

## العودة نحو المستقبل<sup>1</sup>

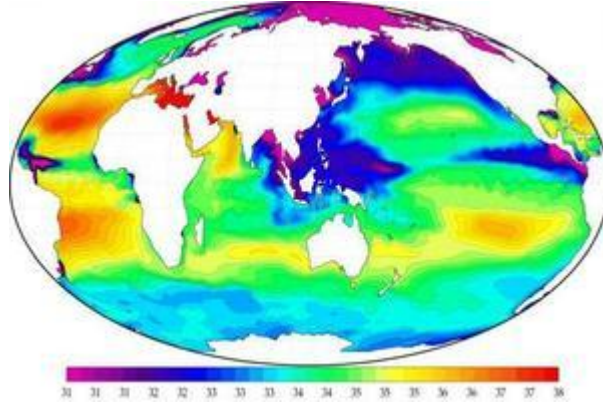
بقلم:

جاك بلوم Jacques Blum<sup>2</sup>

ديديي أورو Didier AUROUX<sup>3</sup>

ترجمة الطالبتين : إيمان بلقاضي

جهاد بهيج



محاكاة ملوحة سطح المحيط من قبل مشروع "نواة النمذجة الأوروبية للمحيطات" (NEMO).

نقصد باستيعاب البيانات مجمل التقنيات التي تسمح بدمج المعلومات الرياضية المحتواة في معادلات أحد النماذج بالمعلومات الفيزيائية الناشئة عن الأرصاد. وإحدى تطبيقاتها الرئيسية تتعلق بالسيلاونات الجيوفيزيائية (المحيط، والجو، إلخ). وكما هو وارد في مقالة أخرى<sup>4</sup>، فإن المعادلات المنفرعة عنها ذات طابع فوضوي، أي أنها بالغة الحساسية للشرط الابتدائي (تأثير الفراشة للورانس

<sup>1</sup> العنوان الأصلي للمقالة : RETOUR VERS LE FUTUR

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/retour-vers-le-futur/>

<sup>2</sup> صفحته المهنية : <https://math.unice.fr/~jblum/>

<sup>3</sup> صفحته المهنية : <https://math.unice.fr/~auroux/>

مخبر جون ألكسندر ديودوني LJAD، جامعة نيس - صوفيا أونتيبولس Université Nice-Sophia Antipolis، انظر الموقعين: <https://math.unice.fr/laboratoire/pr%C3%A9sentation-du-laboratoire> <http://unice.fr/>

المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي CNRS، انظر الموقع :

<http://www.cnrs.fr/>

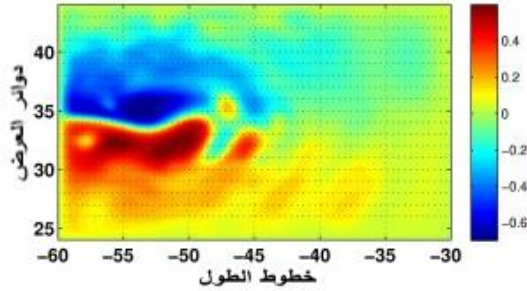
<sup>4</sup> المقالة مترجمة في نفس السلسلة بعنوان : "تجاهل طقس أمس يعني عدم توقع طقس الغد"، وعنوانها الأصلي: IGNORER LA MÉTÉO D'HIER, C'EST AUSSI LOUPER CELLE DE DEMAIN

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/ignorer-la-meteo-dhier-cest-aussi-louper-celle-de-demain/>

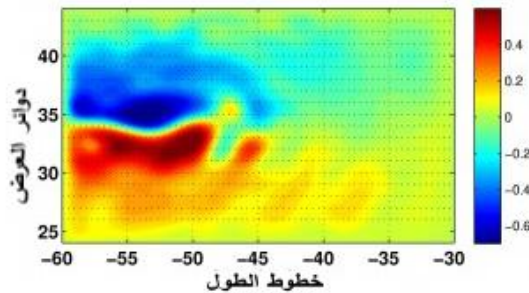
(Lorenz). لوصف السيلان على المدى الطويل، من الضروري معرفة الشرط الابتدائي بدقة بالغة، غير أن القياسات لا تسمح بمعرفته بصفة مباشرة.

نستعمل الأرصاد المحصل عليها خلال فترة زمنية معينة  $[0, T]$  لاسترجاع شرط ابتدائي بحيث يصبح النموذج أقرب ما يمكن من هذه الأرصاد. تستند المقاربة المعتادة<sup>5</sup> على تصغير الفارق<sup>6</sup> بين الأرصاد ونتائج النموذج. ولكن، توجد بدائل فعالة لتحديد هذا الشرط الابتدائي.



الحالة الحقيقية للضغط على سطح المحيط.

يشير المصطلح الانجليزي "nudge" في استعماله الحقيقي إلى "إعطاء ضربة بالمرفق". وفي استعماله المجازي إلى "التشجيع" أو "الدفع". على سبيل المثال، في علم المحيطات أو أرصاد الطقس، يجب دفع حل معادلات الموائع الجيوفيزيائية ليتناسب مع نتائج الأرصاد (قياسات الرياح، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والضغط، والملوحة، إلخ). تتمثل الفكرة في إدراج "حدّ تذكر" ضمن المعادلات بين الأرصاد والكميات الموافقة لها الواردة في النموذج. يهدف مصطلح "الدفع" (nudging) إلى بناء حل وسط بين النموذج والأرصاد. ترتبط هذه المقاربة بنظرية الراسد<sup>7</sup> التي أدخلها لونيبرجر<sup>8</sup> Luenberger إلى الأنظمة الديناميكية (الحركية). يمكننا إثبات أن هذا الراسد ذو طابع مقارب، بمعنى أن حالة النموذج تتقارب نحو الواقع التجريبي عندما يؤول الزمن إلى لانهاية.



