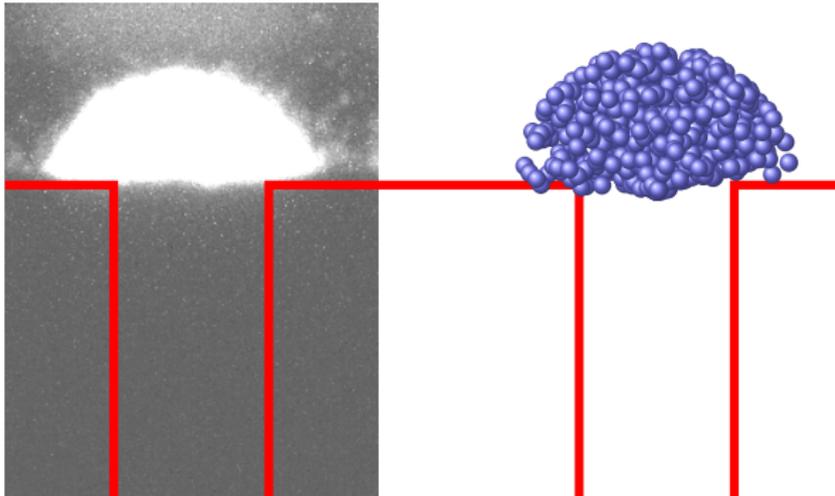


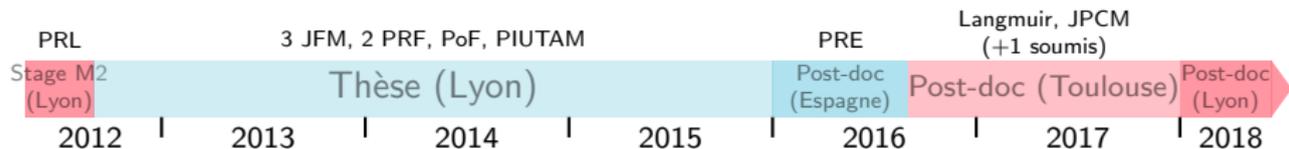
Olivier Liot



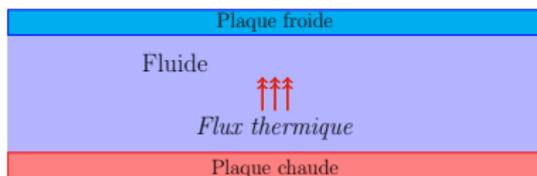
IMFT/ENSEEIH (MF2E)

## Olivier Liot

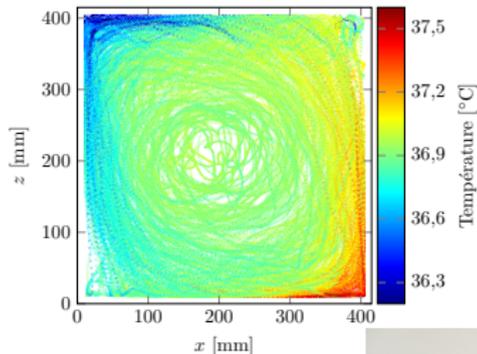
- > **Stage M2** : LPMCN - UMR 5586, Lyon (O. Bonhomme & A.-L. Biance) – Nanofluidique dans des films de savon
- > **Thèse** : LPENSL - UMR 5672, Lyon (F. Chillá & M. Bourgoïn) – Convection thermique turbulente
- > **Post-doc 1** : Universidad de Navarra (J. Burguete) – Turbulence von Kármán
- > **Post-doc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



