

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

Martinus Werts

Florence Razan

# Plan

- Introduction
- Problématique
- Applications



# Introduction

- Pourquoi caractérise-t-on un matériau ?
  - Pour connaître ses propriétés



# Introduction

- Comment caractérise-t-on un matériau ?
  - Essais mécaniques
  - Analyses physico-chimiques
  - Interaction rayonnement-matière



# Interaction rayonnement-matériau

- En envoyant des ondes lumineuses sur le matériau
- En lui envoyant des ondes acoustiques
- Laboratoire



# SATiE

# Problématique : matériaux complexes

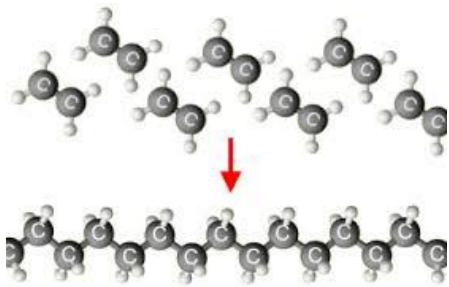
- Etats classiques de la matière : solide, liquide, gaz
- Et des états intermédiaires comme les plasmas, la matière molle....
- Objets constituant la matière molle

Solides

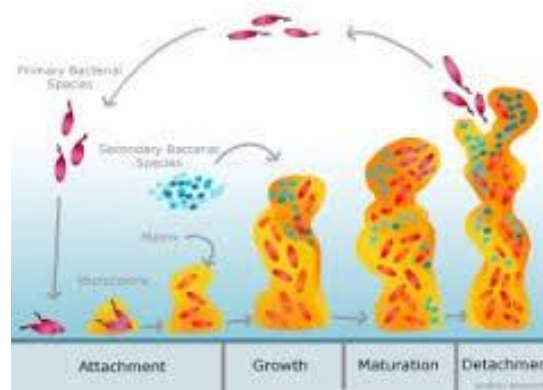
Matière molle

Liquides

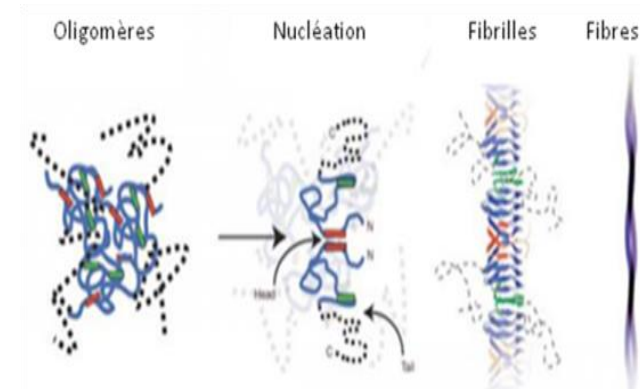
Molécules chimiques



Bactéries



Protéines



- Assemblage d'objets = polymérisation



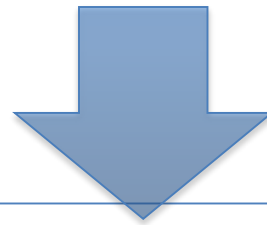
# Matière molle : comment la caractériser expérimentalement ?

- Propriétés morphologique : microscopie électronique MEB, microscopie champ proche AFM ou par rayonnements (rayon X, neutrons)
- Propriétés mécaniques : 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

