

HỒI ỨNG SAU 5 NĂM CÔNG NGHIỆP HÓA THÍ NGHIỆM XÓI Ở CHÂU ÂU

(Feed-Back on Five Years of Industrialization of Erosion Tests in Europe)

*Patrick Pinettes & Rémi Béguin¹
Jean-Robert Courivaud & Jean-Jacques Fry²*

GIỚI THIỆU

Đã từ lâu cơ chế xói được nhìn nhận là căn nguyên chính gây nên đổ vỡ các công trình thủy lợi bằng đất, như các đê và / hoặc đập đất (Foster et al., 2000). Tuy vậy, trên thực tế cho đến gần đây, cách thức đánh giá mức độ rủi ro đối với bệnh lý của căn bệnh gây xói này vẫn chỉ giới hạn ở mức nhận dạng chung chung với các thông tin định tính về khả năng chống xói của đất đắp tạo nên công trình.

Nhằm cung cấp cho các chủ đê, chủ đập những thông tin định lượng về xói, trong những thập niên trở lại đây người ta đã nghĩ ra và thiết kế nhiều loại thí nghiệm về xói khác nhau: thí nghiệm xói tia nước (JET) áp dụng cho xói tràn qua đỉnh đê, đập (Hanson and Robinson, 1993), thí nghiệm xói lỗ (HET) áp dụng cho đường xói dạng ống (Lefebvre et al, 1985), thí nghiệm xói tiếp xúc (CET) áp dụng cho xói tiếp xúc (ICOLD, Hội Đập Lớn Thế Giới (2013), Bulletin về xói ngầm trong đê, đập và nền sắp được xuất bản), và thí nghiệm xói ngầm (ST) áp dụng cho xói ngầm.

Lần đầu tiên ở Châu Âu geophyConsult giới thiệu USDA JET năm 2009 (Hanson and Cook, 2004), IRSTEA HET năm 2013 (Bonelli et al, 2006), và LTHE-EDF-CNR-geophyConsult CET năm 2014 (Béguin, 2014, Personal communication). Báo cáo này trao đổi, thảo luận về những kinh nghiệm và bài học rút ra được từ các giới thiệu đầu tiên nói trên (thực tế chủ yếu là giới thiệu các thí nghiệm xói tia nước), trên cơ sở 286 thí nghiệm đã được tiến hành trong 4 năm rưỡi.

Sau khi mô tả ngắn gọn thí nghiệm xói tia nước, chúng tôi sẽ trình bày về thị trường và cho thấy thị trường bị chi phối bởi hai ứng dụng chính.

Tiếp theo, chúng tôi sẽ mô tả các tiến bộ chủ yếu do geophyConsult mang lại nhằm đáp ứng các đòi hỏi chuyên biệt của thị trường, và kết thúc báo cáo này bằng những trình bày về các tiến bộ đang được phát triển hiện nay.

THÍ NGHIỆM XÓI TIA NƯỚC CỦA GREG HANSON

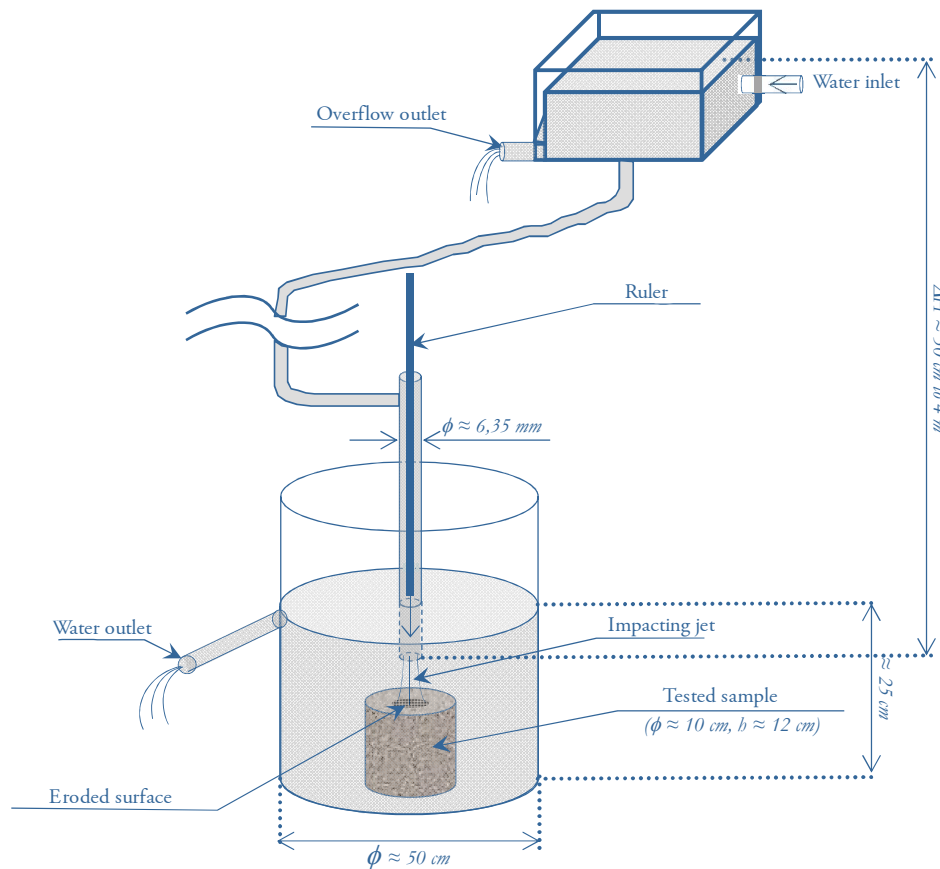
¹ geophyConsult SAS – 159, quai des Allobroges – 73 000 Chambéry – France – pinettes@geophyconsult.com

