

# **Développement de microcapteurs pour la caractérisation de matériaux complexes.**

Florence Razan

# Plan

- Problématique
- Les verrous scientifiques d'une stratégie de recherche innovante
- L'horizon : les nouveaux matériaux





# Matière molle

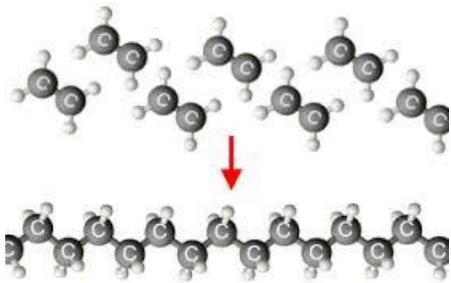
- Etats classiques de la matière : solide, liquide, gaz
- Et des états intermédiaires comme les plasmas, la matière molle....
- Objets constituant la matière molle

Solides

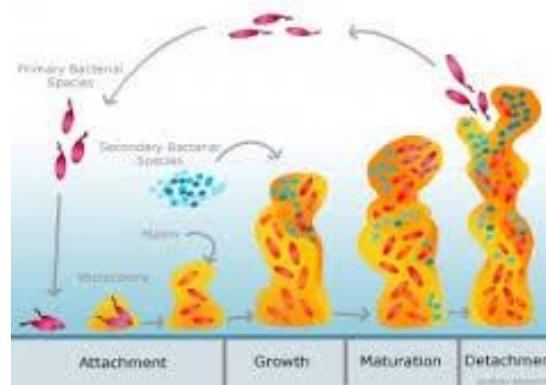
Matière molle

Liquides

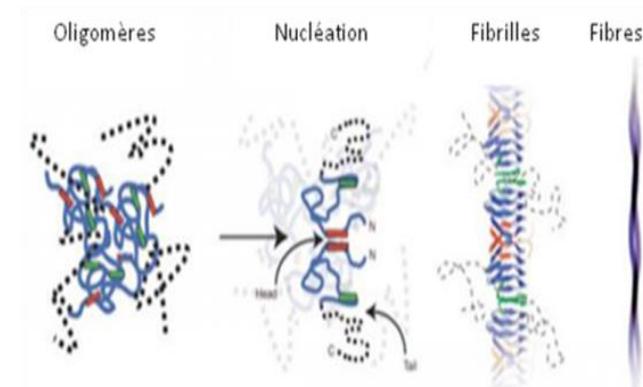
Molécules chimiques



Bactéries



Protéines

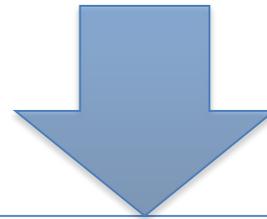


- Assemblage d'objets = polymérisation

# Caractériser la matière molle



- Objets microscopiques différents
- Environnements variables
- Réactions de polymérisation multiples
- Propriétés macroscopiques hétérogènes

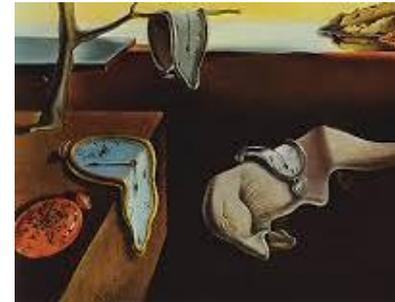


Nécessité de caractériser la matière molle



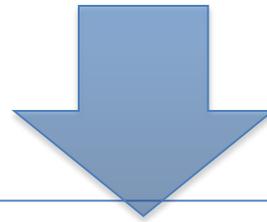
# Matière molle : comment la caractériser expérimentalement ?

- Caractérisation morphologique : microscopie électronique MEB, microscopie champ proche AFM ou par rayonnements (rayon X, neutrons)
- Autre caractérisation possible : étude de la déformation et de l'écoulement d'un fluide sous l'effet d'une contrainte = rhéologie



# Microcapteurs

- Rhéologie classique : forte amplitude, basse fréquence
- Rhéologie petite amplitude, haute fréquence adaptée aux matériaux viscoélastiques, entre liquide et solide
- Quel outil ?



