

# Stabilité des écoulements de convection naturelle de fluides non newtoniens dans des cavités chauffées latéralement

Bourse d'excellence GI EIF 2025-2026

**Lina Si Salah**

M2 Mécanique des fluides et énergétique

## Encadrants:

**Séverine MILLET**

Université Lyon 1

LMFA

**Abdessamed MEDELFEF,**

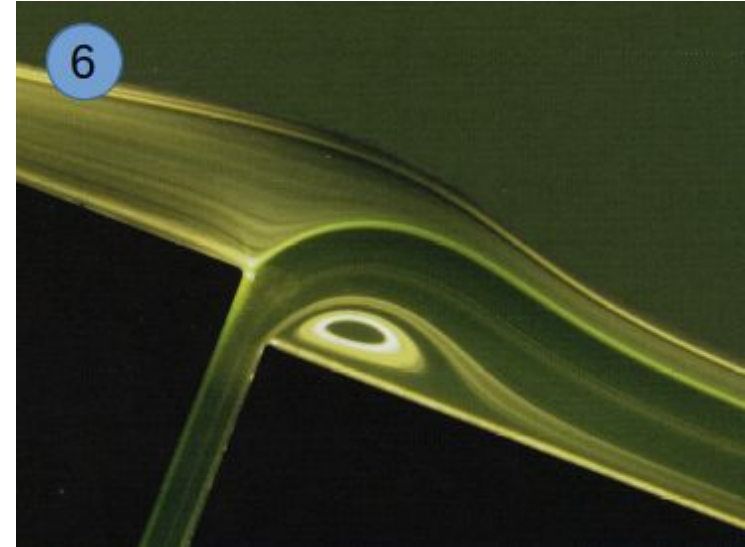
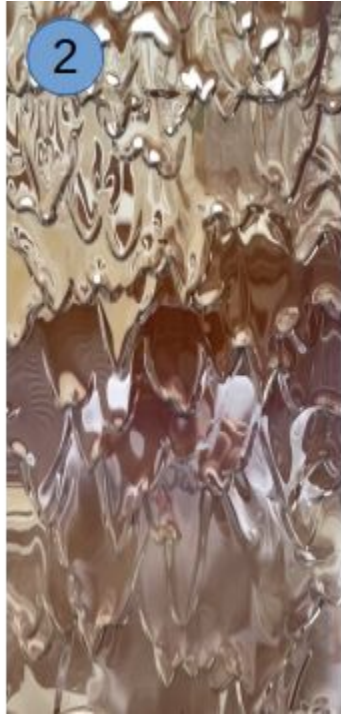
USTHB Alger,