² EDF-CIH – Savoie Technolac – 73 373 Le Bourget du Lac – France

“Thí nghiệm xói tia nước” (*Jet Erosion Test*) nhằm cố gắng định lượng sức chống xói của một mẫu đất tương đối dính (1) không chứa các hạt sạn sỏi có kích thước lớn hơn chiều dài đặc trưng được xác định từ các đặc điểm của thiết bị (thực tế, đó là 4.75 mm), và (2) giả thiết chịu hiện tượng xói có thể được mô tả bằng phương trình dưới đây.

$$\dot{\epsilon} = \kappa_D \times (\tau - \tau_c),$$

Trong đó $\dot{\epsilon}$ biểu thị tốc độ xói, tính theo m/s, τ là ứng suất thủy lực hiệu quả, đơn vị tính là Pa, τ_c là ứng suất tới hạn của đất, đơn vị tính là Pa, và κ_D là hệ số xói hay hệ số tách rời của đất, đơn vị tính là m²s/kg.



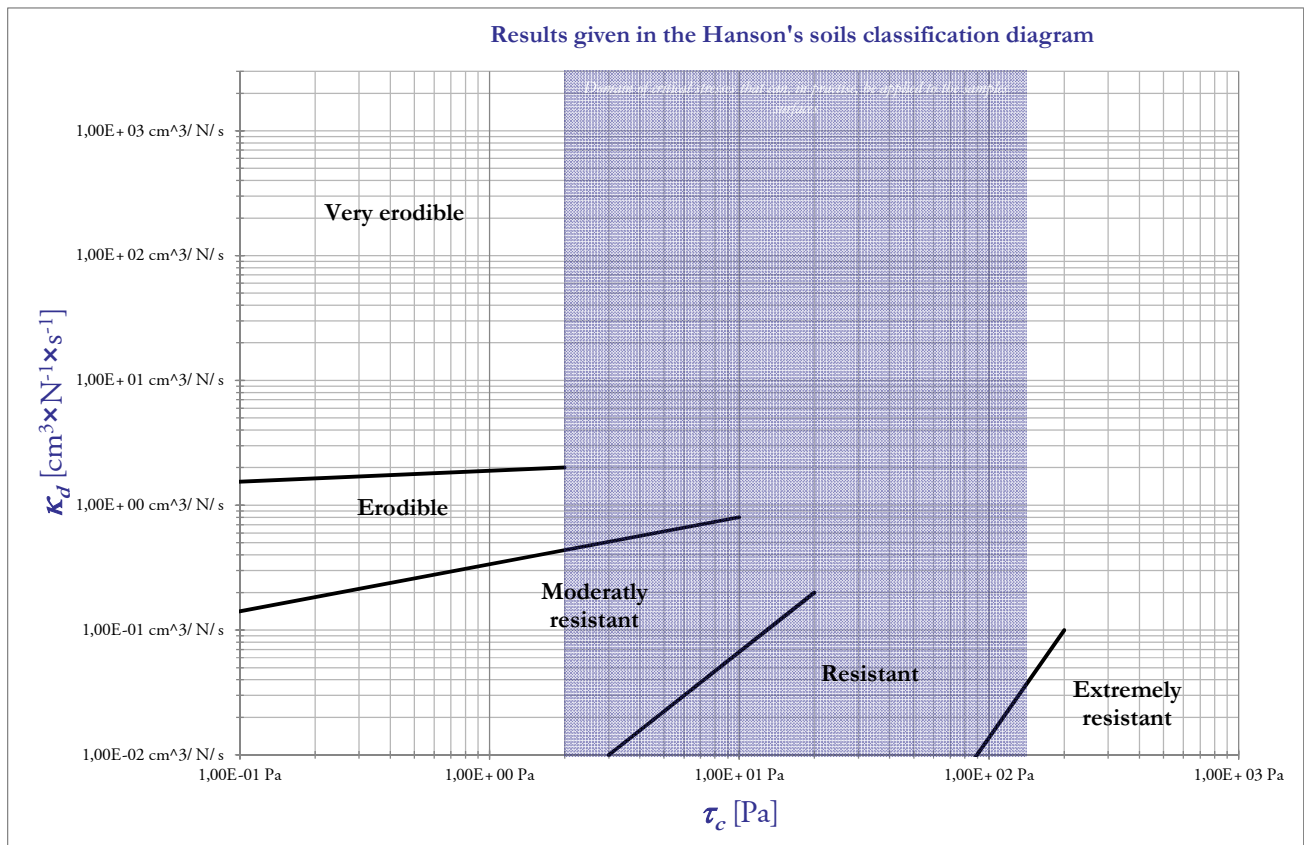
Hình 1.
Nguyên lý
thiết bị đo
độ xói của
thí nghiệm
xói tia nước
(JET).

