

## Comment calculer la vitesse du changement climatique ?

Iaroslav Gaponenko<sup>1</sup>, Guillaume Rohat<sup>2</sup>, Stéphane Goyette<sup>2,3</sup>, Patrycja Paruch<sup>1</sup>, Jérôme Kasparian<sup>2,3</sup>

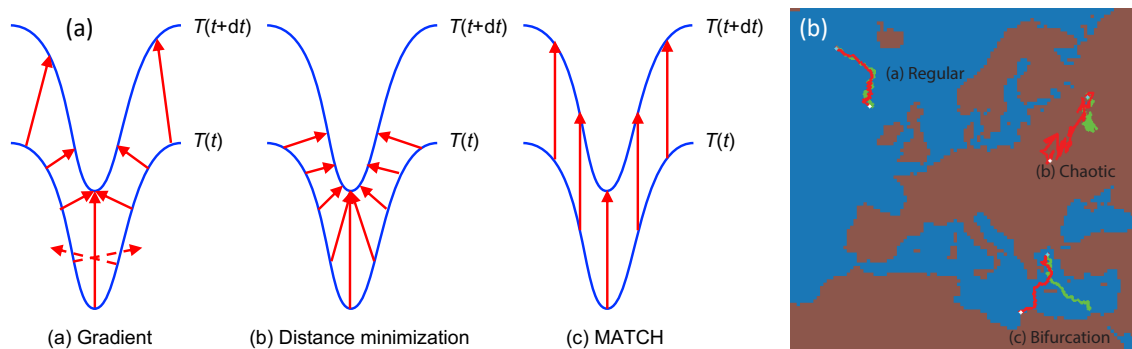
<sup>1</sup> DQMP, University of Geneva, Quai Ansermet 24, 1211 Geneva 4, Switzerland

<sup>2</sup> Institute for Environmental Sciences, University of Geneva, bd Carl Vogt 66, 1211 Geneva 4, Switzerland

<sup>3</sup> Group of Applied Physics, University of Geneva, Chemin de Pinchat 22, 1211 Geneva 4, Switzerland

jerome.kasparian@unige.ch

Décrire le changement climatique en termes de vitesses spatiales de dérive est essentiel pour évaluer la capacité des écosystèmes ou espèces à migrer assez vite afin de conserver des conditions de vie adaptées. Cependant les modèles climatiques fournissent une évolution temporelle des variables pronostiques en chaque point de leur grille computationnelle. Loarie et al. ont donc introduit une *vitesse du changement climatique*, définie comme le quotient de la dérivée temporelle et du gradient de la température, ou de tout autre paramètre climatique [1]. Procéder ainsi revient à supposer que les isothermes se déplacent selon le gradient de température. Or, cette idée, quoi qu'intuitive, est problématique car elle n'est mathématiquement exacte que si les isothermes sont rectilignes et parallèles [2]. Sans cela, le champ de vitesses est, de manière artificielle, localement convergent ou divergent, alors qu'il est possible de définir un champ bien plus régulier (Figure 1a–c).



**Figure 1.** Illustration schématique de la problématique. On considère le déplacement d'une isotherme  $T$  de l'instant  $t$  à  $t + dt$  (lignes bleues). (a) Vitesse (flèches rouges) calculée selon le gradient, générant convergence, divergence, et indéterminations (flèches rouges pointillées). (b) Champ de vitesses minimisant le déplacement ("MATCH"). (c). Champ de vitesses maximisant la régularité (d) Typologie des trajectoires obtenues.

Nous proposons une approche alternative qui maximise la régularité du champ de vitesses, autorisant une analyse à plus fine échelle. Elle permet également de définir la trajectoire climatique d'un point donné. Notre approche permet d'étudier la réversibilité théorique de ces trajectoires et d'estimer la stabilité de la trajectoire "retour" obtenue par renversement du temps, par rapport à la trajectoire "aller". On peut ainsi classer les trajectoires obtenues en stables (le retour est effectivement proche de la trajectoire aller), instable (le retour bifurque de la trajectoire aller, mais reste bien défini), ou chaotique (la trajectoire retour est mal définie) [3].

## Références

1. S. R. LOARIE *et al.* *Nature* **462**, 1052 (2009)
2. J. REY, G. ROHAT, M. PERRAUD, S. GOYETTE, J. KASPARIAN, *Env. Res. Lett.* **15**, 034027 (2020)
3. I. GAPONENKO, G. ROHAT, S. GOYETTE, P. PARUCH, J. KASPARIAN, *Sci. Rep.*, **in press**, page, (année)