

حالات عدم استقرار دوارة¹

بقلم: جان-فرانسوا كولمبل Jean-Francois Coulombel²

ترجمة الطالبتين: أشواق بن حمادي

ريحانة جوجو



عدم الاستقرار الجوي لكلفن-هلمهولتز Instabilité de Kelvin-Helmholtz في الجو

تفيض ديناميكا الموائع بالظواهر اللافتة للنظر، مثلها مثل الأمواج المنعزلة³ المدهشة التي تنتشر دون تشوّه على سطح القنوات، وكذلك حال أمواج الصّدْم التي تتشكّل عند مقدمة الطائرات الأسرع من الصوت⁴ والتي يمكن سماعها من سطح الأرض. في الواقع، تعكس تلك "الأمواج" حالات استقرار المائع (الماء أو الهواء): إنها لم تتأثر بشكل كبير بالاضطرابات -التي لا مناص منها- الناجمة على سبيل المثال من هبوب الرياح على سطح الماء أو من اهتزازات الطائرة. غير أن ثمة حالات أقل استقرارًا بكثير.

¹ العنوان الأصلي للمقالة: DES INSTABILITÉS TOURBILLONNANTES

موقعها الإلكتروني: <http://www.breves-de-maths.fr/des-instabilites-tourbillonnantes/>

² باحث في المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي (CNRS)، وقد عمل سابقًا في مخبر الرياضيات جون لاري Jean Leray في

جامعة ناننت (Nantes)، انظر الموقع: <http://www.math.sciences.univ-nantes.fr/>

صفحته المهنية: <https://www.math.univ-toulouse.fr/~jcoulomb/>

حررت المقالة بالاعتماد على أعماله مع:

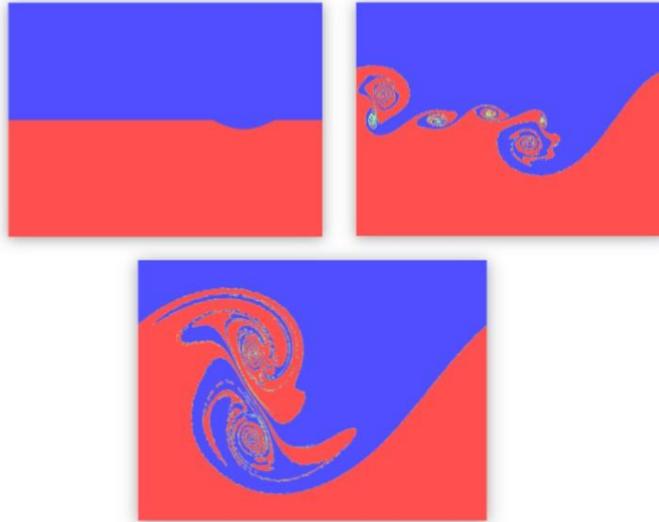
باولو سكي Paolo Secchi، أستاذ بجامعة بريشّا (Brescia)، صفحته المهنية: <https://paolo-secchi.unibs.it/secchiing.htm>

³ انظر الموقع: <http://www.breves-de-maths.fr/boussinesq-un-savant-atypique>

⁴ انظر الموقع: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Supersonique>

إذا تم وضع طبقتين من مائع فوق بعضهما البعض، وفصلنا بينهما في البداية بواسطة سطح مستو، وجعلناهما تتحركان بسرعتين مختلفتين، فإن شكل السطح الفاصل بين المائعين سيكون غير مستقر للغاية : السبب هو أن ظهور اضطرابات طفيفة يجعل ذلك السطح يبرز بسرعة تشكيلات تلتف بعضها ببعض فيلتف ويتداخل المائعان. ومن ثم نفقد بسرعة استواء السطح الفاصل الذي انطلقنا منه ولن نعود إليه أبدا. لقد تمّ التعرف على عدم الاستقرار⁵ هذا -الذي يمكن ملاحظته بسهولة في الجو- خلال القرن التاسع عشر من قبل لورد كلفن Lord Kelvin⁶ وهرمان فون هلمهولتز Hermann Von Helmholtz⁷.

