

Vagues d'impulsion dues aux avalanches



LHE

Environmental
Hydraulics
Laboratory

Une solution numérique

Axel Giboulot



Contexte

Vagues d'impulsion lacustres

- Barrage du Vajont, 1959 : un glissement de terrain provoque une vague destructrice
- Total de 1'900 morts en aval
- Les avalanches en sont-elles capables ?



Trützisee

- Lac de 4,5 ha vidé par une avalanche en 1999
- Qu'en est-il des grands lacs ?



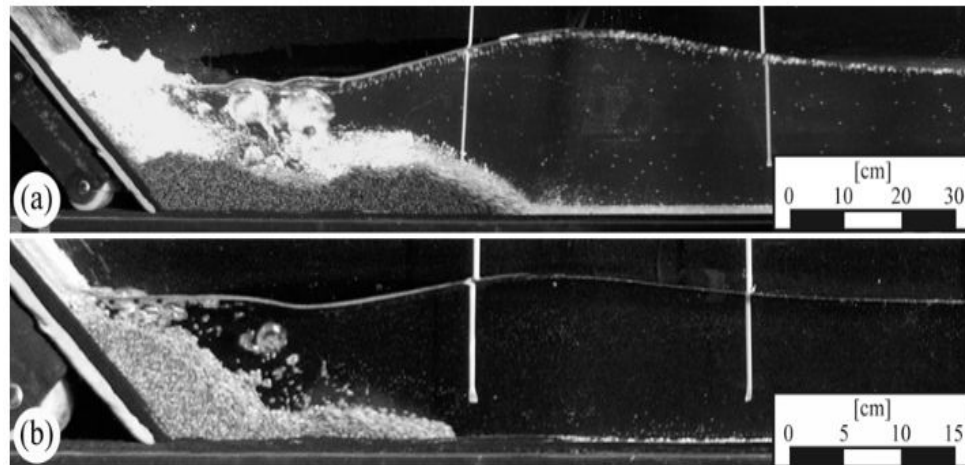
Cas d'étude : Trift

- ~100ha (1km²) pour 180m de haut
- Comment calculer l'ampleur de la vague ?
- Comment gérer ce risque saisonnier ?
- Baisser le niveau (PHE) en hiver ?
 - Réduit l'offre des centrales hydroélectriques...

Alors que la demande est plus haute !

Méthode du VAW (ETH)

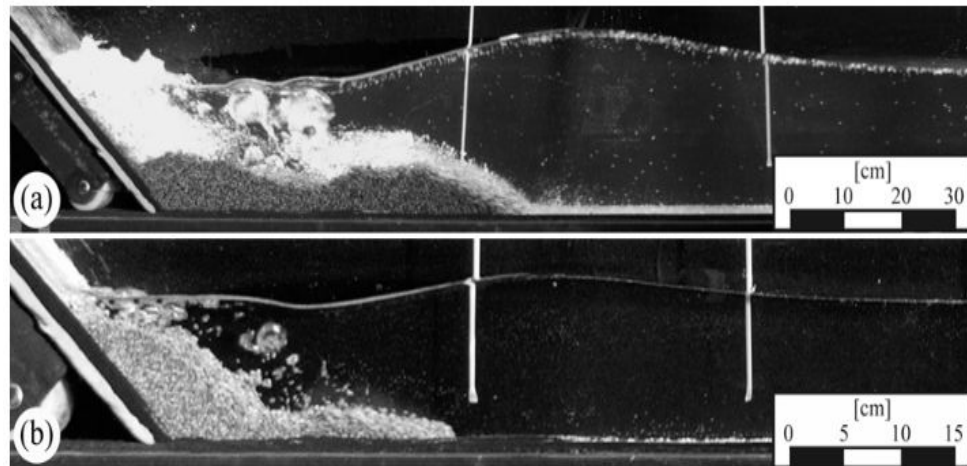
- Exemple à Trift : vague de ? mètres de haut
 - ❑ 1 mètre
 - ❑ 5 mètres
 - ❑ 20 mètres