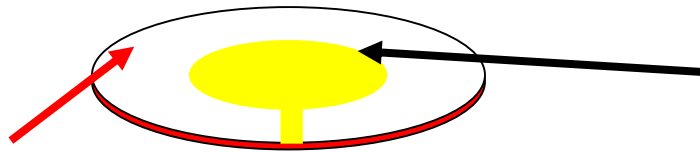


# Présentation du capteur

- 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  $\mu\text{m}$

- Fréquence fondamentale : 5 MHz

$$f_0 = \frac{N}{2h} \sqrt{\frac{\mu_q}{\rho_q}}$$

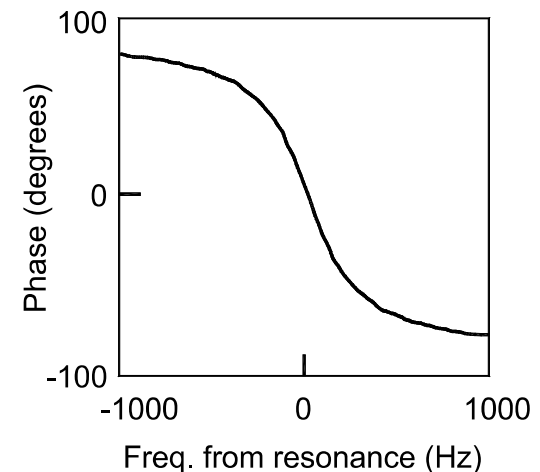
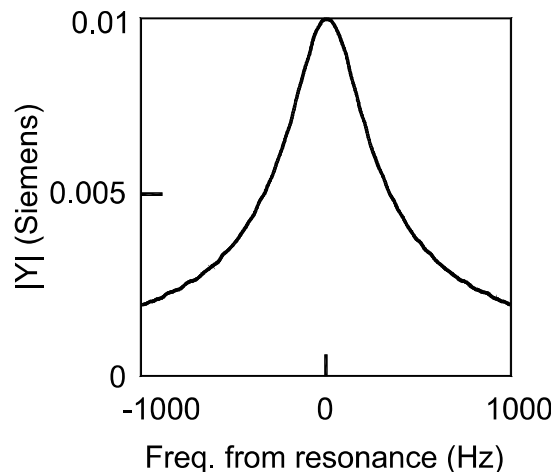
$h$  : épaisseur de la plaque (m)

$\lambda_0$  : longueur d'onde (m)

$N$  : nombre entier naturel

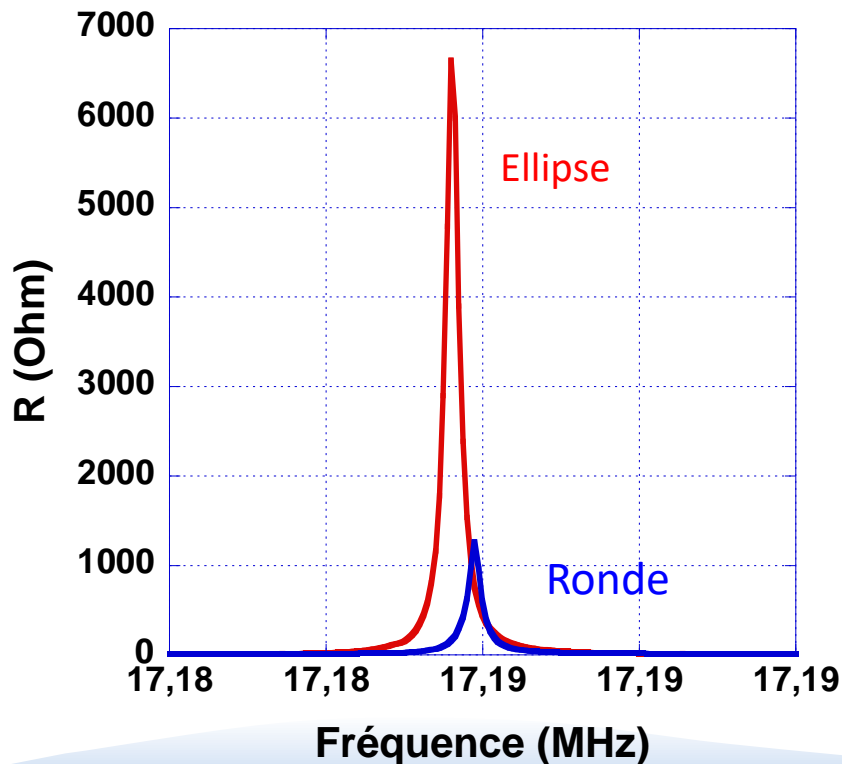
$\mu_q$  : module de rigidité transverse du quartz ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ )

