Confrontation à un événement de terrain – cas test

Confronto con un evento sul campo – casi di test

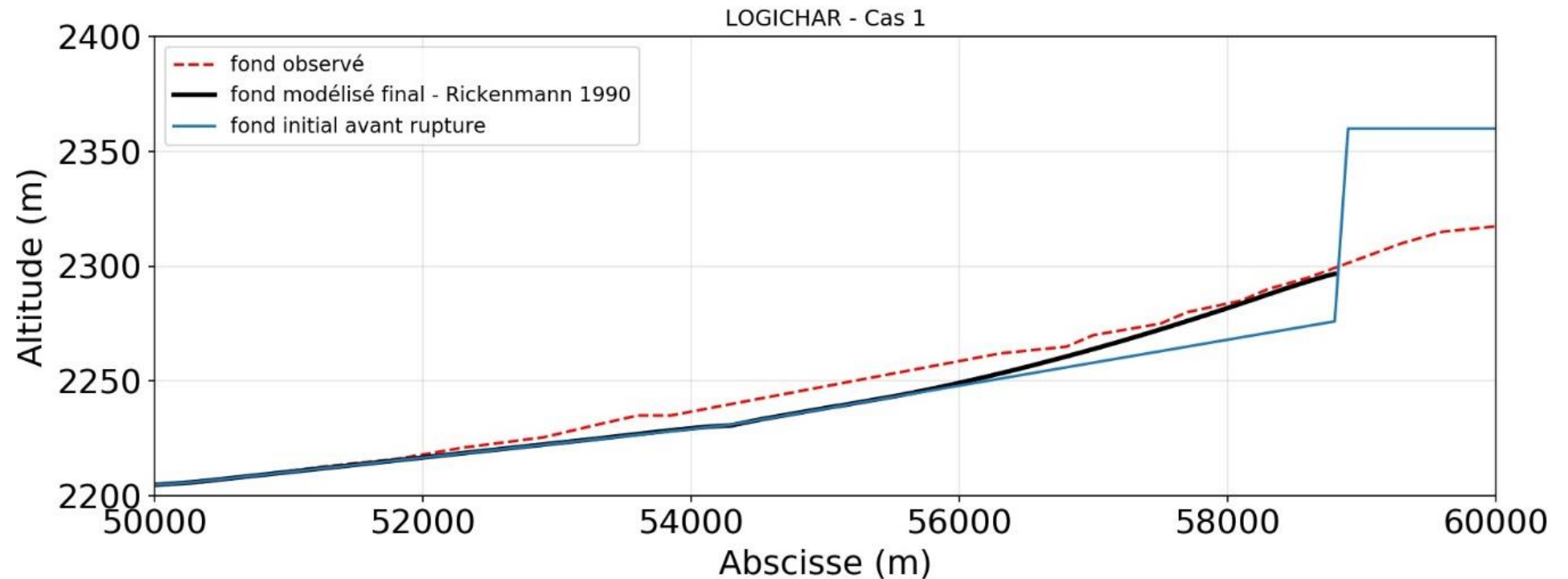
- **Conditions d'entrée : 3 hypothèses testées / Condizioni di accesso: 3 ipotesi verificate**

Caractéristiques	CAS 1	CAS 2	CAS 3
Emprise spatiale / Topographie	Les modélisations débutent à l'aval immédiat du barrage		Le barrage est intégré à la topographie
Hydrogramme d'injection	Calculé avec module de brèche progressive intégré à RubarBE $Q_p = 8\,600 \text{ m}^3/\text{s}$; $t_m = 7 \text{ h}$; $d = 24 \text{ h}$		Hydrogramme reconstitué d'après ABRIL (2006) $Q_p = 8\,300 \text{ m}^3/\text{s}$; $t_m = 3,3 \text{ h}$; $d = 19 \text{ h}$
Sédimentogramme d'injection	Calculé avec RubarBE $V_s = 1,46 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Calé pour obtenir le volume observé de la brèche soit $V_s = 5,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Ecoulement d'eau claire arrivant sur la crête du barrage $V_s = 0 \text{ m}^3$
Granulométrie	Rickenmann (1990) $d_{50} = 0,1 \text{ m}$ $d_{90}/d_{30} = 5$		