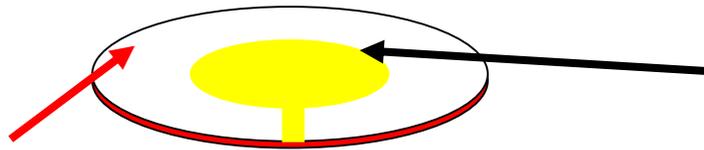
Développement de microcapteurs électromécaniques  
pour caractériser la matière molle

# Présentation du capteur et principe

- Le capteur : quartz piézoélectrique coupe AT

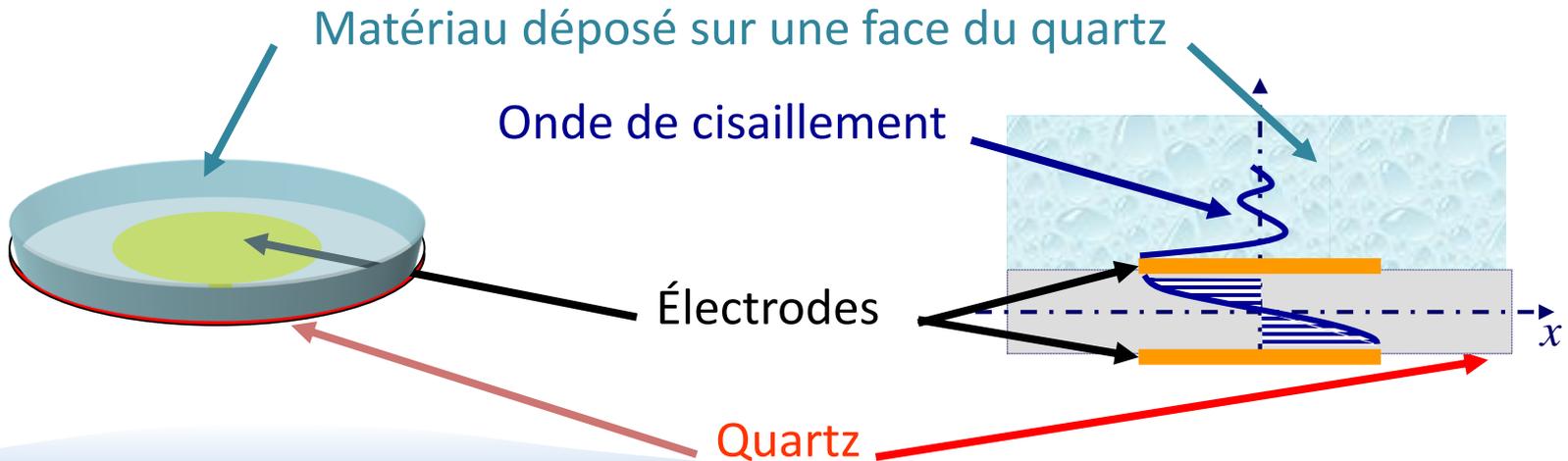
- Quartz

- Diamètre : 14 mm
- Épaisseur  $h$  : 270  $\mu\text{m}$



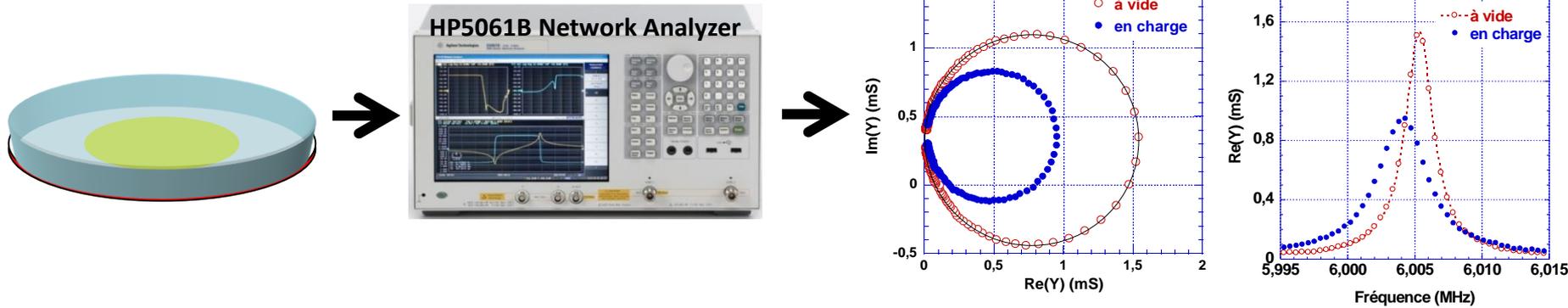
- Électrode Ti/Au

- Diamètre : 5 mm
- Épaisseur : 0,5  $\mu\text{m}$

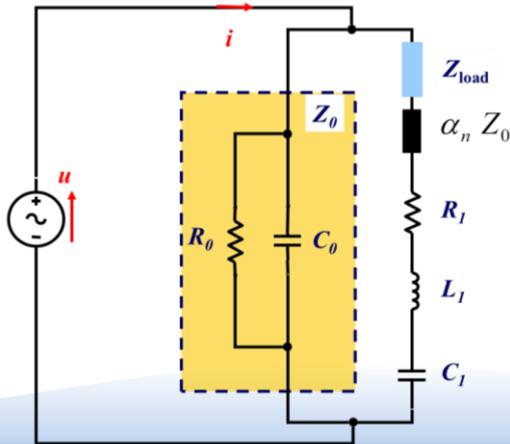


# Principe de la mesure

- Mesure de l'impédance du quartz



- Modélisation du quartz permet de remonter à  $G'$  et  $G''$



$$\begin{cases} G' \cong \left( \frac{1}{C_0 \omega} \frac{(2n+1)\pi}{4K_0^2 Z_q} \right) \left( \frac{R_c^2 - X_c^2}{2\rho_{matériau}} \right) \\ G'' \cong \left( \frac{1}{C_0 \omega} \frac{(2n+1)\pi}{4K_0^2 Z_q} \right) \left( \frac{R_c X_c}{\rho_{matériau}} \right) \end{cases}$$



# Démarche pour le développement de capteurs innovants

- Modélisation de la matière molle
- Modélisation de l'interaction onde-matière
- Conception du capteur (design)
- Fabrication du capteur (microtechnologies)