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



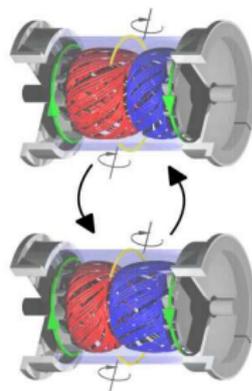
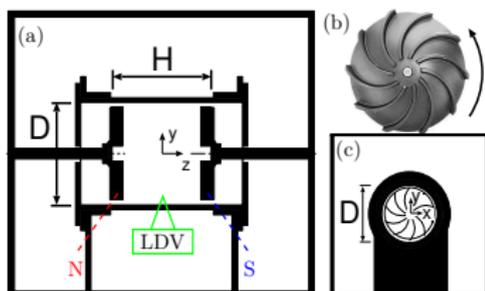
- > Interactions entre fluctuations turbulentes et écoulement grande échelle
  - Particule instrumentée
  - Suivi 3D de traceurs (**3D-PTV**)
- > Influence de rugosités contrôlées
  - Étude écoulement grande échelle (**PIV**)
  - Étude couches limites thermique et visqueuse



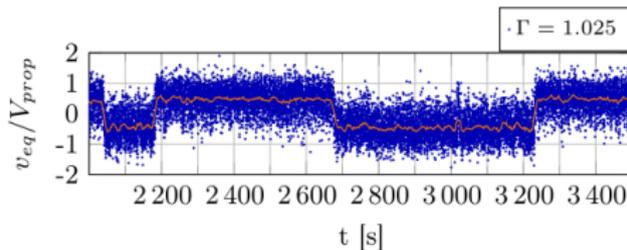
Particule ouverte

- > 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 de l'écoulement
  - 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

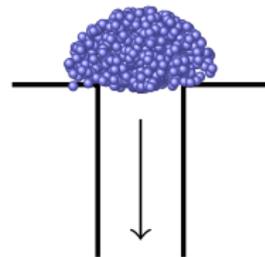


health.clevelandclinic.org

Thrombose

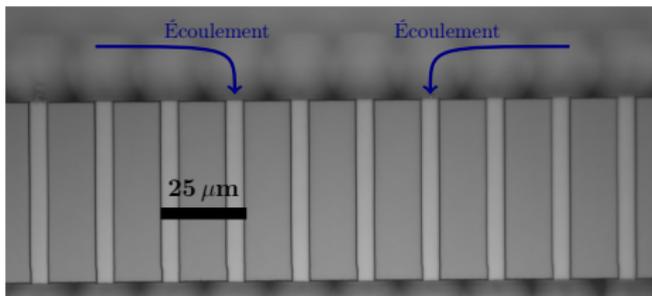
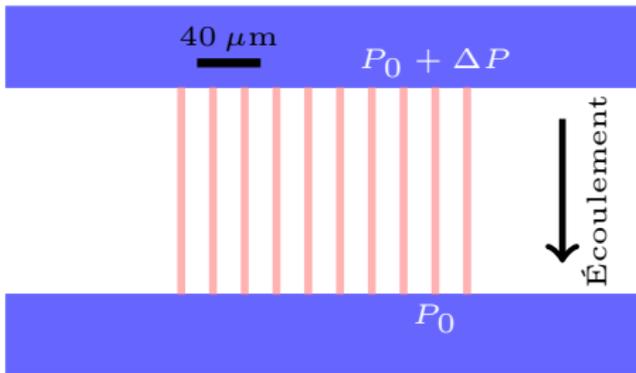
## Dimensionnement d'un dispositif de filtration ?

- > Mécanismes microscopiques (diffusion brownienne, interactions de surface, ...)
- > Diversité des situations et topologies
- > Couplages multi-échelles : du colloïde à la membrane
- > Hyp. 1 : la diffusion brownienne influence la dynamique du colmatage
- > Hyp. 2 : les pores interagissent pendant le processus de filtration



