

مَخر الطائرة، وحركة السير في المطارات¹

بقلم : كريستوف لأكاف ² Christophe Lacave

ترجمة الطالبتين : إيمان بلقاضي

جهاد بهيج

تواجه المطارات الكبرى رهانا حاسما يتمثل في فهم الاضطرابات الناشئة عن الطائرة حال إقلاعها وحال هبوطها. ذلك أن مرور جناح الطائرة يولّد دوامة هوائية ضخمة تستغرق عدة دقائق ثم تتلاشى. إن عدم استقرار الهواء داخل هذه الدوامة يجعل مرور طائرة ثانية بعدها مباشرة أمرا بالغ الخطورة. نلاحظ أن تاريخ الأمن الجوي حافل بأمثلة حوادث تحطم الطائرات الناجمة عن هذه الظاهرة³ : نذكر على سبيل المثال طائرة إيرباص A330 في نيويورك عام 2001، وطائرة حكومية مكسيكية عام 2008.



اضطراب ناتج عن مَخر (أثر) طائرة (الألوان غير حقيقية).

لهذا السبب قررت المطارات تحديد فترة أمان تفصل كل طائرتين تتلاشى خلالها الدوامة الناشئة عن مَخر الطائرة الأولى. ومع ذلك، فقد تم تمديد هذه الفترة نتيجة ظهور فئة جديدة من الطائرات ذات القدرات الضخمة، مثل طائرة إيرباص A380، وهو ما كبح سرعة حركة الطيران في المطارات. فمن

¹ العنوان الأصلي للمقالة : SILLAGE D'AVION ET TRAFIC DANS LES AÉROPORTS

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/sillage-davion-et-traffic-dans-les-aeroports/>

² صفحته المهنية : <https://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~lacavec/>

جامعة باريس – ديدرو (Université Paris-Diderot)، انظر الموقع :

<https://www.univ-paris-diderot.fr/>

³ انظر الموقع : https://en.wikipedia.org/wiki/Wake_turbulence

المألوف في المطارات الكبرى مشاهدة طائرات مصطفة، الواحدة تلو الأخرى، في انتظار الترخيص لها بالإقلاع. ولهذا فإن مسألة **تقليص الفترة الفاصلة بين طائرتين**، دون المساس بالجانب الأمني، هي مركز اهتمام العديد من المشاريع العالمية. وفي هذا الصدد، هناك عدة مسارات ممكنة : هل يمكن إجراء قياسات تضمن تلاشي الدوامة؟ هل يمكن أن نقدّر بدقة المدة التي تستغرقها الدوامة قبل تلاشيها؟ يمكن أن تتدخل الرياضيات في نقاط مختلفة من الدراسة. نشير إلى أن **المعادلات التي تحكم حركة الهواء¹ لا زالت غير مفهومة بدقة من وجهة النظر الرياضية**. ولذلك فالمقاربة الطبيعية تتمثل في تبسيط المعادلات، ثم القيام بالتحليل النظري و/أو العددي لهذه النماذج. ولكن الإفراط في تبسيطها يحول دون تمكننا من إبراز الظاهرة التي نلاحظها في التجارب. وهذا ما ينشأ عنه جو منافسة بين إرادة دراسة هذا النموذج وبين عدم الإفراط في التبسيط، وذلك حتى لا نُضيع الجزء الأهم في هذا المسعى. ولحد الآن فإن النماذج المدروسة لا تسمح بتحديد الشكل الدقيق لهذه الدوامات. ومن ثم يصعب تفسير نتائج موجات الرادار، ولا نستطيع البت فيما إذا كانت الدوامة قد تلاشت أو لا زالت قائمة. في الواقع، فحتى إنشاء دوامات انطلاقاً من معادلات **ميكانيكا الموائع** ليس أمراً واضحاً. وفي هذا السياق، يمكننا إثبات أن سرعة الهواء تصبح كبيرة بشكل لانهاضي في طرف جناح الطائرة. وهذه السرعة الخارقة تُسقط شروط صلاحية النموذج! لذلك نعتقد أن ظاهرة ما يسمى **بالطبقة الحدية²** تبرز بالقرب من حافة الجناح وتولّد الدوامات. نلاحظ أن هذه الآلية يتقبلها معظم الباحثين غير أن البرهان عليها لم يتم بعد.

يُعتبر هذا السؤال مثلاً بارزاً لمسائل ضعف الانتظام في ميكانيكا الموائع، وهي مسائل تأتي في رأس قائمة اهتمامات الرياضيات الحالية في هذا المجال. توضح النتيجة الرياضية المذهلة التي برهن عليها **شيفر Scheffer** و**شنييرلمان Shnirelman³** في تسعينيات القرن الماضي مدى تعقيد هذا الموضوع: يمكن لمائع ساكن في بداية الأمر أن يتحرك فجأة بشكل تلقائي، دون أن يخضع لأي قوة خارجية؛ ثم يعود بعد ذلك إلى وضعه الأول بصفة تلقائية. وهذه الظاهرة تنتهك بشكل صارخ قانون حفظ الطاقة. إنها نتيجة رياضية غريبة تدفع الباحثين إلى طرح عديد الأسئلة : هل النموذج الفيزيائي هو الأنسب، أم أن الفكرة الرياضية لمفهوم الحل هي التي تحتاج لإعادة النظر؟ تعرف هذه الأسئلة إجابات جزئية.

¹ انظر مقالة من نفس السلسلة بعنوان : EULER AUX PRISES AVEC LES VARIATIONS DE DENSITÉ

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/euler-aux-prises-avec-les-variations-de-densite/>

² انظر مقالة من نفس السلسلة بعنوان : COUCHES LIMITES LE LONG DES CÔTES، موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/couches-limites-le-long-des-cotes/>

³ انظر الموقع : <http://www.bourbaki.ens.fr/TEXTES/1001.pdf>

للاستزادة :

- Autour des équations de Navier-Stokes, I. Gallagher, Images des mathématiques, CNRS, 2010.
<http://images.math.cnrs.fr/Autour-des-equations-de-Navier-Stokes>

• موقع Eurocontrol :

<https://www.eurocontrol.int/articles/wake-vortex>

• موقع وكالة ناسا الفضائية NASA :

<https://www.nasa.gov/centers/dryden/about/Organizations/Technology/Facts/TF-2004-14-DFRC.html>

- موقع Wakenet (مجمع بحوث أوروبي حول اضطراب أثر السير، والتي تنتسب إليه، إلى جانب شركاء آخرين، إيرباص Airbus وتالس Thalès، وهي مجموعة متعددة الجنسيات متخصصة في تصميم وبناء الأنظمة الكهربائية وتوفير الخدمات لأسواق الطيران والدفاع والنقل والأمن)

<http://www.wakenet.eu/>

مصدر الصورة : وكالة ناسا NASA.