Thí nghiệm này được mô tả chi tiết trong ASTM D5852. Những thay đổi giới thiệu dưới đây nhằm mục đích tăng mức độ thuận tiện và linh hoạt của các thí nghiệm được trình bày trong *Hanson and Cook (2004)*. *geophyConsult* tiến hành các thí nghiệm của mình với phiên bản thiết bị mới nhất của Hanson.

Thí nghiệm gồm một mẫu đất ngập dưới mặt nước 4 đến 10 cm và bị tác động bởi một tia nước phun theo phương thẳng đứng với đường kính khoảng 6.35 mm, áp lực phun dưới 400 mbar (xem Hình 1 và Ảnh 1). Chiều sâu bị xói $h(t)$ bởi tia nước được đo trong suốt thời gian phun, và thu được κ_D và τ_c từ đường cong thực nghiệm $h(t)$ theo phương pháp trình bày trong *Hanson and Cook (2004)*.



Ảnh 1. Các thiết bị được dùng trong phòng (trái) và tại hiện trường (phải).



Hình 2. Biểu đồ phân loại đất của Hanson, các kết quả thường được cấp theo biểu đồ này.

Mẫu đất phải gồm các hạt dưới 4.75 mm và có thể hoặc được lấy từ nõi khoan tại thực địa, có thể được đầm nén lại (khi đó kích thước khuyến nghị của mẫu là đường kính

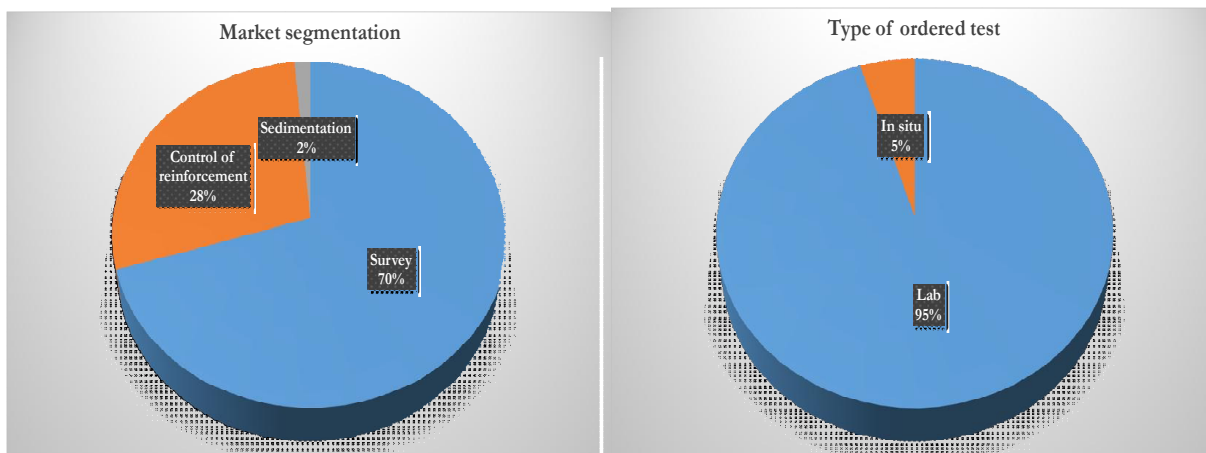
10.16 cm và chiều cao 11.64 cm), hoặc là đất thực được thí nghiệm ngay tại hiện trường. Với thí nghiệm tại hiện trường, cần đào bỏ một diện tích lớp mặt có đường kính khoảng 40 cm.

