

## Licence Sciences et Applications - Mention STEP

### Geosciences 3 : « L'homme et la planète »

#### TD 4 : Écoulements gravitaires :

Un des risques naturels les plus répandus est représenté par les effondrements gravitaires qui se produisent régulièrement notamment en zone montagneuse, entraînant fermeture de routes, destruction de bâtiments, etc. Ce ne sont pas les risques naturels les plus dangereux mais les plus coûteux en raison de leur fréquence et de leur impact sur les infrastructures. Le but de ce TD est de voir comment des considérations physiques simples couplées à des expériences de laboratoire « à l'échelle » permettent de délimiter les zones de risque associées à de tels effondrements.

On s'intéresse à la distance  $\Delta L = L_f L_i$  parcourue par une masse rocheuse  $M$  formant un volume rectangulaire de hauteur  $H_i$  et de base  $L_i$ , définissant son rapport d'aspect  $a = H_i/L_i$ . On utilisera  $\Delta L = L_f L_i$  comme longueur de propagation caractéristique de l'effondrement considéré.

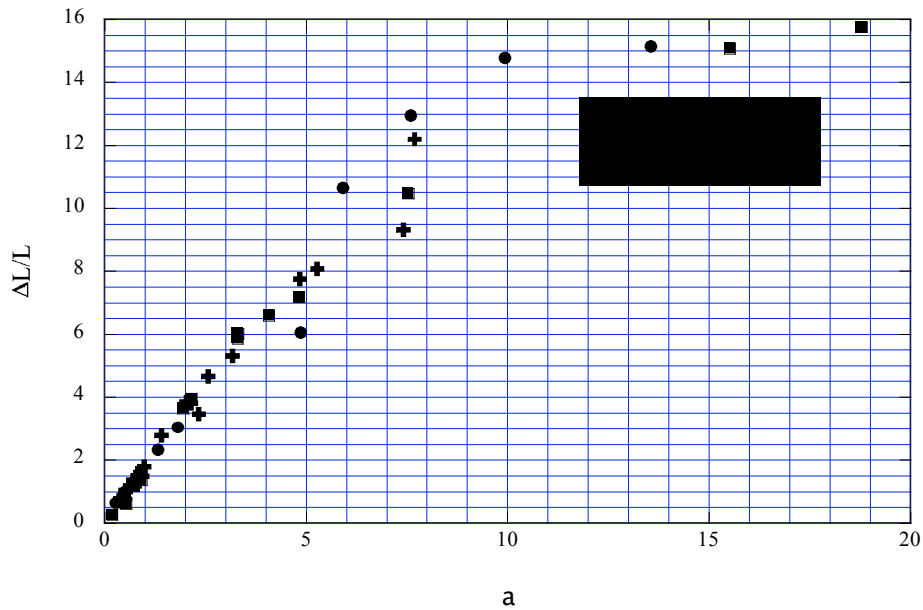
#### (1) Glissement « en masse »

Pour obtenir une première estimation de cette distance, on propose un raisonnement sur les énergies en considérant que la masse rocheuse se comporte comme un bloc massif glissant sur le sol. Si  $H_i$  est la hauteur initiale de la masse rocheuse, quelle est l'énergie potentielle de gravité disponible pour produire le glissement de terrain ?

On considère ensuite que cette énergie est dissipée par les frottements à la base du bloc. Dans l'hypothèse où les frottements sont proportionnels au poids du bloc (qui exerce une pression sur le sol), quel est le travail fourni par les forces de frottement lorsque la distance  $\Delta L$  a été parcourue ?

En égalisant l'énergie disponible et l'énergie consommée par le travail des forces de frottement, donnez une expression pour la distance parcourue par le glissement. Qu'est-ce qui est remarquable dans ce résultat.

Pour tester cette relation on réalise des expériences en laboratoire. Un glissement « en miniature » est réalisé en faisant s'effondrer un parallélépipède rectangle de hauteur  $H_i$  et de largeur  $L_i$ . On réalise plusieurs expériences en variant la hauteur et la largeur (donc la masse) du parallélépipède. On mesure la distance parcourue par le tas de billes,  $\Delta L$  et on reporte sur un graphe  $\Delta L/L_i$  en fonction de  $a$  afin de tester la relation obtenue précédemment. Le résultat est donné sur la figure suivante. Que constatez-vous ?



(2) Glissement « en écoulement granulaire »

Pour les grands rapports d'aspect la dynamique de l'écoulement n'est plus la même. L'agrégat de billes ne se comporte plus comme un solide cohérent, mais comme une suspension concentrée de particules et prend un comportement proche d'un fluide. Dans ce cas, les frottements sont négligeables à la base de l'écoulement et ce sont les forces d'inertie (c'est à dire liées à l'accélération) qui dominent.

Rappelez le lien entre accélération et force d'après le principe de la dynamique newtonienne.

