نمذجة انتشار الموجات الزلزالية في الأرض[1]

بقلم: **ستيفاني شَيات لوزاي**[2] Stephanie Chaillat-Loseille

ترجمة: **بعزيز سيهام**

شعبان هجيرة

لا يزال من الصعب التنبؤ بوقوع الزلازل[3]. ومع ذلك يمكننا محاولة **تقليص المخاطر الزلزالية**، أي الخسائر البشرية والمادية من خلال تكييف تشييد المباني مع احتمال تعرض منطقة معينة للزلازل. في الوقت الراهن، يسمح تطوّر الطرق العددية الهادفة إلى المحاكاة الحاسوبية لانتشار الموجات الزلزالية –بدءا من مصدر الزلزال حتى بلوغها المنازل والمباني– بالمساعدة على تحديد القواعد التي ينبغي مراعاتها لتشييد **المباني المقاومة للزلازل**.

زلزال مدينة مكسيكو Mexico، عام 1985.

---

[1] العنوان الأصلي للمقالة:

MODÉLISER LA PROPAGATION DES ONDES SISMIQUES DANS LE SOL

موقعها: http://www.breves-de-maths.fr/modeliser-la-propagation-des-ondes-sismiques-dans-le-sol/

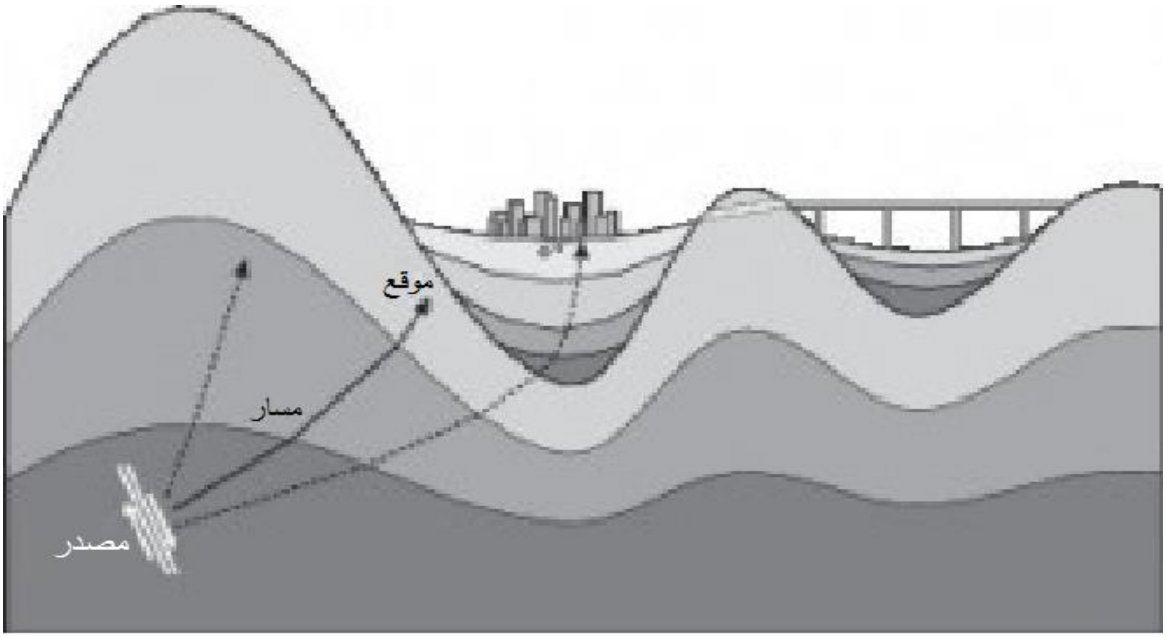
[2] انظر صفحتها: http://perso.ensta-paristech.fr/~chaillat/

المدرسة القومية الفرنسية للتقنيات المتقدمة (ENSTA)، موقعها: http://www.ensta-paristech.fr/

مخبر "انتشار الأمواج : دراسة رياضياتية ومحاكاة" (poems)، موقعه: https://uma.ensta-paristech.fr/poems/

[3] انظر: http://www.breves-de-maths.fr/expliquer-les-tremblements-de-terre/

تكتسي هذه القواعد أهمية بالغة، خاصة عندما تكون المدن مشيّدة فوق **أحواض رسوبية** حيث يمكن أن تبرز ظواهر تضخيم للحركة الزلزالية بسبب البنية الجيولوجية لباطن الأرض (تأثير الموقع[4]). وأشهر مثال على هذه الظاهرة هو زلزال عام 1985 في جِيريرو ميتشواكان[5] Guerrero Michoacán (بدرجة 8.1) الذي ألحق خسائر معتبرة بمدينة مكسيكو (المكسيك). فهذه المدينة بُنيت فوق حوض رسوبي، وكانت تقع على بعد حوالي 400 كم من مركز هزة الزلزال. لكن تلك الخسائر كانت محلية.



انتشار الموجات الزلزالية على مستويات مختلفة حسب المرجع
Semblat & Pecker : Waves and vibrations in soils, IUSS Press, 2009

نلاحظ أن الأعمال المتعلقة **بالنمذجة والمحاكاة على الحاسوب** لانتشار الموجات الزلزالية في هذه البُنيات المعقدة، أعمال تتطوّر باستمرار. ذلك أن زيادة قدرات الحواسيب تسمح بإجراء عمليات مُحاكاتية لانتشار الموجات الزلزالية بوسعها تمثيل تلك الظواهر الفيزيائية بدقة تتزايد يوما بعد يوم[6]. ولكي نكون واقعيين، يجب إجراء الحسابات بمراعاة الأبعاد الثلاثة في مناطق شاسعة. تتطلب هذه المهمة قدرات ضخمة في موضوع إجراء العمليات الحسابية.