Các kết quả thí nghiệm thường đưa ra một cặp (κ_D và τ_c) (“Biểu đồ phân loại đất của Hanson” (« *Hanson’s soil classification diagram* ») (xem Hình 2).

CÁC ĐẶC ĐIỂM CHÍNH CỦA THỊ TRƯỜNG PHÁP

Tuy luật của Pháp không chính thức đòi hỏi các chủ đề và chủ đập phải thường xuyên đánh giá sức chống xói của các công trình của họ, nhưng nêu rõ, với những công trình có một tầm quan trọng nhất định (vùng hạ lưu đồng dân cư hoặc có các lợi ích kinh tế dễ bị hứng chịu các rủi ro) thì các chủ đề và đập phải thường kỳ đánh giá “động học của các tai nạn tiềm năng” có thể gây nên tác động. Vì vậy, một khi các điều tra về an toàn cho thấy xói là một dạng thức tiềm ẩn gây hư hại công trình thì chủ đập phải định lượng sức chống xói của những lớp đất được tiên liệu là nhạy cảm nhất với hiện tượng xói, điều này đã khiến họ đặt những đơn hàng về thí nghiệm xói.

Ba yêu cầu dẫn đến sự cần thiết của các thí nghiệm kiểu này là : thứ nhất, xác định sức chống xói của công trình trong phạm vi khảo sát về an toàn; thứ hai, xác định sức chống xói cho đất được gia cường trong khuôn khổ kiểm soát chất lượng sau thi công; và thứ ba, nghiên cứu lắng đọng. Hình 3 biểu diễn những yêu cầu của thị trường và so sánh về số lượng giữa các thí nghiệm trong phòng và các thí nghiệm tại thực địa được đặt hàng.



Hình 3. Các đặc trưng chính của thị trường Pháp sau 5 năm thương mại hóa các thí nghiệm cùng với thành quả của 286 thí nghiệm.

Rõ ràng, các điều tra, khảo sát về an toàn là nguyên do chính dẫn đến yêu cầu về các thí nghiệm xói, và phần lớn các đơn hàng tập trung vào thí nghiệm trong phòng.

NHỮNG CẢI TIẾN CỦA GEOPHYCONSULT

Việc đưa vào áp dụng tại Châu Âu “thí nghiệm xói tia nước” (*Jet Erosion Test*) đã dẫn đến một số cải tiến do vì khu vực này có những yêu cầu riêng khác với yêu cầu ở Hoa Kỳ, đầu tiên là nhắm tới các thiết bị.

Phương pháp mới để phù hợp với số liệu thực nghiệm

Với những ký hiệu ở Hình 4, công thức Torroelli phát biểu là:

$$U_o = \sqrt{2g \times \Delta H}$$

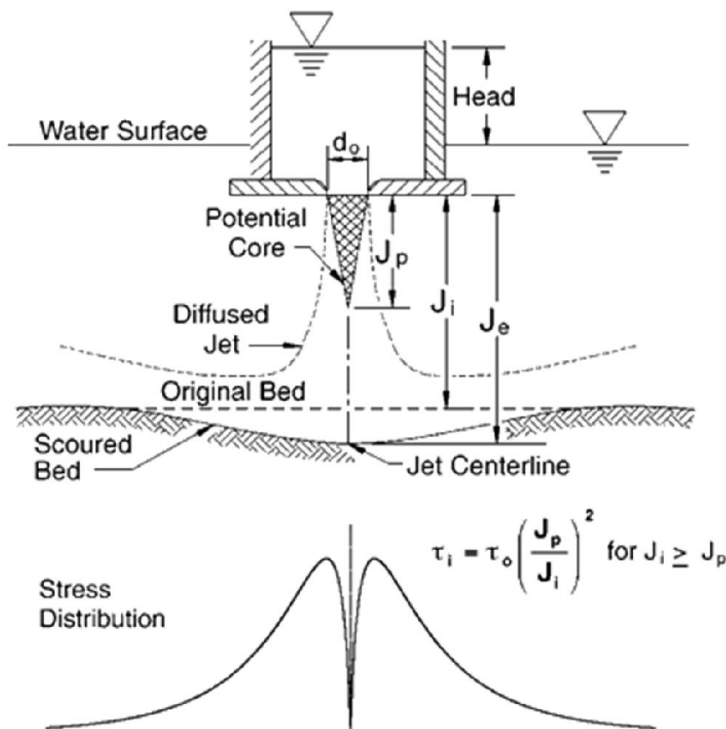
trong đó U_o là vận tốc tia nước ở đầu ra và ΔH là đầu nước áp dụng. Theo định luật bảo toàn khối lượng, phần này có :

$$J \times U = J_p \times U_o$$

với

$$J_p = C_d \times d_o$$

trong đó d_o là đường kính của vòi và C_d the hằng số khuếch tán của tia xói, tương ứng bằng 6.35mm và 6.2in khi sử dụng thiết bị của *Hanson and Cook*, 2004).