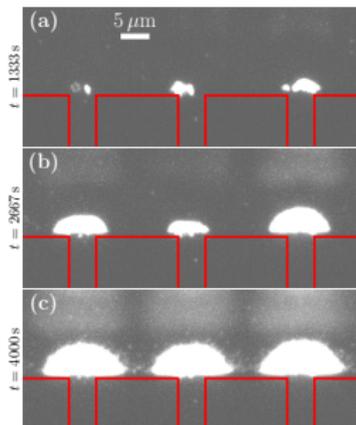
Bouchon schématisé

## > Système microfluidique modèle



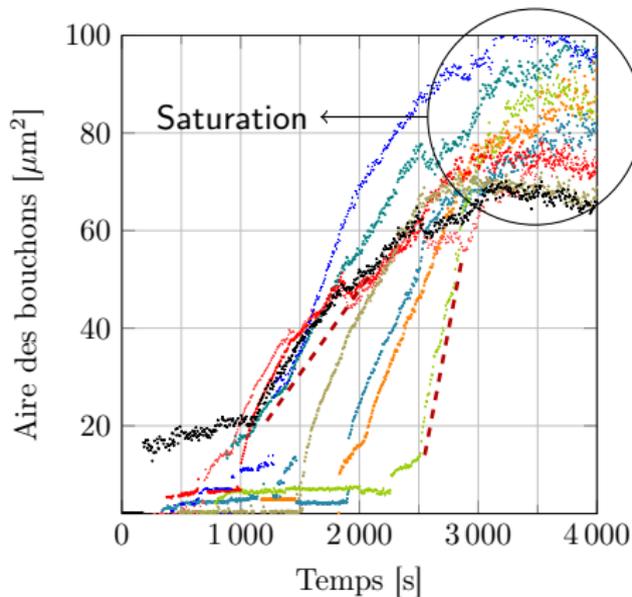
Microscopie champ large

- > 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

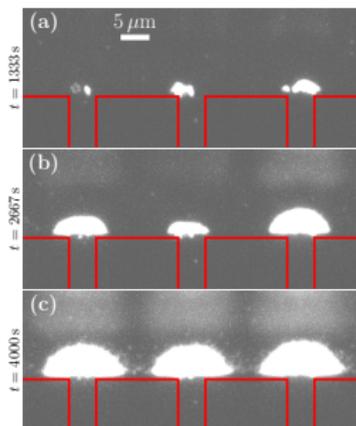


Microscopie de fluorescence, grossissement 40×

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

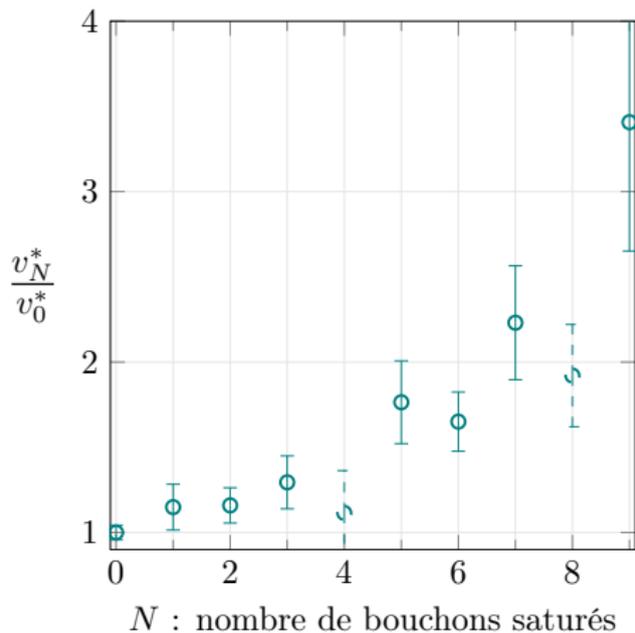


- > Amorçage du colmatage à différents instants selon les pores



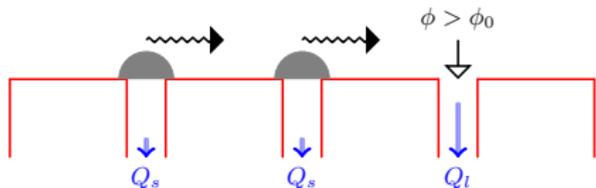
Microscopie de fluorescence, grossissement 40×

