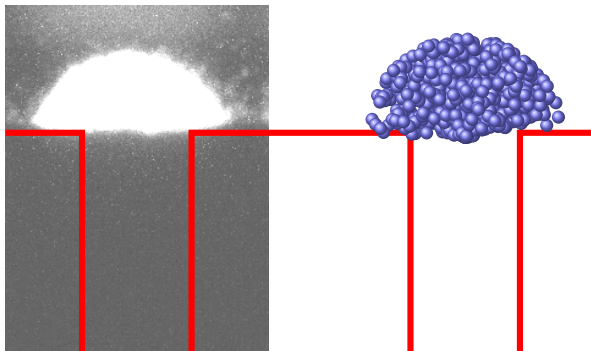


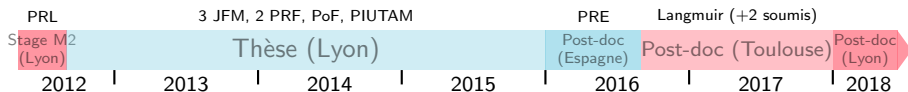
Olivier Liot



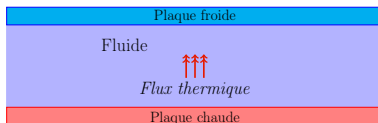
Dynamique des fluides, milieux hétérogènes, approches multi-échelles

Olivier Liot

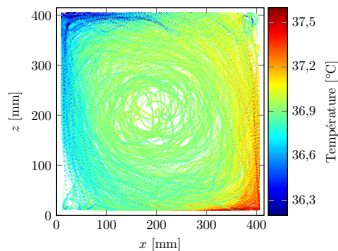
- > **Stage M2** : LPMCN - UMR 5586, Lyon (O. Bonhomme & A.-L. Bianco) – Nanofluidique dans des films de savon
- > **Thèse** : LPENSL - UMR 5672, Lyon (F. Chillá & M. Bourgoïn) – Convection thermique turbulente
- > **Post-doc 1** : Universidad de Navarra (J. Burguete) – Turbulence von Kármán
- > **Post-doc 2** : LAAS - UPR 8001, Toulouse (P. Joseph & J. Morris (chaire FERMaT)) – Colmatage et transport microfluidique
- > **Post-doc 3** : ILM - UMR 5306, Lyon (A.-L. Bianco) – Diodes nanofluidiques



Thèse : Approches innovantes en convection thermique turbulente (Lyon, 2012-2015)

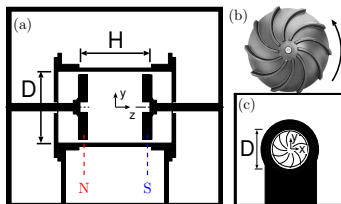


- > Interactions fluctuations turbulentes et écoulement grande échelle
 - Particule instrumentée
 - Suivi 3D de traceurs (**3D-PTV**)
- > Influence de rugosités contrôlées
 - Étude écoulement grande échelle (**PIV**)
 - Étude couches limites thermique et visqueuse

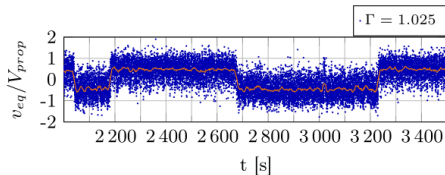


- > Inhomogénéité de l'écoulement \Rightarrow statistiques turbulentes biaisées
- > Couche limite turbulente \Rightarrow déstabilisation écoulement grande échelle

Post-doc 1 : Dynamiques lentes en turbulence von Kármán (Espagne, 2016)



- > Système axi-symétrique
- > Influence du rapport d'aspect sur les brisures de symétrie
 - Mesures ponctuelles de vitesse (LDV)
 - **Simulations** basées sur une équation de Langevin
- > Interactions entre fluctuations turbulentes à petite échelle et composantes de vitesse grande échelle



- > Environnement
 - **Dépollution**, cristallisation de sels
- > Industrie
 - **Filtration**, ressources enfouies
- > Biologie
 - **Maladies artérielles**
 - **Biocolmatage**