Hình 4. Sơ đồ tia xói tròn ngập cùng các chú thích và phân bố ứng suất, theo *Hanson and Cook*, 2004.

Cùng với xem rằng

$$\dot{\epsilon} = \frac{dJ}{dt} = \kappa_D \times (\tau - \tau_C)$$

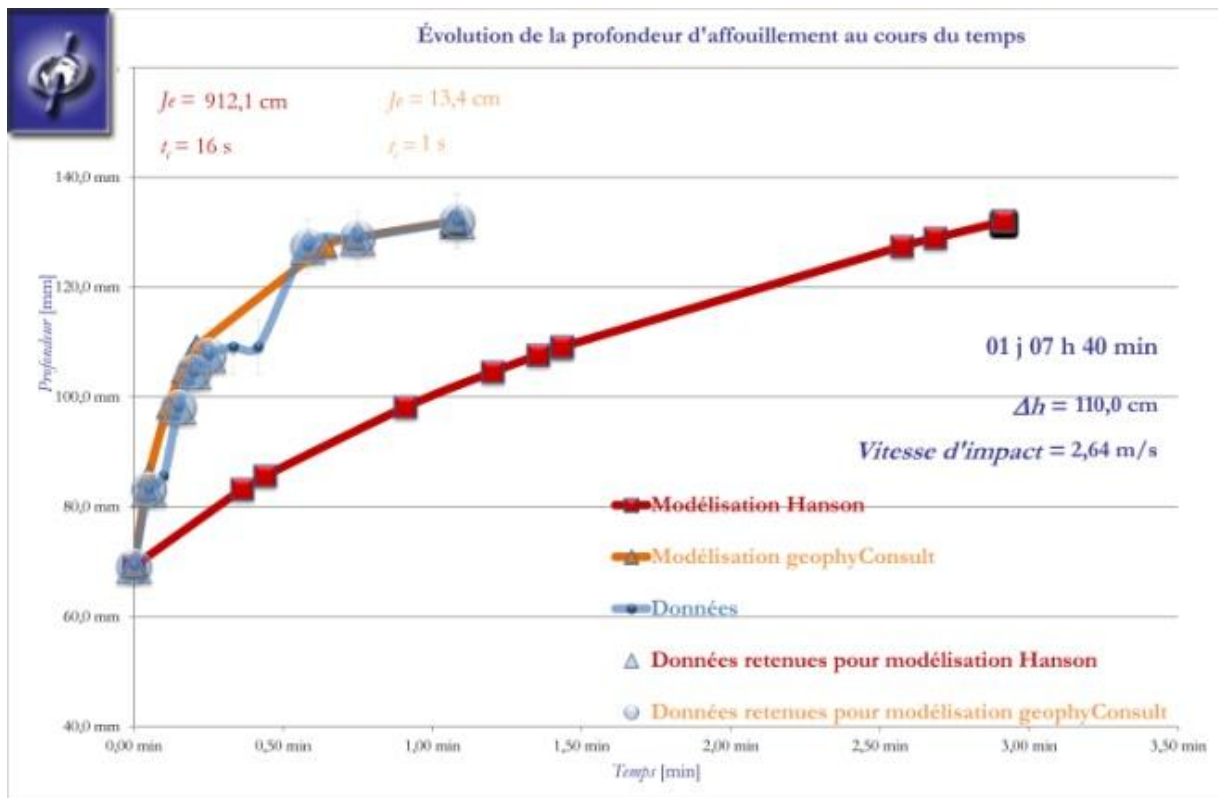
có thể biểu diễn như sau

$$t = \frac{1}{\kappa_D \times \tau_C} \times \sqrt{\frac{C_{JET} \times \rho_{water} \times 2g \times \Delta H \times (C_d \times d_0)^2}{\tau_C}}$$

$$\times \left[\text{Arctanh} \left(\sqrt{\frac{\tau_C}{C_{JET} \times \rho_{water} \times 2g \times \Delta H \times (C_d \times d_0)^2}} \times J \right) \right]$$

$$- \text{Arctanh} \left(\sqrt{\frac{\tau_C}{C_{JET} \times \rho_{water} \times 2g \times \Delta H \times (C_d \times d_0)^2}} \times J_i \right) \left] \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\kappa_D \times \tau_C} \times (J - J_i) \right).$$



Hình 5. Ví dụ về một thí nghiệm thực tế cho thấy chênh lệch giữa mô hình hóa Hanson và geophyConsult : màu xanh thể hiện các số liệu thực nghiệm thô, màu da cam là các số liệu của geophyConsult phù hợp nhất với thí nghiệm, màu đỏ các số liệu của Hanson.