---

[4] انظر :
https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/risque_sismique_installations_nucleaires/Pages/4-Qu_est_ce_qu_un_effet_de_site.aspx#.XLC3AOgzbIU

[5] انظر : http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMEve?codeEve=1064

[6] انظر المقالة القصيرة في نفس السلسلة:
http://www.breves-de-maths.fr/le-calcul-intensif-un-outil-exceptionnel-pour-la-comprehension-de-la-planete-terre/

غير أن عمليات المحاكاة التي تجرى لحد الآن لا زالت مختصرة جدا في أغلب الأحيان. ومن الضروري أن نزاوج بين المزيد من الظواهر للاقتراب من الحقيقة. وهكذا، تعتبر هذه المحاكاة التربةَ مادة "متجانسة، ومرنة، وخطية، ومتماثلة الخواص" : نلاحظ أن خلف كل كلمة من هذه الكلمات الغامضة يختفي **تقريب يعكس الحقيقة بشكل نسبي**. ومع ذلك يعلم الجيوفيزيائون أن التربة مادة مثبطة (مادة لزجة ومرنة)، سلوكها مرتبط بالاتجاه (بمعنى أن هناك تباينا في الخواص وليس تماثلًا). كما أن وجود الماء (المسامية)، وكذا وجود العديد من حالات اللاتجانس الصغيرة تؤثر في انتشار الموجات.

إن المزاوجة بين كل هذه الظواهر تجعل من النمذجة والمحاكاة أمرا صعبا، في حين أن إظهار كل آثار الانقصاف (القصّ) والضغط[7] بشكل جيد يمثل مفتاح فهم الأضرار التي تلحق بالمباني. لقد انطلق الباحثون من نموذج مبسط، ثم إنهم يقومون بإثرائه باستمرار مستفيدين من تقدم المعارف وتطوّر الأدوات الرياضياتية. نلاحظ أن النمذجة حساسة جدا إذ أن الإنسان يمكنه أيضا التأثير على انتشار الموجات الزلزالية: فلكي تكون النمذجة كاملة الأوصاف لا بد أن تراعي التفاعل بين المباني والأرض.

اليوم، طوّرت فرق مختلفة في جميع انحاء العالم برامج محاكاة ثلاثية الأبعاد بإجراء عمليات تبسيط مختلفة للمشكلة العامة المطروحة. وبعد ذلك فالنقطة الحاسمة ستتمثل في تأكيد صحتها. ففي حين يكون من الطبيعي مقارنة المعطيات العددية بالمعطيات التجريبية المخبرية في العديد من المجالات العلمية، نلاحظ أنه من المستحيل –بل من غير اللائق– التسبب في الزلازل اصطناعيا في مواقع طبيعية. وعليه، يجري الباحثون بانتظام مقارنات بين مختلف الطرق، على تشكيلات معقدة بدرجات متفاوتة، وذلك لمحاولة فهم آثار التبسيطات التي أجروها وكذا للتأكد من مصداقية مختلف التقنيات المستخدمة. كما تُجرى مقارنات بين النتائج العددية والمعطيات التي تمّ جمعها عند وقوع زلازل سابقة، لكن تفسير تلك المقارنات لا زال صعبا.

في الختام، من المهم الإشارة إلى أن تطوير هذه الأساليب العددية المعقدة يتطلب تعاون الباحثين في مختلف المجالات: رياضياتيون متخصصون في التحليل العددي أو في إجراء الحساب المتقدّم، ومعلوماتيون؛ دون أن ننسى الجيوفزيائيين وعلماء الزلازل. لذلك، فإن مشكلة النمذجة تشكل مثالا جيدا **للعمل متعدد التخصصات** حيث لازالت العديد من الأسئلة مفتوحة.

للاستزادة:

- الموقع الإلكتروني لفريق جاكوبو بيلاك Jacobo Bielak (جامعة كرنيجي مِلّون Carnegie Mellon)، الذي يقترح رسوما متحركة لمحاكاة الهزات الأرضية في كاليفورنيا أو اليابان

[7] انظر: http://www.breves-de-maths.fr/rayleigh-tremblements-de-terre/

https://travkanggerfta.ml/12-0-logiciel-de-simulation-de-tremblement-de-terre

- مقال "Séismes dans la ville" في مجلة Pour la Science، رقم 310، أوت 2003.
- صفحة في الموسوعة الحرة حول قوانين سنيل ديكارت Snell-Descartes، بعدة لغات منها العربية:

https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law

- صفحة في الموسوعة الحرة حول الانكسار، بعدة لغات منها العربية:

https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction

- 4 مقالات قصيرة من نفس السلسلة:

- Jeter un œil au centre de la Terre
http://www.breves-de-maths.fr/jeter-un-oeil-au-centre-de-la-terre/
- Imagerie haute résolution du sous-sol
http://www.breves-de-maths.fr/imagerie-haute-resolution-du-sous-sol/
- Rayleigh et les tremblements de terre
http://www.breves-de-maths.fr/rayleigh-tremblements-de-terre/
- Quoi ma CFL, qu'est-ce qu'elle a ma CFL ?
http://www.breves-de-maths.fr/quoi-ma-cfl-quest-ce-quelle-a-ma-cfl/

مصدر الصور: Agence de Presse Xinhua.