- Caractérisation expérimentale de la propagation des ondes
- Développement de l'instrumentation
- Tests

# Plan

- Problématique
- Les verrous scientifiques d'une stratégie de recherche innovante
- L'horizon



# Verrous scientifiques pour des capteurs innovants



- ① Modélisation de la matière molle
- ② Miniaturisation
- ③ Micro-fabrication
- ④ Suivi temps réel

# Modélisation de la matière molle

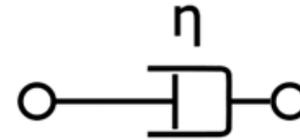
- Lien entre contrainte et déformation pour un **solide** :  
loi de Hooke

$$s_{ij} = G_{ijkl} \cdot g_{ij}$$



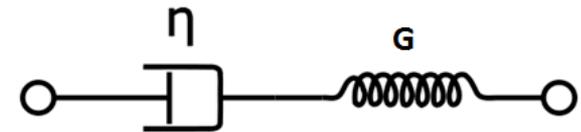
- Lien entre contrainte et déformation pour un **fluide** :  
loi de Newton

$$s_{ij} = h_{ijkl} \frac{dg_{kl}}{dt}$$



- Lien entre contrainte et déformation pour un **matériau viscoélastique** isotrope

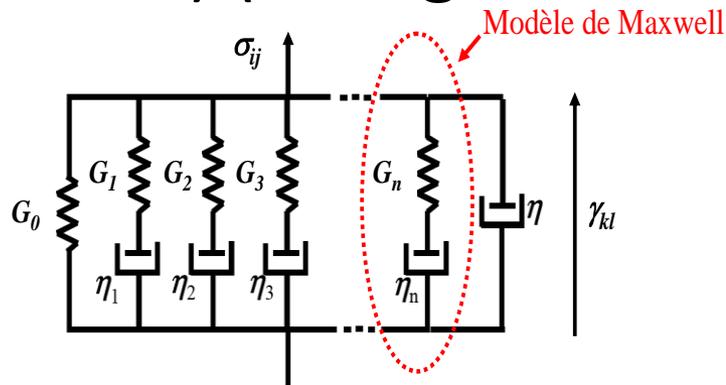
$$\sigma_{ij} + \sum A_m \frac{\partial^m \sigma_{ij}}{\partial t^m} = G_0 \gamma_{kl} + \sum B_n \frac{\partial^n \gamma_{kl}}{\partial t^n}$$



$G_0$  est la rigidité statique,  $t$  le temps,  $\sigma_{ij}$  et  $\gamma_{kl}$  représentent les tenseurs des contraintes et des déformations du second ordre