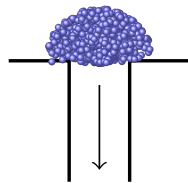
Membrane encrassée



health.clevelandclinic.org
Thrombose

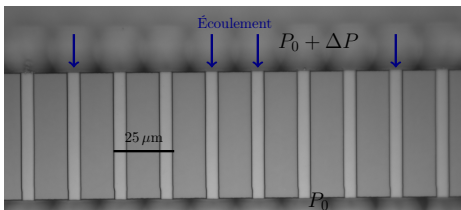
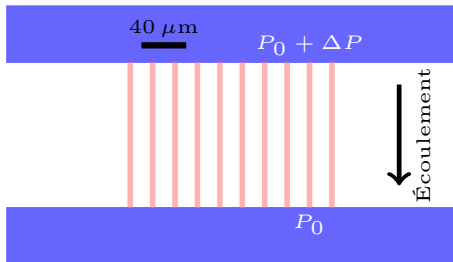
Dimensionnement d'un dispositif de filtration ?

- > Mécanismes microscopiques (diffusion brownienne, interactions de surface, ...)
- > Diversité des situations et topologies
- > Couplages multi-échelles : du colloïde à la membrane
- > Influence de la diffusion brownienne sur la dynamique du colmatage ?
- > Interactions entre pores au cours du processus de filtration ?



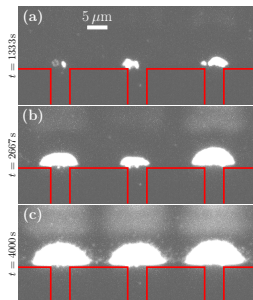
Bouchon schématisé

> Système microfluidique modèle



Microscopie champ large, grossissement 40×

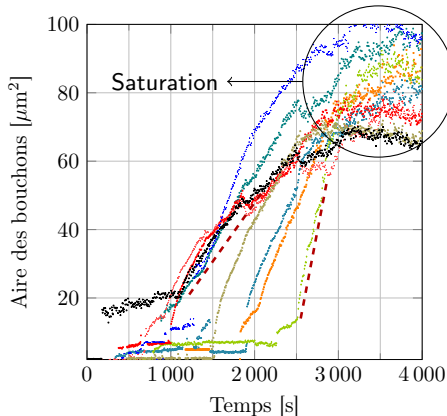
- > Fabrication **salle blanche**
- > Canaux silicium-verre, profondeur **sub-micronique**
- > Suspension **brownienne**, particules de polystyrène
- > **Chargées en surface**, \varnothing colloïdes : 250 nm
- > **Microscopie** de fluorescence
- > Grandes **statistiques**
- > **Développement de codes** de traitement et d'analyse d'images
- > Traitement **parallélisé** en centre de calcul

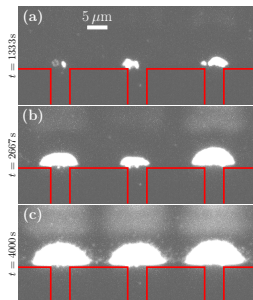


Microscopie de fluorescence, grossissement 40×

- > Saturation des bouchons en extension spatiale
- > Taux de croissance (τ) des bouchons relié à l'évolution globale du système (N)

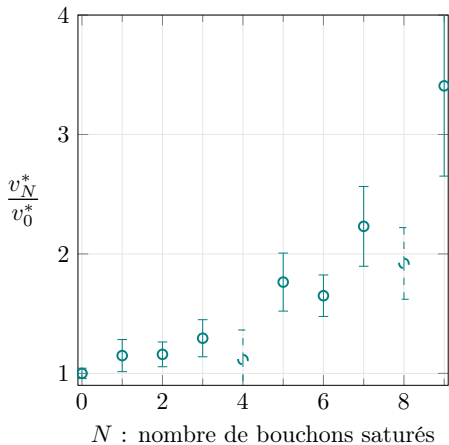
- > Amorçage du colmatage à différents instants selon les pores



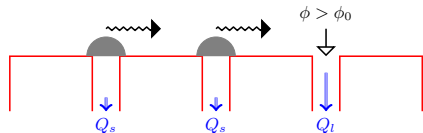


Microscopie de fluorescence, grossissement 40×

- > Saturation des bouchons en extension spatiale
- > Taux de croissance (τ) des bouchons relié à l'évolution globale du système (N)
- > v_0^* : τ moyen si 0 bouchon saturé
- > v_N^* : τ moyen si N bouchons saturés



- > Bouchons saturés perméables
- > Redistribution des colloïdes vers les pores libres