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



- > Amorçage du colmatage à différents instants selon les pores

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

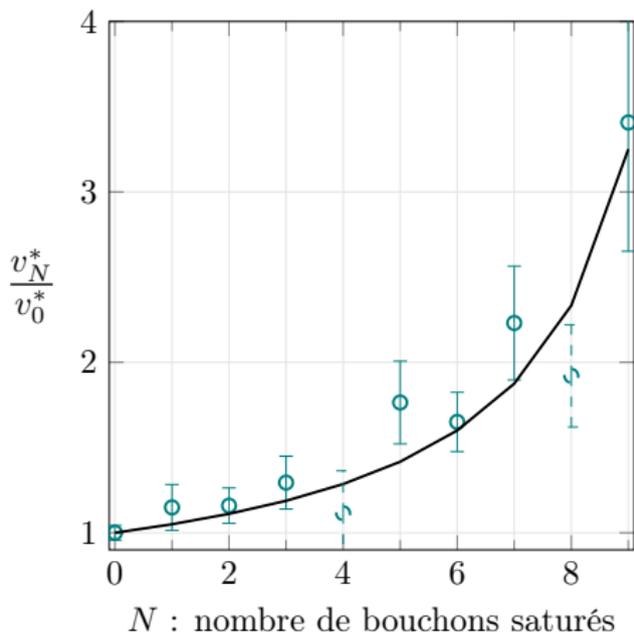


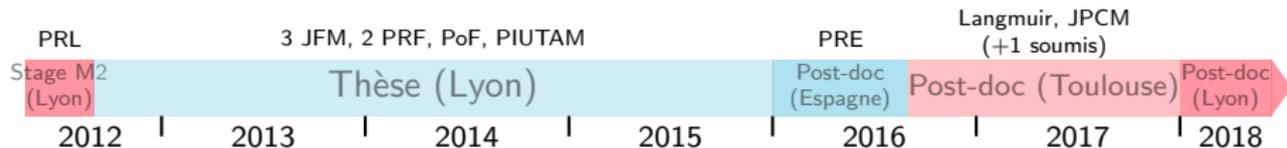
- > Aspect statistique : pour un  $N$  donné, configurations pores libres/saturés

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

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

- > **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

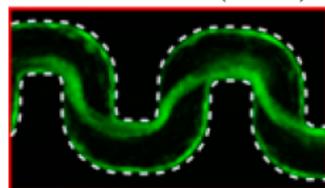
- 11 articles dans des revues à comité de lecture + 1 soumis (SciRep)
- 14 communications internationales

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

- > Couplages multi-échelles
- > Interactions entre pores

- > Groupe d'Étude des Milieux Poreux
- > 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

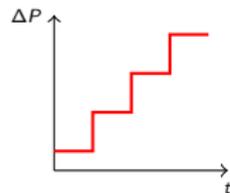
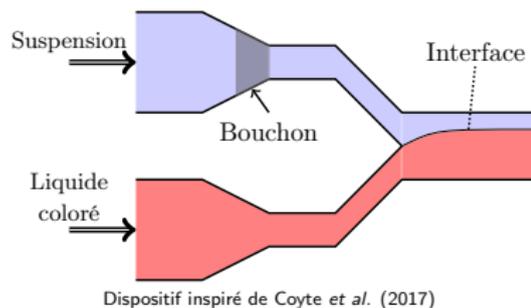
- *Négligé jusqu'ici*
- *Répandu dans les systèmes réels*

## Colmatage par des particules déformables

- *Domaine émergent*
- *Primordial en biologie*

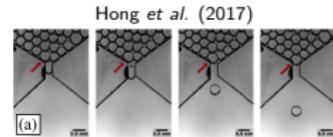
## Microstructure du bouchon?