# Modélisation de la matière molle

- Liens temporels entre contrainte et déformation : modèle de Maxwell (liquide) et Kelvin-Voigt (solides) (avec  $g$  module de relaxation)



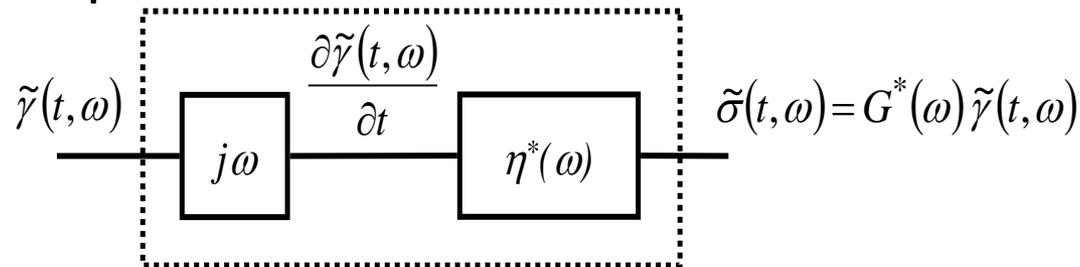
$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t g(t-t') \frac{\partial \gamma(t')}{\partial t'} dt'$$

- Modélisation du matériau dans le domaine temporel

$$\frac{\partial \gamma(t)}{\partial t} \rightarrow \boxed{g(t)} \rightarrow \sigma(t) = g(t) \otimes \frac{\partial \gamma(t)}{\partial t}$$

# Modélisation de la matière molle

- Modélisation du matériau dans le domaine dans le domaine fréquentiel



$G^*(\omega)$



Possibilité de caractériser un matériau viscoélastique par la mesure de son élasticité  $G'$  et sa viscosité  $G''$  :  $G^* = G' + j G''$ ,