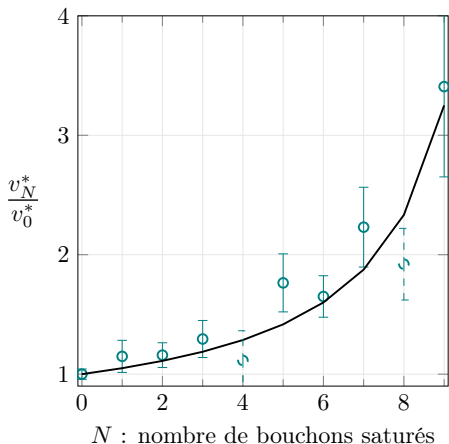


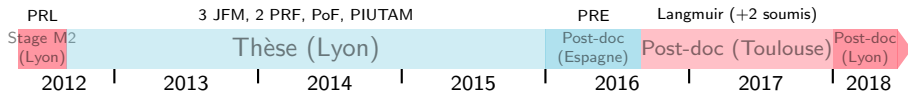
- > Aspect statistique : pour un N donné, configurations pores libres/saturés

$$\langle \phi \rangle_N = \phi_0 \left(1 + \frac{Q_s}{2Q_l} f(N) \right)$$

$$\Rightarrow \frac{v_N^*}{v_0^*} = 1 + \frac{Q_s}{2Q_l} f(N)$$

- > **Première** observation d'un tel phénomène
- > **Passage à une membrane 2D ?**





> Expérimentateur en mécanique des fluides

- Grandes et petites échelles
- Transport et transferts
- Liens micro-macro

> Production scientifique

- 10 articles dans des revues à comité de lecture + 2 soumis (PRL, JPCM)
- 14 communications internationales

Utilisation du point de vue non linéaire pour le transport en milieu poreux

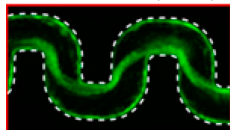
- > Couplages multi-échelles
- > Interactions entre pores

> Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (UMR 5502)

> Dépollution des sols : mauvais rendements

> **Quelle est l'influence du colmatage par des colloïdes, du biocolmatage, des biofilms?**

Bandelette de biofilm (streamer)



Drescher et al. (2013)

Comportements non linéaires d'un milieu poreux en cours de colmatage

- *Lien pore modèle - système réel*
- *Dynamique multi-échelles*
- *Réponse(s) non linéaire(s)*

Suspension brownienne : structure du bouchon

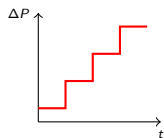
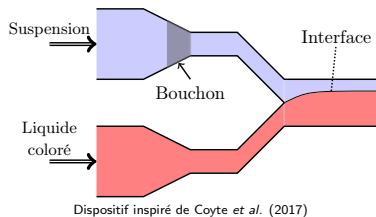
- *Négligé jusqu'ici*
- *Répandu dans l'industrie*

Colmatage par des particules déformables

- *Prémices du domaine*
- *Primordial en biologie*

Microstructure du bouchon?

- > À l'échelle du pore
- > Taille typique des objets $< 0.5 \mu\text{m}$
- > Paramètres de contrôle
 - Nombre de Péclet
 - Confinement
 - Forçage hydrodynamique
 - ...
- > Évolution temporelle de la perméabilité
- > Réarrangement et compactage du bouchon par forçage hydrodynamique
- > Étude du décolmatage (diffusion collective, structure en couches)

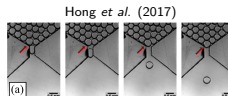


Qui pilote la dynamique du colmatage?

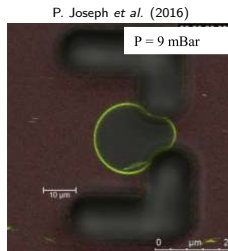
- > À l'échelle du pore
- > Taille typique des objets : $10\ \mu\text{m}$

- > Types d'objets étudiés
 - Globules rouges (objets déformables modèles)
 - Vésicules lipidiques
 - Microgels thermo-contrôlables
(charge de surface, taille et propriétés mécaniques modulables)

- > Mesures prévues
 - Perméabilité
 - Dynamique globale du bouchon
 - Déformation des objets
 - Structure 3D des bouchons (Tomo-RX)



Colmatage par des bulles

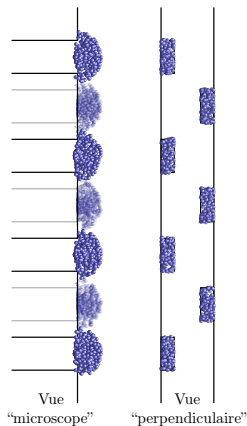


Vésicule lipidique sous forçage hydrodynamique dans un piège microfluidique

Interactions longue portée et réponse(s) non linéaire(s)?