$\rho_q$  : masse volumique du quartz ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )



# Fréquence de résonance

- dépend des caractéristiques du quartz et des électrodes (nombre, taille, forme)

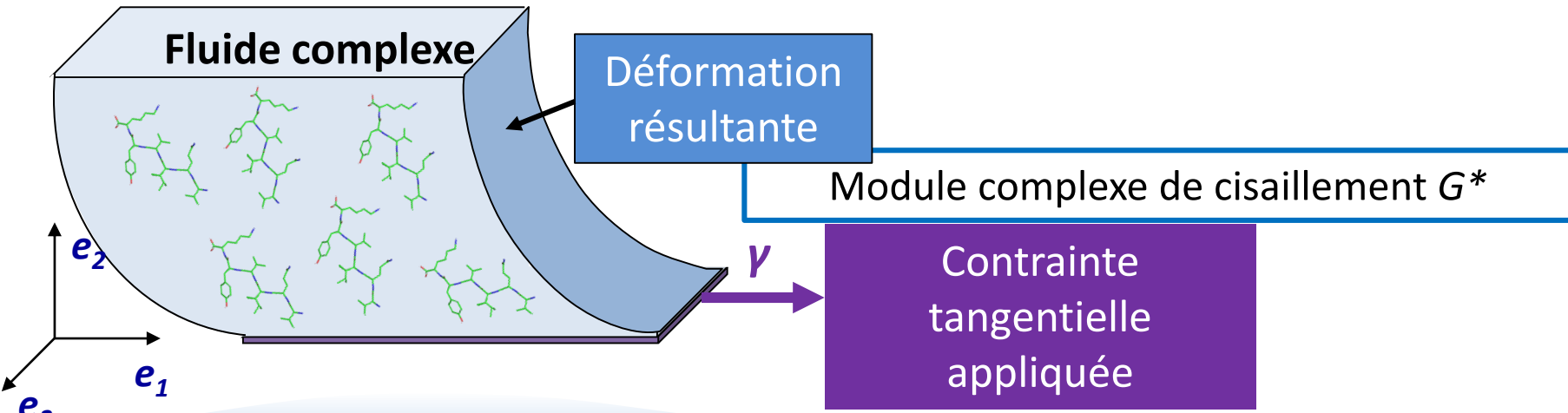
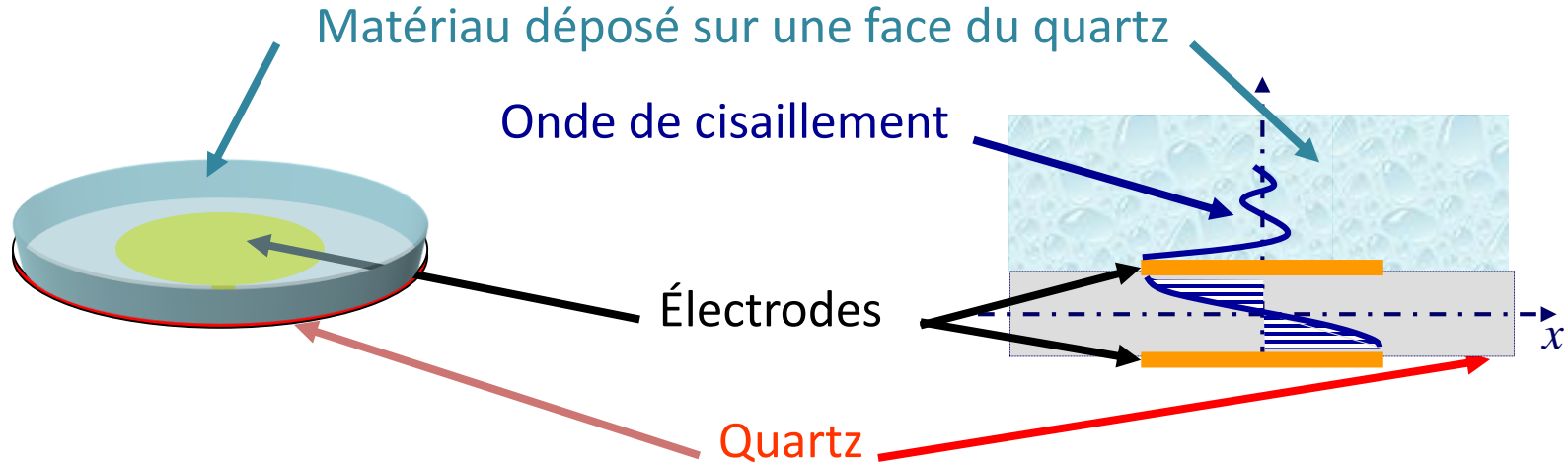