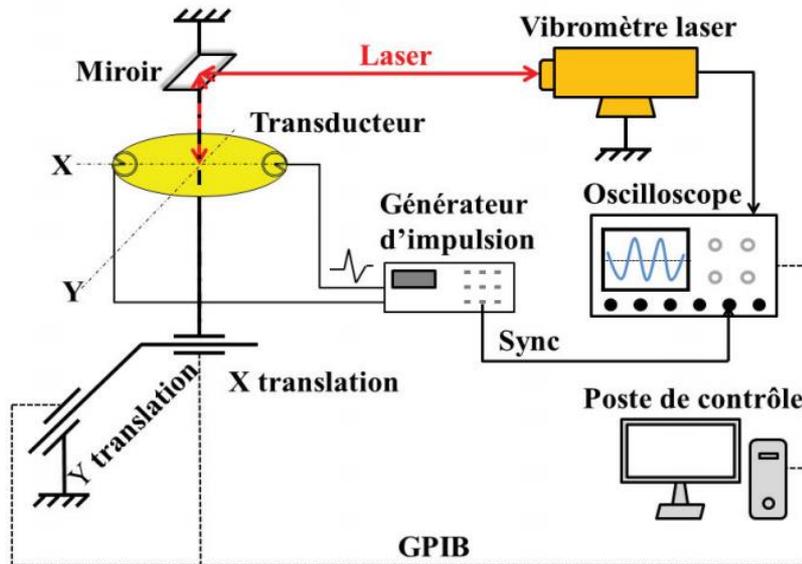
# Microtechnologies

- Process issus de la micro-électronique



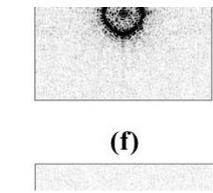
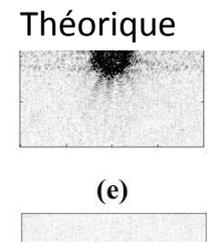
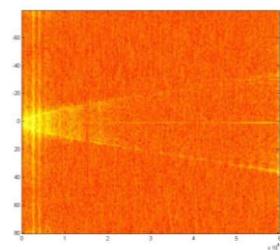
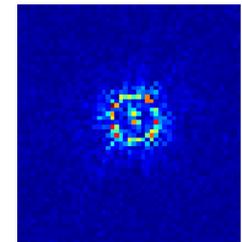
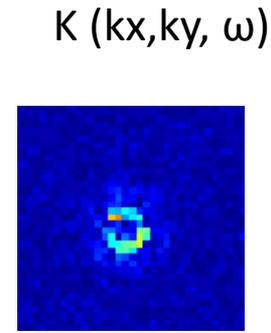
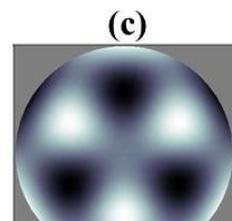
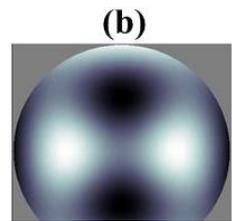
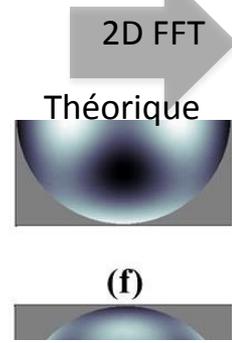
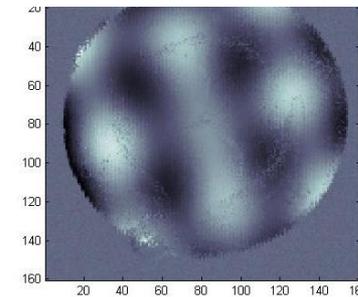
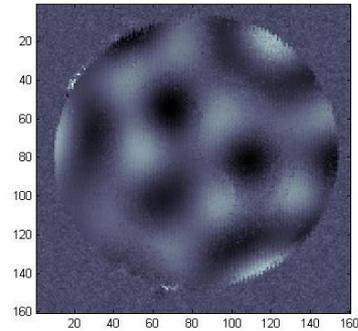
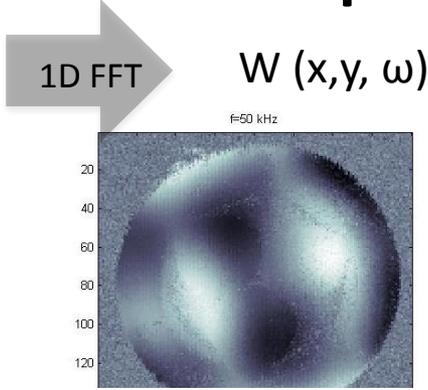
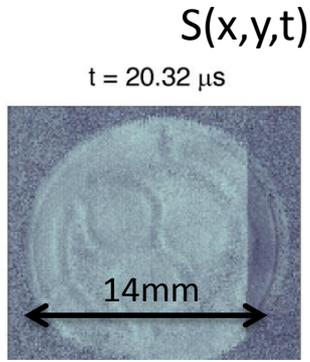
# Caractérisation de la propagation des ondes