Laboratoire de Mécanique des Fluides

Théorique et Appliquée



# Mise en contexte du stage

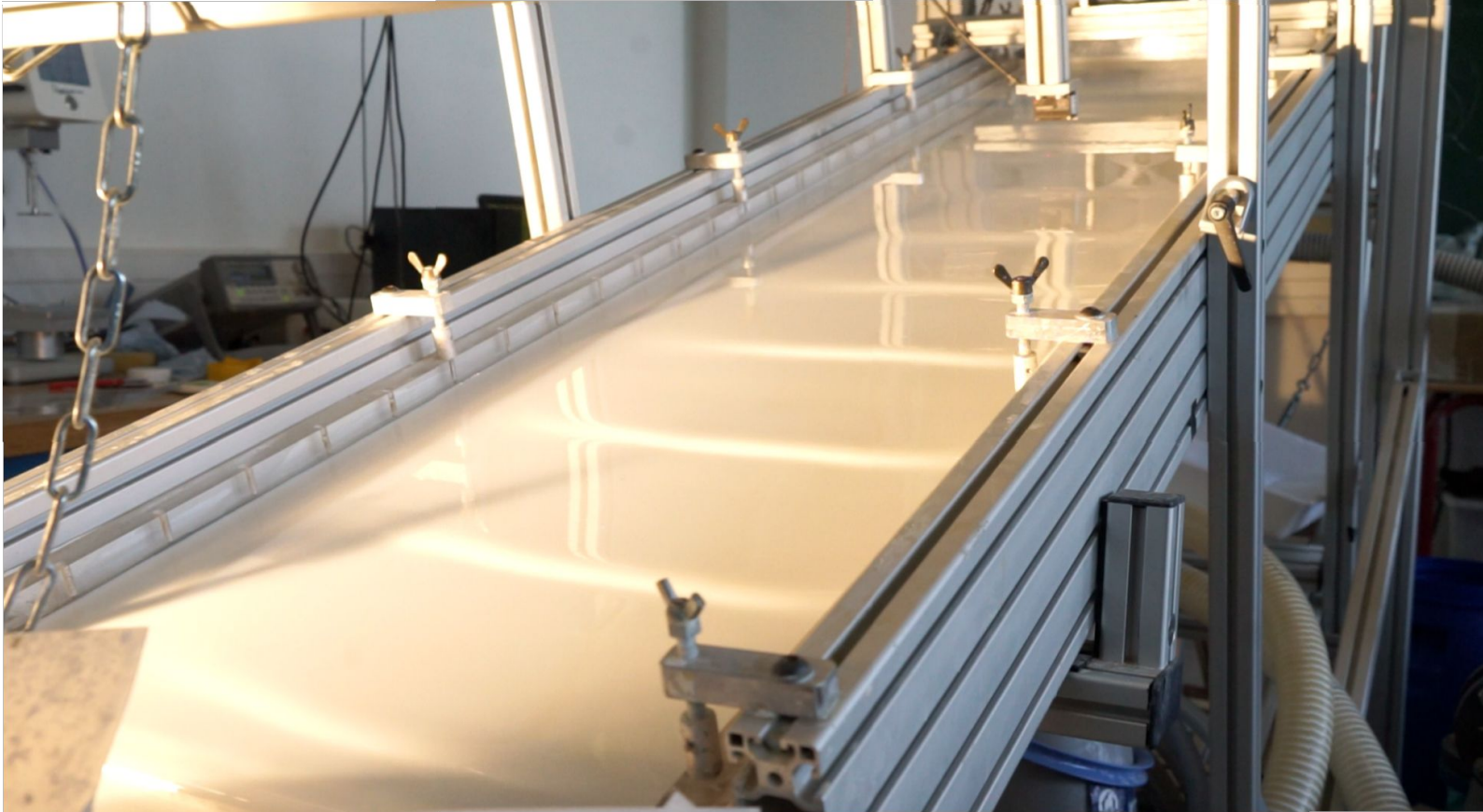


**Fluides mis en jeu:**  
Rhéologie complexe  
Fluides non newtoniens

- 1) Déversoir de Llyn Brianne, Royaume-Uni
- 2) Fontaine de chocolat, Lisbonne, Portugal
- 3) Glissement de terrain au Colorado, USA, 2014
- 4) Éruption du volcan Kilauea, Hawaï, USA, 2006
- 5) Coulée de débris, Jang Jia Gully, China, 2011
- 6) Enduction - Liquid Film Coating, Kistler et Schweizer, 1997

# Mise en contexte du stage

## Dispositif expérimental canal incliné



Objectif: on cherche à contrôler la stabilité de ces écoulements:

Pouvoir prédire pour quels paramètres l'écoulement est stable ou instable

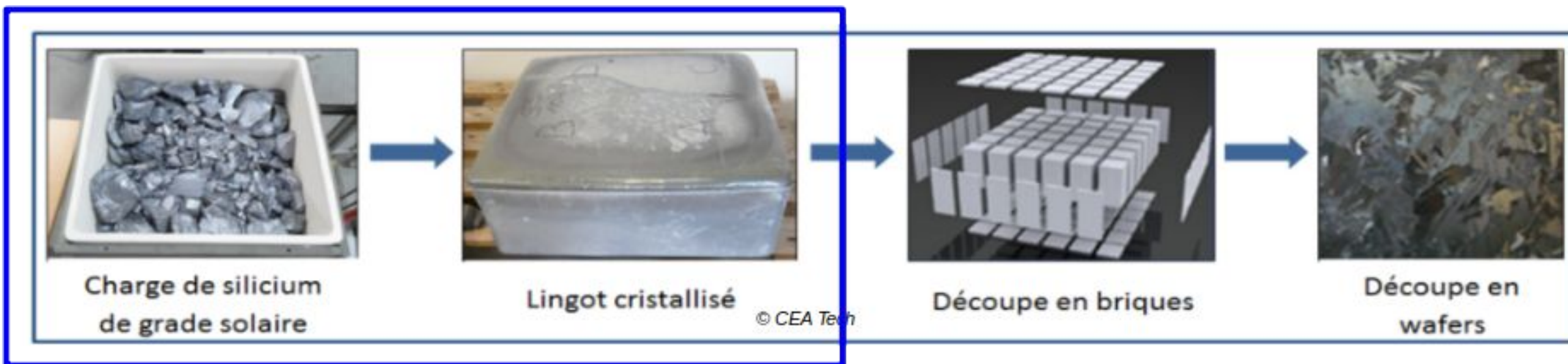
Écoulement instable  
= ondes de surface  
= défaut sur l'état de surface du matériau final

# Mise en contexte du stage

## Solidification dirigée pour l'élaboration des matériaux

### Exemple du silicium photovoltaïque

Les premières étapes de fabrication des cellules photovoltaïques...