- > Changement d'échelle : du modèle au système réel
- > Réseaux poreux 2D, 2,5D, **3D**
 - Lithographie
 - Lithographie à niveaux de gris
 - **Imprimante 3D**
- > Design astucieux, contrôle des "conditions initiales"
- > Vecteurs de non linéarités
 - Diffusion brownienne
 - Déformation des particules
 - Développement de **biofilms**
- > Visualisation des bouchons
- > Réponse hydrodynamique du système
- > Répartition colmatants en trois dimensions (Tomo-RX)
- > Échanges avec travaux numériques et/ou théoriques (DNS, pore network model, ...)

Exemple de design



- > Intégration dans le *Groupe d'Étude des Milieux Poreux* de l'**Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse** (UMR 5502)

Environnement

- > Milieux poreux : P. Duru/M. Prat
- > Globules rouge : S. Lorthois
- > Biofilms : Y. Davit
- > Fédération FERMaT (matériel, collaboration)
- > Microfabrication (IMFT & LAAS)
- > Équipements *BioPorousLab* (IMFT)
- > Plateforme calcul *CALMIP* (traitements)

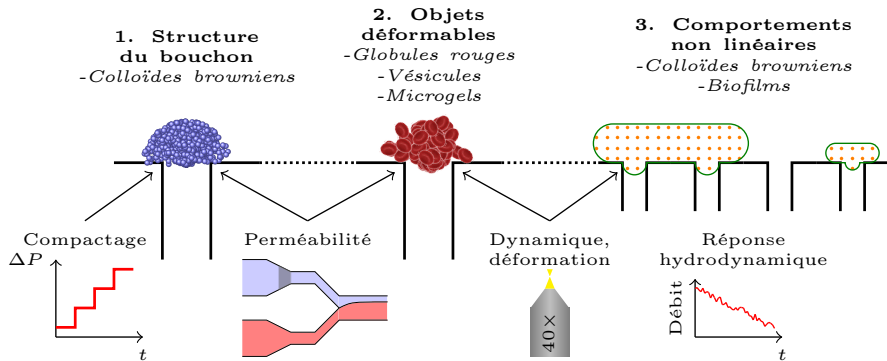
Collaborations

- > Colmatage, rhéologie : **J.F. Morris (USA)**
- > Microfluidique : P. Joseph (LAAS)
- > Numériques et théoriques : P. Bacchin & Y. Hallez (LGC)
- > Microgels : N. Sanson (SIMM)

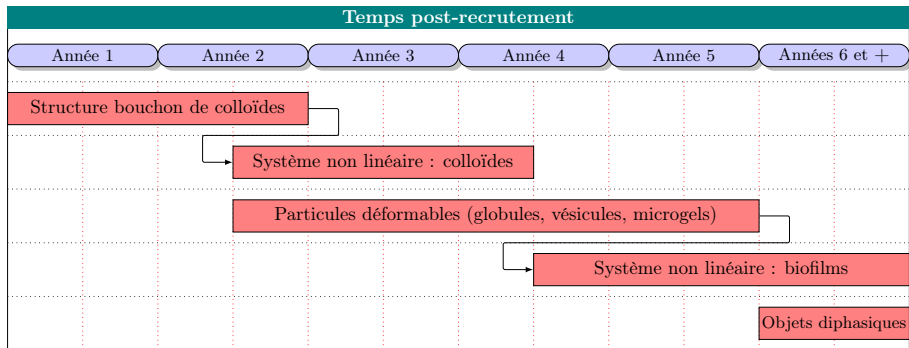


Salle *BioPorousLab*

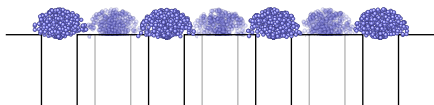
Colmatage en milieu poreux : de la suspension brownienne au biofilm