Như vậy, có thể mô hình hóa các số liệu thực nghiệm bằng tính toán, từ một cặp giá trị (k_D, t_C) được tiên liệu hợp lý, có thể suy ra được tất cả các $t_{i_{theoretical}(k_D, \tau_D, d_{i_{measured}})}$ từ phương trình trên với ước tính sai số $\Delta_{(k_D, \tau_C)} = \sum_i \left[t_{i_{measured}} - t_{i_{theoretical}(k_D, \tau_C)} \right]^2$ cho mọi cặp giá trị (k_D, t_C) được tiên liệu hợp lý, và từ đó chọn được các giá trị (k_D, t_C) cho sai số $\Delta_{(k_D, \tau_C)}$ nhỏ nhất.

geophyConsult đã phát triển một thuật toán trên cơ sở phương pháp này và một mô phỏng ngẫu nhiên Monte Carlo đối với không gian (k_D, τ_C) . Khoảng 5 phút một nó cho một kết quả chắc chắn mà thực tế còn tốt hơn kết quả có được từ thuật toán Hanson với khoảng 75% trường hợp thí nghiệm, đôi khi tốt hơn đáng kể (nhất là với đất rất dễ bị xói), và không trường hợp nào kết quả kém hơn. Hình 5 thể hiện chênh lệch giữa hai phương pháp mô hình hóa.

Có thể dễ dàng giải thích sai lệch giữa các kết quả về độ phù hợp Hanson và phân tích nghịch đảo geophyConsult. Cả hai phương pháp mô hình hóa này đều dựa trên cùng các giả định và phương trình vật lý, tuy vậy, phương pháp của geophyConsult không đưa thêm bất kỳ một giả thiết nào khác vào trong các phương trình nói trên, trong khi mô hình Hanson gián tiếp giả định k_D , phụ thuộc ít nhiều vào τ_C . Do vậy, thuật toán geophyConsult khảo sát được nhiều giá trị khả dĩ (k_D, τ_C) hơn so với thuật toán Hanson, và vì thế, độ phù hợp của geophyConsult chính xác hơn về mặt toán học.

Lượng định mới về độ không chắc chắn liên quan đến mô hình hóa toán học

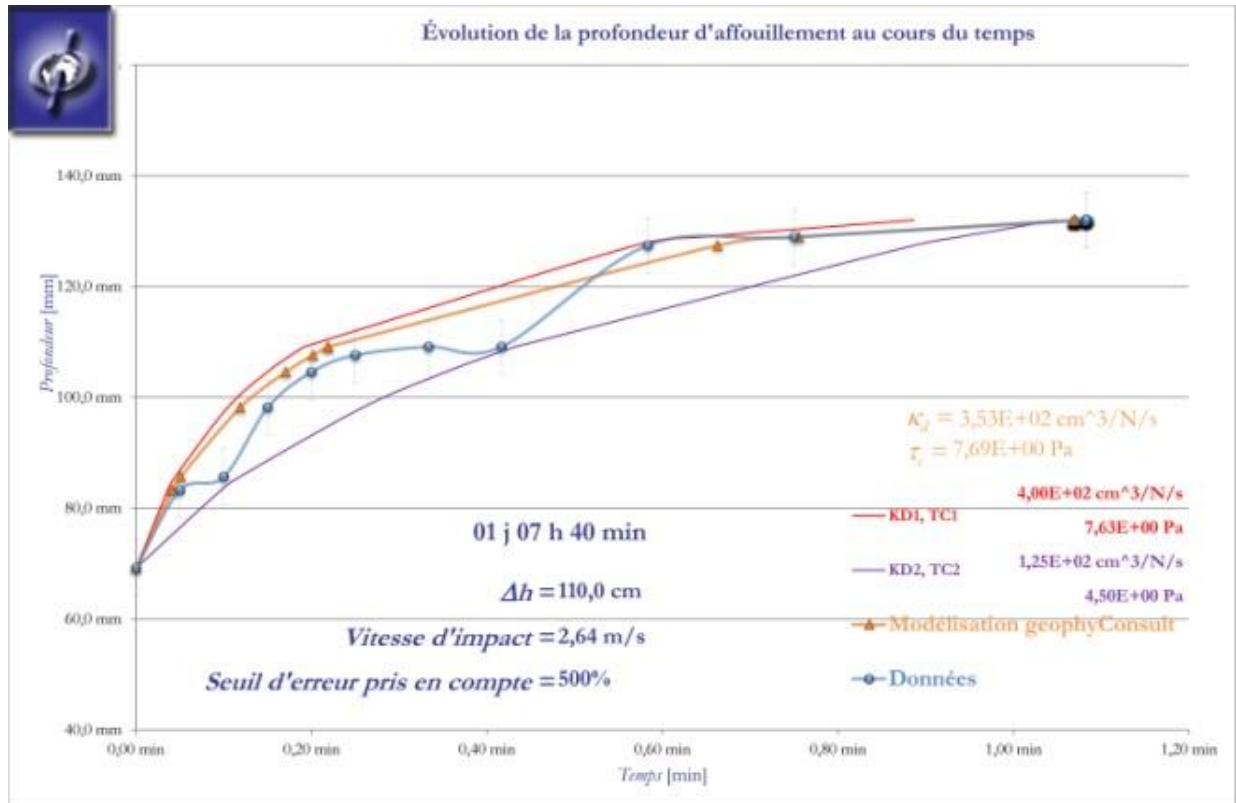
Song song với yêu cầu ngày một gia tăng về thí nghiệm xói, yêu cầu về lượng định độ không chắc chắn liên quan đến mô hình hóa toán học cũng không ngừng được nâng lên, nhằm hạn chế tốt hơn độ không chắc chắn liên quan đến các thí nghiệm xói.