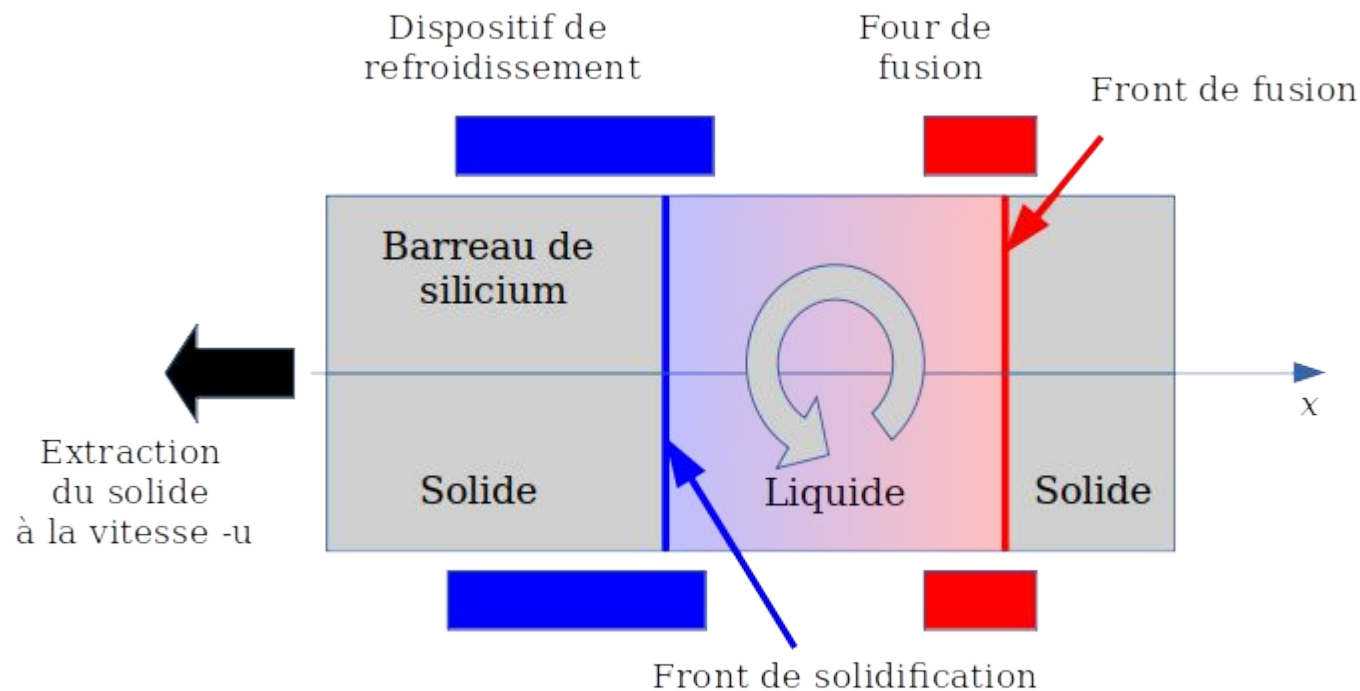


## Cristallisation

Structure cristalline contrôlée

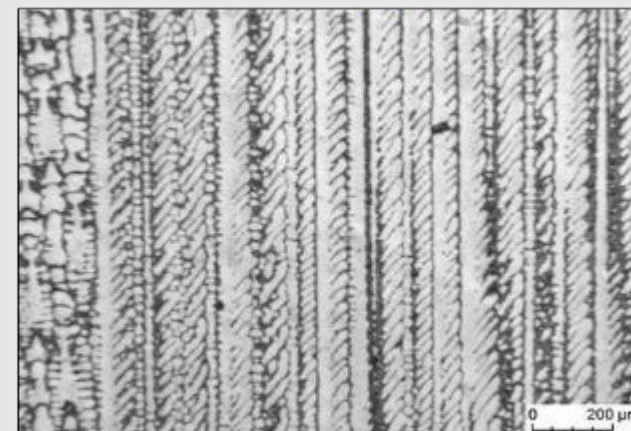
# Mise en contexte du stage

## Principe du procédé de Bridgman horizontal



En entrée: charge de silicium dans un creuset  
 En sortie: lingot cristallisé

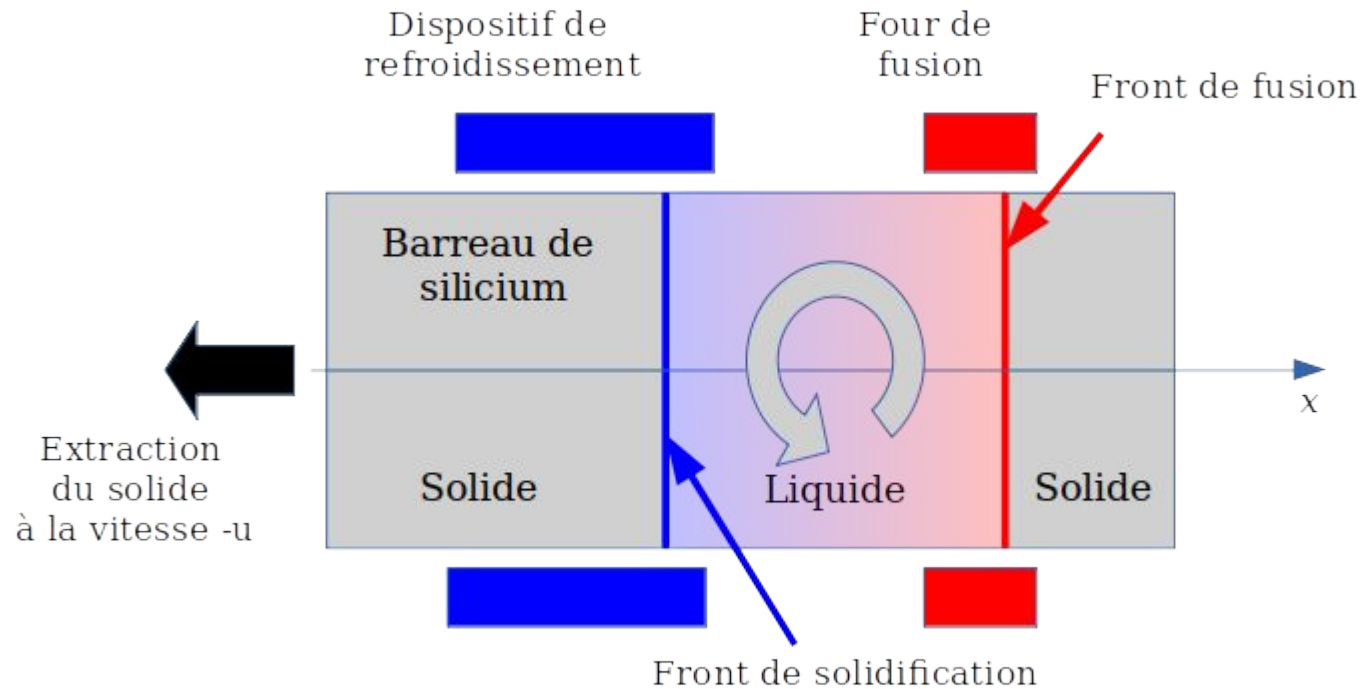
### Échantillon expérimental



Cramer et al., J. Materials Sci. (2004)

Si l'écoulement est instable:  
 risque de défaut d'homogénéité au  
 sein du lingot

