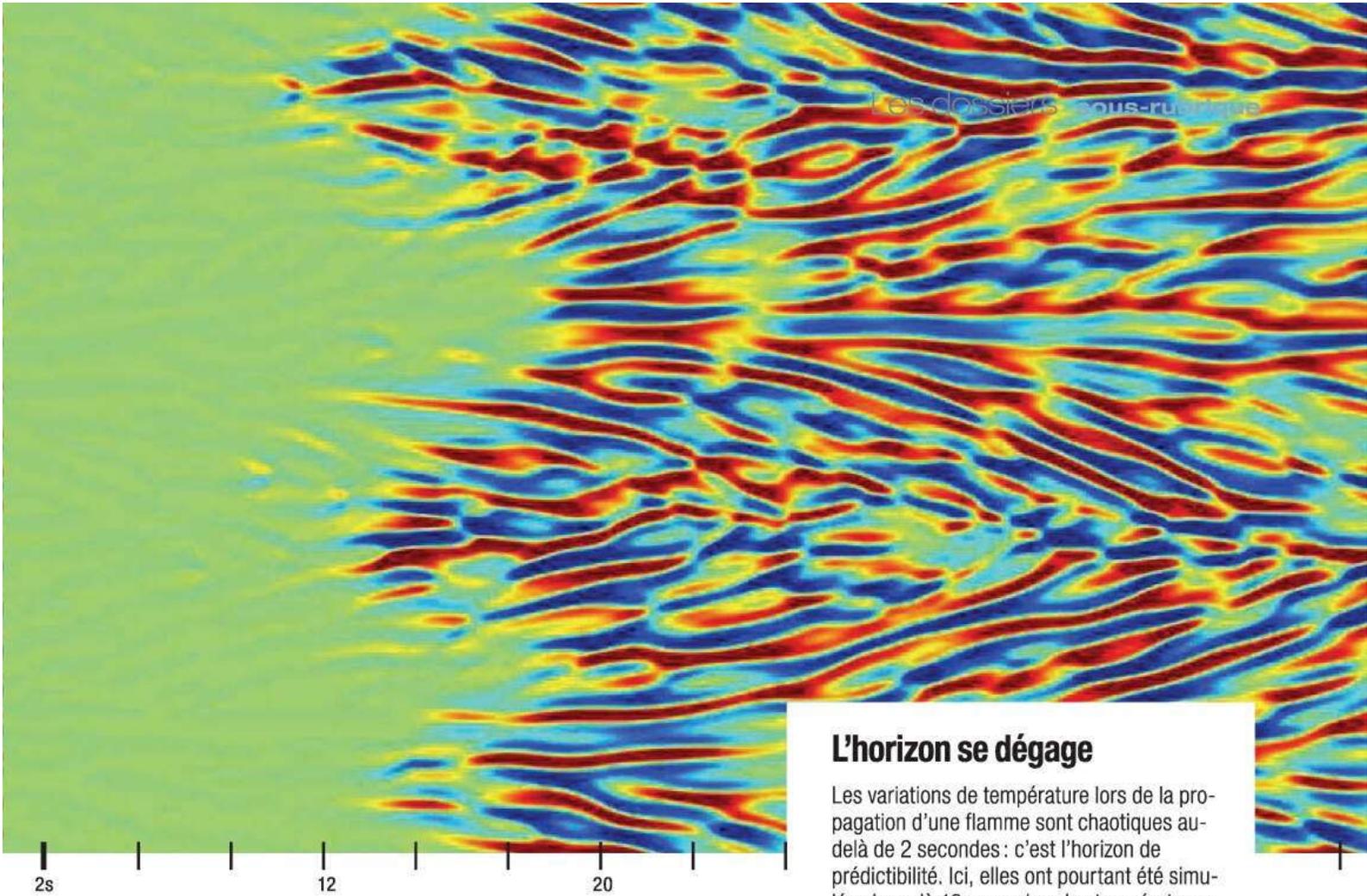




L'I.A. met le chaos K.O.

Des réseaux de neurones se sont attaqués aux phénomènes physiques les plus complexes qui soient, les phénomènes chaotiques, et ils en sont venus à bout avec une facilité déconcertante. Pour **Román Ikonicoff**, ce premier résultat laisse augurer une révolution.



