

ثوران البراكين، وزوال الغازات منها، وتضخم الفقاعات فيها¹

بقلم: سيمونا مانتشيني² Simona Mancini

ألان برجيسر³ Alain Burgisser

ترجمة: بعزيز سيهام

شعبان هجيرة

إن فهم آليات ثوران البراكين هو الأساس لتوقع مخاطرها ولدراسة نشأة قشرة الأرض. فكيف يمكن تحديد الثوران الذي سيحدث مستقبلاً؟ نظراً للصعوبات الواضحة في الحصول على معلومات في الميدان، فإن الطريقة الملتوية - لكنها فعالة - للإجابة على هذا السؤال هي إنشاء نموذج رياضي يعيد بناء بعض الظواهر الحرجة التي تتعلق بصعود الحمم البركانية.

نلاحظ أن كيمياء الصهارة (الحمم البركانية)، وكذا وجود فقاعات غازية في باطنها، وسلوك هذه الفقاعات عوامل تلعب دوراً حاسماً في تحديد نوع الثوران الذي يمكن أن يحدث، سواءً كان تدفقياً أو انفجارياً. يتميز الثوران التدفقي بانبعثات يفصل بين الصهارة والغاز : أثناء تصاعد الصهارة، تتضخم الفقاعات وتلتحم (أي تتحد) مما يسمح للغاز بالتسرب البطيء. وهكذا تشكل الصهارة قبة أو تدفق حمم. بينما يتميز الثوران الانفجاري⁴ ببلوغ الصهارة مستوى السطح وهي محملة بالغاز والفقاعات. ذلك أن

¹ العنوان الأصلي للمقالة:

ERUPTIONS, DÉGAZAGE ET CROISSANCE DE BULLES DANS LES VOLCANS

موقعها:

[/http://www.breves-de-maths.fr/eruptions-degazage-et-croissance-de-bulles-dans-les-volcans](http://www.breves-de-maths.fr/eruptions-degazage-et-croissance-de-bulles-dans-les-volcans)

حررت المقالة حسب أعمال الباحثين السبعة الآتية أسماؤهم ضمن المشروع الخاص بالبراكين ERC DEMONS بمعهد علوم الأرض، جامعة أورليون Orléans الفرنسية :

- ألان برجيسر Alain Burgisser، جوناثان كاسترو Jonathan Castro؛

- لويس فورستينير كوست Louis Forestier-Coste، فرانسوا جيمس François James، انظر الموقع:

<https://www.idpoisson.fr>

- سيمونا مانتشيني Simona Mancini، صفحتها : [/https://idpoisson.fr/mancini](https://idpoisson.fr/mancini)؛

- إنديرا مولينا Indira Molina، صفحتها : <https://fr.linkedin.com/in/indira-molina-77123b40>؛

- إيان شيبير Ian Schipper، صفحته : <http://www.ianschipper.com>؛

² جامعة أورليون، موقعها : [/http://www.univ-orleans.fr](http://www.univ-orleans.fr)

³ معهد علوم الأرض، جامعة غرونوبل Grenoble (فرنسا)، صفحته:

[/https://isterre.fr/annuaire/pages-web-du-personnel/alain-burgisser](https://isterre.fr/annuaire/pages-web-du-personnel/alain-burgisser)

⁴ انظر : https://www.cidehom.com/apod.php?_date=051002

الفقاعات تتضخم في هذه الحالة أثناء الصعود دون التحام. وفجأة، تتجزأ الصهارة وتُحرر في الجو غازات مضغوطة وقطعا من الحمم.



انفجار فقاعة واحدة من الغاز تتشكل من ملايين الفقاعات الصغيرة.

يعود تاريخ النموذج المرجعي الرياضي لدي أسرة الجيوفيزيائيين إلى ثمانينيات القرن العشرين؛ وهو يصف بجملة معادلات غير خطية (تفاضلية، وتفاضلية جزئية⁵) تضخم فقاعة واحدة ممثلة للواقع، وذلك باعتبار أن جميع الفقاعات لها نفس السلوك، مع إهمال عامل التحامها.

اهتم الرياضياتيون بهذا الموضوع منذ عدة سنوات. وقد سمحت مساهمتهم بشكل خاص باقتراح معادلات جديدة لوصف تضخم هذه الفقاعات. تكمن الفكرة في الاعتماد على الوصف الإحصائي. وفي هذا السياق، يكون المجهول الرئيسي دالة تصف التوزيع الإحصائي لمجموعة من الفقاعات بدلالة أحجامها وكتلتها. نشير إلى أن هذه الفقاعات تتضخم عندما يضعف الضغط عليها، وتنتشر، وتلتحم. وهكذا، فُتحت أبواب أبحاث جديدة في مجالي التحليل النظري والتقريب العددي للالتحام متعدد الأبعاد (لأن الفقاعات، في هذه الحالة، يصفها متغيران مستقلان، هما الكتلة والحجم).

تتدرج هذه المقاربة في إطار نظرية التصادم الحركية التي تصفها المعادلة المرجعية المسماة معادلة بولتزمان⁶ Boltzmann. وقد درسها، بشكل خاص، بيير لويس ليونز⁷ Pierre-Louis Lions وسيدريك فيلاني⁸ Cédric Villani. تشكل هذه النماذج الرياضية خطوات هامة للوصول إلى نمذجة أكثر شمولاً وواقعية لثوران البراكين، إذ تلعب خصائص الصهارة (وجود البلورات، واللزوجة، ودرجة الحرارة) وكذلك تدفقها (سرعة الصعود، تخفيف الضغط) دوراً أساسياً.

⁵ انظر : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_aux_d%C3%A9riv%C3%A9es_partielles

⁶ انظر : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_de_Boltzmann

⁷ انظر : http://www.college-de-france.fr/site/pierre-louis-lions/_symposium.htm

⁸ انظر : <https://cedricvillani.org/>

للاستزادة:

- مقال حول تشكل الفقاعات في الصهارة نشر في مجلة La Recherche :
<https://www.larecherche.fr/pr%C3%A9curseurs-volcaniques-et-bulles-de-gaz>
- Simulation numérique d'une éruption explosive.
<https://www.dailymotion.com/video/xakewl#.UQaBCkojiDI>
- H.M. Gonnermann, M. Manga (2007), "The fluid mechanics inside a volcano", Annu.Rev. Fluid Mech. Vol. 39, pp. 321-356.
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110207>
- L. Forsestier-Coste, S. Mancini (2012), "A finite volume preserving scheme on nonuniform meshes and for multidimensional coalescence", SIAM J. Sci. Comp., Vol. 34.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00621069>
- L. Forsestier-Coste, S. Mancini, A. Burgisser, F. James (2012), «Numerical resolution of a mono-disperse model of bubble growth in magmas», Appl. Math. Model., Vol. 36.
<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/mancini/files/fcmbj.pdf>
- A.A. Proussevitch, D.L. Sahagian, A.T. Anderson (1993), "Dynamics of diffusive bubble growth in magma: isothermal case", J. Geophys. Res., Vol. 98.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/93JB02027>
- C. Villani (2002), "A review of mathematical topics in collisional kinetic theory", S. Friedlander and D. Serre, Elsevier Science.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874579202800040>

مصدر الصورة: Alain Burgisser.