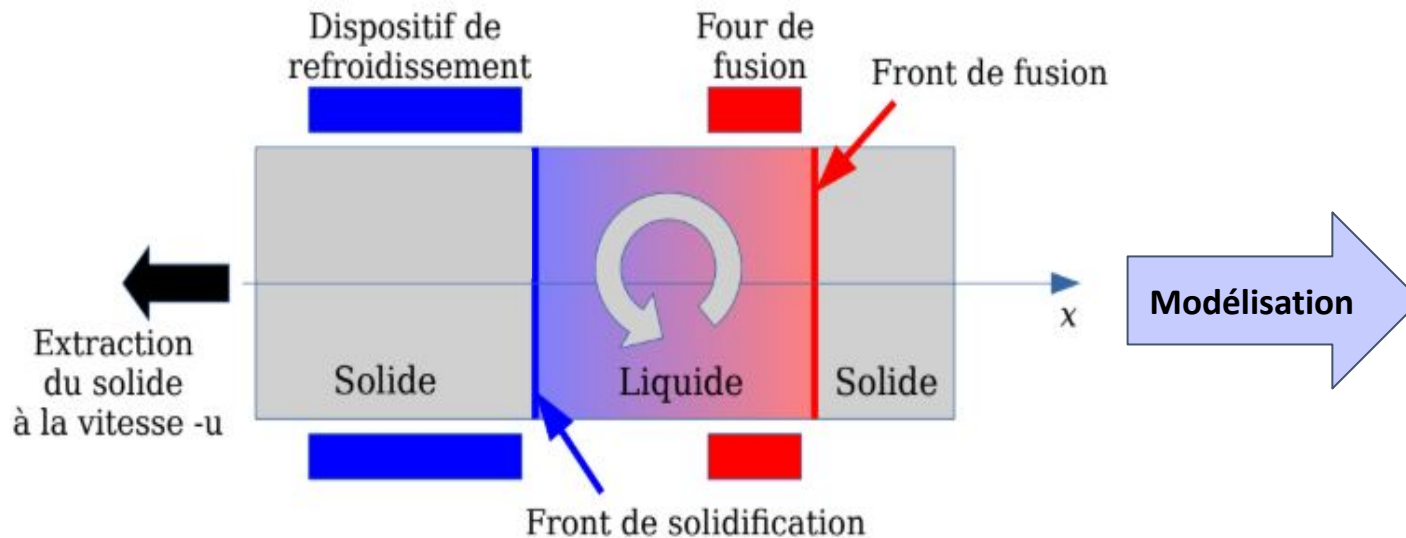
# Mise en contexte du stage



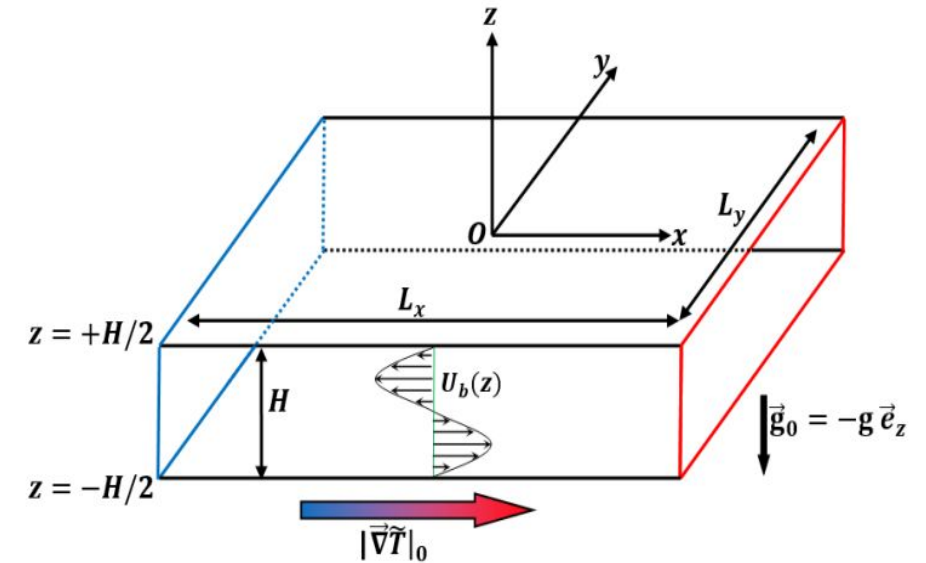
Quel serait l'effet sur la stabilité de tels écoulements de l'utilisation de fluides non newtoniens?

# Mise en contexte du stage

**Titre** : Analyse de la stabilité linéaire des écoulements de convection naturelle dans les couches fluides de Carreau chauffées latéralement