Confrontation à un événement de terrain – cas test 1

Confronto con un evento sul campo - caso di test 1

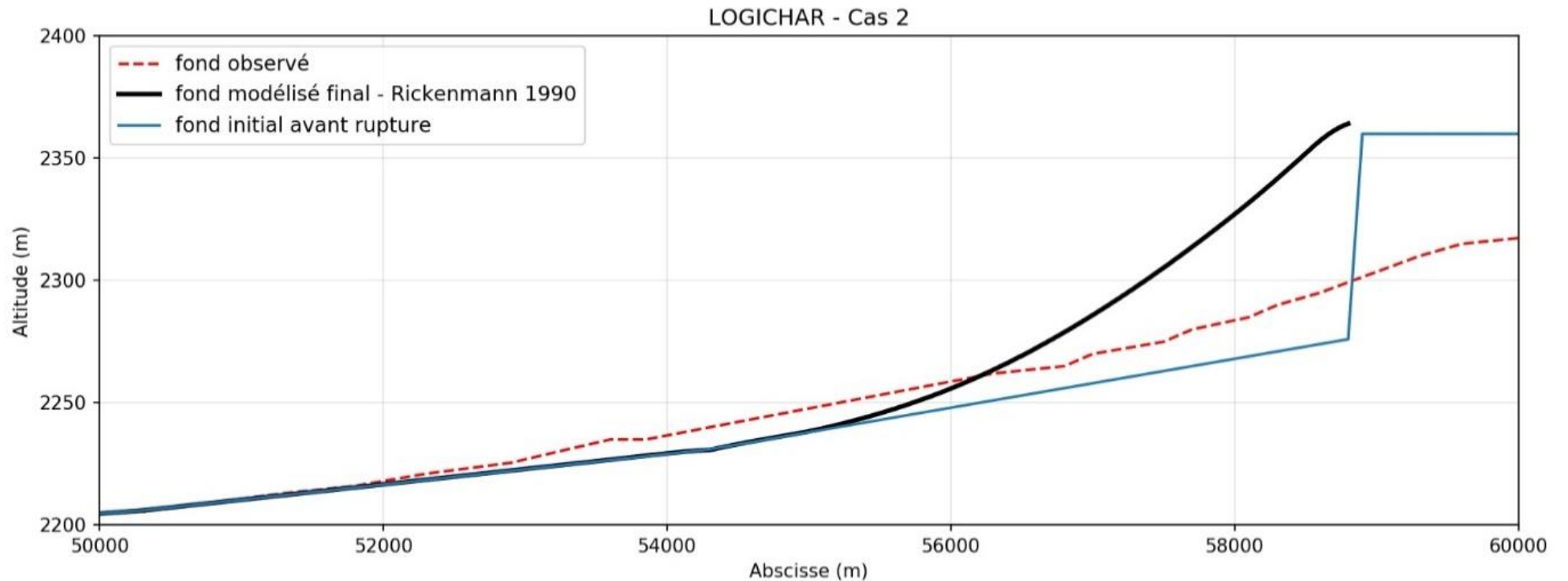
- Le modèle de brèche évalue mal la largeur de brèche et donc le volume / Il modello del gap valuta erroneamente l'ampiezza del gap e quindi il volume
- Conséquence : le volume de dépôt simulé est inférieur au dépôt observé / Conseguenza: il volume del deposito simulato è inferiore al deposito osservato