L'horizon se dégage

Les variations de température lors de la propagation d'une flamme sont chaotiques au-delà de 2 secondes : c'est l'horizon de prédictibilité. Ici, elles ont pourtant été simulées jusqu'à 12 secondes : les températures prédites se superposent parfaitement avec les températures de référence (zone verte).

Une étincelle jaillit, la flamme s'allume, un front de lumière et de gaz brûlant se propage... Le phénomène est banal. Et pourtant, des dizaines de mathématiciens ont voulu le simuler sans jamais atteindre l'efficacité prédictive obtenue en janvier dernier par une équipe de physiciens du Maryland, aux États-Unis. *"Et de très loin!"* s'enthousiasme Laurent Larger, directeur de l'Institut Femto-ST, à Besançon. Dans le monde de la physique, c'est une petite révolution : les premières fissures apparaissent dans le mur du chaos.

Car l'équation de la propagation d'une flamme, établie il y a cinquante ans par les physiciens Yoshiki Kuramoto et Gregory Sivashinsky – une "différentielle partielle du 4^e ordre" appelée "KS" en leur hommage – est connue pour avoir un comportement... chaotique. Or, la caractéristique de tous les systèmes chaotiques est que, malgré leur description mathématique parfaitement déterminée – ici, grâce à l'équation KS –, leur évolution est impossible à anticiper à long terme. La faute à une sensibilité extrême du système aux conditions initiales.

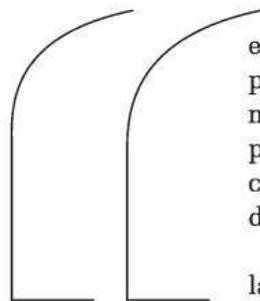
JAIDEEP PATHAK ET AL / UNIVERSITY OF MARYLAND

C'est le cas, par exemple, du Système solaire : les lois de la gravité, la position et la vitesse des planètes permettent en principe de prévoir indéfiniment son évolution... Mais la moindre erreur dans l'estimation de ces positions et vitesses conduit les simulations à diverger de la réalité. Cette divergence augmente même exponentiellement jusqu'à ce qu'au final, les prévisions n'aient plus rien à voir avec les trajectoires réelles. C'est mathématique : une erreur

d'à peine un facteur 1/10 milliards sur les paramètres des planètes mesurés aujourd'hui provoquera dans une simulation parfaitement programmée une erreur de 100 % sur l'estimation de leur position

Repères

N'en déplaise à Newton, pour qui la nature est prévisible d'après ses lois, Poincaré a démontré que certains phénomènes sont imprévisibles à long terme : ils sont chaotiques.



C'est un mariage parfait entre l'I.A. et la physique des systèmes complexes

et vitesse dans 100 millions d'années ! Avec la précision actuelle de nos mesures et de nos modèles, les prédictions ne dépassent donc pas cet horizon – qui représente pourtant un clin d'œil au regard des 4,6 milliards d'années du Système solaire.

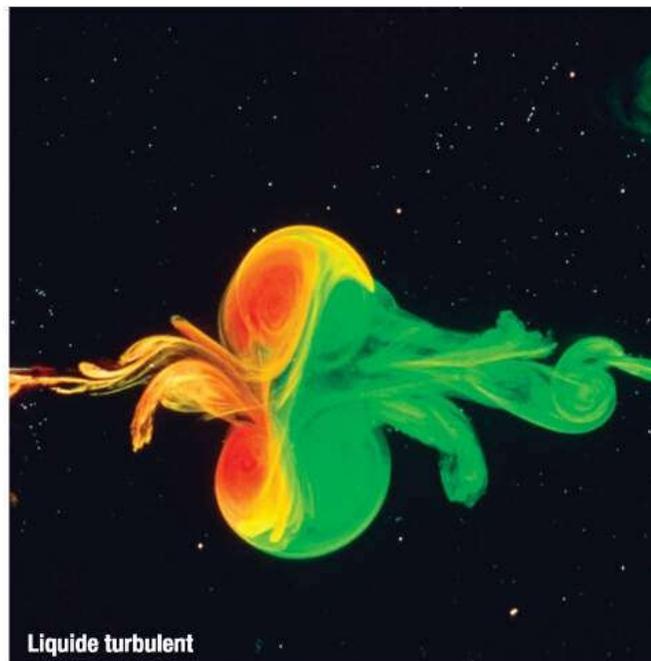
Or voilà : si l'on transposait au Système solaire les prédictions obtenues par les chercheurs du Maryland sur les flammes, cet horizon serait de... 500 millions d'années !