Méthode du VAW (ETH)

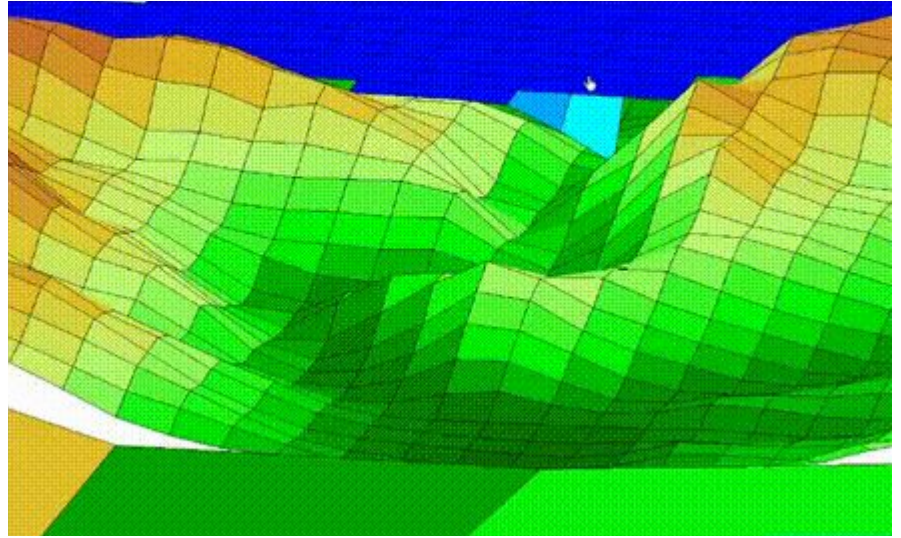
- Exemple à Trift : vague de 20 mètres de haut
1 mètre
5 mètres
☠ 20 mètres
- Nombre limité d'observations en labo
- La neige est particulière car légère ($d \sim 0,3$)
- La question persiste :

"Comment estimer la hauteur de vague ?"



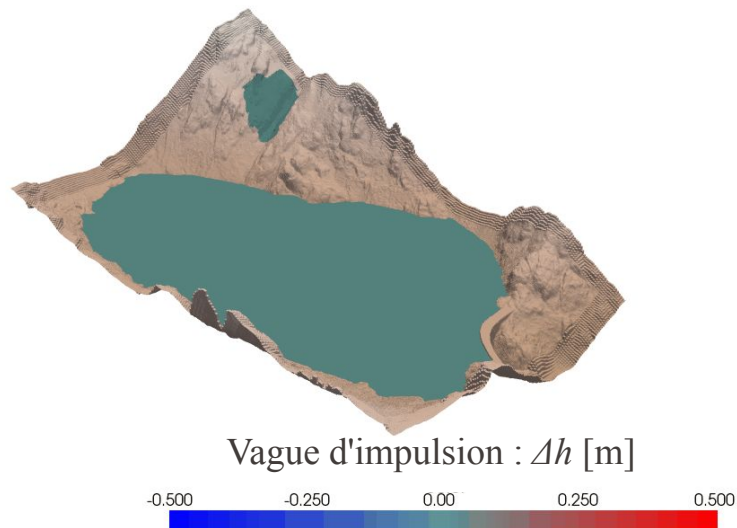
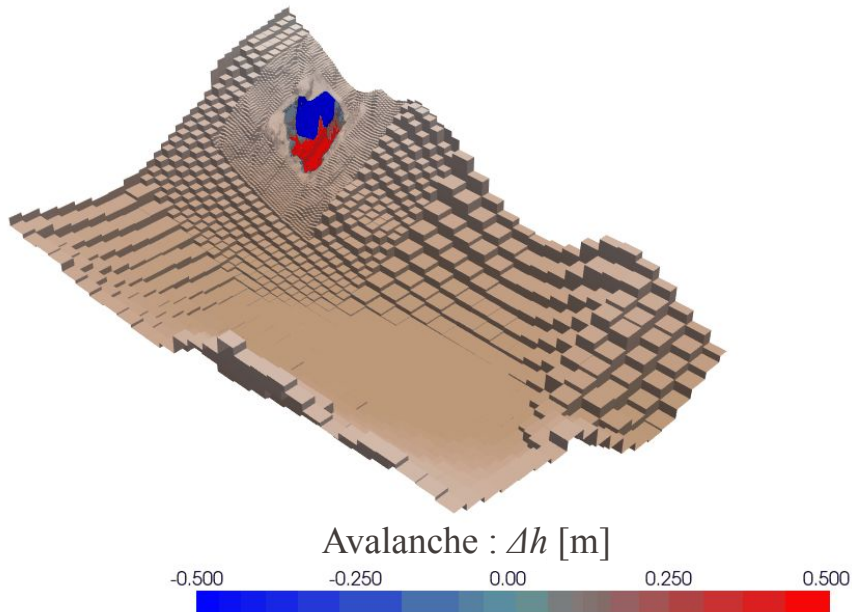
Solutions numériques existantes