Confrontation à un événement de terrain – cas test 2

Confronto con un evento sul campo - caso di test 2

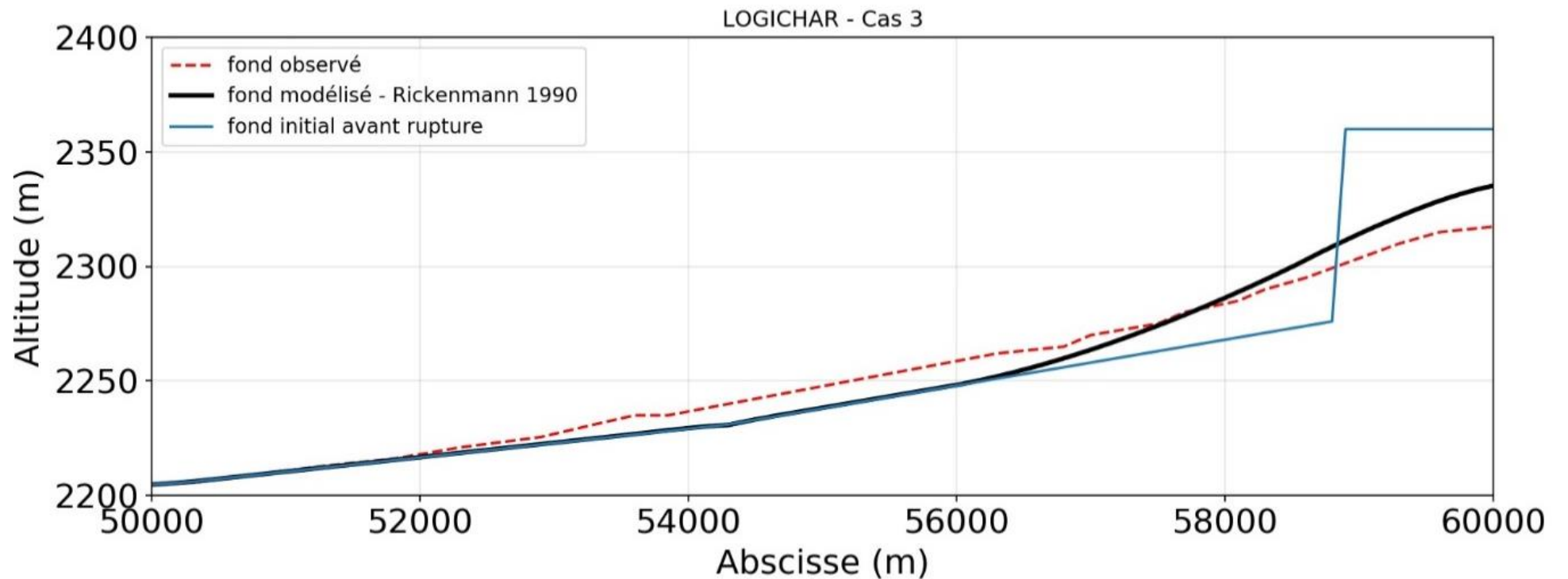
- Sédimentogramme amont cohérent avec les observations mais incohérent avec l'hydrogramme / Sedimentogramma a monte coerente con le osservazioni ma incoerente con l'idrogramma
- Conséquence : un dépôt simulé trop important / Conseguenza: deposito simulato troppo grande



Confrontation à un événement de terrain – cas test 3

Confronto con un evento sul campo - caso di test 3

- Largeur de brèche et hydrogramme imposés / Larghezza della breccia e idrogramma imposti
- Mise en oeuvre opérationnelle assez simple / Implementazione operativa abbastanza semplice
- Bilan de masse assez correct mais mobilité insuffisante du sédiment / Bilancio di massa abbastanza corretto ma mobilità dei sedimenti insufficiente



Etude expérimentale – le dispositif expérimental

- Canal 5 m x 40 cm avec fond rempli de sédiments (sable)
- Lâchers rapides d'un volume d'eau
- Mesure des hauteurs de vagues (capteurs à ultrasons)
- Mesure du volume de sédiments à l'aval

Studio sperimentale - il set-up sperimentale

- Canale 5 m x 40 cm con fondo riempito di sedimento (sabbia)
- Rilasci rapidi di un volume d'acqua
- Misura dell'altezza delle onde (sensori a ultrasuoni)
- Misura del volume dei sedimenti a valle