كيف تُفسّر ظواهر الاستقرار وعدمه؟ من الناحية الرياضية، فالمعادلات التي تصف تطوّر المائع⁸ أبعد من أن تقدم كل أسرار تطور هذا المائع. ومع ذلك، تتوفر لدينا، بأعجوبة نسبية، بعض الحلول الصريحة (أي حلول تكتب بصيغة تستند إلى توابع، تسمى التوابع المرجعية، وإلى التكاملات) التي تسمح بوصف الأمواج المنعزلة، وأمواج الصّدْم، وكذلك تقطّع طبقتي المائع. بطبيعة الحال، فتلك الحلول تمثّل حلولاً "مثالية". وحتى نعرف ما إذا كان بالإمكان مشاهدة الظاهرة التي تصفها الحلول، فمن الضروري تحديد ما إذا كان الاضطراب الابتدائي يميل إلى الانخفاض أو التضخم. في حال الانخفاض سنكون في وضع استقرار، أما عدم الاستقرار فيكون في حال التضخم.



محاكاة عددية لحالة عدم استقرار كلفن-هلمهولتز

⁵ انظر الموقع: https://fr.wikipedia.org/wiki/Instabilité_de_Kelvin-Helmholtz

⁶ انظر الموقع: https://en.wikipedia.org/wiki/William_Thomson,_1st_Baron_Kelvin

⁷ انظر الموقع: https://en.wikipedia.org/wiki/Hermann_von_Helmholtz

⁸ انظر الموقع: [/http://www.breves-de-maths.fr/navier-et-ces-droles-doiseaux](http://www.breves-de-maths.fr/navier-et-ces-droles-doiseaux)

في الرياضيات، كُرسَ عدد كبير من الأعمال لاستقرار حلول المعادلات التفاضلية: وفي هذا الموضوع، تكتسي مسألة استقرار النظام الشمسي⁹ طابعاً مُميّزًا، وتعود أولى الطرق الناجعة في هذه الدراسات إلى ليابونوف Lyapunov¹⁰. وهناك مسائل مماثلة مطروحة في مجال ديناميكا الموائع، تبرز فيها العديد من الظواهر عدم الاستقرار. وتوجد من بينها ظاهرة التقطع (أو القَصّ) والحلول الخاصة الموافقة له، المسماة **طبقات دوّامية**.

ومع ذلك، يمكن لبعض المؤثرات -مثل التوتر السطحي للواجهة التي تفصل بين المائعين، أو قابلية انضغاط المائع، أو وجود حقل مغناطيسي- أن توفّر استقرار تطوّر الطبقات الدوّامية: في هذه الحالة، لا يمكن لاضطراب ابتدائي طفيف للواجهة أن يتزايد بسرعة كبيرة. وهكذا، يسمح التحليل الرياضي بتوفير إنشاء دقيق لطبقات دوّامية تكون قريبة من تشكيلة السطح المستوي.

للاستزادة:

- S. Chandrasekhar (1981) "Hydrodynamic and hydromagnetic stability", Dover.
- J.-F. Coulombel & P. Secchi (2008) "Nonlinear compressible vortex sheets in two space dimensions", Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure, Série 4, Tome 41, 1, p. 85-139.

• صور متحركة منجزة من قبل مخبر الفيزياء الفلكية في جامعة شيبا (Chiba) اليابانية، انظر:

<http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/netlab/cans/cans2d/movie/index-e.html>

<http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/>

<http://www.chiba-u.ac.jp/e/>

مصدر الصور:

Wikimedia Commons / Brocken Inaglory

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kelvin_Helmholz_wave_clouds.jpg

Samuel Kokh

Frédéric Lagoutière

⁹ انظر الموقع: [/http://www.breves-de-maths.fr/que-va-devenir-le-systeme-solaire](http://www.breves-de-maths.fr/que-va-devenir-le-systeme-solaire)

¹⁰ انظر الموقع: <http://www.breves-de-maths.fr/alexandre-liapounoff-et-sa-celebre-these>