Avalanches et vagues+crues



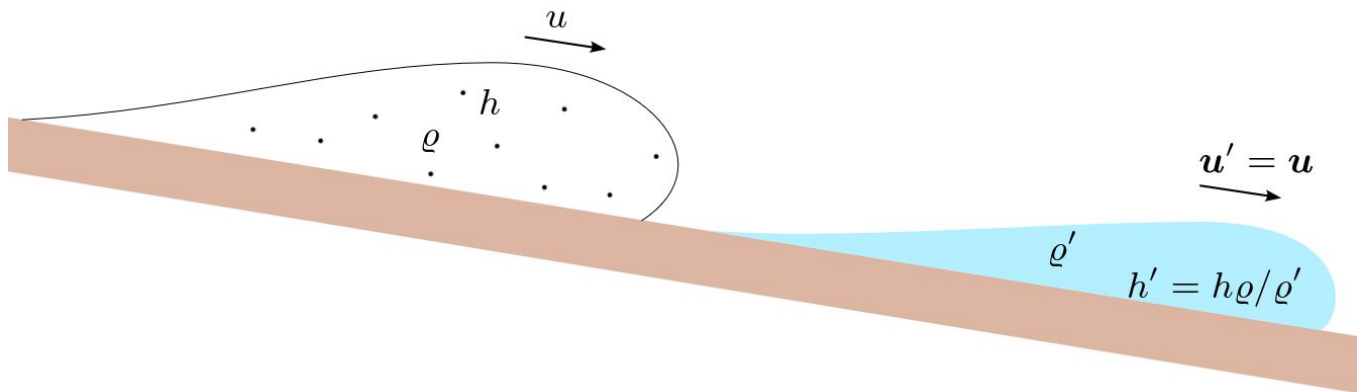
Stratégie

1. Simuler l'avalanche
2. Imposer l'avalanche dans le modèle de vagues
? Comment transformer l'avalanche en eau ?



Transformation (neige \rightarrow eau) instantanée

- Hypothèses pessimistes :
 - Transfert complet de la quantité de mouvement
 - Transfert complet de la masse
- Neige plus lourde \Rightarrow plus loin, plus vite, plus fort
 - Exemple : $\rho_{\text{neige}} \sim 500 \text{ kg/m}^3$ ($\rho_{\text{eau}} = 2 \rho_{\text{neige}}$) donc $h_{\text{eau}} = h_{\text{neige}}/2$



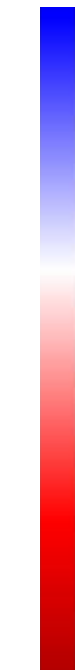
$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} m \\ \mathbf{q} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} m' \\ \mathbf{q}' \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} \rho h \\ \rho h \mathbf{u} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \rho' h' \\ \rho' h' \mathbf{u}' \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} h \rho / \rho' \\ \mathbf{u} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} h' \\ \mathbf{u}' \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Avalanche critique à Trift

- 1 mètre
- 5 mètres
- 20 mètres

Δh [m]