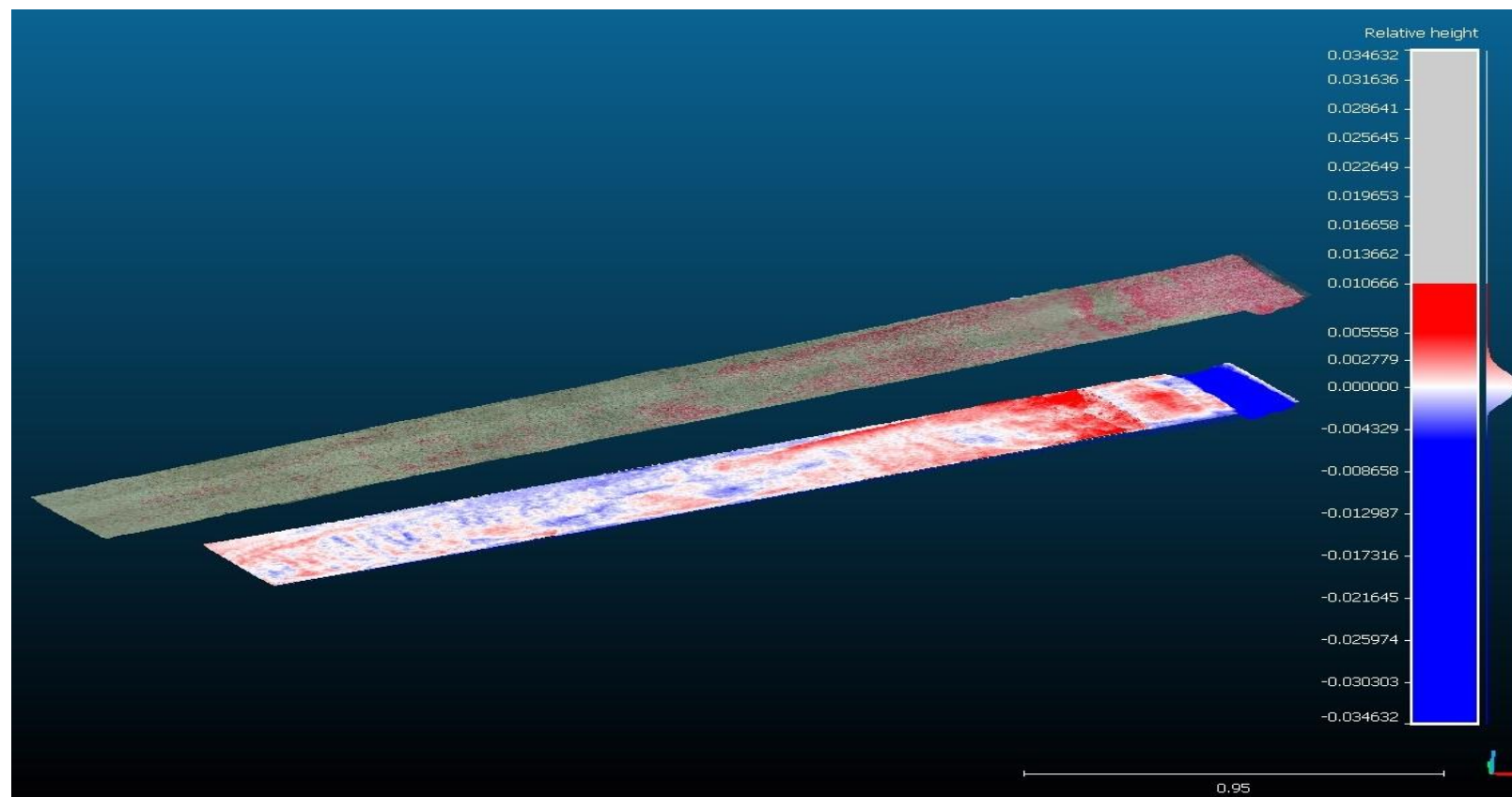


Etude expérimentale - photogrammétrie

- Séries de photographies du lit pour reconstituer la topographie 3D
- Comparaison avant – après expérience