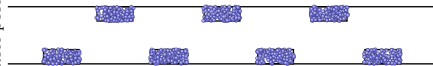
- > Passage du pore modèle au système réel
- > Nombreux impacts applicatifs potentiels (amélioration des systèmes de filtration, de dépollution)



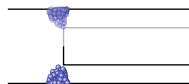
Vue "microscope"

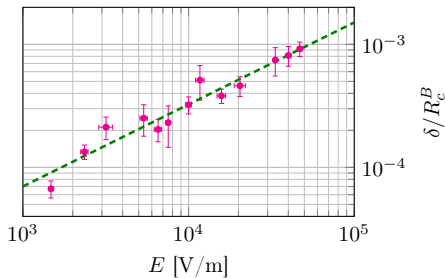
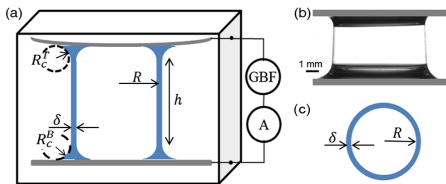


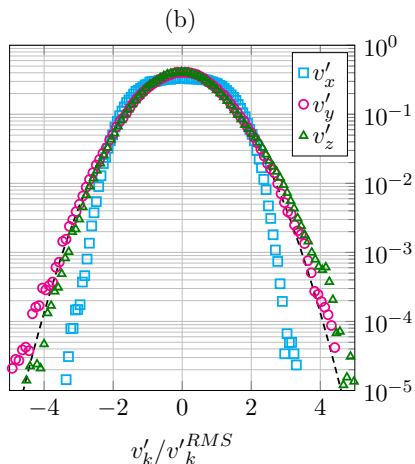
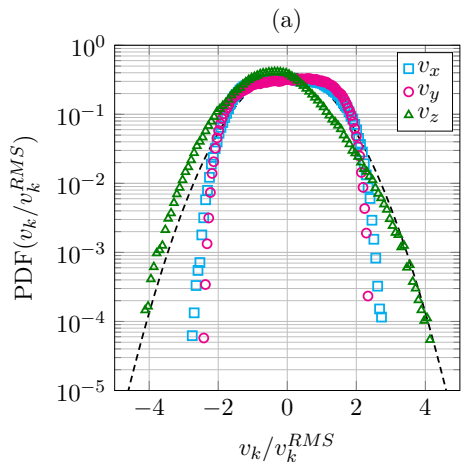
Vue
"entrée pores"

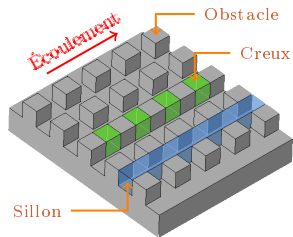
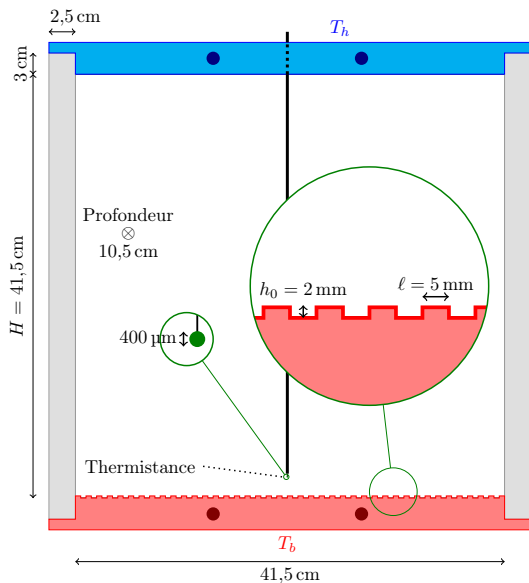


Vue
"côté"

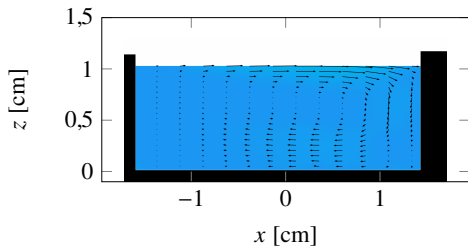
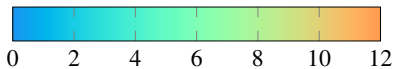








$|\vec{V}|$ [cm/s], avant la transition



$|\vec{V}|$ [cm/s], après la transition