? m

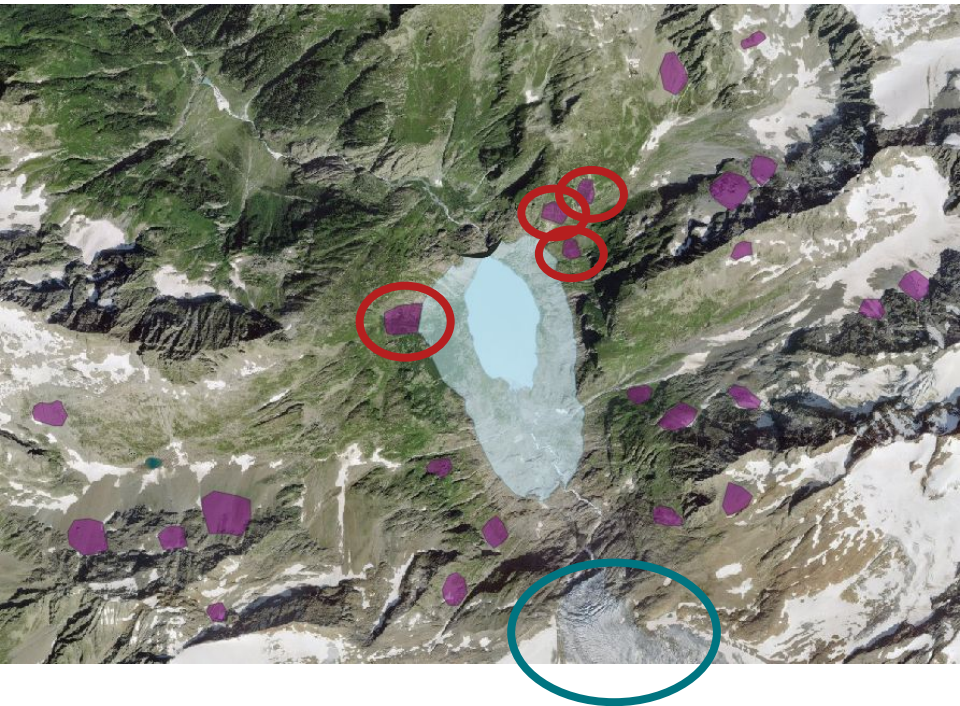


-? m



Vagues d'impulsion dues aux avalanches





Panneaux de
départ des
avalanches

Avalanches critiques

- Les avalanches arrivant près du barrage sont déterminantes
- Les avalanches trop lointaines laissent le temps à leur vague de se diffuser
 - À l'exception des chutes de sérac dont le volume est d'un ordre de grandeur supérieur (très épais)