Studio sperimentale - fotogrammetria

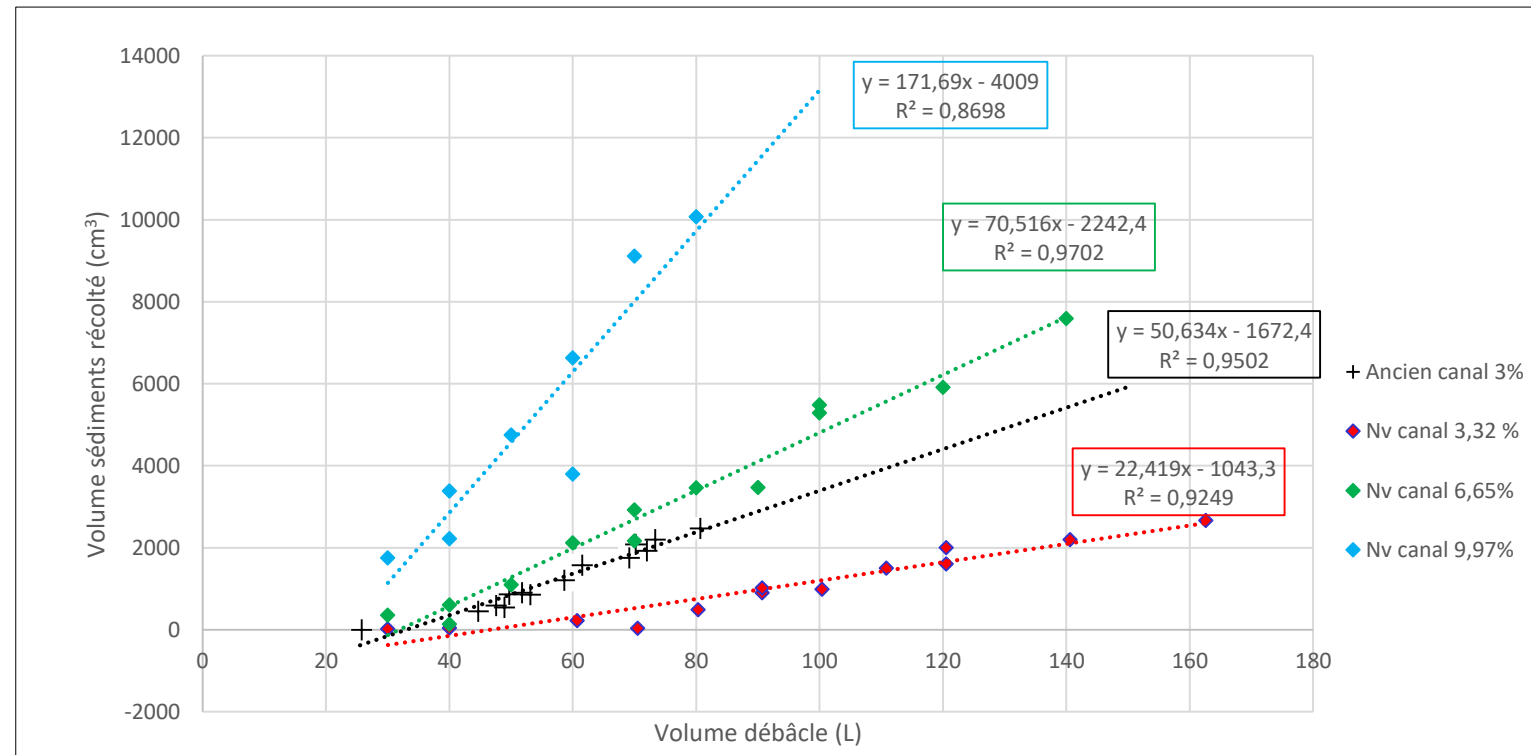
- Serie di fotografie dell'alveo per ricostruire la topografia 3D
- Confronto prima - dopo l'esperienza