Au-delà de la performance d'avoir repoussé la frontière de prédictibilité de la propagation d'une flamme, c'est bien cela qui enthousiasme les physiciens : pas tant le résultat que la manière avec laquelle il a été obtenu. *"C'est un cas d'école, confirme Laurent Larger. Le but était de prouver l'efficacité prédictive de cette simulation par rapport aux méthodes numériques classiques."* Or, l'équipe américaine, ici, n'a pas mobilisé de supercalculateur pour s'attaquer à ce problème, mais des moyens de calcul pour le moins réduits : seulement quelques microprocesseurs...

Leur secret est le même que celui des traducteurs automatiques les plus performants, des meilleurs logiciels de reconnaissance faciale, des voitures autonomes... Il s'agit une fois de plus de cette étrange et redoutable boîte noire que sont les réseaux de neurones, ces programmes informatiques qui font fonctionner l'intelligence artificielle.

Pas n'importe quel réseau de neurones. Les spécialistes parlent de "calculs en réservoir" (*"reservoir computing"*, en anglais) : un réseau dont l'architecture permet aux neurones de transmettre des informations en allers-retours, ce qui crée des boucles dans les transmissions d'informations. *"Ces boucles internes transforment le réseau lui-même en un système chaotique"*, précise Miguel Soriano, spécialiste du sujet à l'Institut de physique interdisciplinaire et systèmes complexes (IFISC) de Palma de Majorque, en Espagne.

Et c'est là, justement, le ressort de leur efficacité pour s'attaquer au chaos : le réservoir à neurones est un as de l'imitation des phénomènes chaotiques... simplement parce qu'il en est un. Pourvu qu'on lui donne un aperçu d'un processus complexe en lui injectant des don-



Liquide turbulent

nées, il se met à l'imiter. Il suffit de l'orienter durant une phase dite d'apprentissage, et de brancher sa sortie à son entrée pour qu'il se nourrisse à chaque cycle du résultat du calcul qu'il vient de réaliser. *"C'est un mariage parfait entre l'I.A. et la physique des systèmes complexes"*, s'enthousiasme Miguel Soriano.

Edward Ott, dans le Maryland, a passé sept ans à peaufiner cette technologie du calcul en réservoir. Mais une fois celle-ci maîtrisée, il n'a eu besoin que d'un réseau de 320 000 neurones, et d'un temps de conception et d'entraînement négligeable pour l'adapter au cas de la flamme. Sitôt après avoir injecté une série de données retraçant un fragment de l'évolution de la flamme, il a vu le programme cracher une simulation de son évolution aussi précise que celles issues d'énormes machines et fondées sur des dizaines d'années d'approximations mathématiques.

64 RÉSEAUX DE 5 000 NEURONES

La méthode n'est pas neuve. Imaginée théoriquement par l'Allemand Herbert Jaeger et l'Autrichien Wolfgang Maass entre 2001 et 2002, elle avait été utilisée en 2004 par Jaeger pour simuler un phénomène chaotique lié à la télétransmission de communications. Mais c'est la première fois qu'elle parvient à résoudre un système d'une telle complexité. *"Jusqu'à là il était difficile de simuler un phénomène*