Conclusion

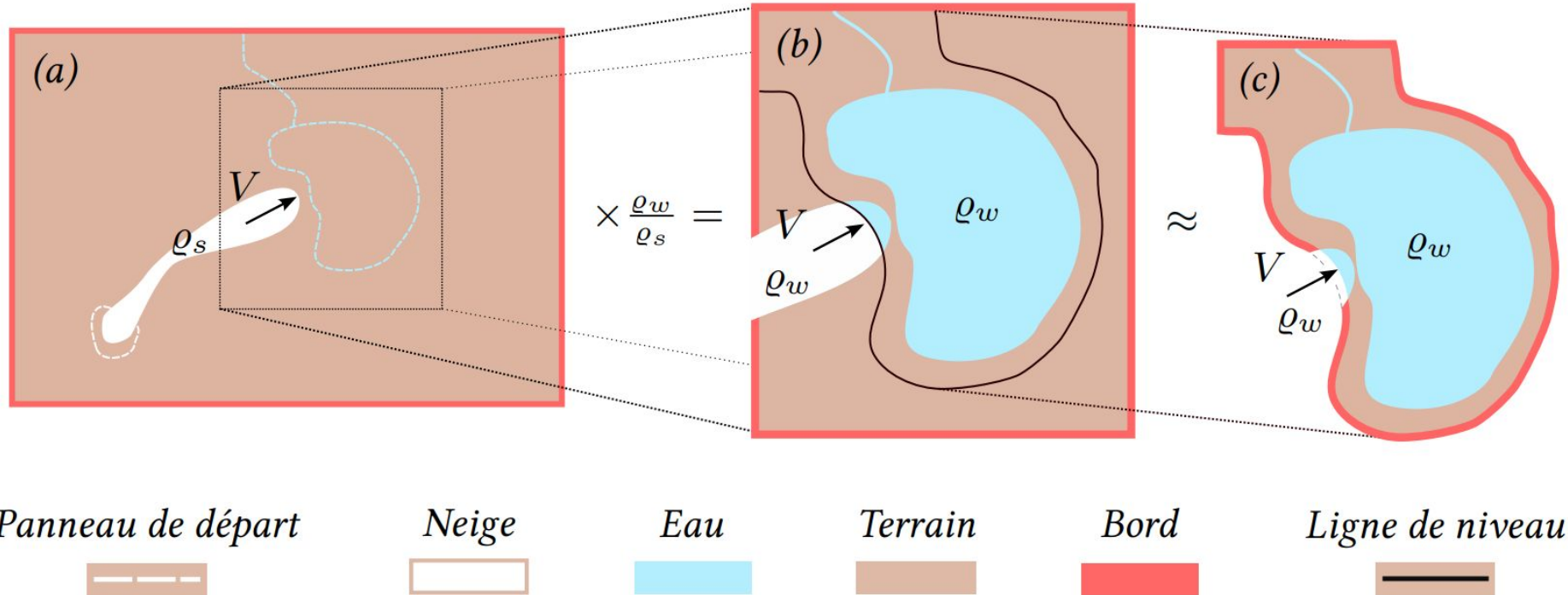
- Jonction des modèles numériques proposée
 - vagues réaliste de 5 mètres de haut (contre 20 mètres selon méthode VAW)
 - hypothèses pessimistes
- Les outils disponibles permettent de **fournir un outil tout-en-un**
 - Simple d'utilisation (interface en Python)