Etude expérimentale – résultats 1

Studio sperimentale - risultati 1

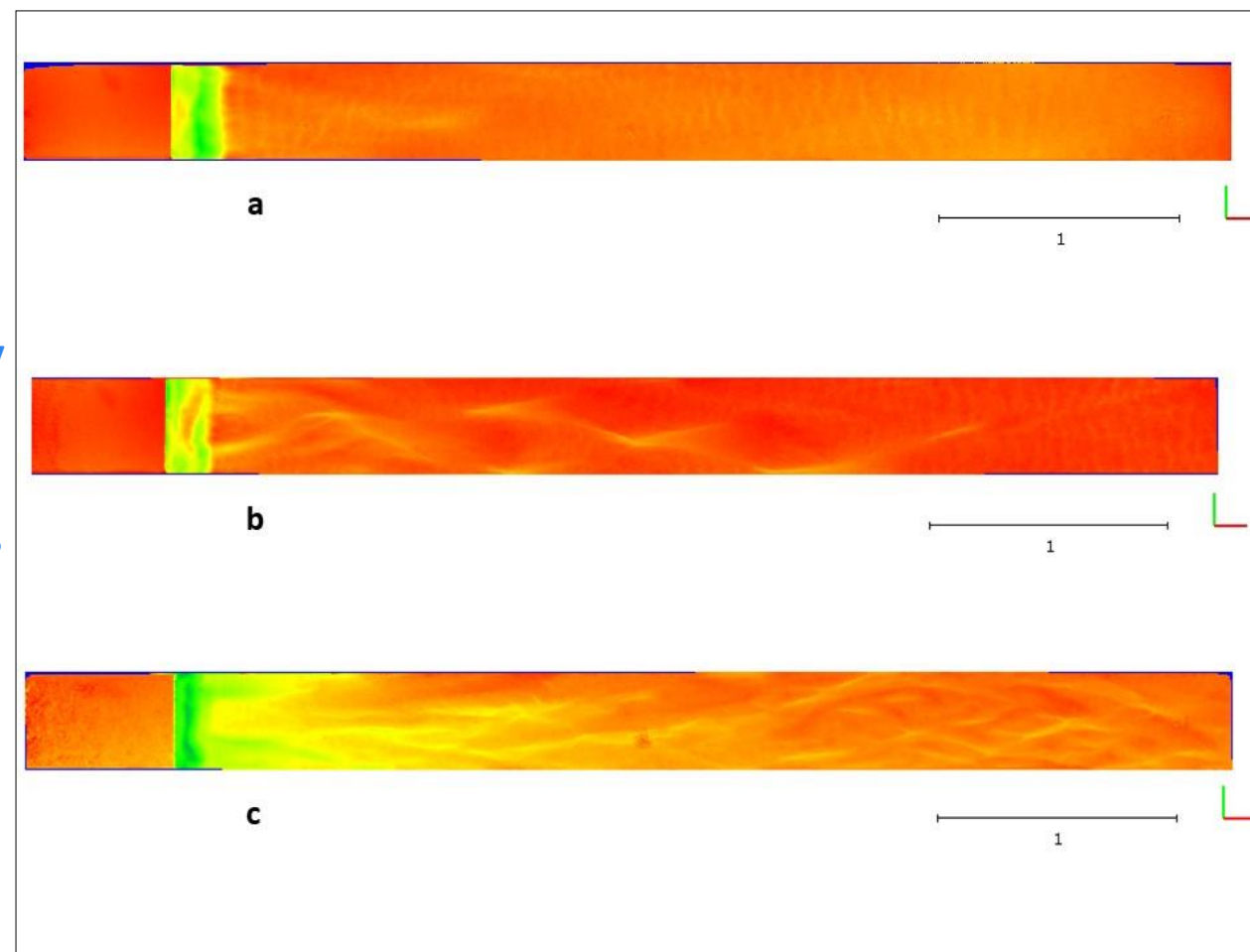
- Intensité du transport solide / Intensità di trasporto solido
 - En fonction du volume d'eau lâché / A seconda del volume di acqua rilasciata
 - En fonction de la pente / A seconda della pendenza



Etude expérimentale – résultats 2

Studio sperimentale - risultati 2

- Effets morphologiques en fonction de la pente / Effetti morfologici a seconda della pendenza
- a) 3,32% b) 6,67% c) 9,97%
- Forte érosion localisée à l'aval du barrage / Forte erosione localizzata a valle della diga
- Transport solide intense au front de vague / Trasporto solido intenso al fronte d'onda
- Modifications morphologiques importantes à forte pente /
Importanti cambiamenti morfologici ripido pendio



- **Modèle / Modello**

- Les modèles actuels sont performants pour simuler la propagation de l'eau / I modelli attuali sono bravi a simulare la propagazione dell'acqua
- Les modèles actuels ont du mal à simuler les érosions et dépôts / I modelli attuali lottano per simulare l'erosione e la deposizione
 - Résultat dépend beaucoup du calcul de formation de la brèche / Il risultato dipende molto dal calcolo della formazione della breccia
 - Des progrès restent à faire sur la modélisation du transport à forte pente / Resta da compiere progressi nella modellizzazione del trasporto su pendii ripidi

- **Etude expérimentale / Studio sperimentale**

- Influence de la pente sur : / Influenza della pendenza su:
 - Intensité du transport solide / Intensità di trasporto solido
 - Évolution de la morphologie du lit / Evoluzione della morfologia dell'alveo