- Scan de la surface du capteur avec un banc de vibrométrie laser



Thèse de Pierre Didier,  
Collaboration avec IGDR, MMDN, LBPA

# Caractérisation de la propagation des ondes

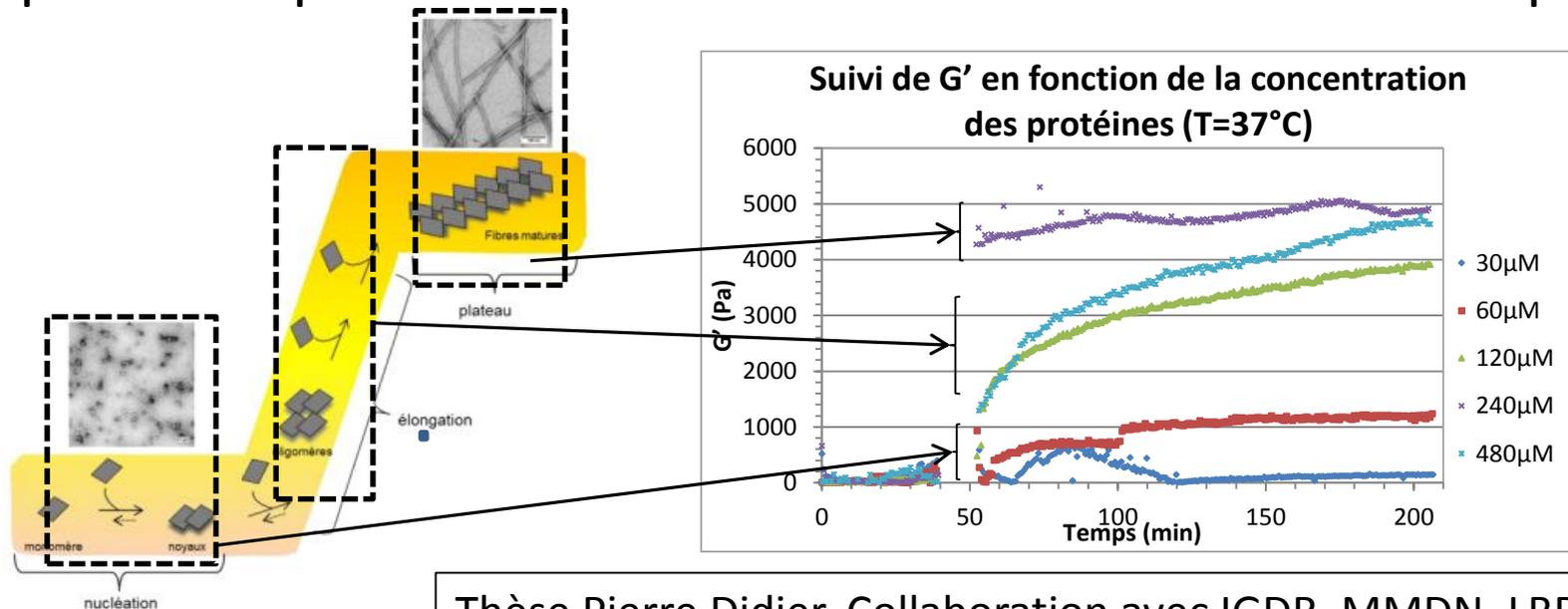


Courbe de dispersion mettant en évidence le mode de Lamb A0

Thèse de Pierre Didier  
 Collaboration avec IGDR (Rennes),  
 MMDN (Monpellier), LBPA (Cachan)

# Suivi temps réel de la polymérisation de protéines

- Assemblages de protéines -> maladie d'Alzheimer
- Mesure en continu des propriétés viscoélastiques de protéines pour des solutions étalons dans un milieu simple



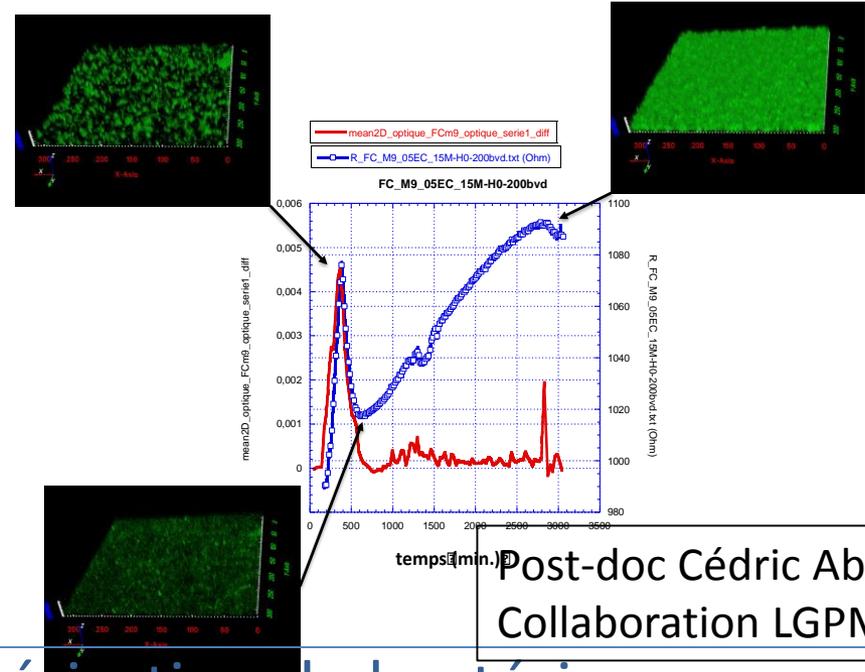
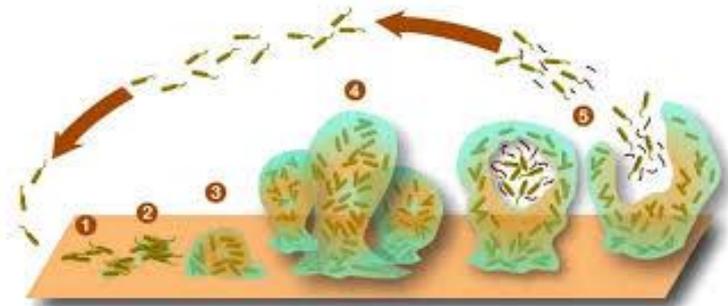
Thèse Pierre Didier, Collaboration avec IGDR, MMDN, LBPA