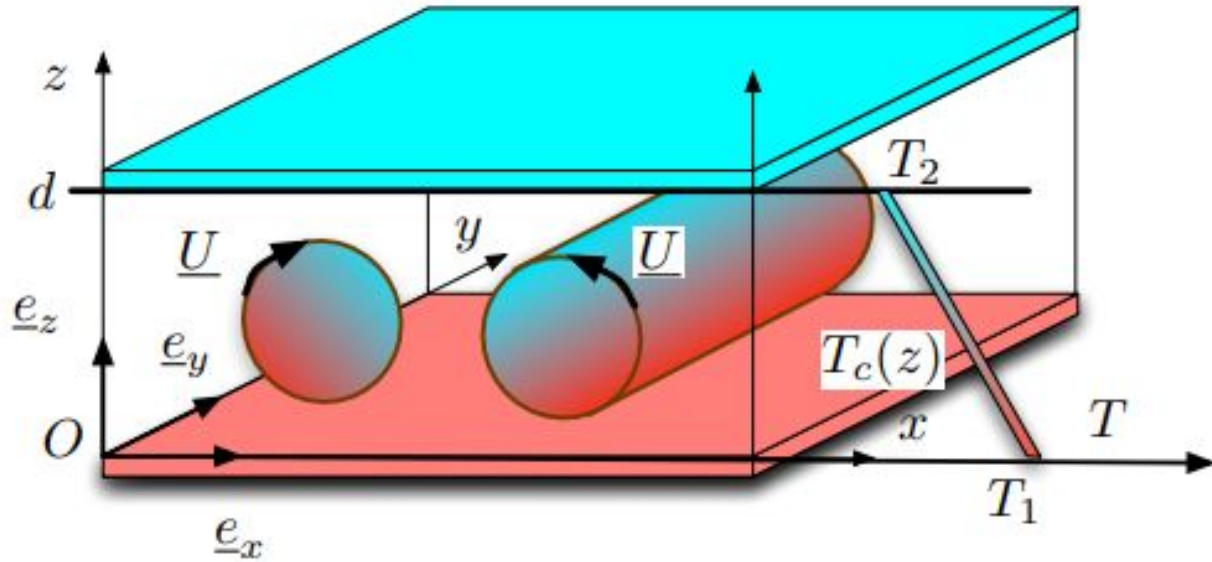


**Figure 2:** Configuration du procédé de solidification de Bridgman horizontal

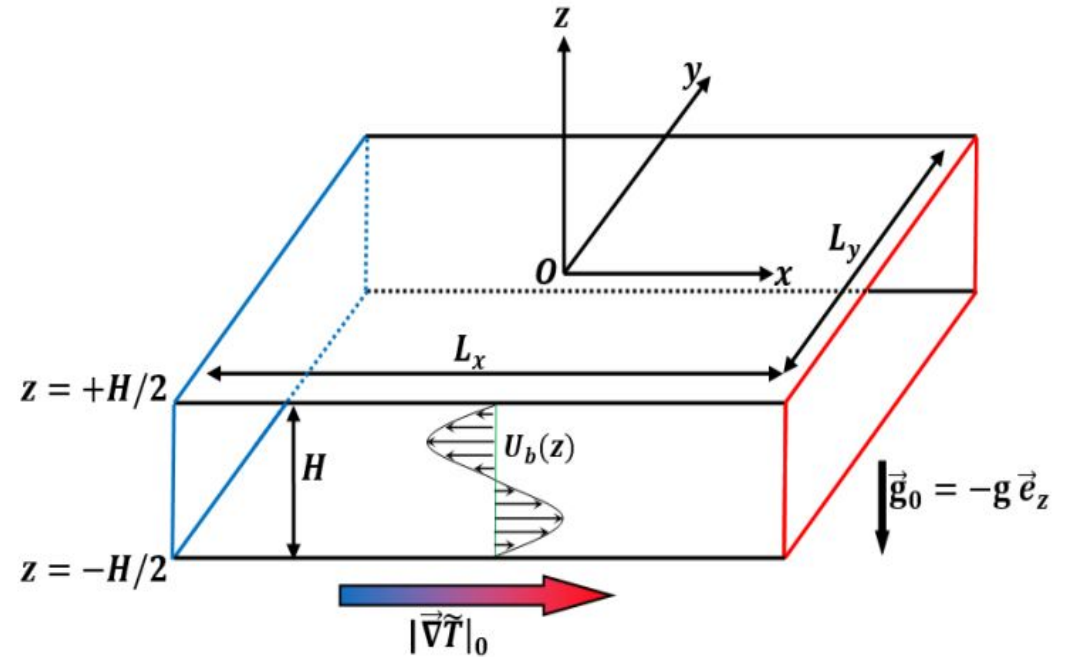


**Figure 3:** Configuration 3D du système étudié.

# Rayleigh Benard VS Hadley



**Figure 4:** Configuration 3D de Rayleigh Benard



**Figure 3:** Configuration 3D du système étudié, Cellule de Hadley.

# Mise en équation du problème

**Titre** : Analyse de la stabilité linéaire des écoulements de convection naturelle dans les couches fluides de Carreau chauffées latéralement

**Superviseur et co-superviseur** : Dr. S. Millet et Dr. A. Medelfef

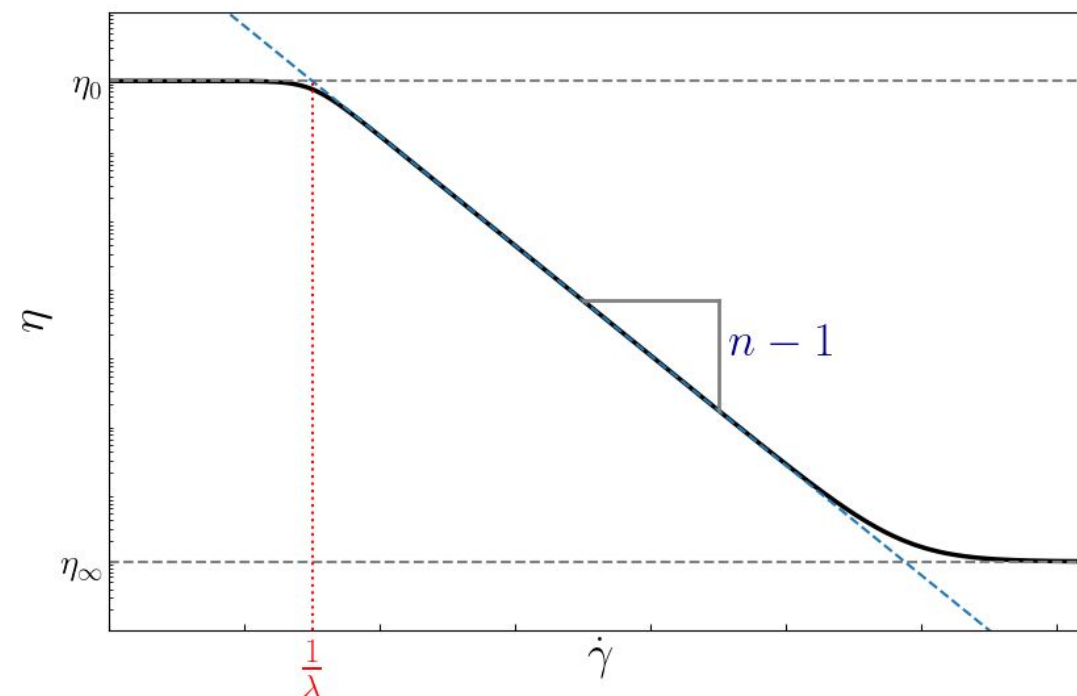
$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{Diffusion visqueuse}}{\text{Diffusion thermique}}$$