Stage Alyssia Dong, L3 2016

Pierre Didier, PhD 2013-2017

Amaury Dalla Monta, PhD 2015-2018

# Principe du capteur



Relation entre la contrainte  $\gamma$  et la déformation  $\sigma$

$$\tilde{\sigma}(t, \omega) = G^*(\omega) \tilde{\gamma}(t, \omega)$$

# Chaîne d'instrumentation

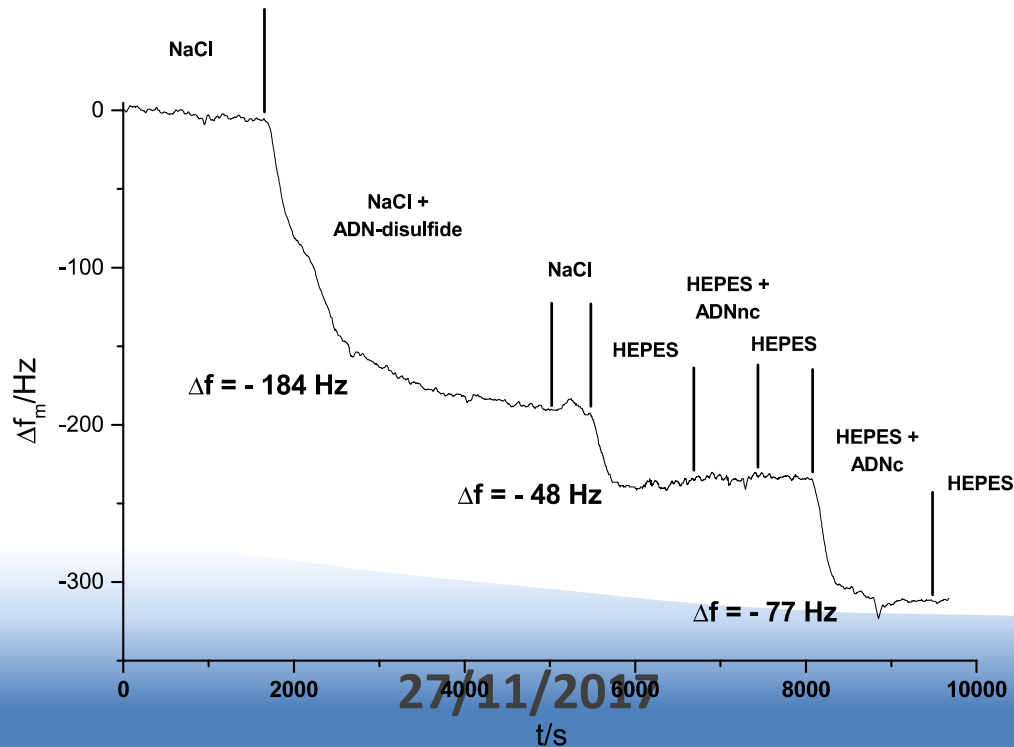
- Interrogation du quartz avec un **oscillateur**
- Lien entre variation de fréquence et variation de masse