- Suivi de la polymérisation de la protéine tau dans un milieu simple
- Détermination de la conformation de la protéine dans un milieu simple

# Suivi temps réel de la polymérisation de bactéries



- Mesure des propriétés viscoélastiques des assemblages de colonies de bactéries



Post-doc Cédric Absalon  
Collaboration LGPM

- Suivi de la polymérisation de bactéries
- Compréhension de la formation des biofilms

# Plan

- Problématique
- Les verrous scientifiques d'une stratégie de recherche innovante
- L'horizon



# Nouveaux matériaux

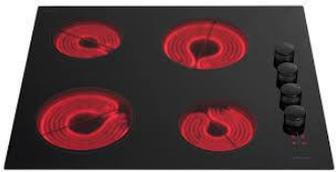
- Matériaux implantables : Poly(acétate de vinyle) PVA
- Les tissus mous du vivant ont une structure fibreuse anisotrope
- Modélisation et synthèse du matériau par TIMAC de Grenoble
- Les propriétés mécaniques et viscoélastiques doivent être connues



Thèse d'Amaury Dalla Monta  
Collaboration avec

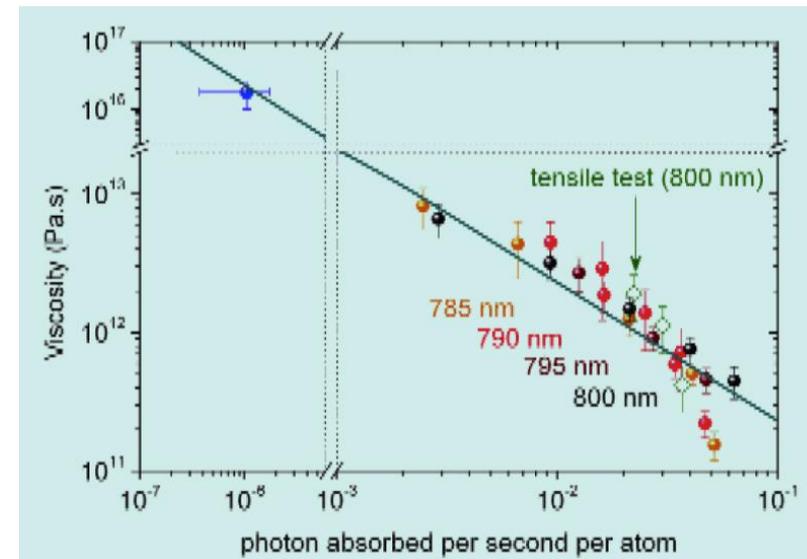
- l'IPR de Rennes
- le TIMC-IMAG de Grenoble

- Mise au point d'un outil de caractérisation de la polymérisation pour maîtriser de l'état final du matériau



# Nouveaux matériaux

- Maitriser la synthèse des verres de chalcogénures
- Compréhension et modélisation des phénomènes de « photoexpansion géante » (augmentation très importante du volume sous irradiation)



Thèse Marion Specht  
Collaboration avec l'IPR

- Intégration de capteurs dans les chalcogénures

# Nouveaux matériaux « intelligents »

- Intégration de capteurs dans des nouveaux matériaux
- Excitation et réception sans contact
- Suivi en ligne



- Tout reste à faire

# Pluridisciplinarité

## Electrochimie

Thèse Damien Quinton  
Thèse Isabelle Mazerie  
Collaboration UTCBS et ISCR

## Biologie

Thèse Pierre Didier,  
Collaboration avec IGDR,  
MMDN, LBPA

## Instrumentation

Collaboration avec équipes  
de SATIE

## Métallurgie

Thèse CIFRE de Jennifer Dupuis  
Entreprise PONTOS  
Collaboration avec Laboratoire de  
Chimie-Métallurgie

## Mécanique, verres et élastomères

Thèse de Thierry Rey  
Thèse d'Amaury Dalla Monta  
Thèse de Marion Specht  
Collaboration avec l'IPR de Rennes

## Semi-conducteurs

Thèse Abdelghani Kherat  
Collaboration avec l'IETR

Régional, national, international

20/11/2015

24



**Je vous remercie pour votre attention**