- > 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)

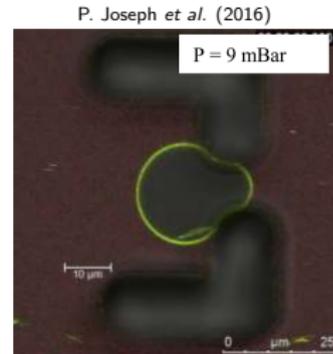


## Qui pilote la dynamique du colmatage?

- > 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

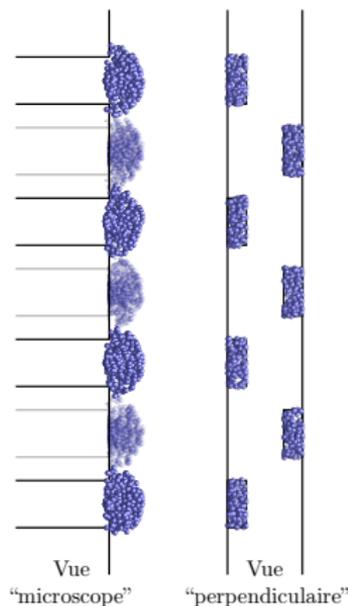


Vésicule lipidique sous forçage hydrodynamique dans un piège microfluidique

## 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*

## Environnement GEMP

- > Milieux poreux : P. Duru/M. Prat
- > Globules rouge : S. Lorthois
- > Biofilms : Y. Davit/M. Swider/M. Quintard

## Environnement IMFT

- > Microfabrication
- > Équipements *BioPorousLab*
- > Axes transversaux

## Environnement Toulouse

- > Fédération FERMaT (matériel, collaborations)
- > Plateforme calcul *CALMIP* (traitements)

## Collaborations

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



Salle *BioPorousLab*

## Enseignements

> Monitorat ENS de Lyon (dépt. Physique, 2013-2015) – 192h éq. TD

Projets expérimentaux	L3	TP	24 h
Traitement du signal	L3	TP	12 h
Mécanique des Fluides	M1	TD	24 h
Épreuves blanches de préparation	Agrégation	Évaluation	83 h
Préparation montages	Agrégation	TP	49 h

> Interrogations orales (2011-2013 & 2016-2017) – ~100h éq. TD

Lycée aux Lazaristes	PTSI	Physique-Chimie	~50 h
Lycée Bellevue	PSI	Physique	~50 h

## Encadrement

> 2 stagiaires de M1,  
3 stagiaires de M2  
(encadrement  
50 à 90%)

## Responsabilités collectives

- > Président et trésorier  
d'associations étudiantes (2010-2013)
- > Membre organisation *ETC14* (Lyon, 2013)
- > Co-organisateur école *Microfluidics17*

- > Formation d'ingénieur·e-s généralistes, spécialisé·e-s en hydraulique
- > Solide formation scientifique, associée à des mises en pratique

### Insertion dans les maquettes

- > Unités d'enseignement de base en mécanique des fluides
- > **Instabilités, turbulence**; Particules en écoulement; Transferts; **Microfluidique**
- > Master FEIP : différents cours de mécanique des fluides; Complex fluids and Interfacial Phenomena
- > Implication dans les Travaux Pratiques
- > Concertation avec l'équipe pédagogique

### Innovations pédagogiques

- > Interactions avec les étudiant·e-s
- > Utilisation systématique de questionnaires de positionnement *via* leur smartphone (QuizZoodle)



## Évolution des Travaux Pratiques

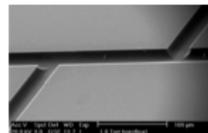
- > Mise en place de mini-projets expérimentaux
  - Répartis sur trois séances
  - Étude ouverte d'un phénomène physique
  - Pédagogie de projets
  - Préparation aux TP Longue Durée



Crédits : CK, Kiran Raj (Youtube)

## Microfabrication

- > Enrichir les cours microfluidique et microprocédés
- > Utilisation des ressources de l'AIME
- > Demi-journée(s) dédiée(s) à la microfabrication
  - Photolithographie
  - Gravure (sèche ou humide)
  - Caractérisation



Crédits : LAAS

- > Mise en place en **deuxième année**

## La métrologie dans l'industrie

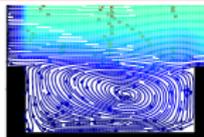
- > Discussion croisée avec un-e industriel-le
- > Visite de la soufflerie du Fauga