Le problème revient à trouver une expression pour l'accélération moyenne de l'écoulement dans le cas où les frottements sont négligeables. En réalisant une étude dimensionnelle, exprimer l'accélération en fonction de  $\Delta L$  et d'une échelle de temps  $\tau$  pour l'écoulement.

Pour trouver l'échelle de temps, on utilise le fait que l'écoulement a lieu sous l'effet de la gravité et que l'on néglige les frottements. On est donc dans le cas d'un « chute libre » quelle est alors l'échelle de vitesse dans l'écoulement en fonction de  $H$  l'épaisseur du dépôt ? En déduire l'échelle de temps.

En utilisant les résultats précédents, exprimez le travail des forces d'inertie au sein de l'écoulement en fonction de  $H$  et de  $\Delta L$ .

En égalisant le travail des forces d'inertie et l'énergie potentielle initialement disponible, donnez la relation entre  $\Delta L/L_i$  et  $H$ .

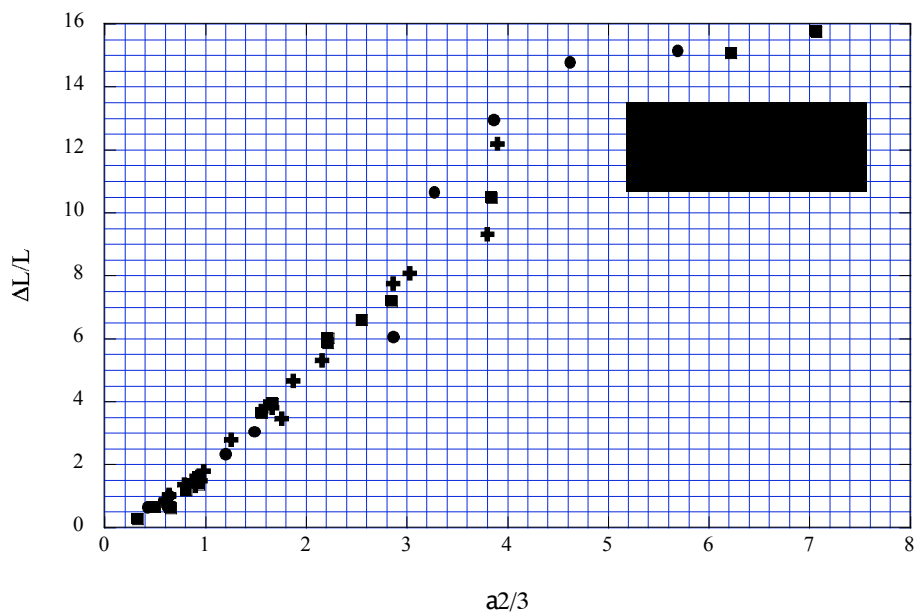
Pour fermer le problème il faut donc une expression pour  $H$  que nous avons introduit comme échelle de hauteur.

Dans un premier temps, pour les faibles rapports d'aspect (qui correspondent à de faibles distances parcourues), on considère que l'échelle de hauteur pertinente est la hauteur initial du dépôt, c'est à dire que l'écoulement est dominé par l'effondrement initial de la colonne de roche, on pose donc  $H=H_i$ . Quel est l'expression résultante pour  $\Delta L/L$  ?

Pour les grands rapports d'aspects (i.e. de grandes distances parcourues), on considère que ce qui fait avancer l'écoulement est sa topographie moyenne, comme pour l'étalement d'une coulée de lave. L'échelle de hauteur est alors l'épaisseur moyenne de l'écoulement,  $H_f$ . Pour obtenir  $H_f$ , on utilise la conservation du volume. Trouvez une relation générale entre  $H_f$ ,  $H_i$ ,  $L_i$  et  $L(t)$  utilisant la conservation du volume pour un rectangle).

En déduire la relation théorique entre  $L(t)/L_i \approx \Delta L/L_i$  et  $a=H_i/L_i$  pour une écoulement granulaire où les frottements sont négligeables devant l'inertie. Rmq : si les frottements à la base de l'écoulement sont négligeables, qu'est-ce qui fait que l'écoulement s'arrête ?

Tester cette relation sur les données de laboratoire en utilisant la figure complémentaire et en déduire la valeur approximative du rapport d'aspect limite  $a$  séparant les deux régimes d'écoulement.



*(3) Application à un cas géologique :*

Une autoroute alpine a été aménagée aux pieds d'un escarpement rocheux. Entre l'escarpement et l'autoroute une zone de sécurité de 40 m de large a été délimitée. Périodiquement des géologues visitent la falaise surplombant l'autoroute pour déceler d'éventuelles fissures pouvant précéder un éboulement de la falaise. Sachant que la falaise fait 10 m de haut, quelle est l'épaisseur maximale de roche qui peut glisser avant que l'autoroute soit menacée ?

Rmq : prendre en compte le rapport d'aspect du glissement considéré.