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{-2f_0 \Delta m_s}{\sqrt{\mu_q \rho_q}}$$

$\Delta f$  : variation de fréquence due à l'effet de masse (Hz)

$m_s$  : masse surfacique ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

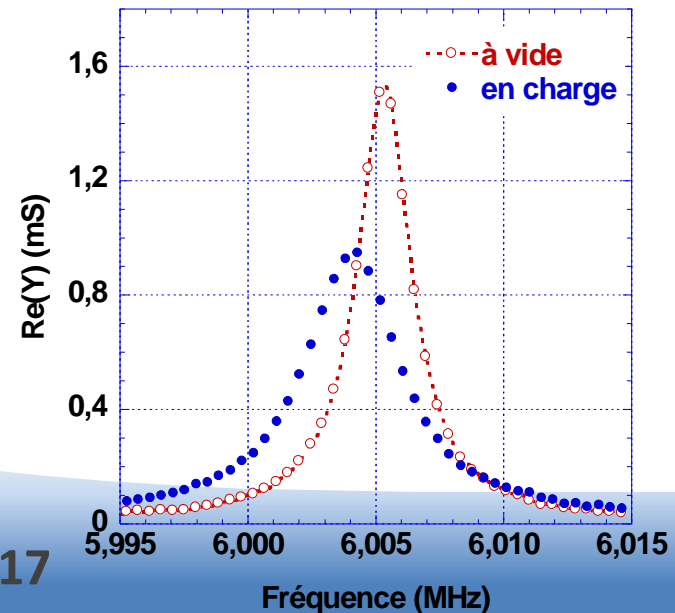
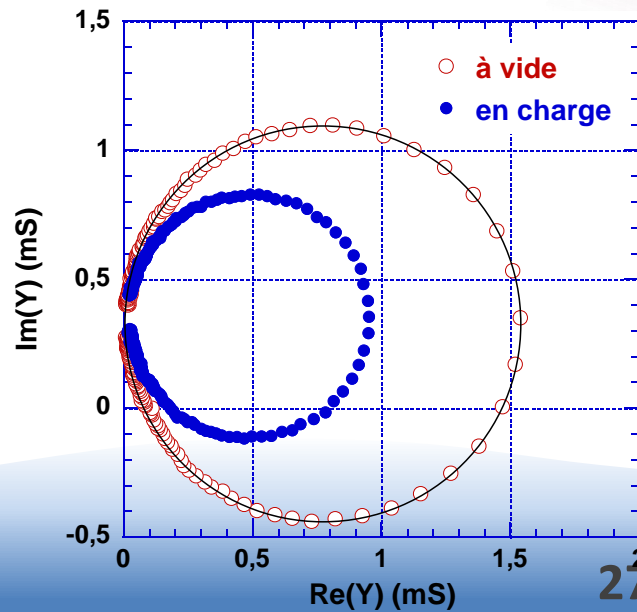
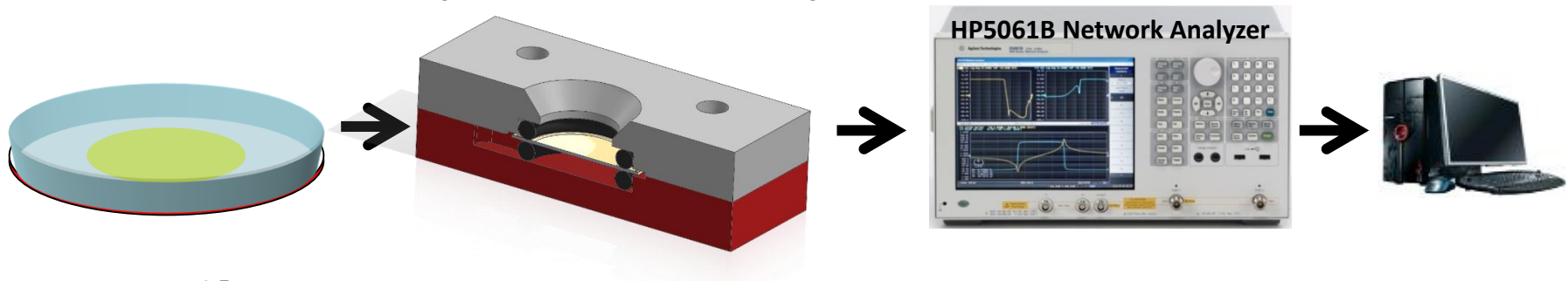
$\Delta m_s$  : variation de masse surfacique modélisant l'effet de masse ( $\text{g}/\text{m}^2$ )