الحالة التي تحدها طريقة "الدفع إيجابًا وإقبالًا" (Back and Forth Nudging).

<sup>5</sup> نفس المرجع السابق.

<sup>6</sup> انظر الموقع : [https://en.wikipedia.org/wiki/Least\\_squares](https://en.wikipedia.org/wiki/Least_squares)

<sup>7</sup> انظر الموقع : [https://en.wikipedia.org/wiki/State\\_observer](https://en.wikipedia.org/wiki/State_observer)

<sup>8</sup> انظر الموقع : [https://en.wikipedia.org/wiki/David\\_Luenberger](https://en.wikipedia.org/wiki/David_Luenberger)

ولكن في الواقع، لا يمكننا الانتظار وقتاً طويلاً لنحصل على هذا التوافق. لهذا السبب، قمنا بتطوير الطريقة المسماة "الدفع إيجاباً وإقبالاً" (back and forth nudging). تستدعي هذه الطريقة مفهوم انعكاسية المعادلات، بمعنى إمكانية حلها سواء بالتقدم (الإقبال) أو العودة (الإدبار) في الزمن. والنقطة الأخيرة ضرورية للعودة إلى الشرط الابتدائي. على سبيل المثال، فإن معادلات الأمواج<sup>9</sup> انعكاسية، في حين أن المعادلات التي تتمذج انتشار الحرارة<sup>10</sup> ليست كذلك. إن معادلات الموائع الجيوفيزيائية ليست انعكاسية، ولكن -من حسن الحظ- أن حد "الدفع" يسمح باستقرار الحل التراجعي (الإدباري) لهذه المعادلات (تلك المرتبطة بالعودة في الزمن).

من الناحية العملية، نطلق من شرط ابتدائي معين، ونقوم بحل معادلات النموذج بواسطة حد "الدفع" من  $t=0$  إلى  $t=T > 0$ ؛ وبعدها يتم تنفيذ الحل التراجعي (الإدباري) بالدفع انطلاقاً من الحل المحصل عليه في اللحظة  $t=T$  : في نهاية الحل التراجعي، نحصل على تقدير جديد للشرط الابتدائي عند  $t=0$ . نعيد هذه العملية حتى يتم التقارب. وهذا التقارب نحصل عليه عملياً بعد عدد قليل من التكرارات. تتميز هذه الطريقة بكونها بسيطة جداً في التنفيذ، وسريعة جداً.

أثبتت هذه الخوارزمية نجاعتها في نماذج لمعادلات لورنز حتى وصلت إلى نمذجة مكتملة للمحيطات (انظر الشكلين). الأمر لا يتطلب الآن سوى إجراء اختبارات لهذه الخوارزمية في المراكز العملياتية للتنبؤ بأحوال الطقس أو المحيطات.

## للاستزادة :

• مقال بعنوان "L'effet papillon" لآيتيان جيس Etienne Ghys، في موقع Image des Mathématiques، (12 نوفمبر 2007):

<http://images.math.cnrs.fr/L-effet-papillon.html>

- J. Blum, F.-X. Le Dimet, I.M. Navon (2009), Data Assimilation for Geophysical Fluids in Handbook of Numerical Analysis, Vol.14, Temam and Tribbia Editors, North-Holland

• 3 مقالات من نفس السلسلة :

1. تجاهل طقس أمس يعني عدم توقع طقس الغد

IGNORER LA MÉTÉO D'HIER, C'EST AUSSI LOUPER CELLE DE DEMAIN

<http://www.breves-de-maths.fr/ignorer-la-meteo-dhier-cest-aussi-louper-celle-de-demain/>

<sup>9</sup> انظر المقالة من نفس السلسلة بعنوان : D'ALEMBERT ET LES ÉQUATIONS AUX DIFFÉRENCES

PARTIELLES

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/dalement-et-les-equations-aux-differences-partielles/>

<sup>10</sup> انظر المقالة من نفس السلسلة بعنوان : LA CONDUCTION, UN MOTEUR UNIVERSEL

موقعها الإلكتروني :

<http://www.breves-de-maths.fr/la-conduction-un-moteur-universel/>

## 2. التيارات البحرية : قصة قارورة في البحر

COURANTS MARINS : L'HISTOIRE D'UNE BOUTEILLE À LA MER

<http://www.breves-de-maths.fr/courants-marins-lhistoire-dune-bouteille-a-la-mer/>

## 3. "تأثير الفراشة" أو العنصر الفوضوي في التنبؤات الجوية

"L'EFFET PAPILLON" OU L'ÉLÉMENT CHAOTIQUE DANS LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES

<http://www.breves-de-maths.fr/effet-papillon-ou-element-chaotique-dans-le-systeme-climatique/>

### مصدر الصور :

- مشروع "نواة النمذجة الأوروبية للمحيطات" (NEMO) : <https://www.nemo-ocean.eu/>
- جيوفاني روجيرو Giovanni Ruggiero (مخبر جون ألكسندر ديودوني LJAD، جامعة نيس - صوفيا أونتيبوليس Université Nice-Sophia Antipolis، والمركز القومي الفرنسي للبحث العلمي (CNRS).