geophyConsult đã cố gắng đáp ứng yêu cầu trên bằng cách phát triển một phương pháp nhắm tới mô tả dạng bề mặt $\Delta_{(k_D, \tau_C)}$ xung quanh các giá trị định danh k_D và τ_C có được từ mô hình hóa ban đầu. Ý tưởng là để tìm ra được một ước lượng toán học về phạm vi trong đó giá trị tối thiểu vẫn còn phẳng và sai số không thay đổi đáng kể.

Để đạt được mục tiêu trên, geophyConsult đã đề xuất khảo sát mặt sai số quanh giá trị cực tiểu của nó theo một giá trị ngưỡng của sai số tương đối

$$\epsilon = \frac{\Delta_{(k_D, \tau_C)} - \Delta_{(k_D \text{ delivered}, \tau_C \text{ delivered})}}{\Delta_{(k_D \text{ delivered}, \tau_C \text{ delivered})}},$$

nếu vượt trên giá trị ngưỡng này thì sai số $\Delta_{(\kappa_D, \tau_C)}$ được xem như cần phải loại bỏ. Sau đó, nó phân tích độ nhạy của kết quả đó so với thông số tùy ý ϵ , trước khi đưa ra mức độ không chắc chắn hợp lý liên quan đến các giá trị κ_D và τ_C có được – xem Hình 6.



Hình 6. Ví dụ về một thí nghiệm thực minh họa việc ước định độ không chắc chắn toán học liên quan đến các kết quả thu được một cách hệ thống từ geophyConsult : màu xanh thể hiện các số liệu thực nghiệm thô, màu da cam cho thấy sự phù hợp tốt nhất của geophyConsult, màu đỏ tía và màu đỏ là các kết quả mô hình đường bao trên và bao dưới các số liệu thực nghiệm.

Thiết bị thí nghiệm xói tia nước (*Jet Erosion Test*) 2004 của Hanson không có khả năng thí nghiệm các mẫu đất với đầu nước thấp dưới 50 cm, tương ứng, trong trường hợp tốt nhất, với vận tốc ban đầu của tia nước khoảng 1.5 m/s, nghĩa là ứng suất ban đầu chừng 3 Pa. Do vậy, lời giải bản chất vật lý đối với ứng suất tới hạn nằm trong khoảng 0.5 Pa. Các kết quả mô hình hóa cho ứng suất tới hạn dưới 0.5 Pa phải bị loại vì không hiện thực về phương diện vật lý.