Crédits : ONERA

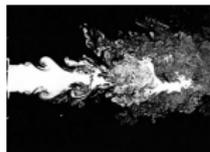
## Les méthodes métrologiques : avantages et limites

- > Short Private Online Course, questionnaire de positionnement
- > Amphithéâtre inversé



## Imagerie et traitement en mécanique des fluides

- > Travaux pratiques (labo et informatique)
- > Subtilités de l'optique et des détecteurs
- > Traitement informatique des images



Crédits : Columbia

- > **Restitution** : sur ordinateur, jeu de donnée de recherche

## Implications dans l'équipe pédagogique

- > Suivi des étudiant·e·s
  - Tutorat
  - Stages (choix, suivi)
  - Formation par apprentissage
- > Prise en charge rapide de responsabilités
  - Expérience de gestion (projets, budget, équipe)



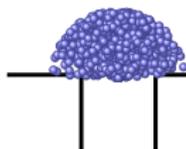
## Rayonnement du Master FEIP

- > Mise en place d'un protocole d'échange avec le City College of New York
  - Université publique
  - Contacts avec Jeffrey F. Morris
- > Mise en place de partenariats
  - Universidad de Navarra (Espagne)
  - Technische Universität Ilmenau (Allemagne)

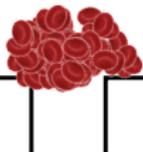


## Colmatage en milieu poreux : de la suspension brownienne au biofilm

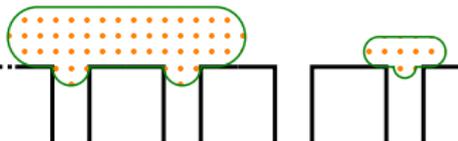
- 1. Structure du bouchon**  
- Colloïdes browniens



