



HAL
open science

Morphologies des cratères d'érosion générés par un jet perpendiculaire

Sarah Badr, Philippe Gondret

► **To cite this version:**

Sarah Badr, Philippe Gondret. Morphologies des cratères d'érosion générés par un jet perpendiculaire. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444807

HAL Id: hal-03444807

<https://hal.science/hal-03444807>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Morphologies des cratères d'érosion générés par un jet perpendiculaire

S. BADR, G. GAUTHIER and P. GONDRET

Université Paris-Sud, CNRS.

Laboratoire FAST (UMR 7608), Bât 502 Campus Universitaire, 91405 Orsay.
nom@fast.u-psud.fr

Résumé :

Nous présentons une étude de la morphologie des cratères obtenus lors de l'érosion d'un lit granulaire par un jet circulaire perpendiculaire. La forme asymptotique des cratères, qui restent axi-symétriques, est obtenue à l'aide d'un profilomètre Laser. Pour une distance jet-lit donnée, la forme des cratères évolue lorsque la vitesse du jet augmente. Ainsi trois morphologies types ont été répertoriées et étudiées en fonction du nombre de Shields inertiel global et de la distance du lit à l'origine virtuelle du jet. Les mécanismes responsables de la transition d'une morphologie à une autre sont analysés.

Abstract :

We study the local erosion of a horizontal dry granular bed induced by an impinging vertical jet. The critical velocity of erosion depends on the nature of the bed and on its distance to the jet nozzle. We show that the erosion threshold is governed by a Shields number of inertial origin based on a local velocity according to self-similar jet models. Above threshold, the crater shape is investigated with a laser profilometer for increasing Shields number. Three different crater morphologies are reported and we focus on the processes that made the crater switching from one to another morphology.

Mots clefs : Érosion, Jet, Milieux granulaires

1 Introduction

Les phénomènes d'érosion sont présent aussi bien dans les milieux naturels qu'industriels et peuvent avoir des conséquences sociétales importantes. En effet l'érosion est à l'origine de la plupart des ruptures de digues ou de barrages [1], mais elle est aussi utilisée pour le dragage des ports ou des estuaires (Water Injection Dredging)[2], ou encore comme test de stabilité des sols (par exemple le Jet Erosion Test [3]). Malgré de nombreuses études, le mécanisme d'érosion dû à l'impact d'un jet perpendiculaire

à un sol est encore incompris. Dans une étude précédente [4] nous avons montré que le seuil d'érosion est gouverné par le nombre de Shields inertiel local déterminé à partir de modèles de jet auto-similaires, en prenant soigneusement en compte la position de l'origine virtuelle correspondante. Dans cette étude, nous sommes intéressés à la morphologie asymptotique des cratères au-dessus du seuil d'érosion. Nous identifions trois formes types de cratère (cf. figure 1-b) et nous montrons que cette forme est déterminée par l'écart au seuil du nombre de Shields global $Sh = (\rho_f U_J^2) / ((\rho_s - \rho_f) g d)$, construit à partir de la vitesse moyenne du jet à la sortie de l'injecteur U_J .

2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est présenté sur la figure 1-a. Il se compose d'un lit granulaire horizontal constitué de billes de verre (de masse volumique $\rho_p = 2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) de diamètre $200 \mu\text{m} \leq d \leq 300 \mu\text{m}$, contenues dans un cylindre de 300 mm de diamètre et de hauteur h pouvant être variée entre 5 mm et 30 mm. Un jet d'azote (de masse volumique $\rho = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et de viscosité $\eta = 1.66 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$), sort d'un tube cylindrique vertical de diamètre $D = 5 \text{ mm}$, suffisamment long pour que l'écoulement soit établi. La distance l entre l'extrémité aval du tube et la surface du lit de grains a été variée entre $11D$ et $29D$, tandis que la vitesse moyenne de sortie du jet U_J a été variée entre 0 et $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Les cratères engendrés par l'érosion du jet sont axisymétriques et leur morphologie est obtenue à partir de mesures de profondeur $p(r)$ réalisées selon un diamètre grâce à un profilomètre Laser.

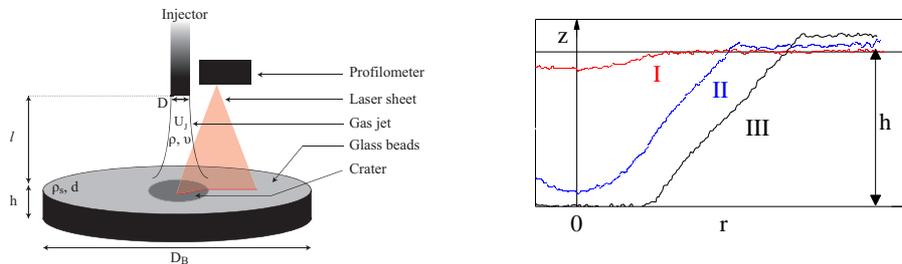


FIGURE 1 – a) Schéma du dispositif expérimental. b) Profils des 3 types de cratères observés. Cratère de forme paraboloïde (type I, —), Cratères de forme paraboloïde au centre et tronconique sur les cotés (type II ; —) et cratère de forme tronconique (type III, —).