 - Performant (Fortran)
 - Automatisé (avalanche et lac arbitraires)

Merci à tous !

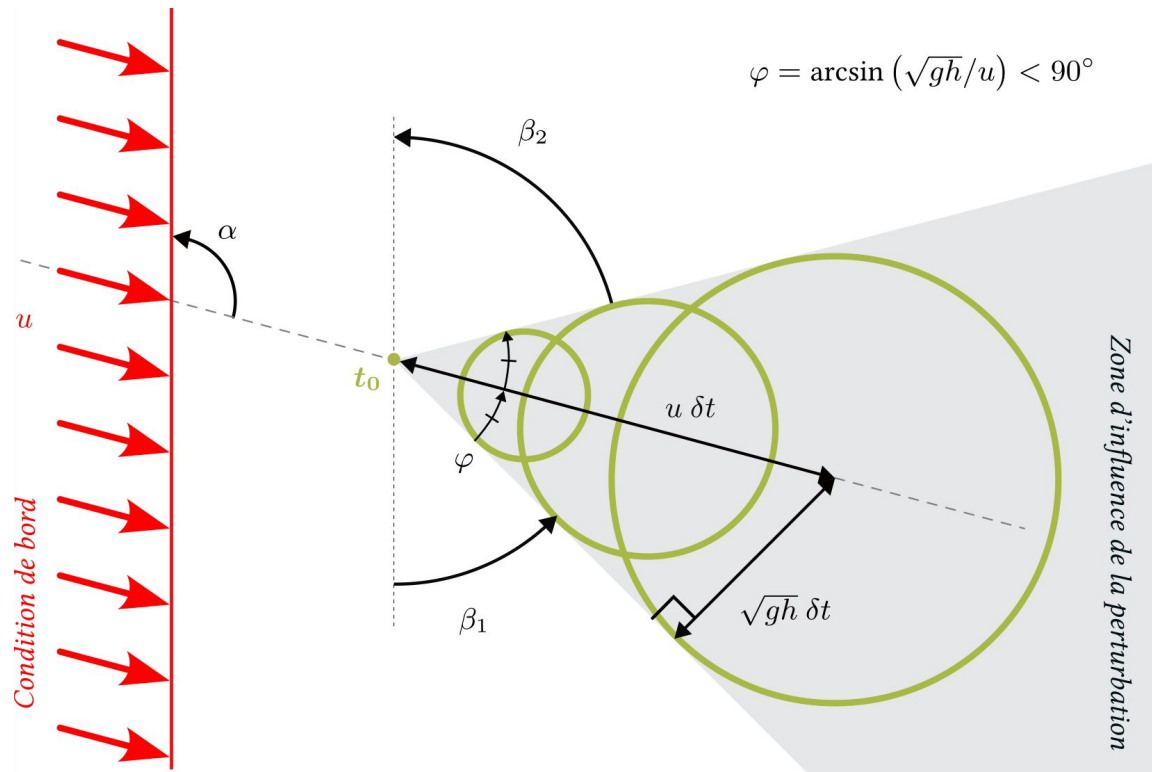
- Merci à Christophe Ancey et à Stéphane Terrier pour m'avoir offert l'occasion de travailler sur ce projet.
- Merci aux membres du LHE pour leur sympathie et leur support !
- Merci à mes collègues de bureau !