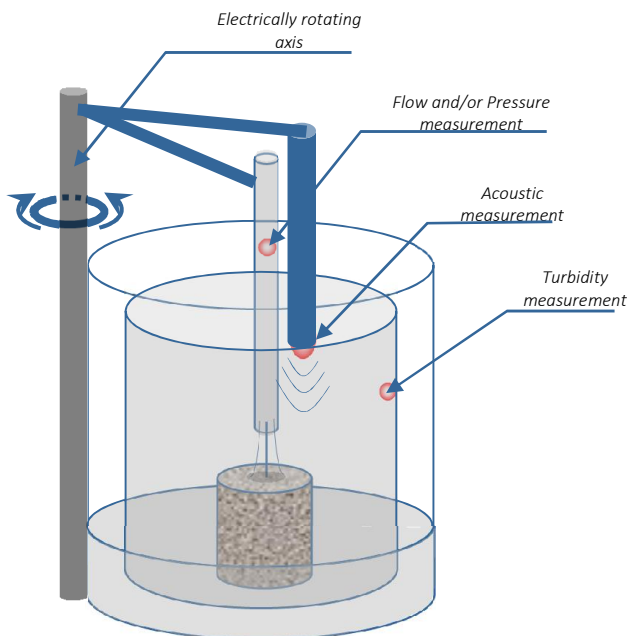
Mỗi lần geophyConsult vấp phải vấn đề trên, đánh giá độ không chắc chắn toán học cho thấy sai số $\Delta_{(\kappa_D, \tau_C)}$ hầu như luôn dưới 0.5 Pa, điều này khẳng định kết quả đã không bị nhạy đối với những ứng suất tới hạn dưới 0.5 Pa.

CÁC CẢI TIẾN ĐANG ĐƯỢC PHÁT TRIỂN

Gần đây, geophyConsult đã tìm được một phương pháp mới đo xói theo thời gian – bằng cách sử dụng cảm biến thay cho đo mức nước hồ bằng thủ công. Hy vọng thí nghiệm này sẽ sớm được tự động hóa, dẫn đến giảm chi phí vận hành, độ chính xác và khả năng thực hiện lặp đi lặp lại nhiều lần tốt hơn cũng như được ứng dụng rộng rãi hơn.

Ngoài ra, sắp tới đây, áp lực dòng tia đến sẽ được kiểm soát bằng cách kết nối với một bơm có bằng sáng chế, cho phép tạo ra những dòng tia với chi phí thấp rất dễ chịu, ổn định tới mức vài phần trăm, có lưu lượng thay đổi trong phạm vi từ khoảng 0.2 m³/h (tương đương với dòng chảy sinh ra từ đầu nước 10 cm đi qua một lỗ đường kính 6.35 mm, tương thích với cát rất dễ xói) đến lưu lượng khoảng 70 m³/h (tương đương với dòng chảy sinh ra từ đầu nước 5 m đi qua một lỗ đường kính 5 cm, thích ứng với đất chống xói tốt có thể chứa sạn sỏi kích thước tới vài cm).

Sau hết, sẽ lắp đặt các cảm biến hỗ trợ tại các vị trí khác nhau của thiết bị này, gồm cả một cảm biến độ đục đặt trong một bình ngập nước, một lưu kế và một thước đo áp lực được bố trí tại nơi dòng tia đập vào. Đồng thời, nước từ bình ngập nước tràn vào bình thứ hai để không phá hỏng sự đối xứng trục của dòng chảy trong bình ngập nước này (xem Hình 7).



Hình 7. Hình mẫu của thiết bị JET mới trong tương lai.

Những cải tiến trên sẽ cho phép định lượng được sức chống xói của các loại đất được gia cường, thiết bị của Hanson and Cook (2004) không có thể gây xói những loại đất này trong phần lớn thời gian thí nghiệm.

KẾT LUẬN

Việc đưa vào áp dụng thí nghiệm tia xói « *Jet Erosion Test* » ở Pháp đã cho thấy thí nghiệm này đáp ứng được yêu cầu thực tế, từ đó dẫn đến đòi hỏi cần phải có những quy định mới thúc đẩy các chủ đề và chủ đầu tư phải định lượng động học các dạng thức đổ vỡ có thể tác động đến công trình của họ. Tuy nhiên, cần phải có những phương pháp luận tinh xảo mà *geophyConsult* đã thực hiện để dàng hoặc sắp thực hiện.

THAM KHẢO

Bonelli S., Brivois O., Borghi R. and Benahmed N. (2006), On the modelling of piping erosion, *Comptes Rendus de Mécanique*, 8-9(334):555-559.

Foster M., Fell, R. and Spannagalen M. (2000). "The statistics of embankment dam failures and accidents", *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 1000-1024.

Hanson, G. J. and Cook, K. R. (2004). "Apparatus, test procedures and analytical methods to measure soil erodibility in situ", *Applied engineering in agriculture*, 20 (4), 455-462.

Hanson G. J., Robinson K. M. and Temple D. M. (2000), Pressure and Stress Distributions Due to a Submerged Impinging Jet, *Res. Hydr. Engr. USDA*.

Lefebvre G., Rohan K. and Douville S. (1985), Erosivity of natural intact structured clay: evaluation, *Canadian Geotechnical Journal* 22:508-517.

Standard D5852. Annual Book of ASTM Standards, Section 4: Construction, Vol. 04.08. Philadelphia, Penn.: American Society for Testing and Materials.