3 Résultats

Pour une distance donnée et une vitesse de jet U_J légèrement supérieure au seuil d'éro-

sion, les cratères ont un profil parabolique, comme la figure 1-b (—) en donne un exemple. Au delà d'une certaine vitesse, le profil des cratères évolue et peut se décomposer en deux parties : une partie parabolique autour de l'axe du jet et une partie rectiligne sur les cotés. L'angle entre la partie rectiligne du cratère et l'horizontale, mesurée au niveau initial de la surface au rayon du cratère R_0 , est noté θ_0 . Enfin à encore plus grande vitesse U_J l'érosion à lieu jusqu'à la paroi du conteneur (— sur la figure 1-b). Il est à noter que ces profils de cratères sont similaires aux profils rapportés dans les études de l'évolution temporelle des cratères [5, 6, 7]. La figure 2-a présente l'évolution de la profondeur des cratères avec la vitesse de sortie du jet pour 3 distances $l = 19D, 24D$ et $29D$. Les trois courbes se rassemblent en une courbe maitresse lorsque la profondeur P_0 du cratère est adimensionnée par la distance à l'origine virtuelle du jet $l + \lambda$ (où λ est la position relative de l'origine virtuelle du jet à son origine physique) et présentée en fonction de l'écart au nombre de Shields critique d'érosion $Sh_J - Sh_{J_c}$ comme sur la figure 2-a.

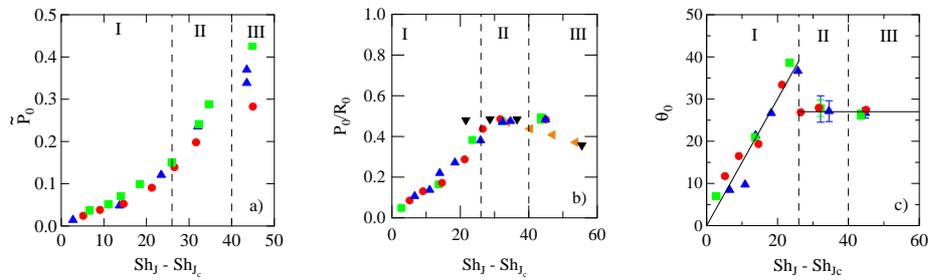


FIGURE 2 – Évolution avec l'écart au seuil (a) de la profondeur adimensionnée $P_0/(l + \lambda)$, (b) du rapport d'aspect global P_0/R_0 et (c) de la pente terminale des cratères θ_0 . Les lignes pointillées (- -) délimitent les domaines d'existence des 3 formes de cratères.

L'évolution du rapport d'aspect global P_0/R_0 des cratères avec l'écart au seuil d'érosion, présenté sur la figure 2-b, met en évidence que les transitions entre les morphologies de type I et II ont lieu pour un écart au seuil d'érosion critiques ($Sh_J - Sh_{J_c} \simeq 26$). De plus la figure 2-b montre que pour les cratères de type II, la profondeur et le rayon des cratères évoluent de la même façon de telle sorte que le rapport d'aspect est constant ($P_0/R_0 \simeq 0.5$), contrairement aux cratères de type I pour lesquels seul le rayon est constant ($R_0/(l + \lambda) \simeq 0.3$) est constant. Enfin pour des valeurs croissantes de $Sh_J - Sh_{J_c}$, l'angle de pente terminale augmente jusqu'à une valeur limite $\theta_0 \simeq 40^\circ$ puis relaxe brutalement vers $\theta_0 \simeq 27^\circ$ pour ($Sh_J - Sh_{J_c} \simeq 26$) et reste ensuite constant (Figure 2-c). La transition des cratères de type I à II correspond à l'apparition d'avalanches sur les bords du cratères et la valeur de θ_0 pour les cratères de type II est alors proche de l'angle de repos pour ce type de grains [8].

Références

- [1] M. Foster, R. Fell, and M. Spannagle, “The statistics of embankment dam failures and accidents,” *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 37, no. 5, pp. 1000–1024, 2000.
- [2] A. Perng and H. Capart, “Underwater sand bed erosion and internal jump formation by travelling plane jets,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 595, pp. 1–43, 1 2008.
- [3] G. Hanson and K. Cook, “Apparatus, test procedures, and analytical methods to measure soil erodibility in situ,” *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 20, pp. 455–462, 2004.
- [4] S. Badr, G. Gauthier, and P. Gondret, “Erosion threshold of a liquid immersed granular bed by an impinging plane liquid jet,” *Physics of Fluids*, vol. 26, no. 2, pp. 1–9, 2014.
- [5] P. Metzger, C. Immer, C. Donahue, B. Vu, R. Latta, and M. Deyo-Svendsen, “Jet-induced cratering of a granular surface with application to lunar spaceports.,” *J. Aerospace Eng.*, vol. 2, no. 1, 2009.
- [6] B. R. Sutherland and S. Dalziel, “Bedload transport by a vertical jet impinging upon sediments,” *Phys. Fluids*, vol. 26, pp. 035103–1 : 035103–19, 2014.
- [7] A. H. Clark and R. Behringer, “Jet-induced 2-d crater formation with horizontal symmetry breaking,” *Granular Matter*, vol. 6, no. 4, pp. 433–440, 2014.
- [8] R. Fischer, P. Gondret, and M. Rabaud, “Transition by intermittency in granular matter : From discontinuous avalanches to continuous flow,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 103, p. 128002, Sep 2009.