- 2. Objets déformables**  
- Globules rouges  
- Vésicules  
- Microgels



- 3. Comportements non-linéaires**  
- Colloïdes browniens  
- Biofilms



- 1. Intégration**  
- Poreux → Turbulence  
- QCM positionnement



- 2. Activités pratiques**  
- Mini-projets exp.  
- Microfabrication



- 3. Métrologie**  
- Lien avec industrie  
- SPOC, amphi inversé

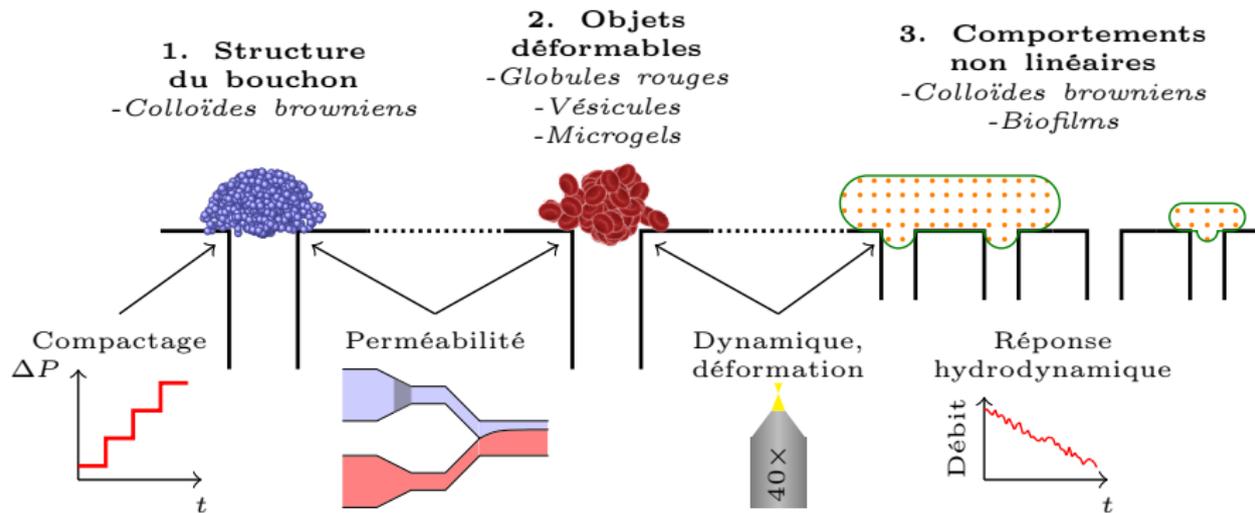


- 4. Animation des formations**  
- Suivi, responsabilités  
- Rayonnement FEIP

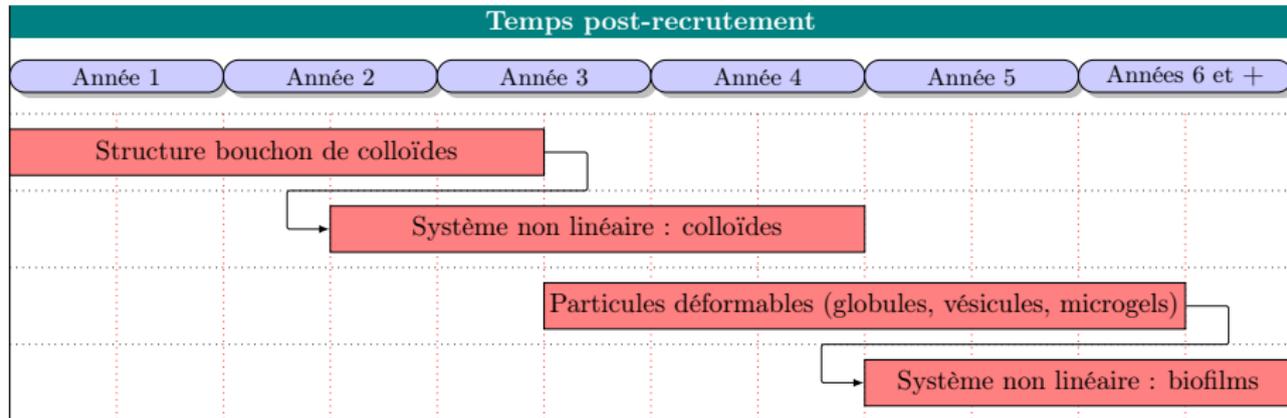


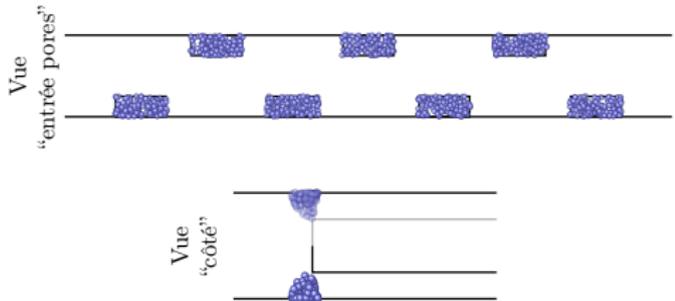
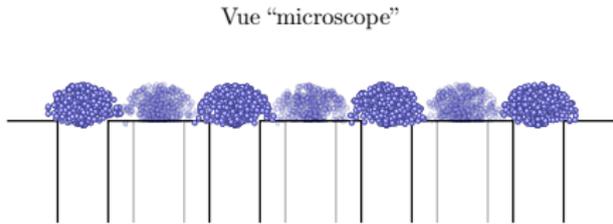
INP ENSEEIHT