$$Gr = \frac{g_0 \beta |\nabla T|_0 H^4}{\nu^2} = \frac{\text{Forces de flottabilité}}{\text{Forces visqueuses}}$$

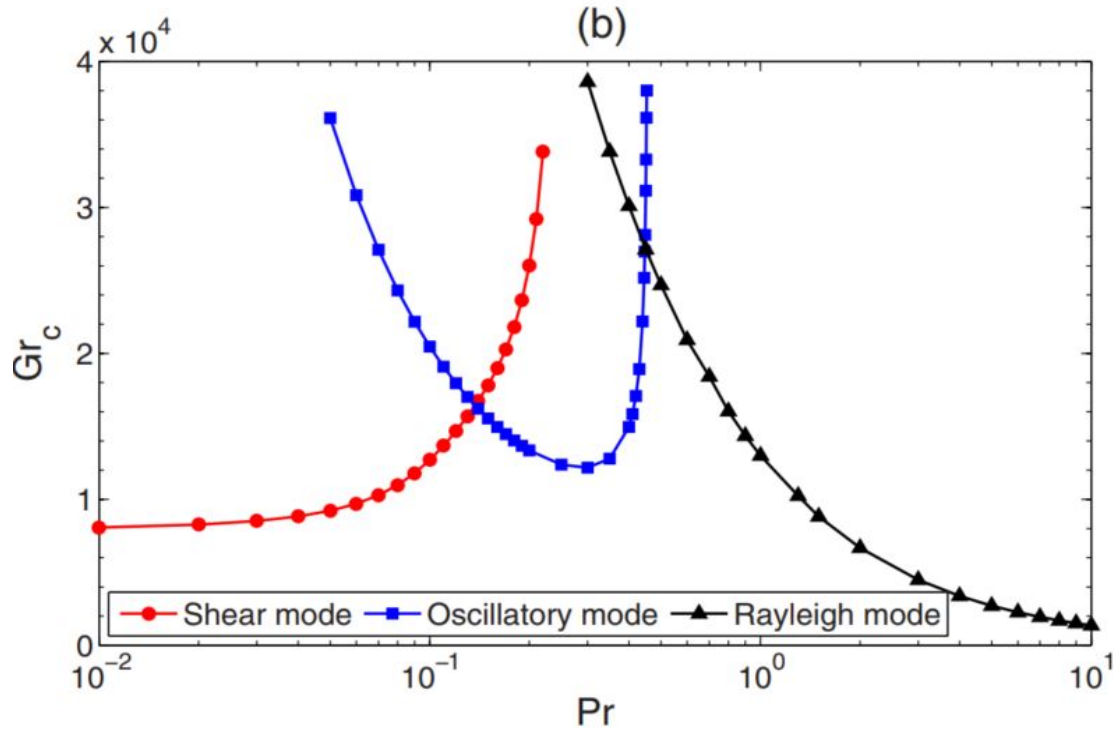
Modèle de Carreau :

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty) \left[ 1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}}$$

$n$	Indice de loi de puissance	$\dot{\gamma}$	Taux de cisaillement
$\eta_\infty$	Viscosité à très fort cisaillement	$\lambda$	Temps caractéristique
$\eta_0$	Viscosité au repos		

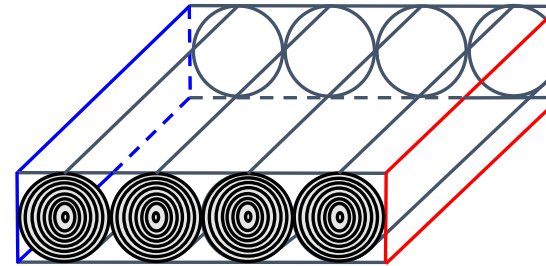


**Figure 5:** Variation de la viscosité dynamique en fonction du cisaillement

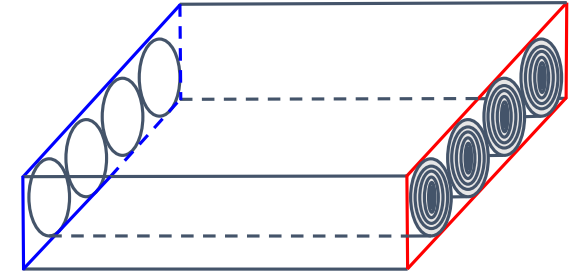


**Figure 6:** Représentation des seuils d'instabilité pour un fluide newtonien pour (a) des parois adiabatiques et (b) des parois conductrices et des lignes de courants associés, A. Medeffef et al., PHYSICAL REVIEW FLUIDS 2, 093902 (2017)

