

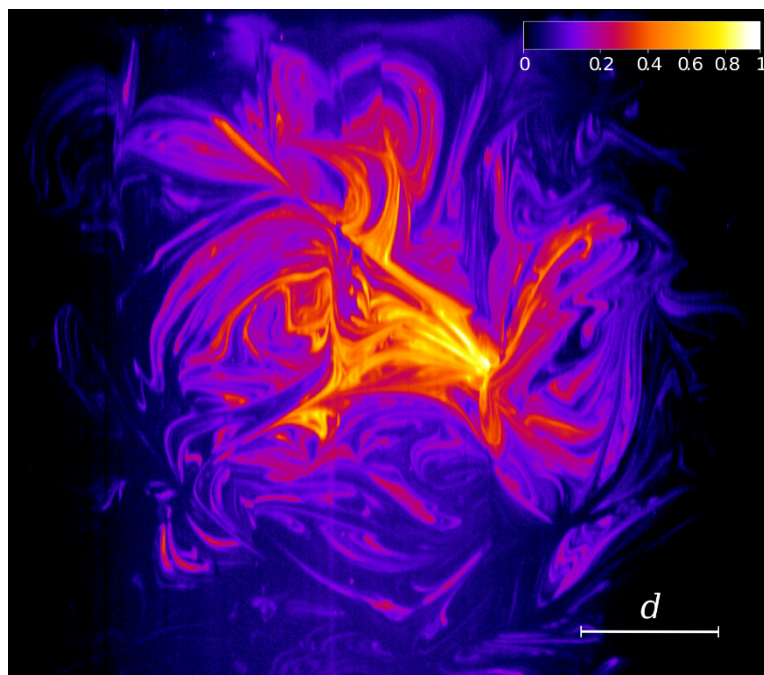
SPATIO-TEMPORAL PUSH-PULL IMAGING REVEALS THE FRACTAL NATURE OF CHAOTIC SOLUTE LANDSCAPES IN POROUS FLOWS.

Joris Heyman¹, Daniel Lester², and Tanguy Le Borgne³

¹ CNRS, France

² Royal Melbourne Institute of Technology, Australia

³ University of Rennes, France



The image is obtained by pushing a fluorescent dye into a porous sample (gravel packing, mean diameter $d=7$ mm), then pulling it back and imaging the spatio-temporal return of dye concentrations with a laser sheet, transverse to the mean flow direction. The scalar signature (color scale indicates dye concentrations) of the echo provides key data about the mixing dynamics occurring inside the porous media. Although Stokes flows are fully reversible, the molecular diffusion of the dye (fluorescein) induces perturbations that are exponentially amplified by chaotic advection at pore scale. In the pull phase, dye molecules thus return to the injection plane taking a completely different path than in the push phase. They follow the unstable chaotic manifold of the porous flow, revealing its fractal structure. This image is taken in the pull phase after 20 advection time (the mean time to travel 20 pore diameters). At high Péclet numbers, the decay of scalar fluctuation with time can be related to the magnitude of the Lyapunov exponent of the chaotic porous flow. In principle, this generalized push-pull methodology enables a precise measure of mixing dynamics in any opaque porous materials[1].

1. Heyman J. *et al.* (2021). *Phys. Rev. Lett.*, 126(3).

Contact: Joris Heyman <joris.heyman@univ-rennes1.fr>

La imagen se obtuvo al empujar una tinta fluorescente en una muestra porosa (relleno de gravilla, diámetro promedio $d=7$ mm), luego extrayéndola y tomando imágenes espaciotemporales del retorno de las concentraciones de la tinta con una lámina láser, transversal a la dirección del flujo medio. La designación escalar (la escala de colores indica la concentración de tinta) del eco proporciona información clave sobre las dinámicas de mezclado que ocurren dentro de los medios porosos. A pesar de que los flujos de Stokes son completamente reversibles, la difusión molecular de la tinta (fluoresceína) induce perturbaciones que se amplifican exponencialmente por la advección caótica a escala del poro. Por lo tanto, en la fase de tracción las moléculas de la tinta vuelven al plano de inyección tomando un camino completamente distinto al de la fase de empuje. Éstas siguen la distribución caótica e inestable del flujo poroso, revelando su estructura fractal. Esta imagen fue tomada en la fase de tracción, después de 20 veces el tiempo de advección (tiempo promedio para viajar 20 diámetros de poro). Con números de Péclet altos, el decaimiento de la fluctuación escalar con el tiempo puede relacionarse con la magnitud del exponente de Lyapunov para flujo poroso caótico. En principio, esta metodología generalizada de empujar-traccionar permite una medición precisa de las dinámicas de mezclado en cualquier material poroso opaco[1].