## Colmatage en milieu poreux : de la suspension brownienne au biofilm

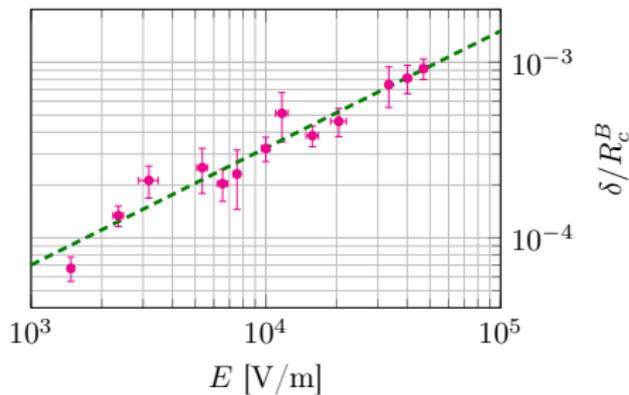
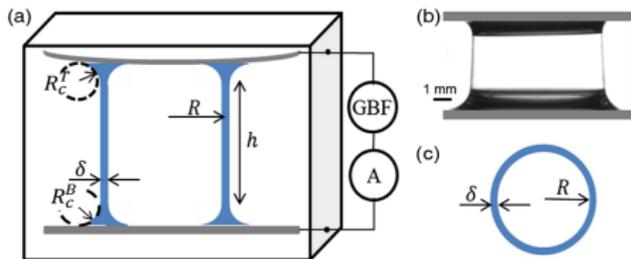


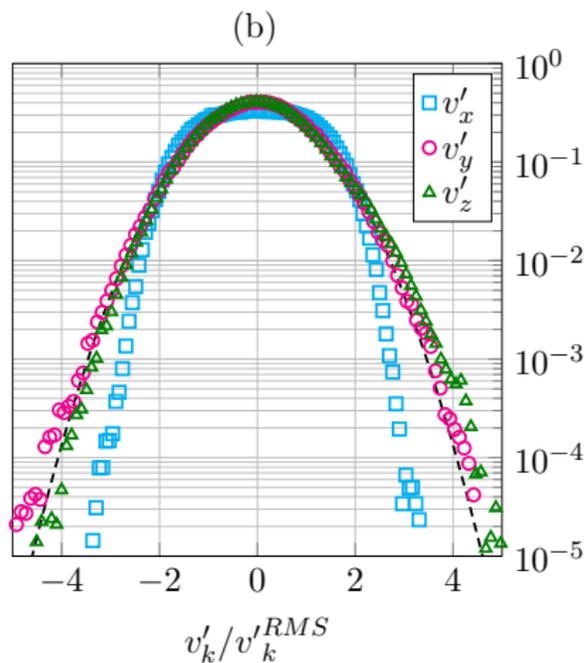
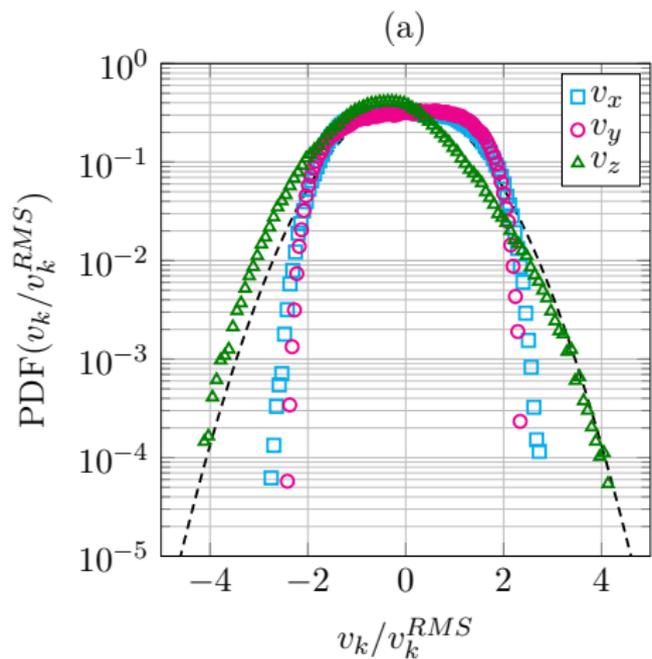
- > Passage du pore modèle au système réel
- > Nombreux impacts applicatifs potentiels (amélioration des systèmes de filtration, de dépollution)





# Électro-osmose dans un film de savon





# Cellule rugueuse-lisse