Topologie :



- Mode transverse



- Mode longitudinal

Dépendance en temps

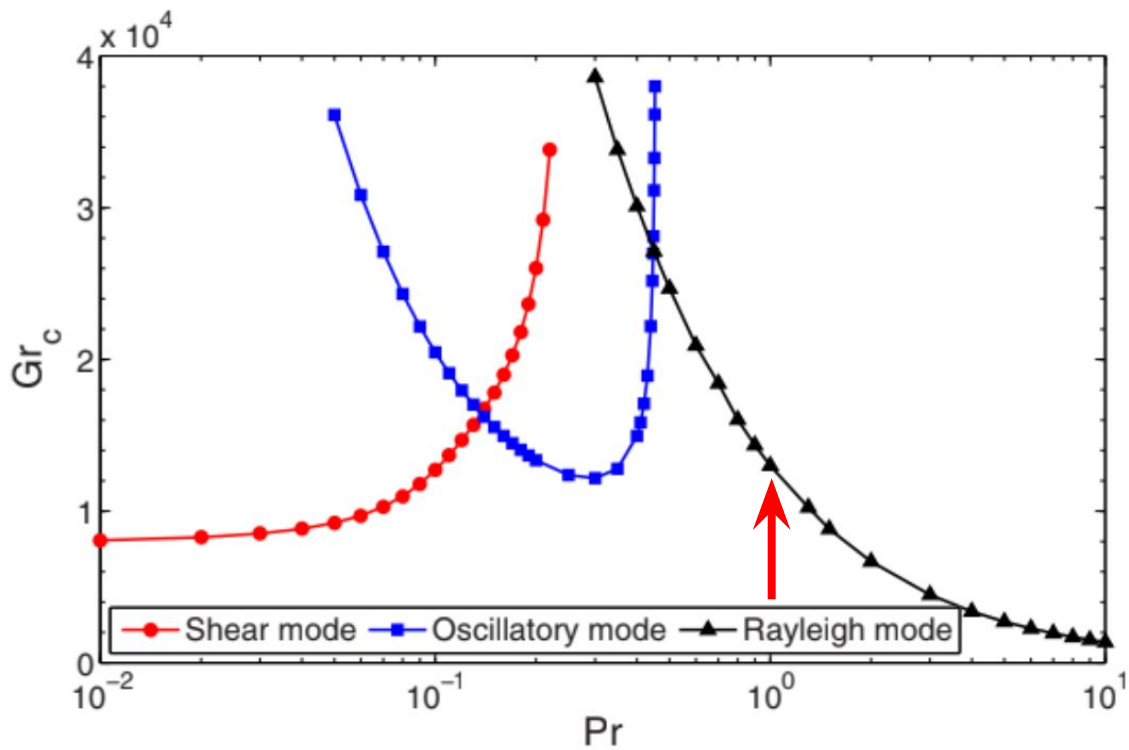
- Mode stationnaire

- Mode oscillatoire

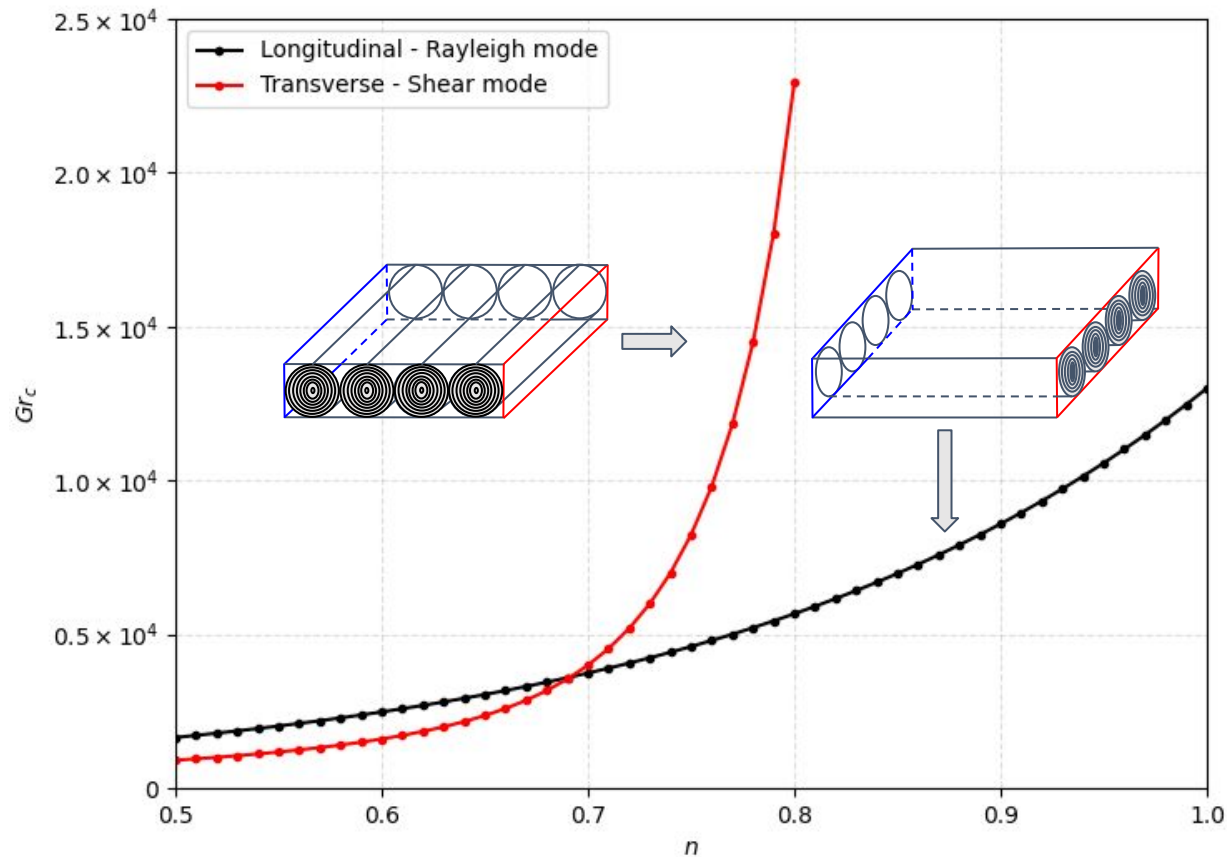
Origine physique

- Mode de cisaillement

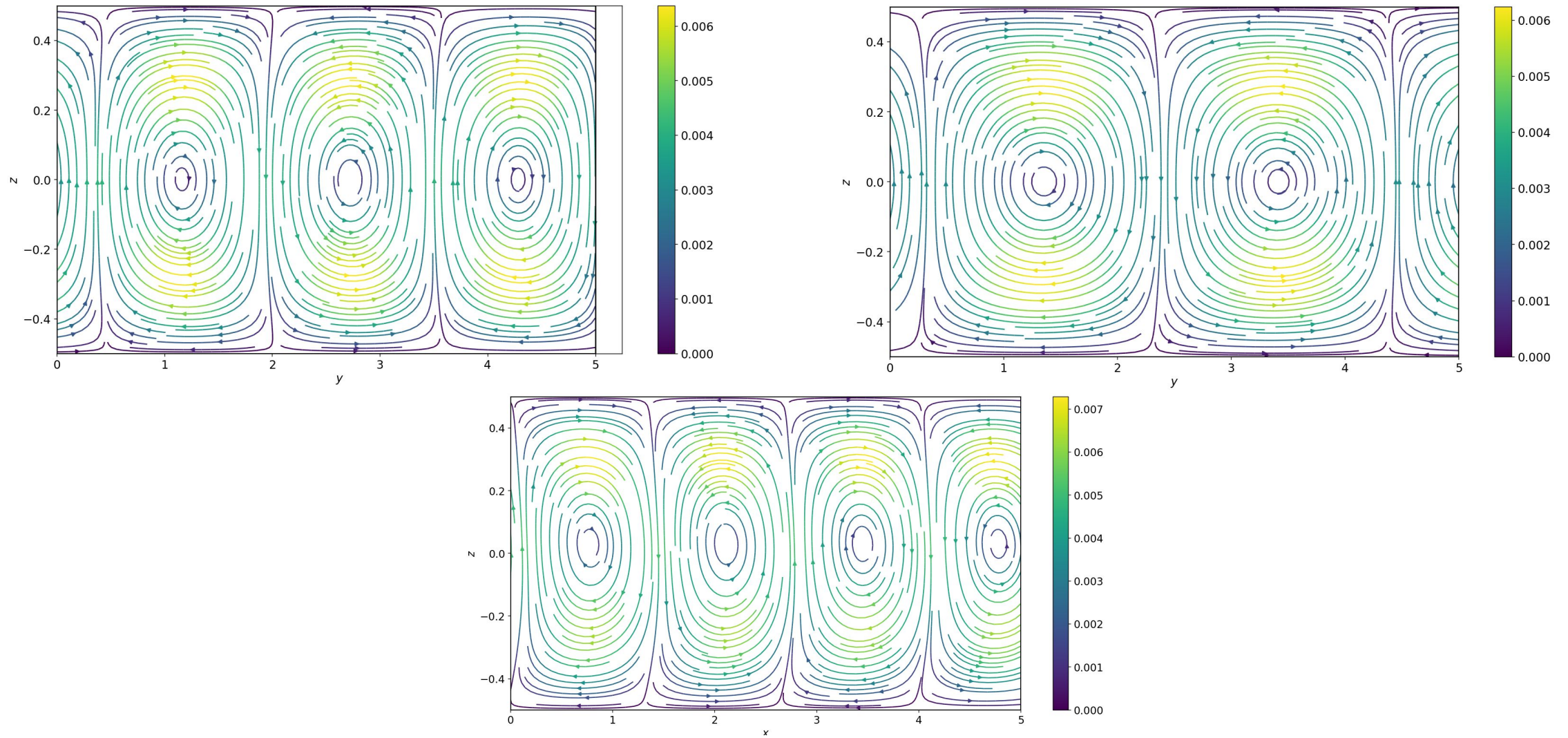
- Mode thermique



**Figure 7:** Représentation des seuils d'instabilité pour un fluide newtonien pour des parois conductrices, A. Medelfef et al., PHYSICAL REVIEW FLUIDS 2, 093902 (2017)



**Figure 8:** Seuils d'instabilité  $Gr_c$  en fonction du paramètre de carreau  $n$  dans le cas des parois conductrices



**Figure 9:** Représentation des lignes de courants pour  $Pr = 1$ , dans l'ordre suivant :  $n = 1$  et  $n = 0.6$  pour le mode longitudinal, et  $n = 0.6$  pour le mode transversal.

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) \left[ 1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}}$$

$n$	Indice de loi de puissance	$\dot{\gamma}$	Taux de cisaillement
$\eta_{\infty}$	Viscosité à très fort cisaillement	$\lambda$	Temps caractéristique
$\eta_0$	Viscosité au repos		

**Merci pour votre  
attention**