G. VAN HEST/SPL/COSMOS - JESSE ALLEN/NASA - WU ET AL. - DR



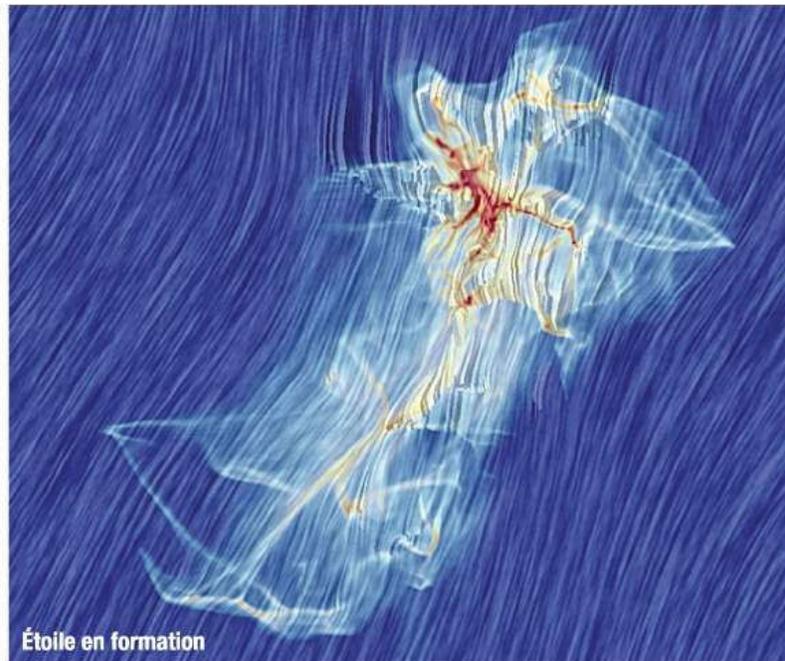
MIGUEL SORIANO

Institut de physique interdisciplinaire et systèmes complexes de Palma de Majorque (Espagne)





Nuages



Étoile en formation

temporel avec une grande dimension spatiale, précise Xavier Hinaut, de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria). *La manière dont ils ont subdivisé ce problème pour le répartir entre plusieurs réservoirs en parallèle est très astucieuse.* Les chercheurs ont découpé le front de la flamme en 64 bandes fines dont les données ont été injectées dans 64 réservoirs identiques mais indépendants, chacun formé de 5 000 neurones artificiels, en prenant soin de partager les données des bords de chaque frange entre réservoirs contigus afin de garder une homogénéité globale. Et le résultat est là.

Voilà la preuve que la méthode du réservoir peut s'appliquer aux vrais phénomènes physiques. Et les spécialistes l'assurent : le réservoir est facile à fabriquer. Laurent Larger, dont l'équipe est en pointe sur les réservoirs optiques depuis 2010, donne même la recette : *"Il suffit que les connexions entre neurones soient faites au hasard ; que le réseau ait un degré de connectivité faible – en général entre 0,2 et 0,3 connexion par neurone en moyenne ; et que le nombre de neurones soit adapté au problème."*

De là à rêver prédire rapidement et facilement tout ce que le monde a de plus chaotique et difficile à modéliser, il n'y a qu'un pas... d'ores et déjà franchi par la vingtaine d'équipes initiées au *reservoir computing* – des pionniers

^ DE MEILLEURES PRÉVISIONS À LA CLÉ

Dès qu'il est question de mouvement de fluides, les physiciens se heurtent au chaos. Les réseaux de neurones promettent ainsi de prédire les turbulences des courants, la course des nuages, la naissance des étoiles...

encore peu nombreux aux avant-postes, car cette technologie requiert une double compétence, en systèmes complexes et en I.A. L'équipe de Femto-ST, créée par Laurent Larger en 2010, travaille notamment sur le pronostic des défaillances dans les piles à combustible par cette technologie ; Edward Ott s'attaque à un système d'équations qui pourrait améliorer les prévisions météo... Et il y a aussi les instabilités d'un plasma ; les battements d'un cœur malade ; le climat ; les tempêtes solaires ; les réactions chimiques ; la course des planètes... Les phénomènes chaotiques auxquels cette I.A. pourrait s'attaquer ne manquent pas.

Mieux encore, les spécialistes pressentent que le calcul en réservoir ne se contentera pas de prédire ; il pourrait carrément capter des phénomènes inconnus et donner une intuition de leur mécanisme. Une fois de plus, les réseaux de neurones promettent d'accéder à un niveau de complexité du monde que nos cerveaux sont bien incapables de capter ! L'intelligence artificielle a encore frappé.



À consulter :
les publications citées dans l'article.

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com