Schéma de jonction numérique

15



Condition de bord et conflits d'information



Équations de Saint-Venant

Avec bathymétrie et frottement

$$\bar{\mathbf{u}} = (\bar{u}, \bar{v})$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h \bar{\mathbf{u}}) = 0$$

$$\frac{\partial h \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + \nabla \cdot (h \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{u}}) = -gh \nabla (h + z) - \frac{\boldsymbol{\tau}}{\varrho}$$

- h est la hauteur d'écoulement
- $\bar{\mathbf{u}}$ est la vitesse horizontale
- z est la bathymétrie
- $\boldsymbol{\tau}$ est la contrainte au fond

(vecteurs en gras)

$$\boldsymbol{\tau} = \mu \varrho g h \frac{\bar{\mathbf{u}}}{|\mathbf{u}|} + \varrho \mathbf{u} |\mathbf{u}| \frac{g}{\xi}$$

Avalanche

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{g}{K^2 h^{7/3}} h^2 \mathbf{u} |\mathbf{u}|$$

Vague

Comparaison au données en laboratoire

Régression selon Z. Meng & C. Ancey (2019)

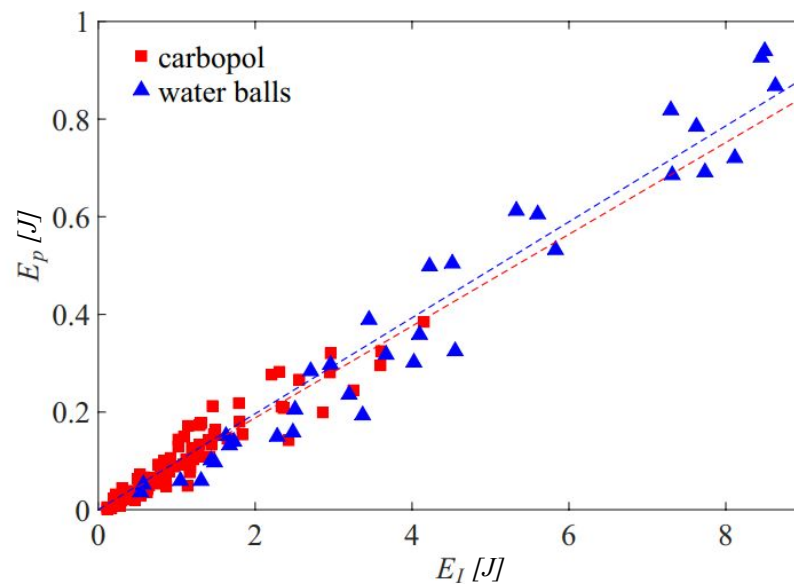
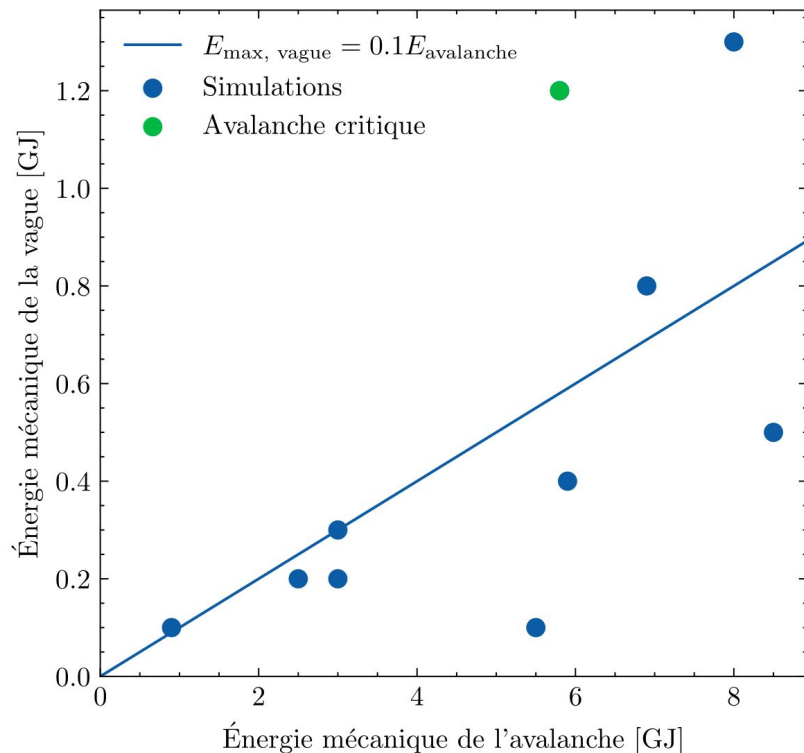
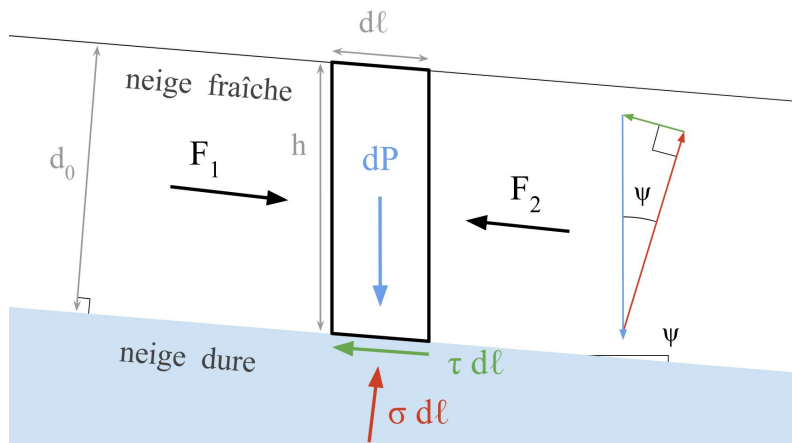


Fig. 12 Variation in the wave's maximum potential energy E_p relative to the slide's kinetic energy E_l

Méthode VSG - pour les praticiens



- Épaisseur de neige initiale (LEM)
- Estimation de la vitesse (Voellmy)
- Période de retour parmi 30, 100 et **300** ans
- Estimation de la pression en cas de choc sur un obstacle

$$d_0 = h \cos \psi = \frac{c'}{\rho_{\text{neige}} g} \cdot \frac{1}{\sin \psi - \mu_s \cos \psi}$$

$\xrightarrow{\quad} d_0^*$

- d_0 est l'épaisseur de neige fraîche.
- c' est la cohésion entre les deux couches.
- ψ est la pente.
- μ_s est le coefficient de frottement statique.
- ρ_{neige} est la masse volumique de la neige.