27/11/2017

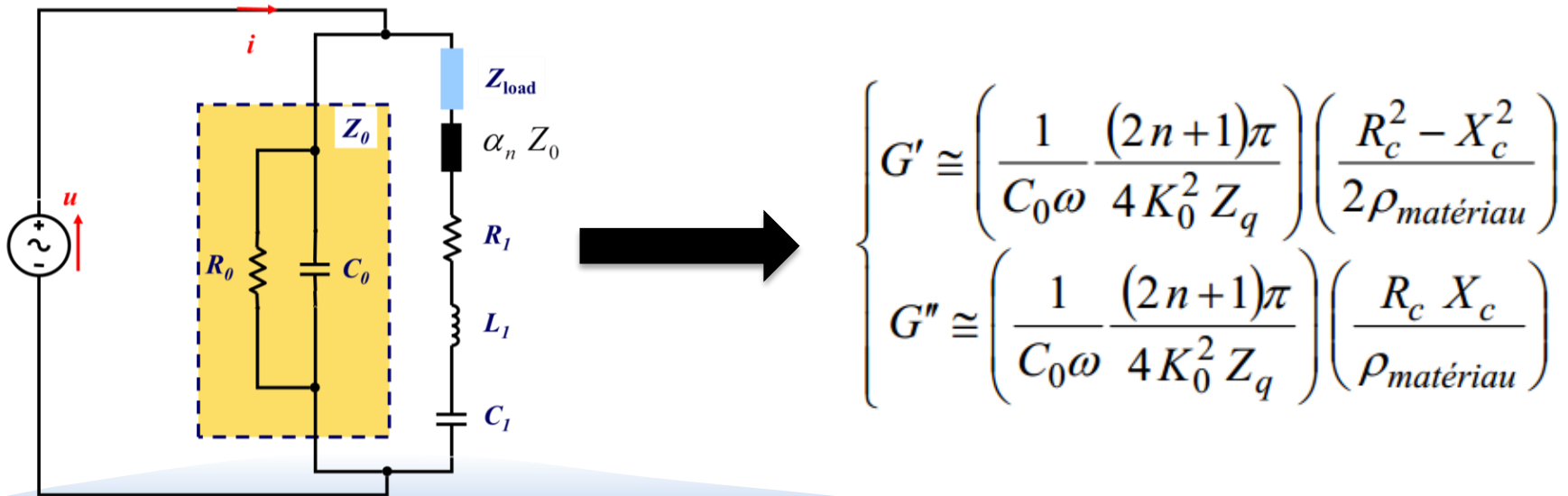
# Autre chaine d'instrumentation

- Interrogation du quartz avec un **analyseur de réseau**
- Mesure de l'impédance du quartz



# Chaîne d'instrumentation avec analyseur de réseau

- Modélisation du quartz permet de remonter au module élastique  $G'$  et au module visqueux  $G''$  du matériau





# Démarche pour le développement de capteurs innovants

- Modélisation des matériaux et des interactions onde-matière
- Conception, fabrication et caractérisation du capteur (microtechnologies)
- Développement de l'instrumentation
- Tests

# Verrous scientifiques pour des capteurs innovants



- ① Modélisation des matériaux et des interactions onde-matière
- ② Miniaturisation
- ③ Instrumentation



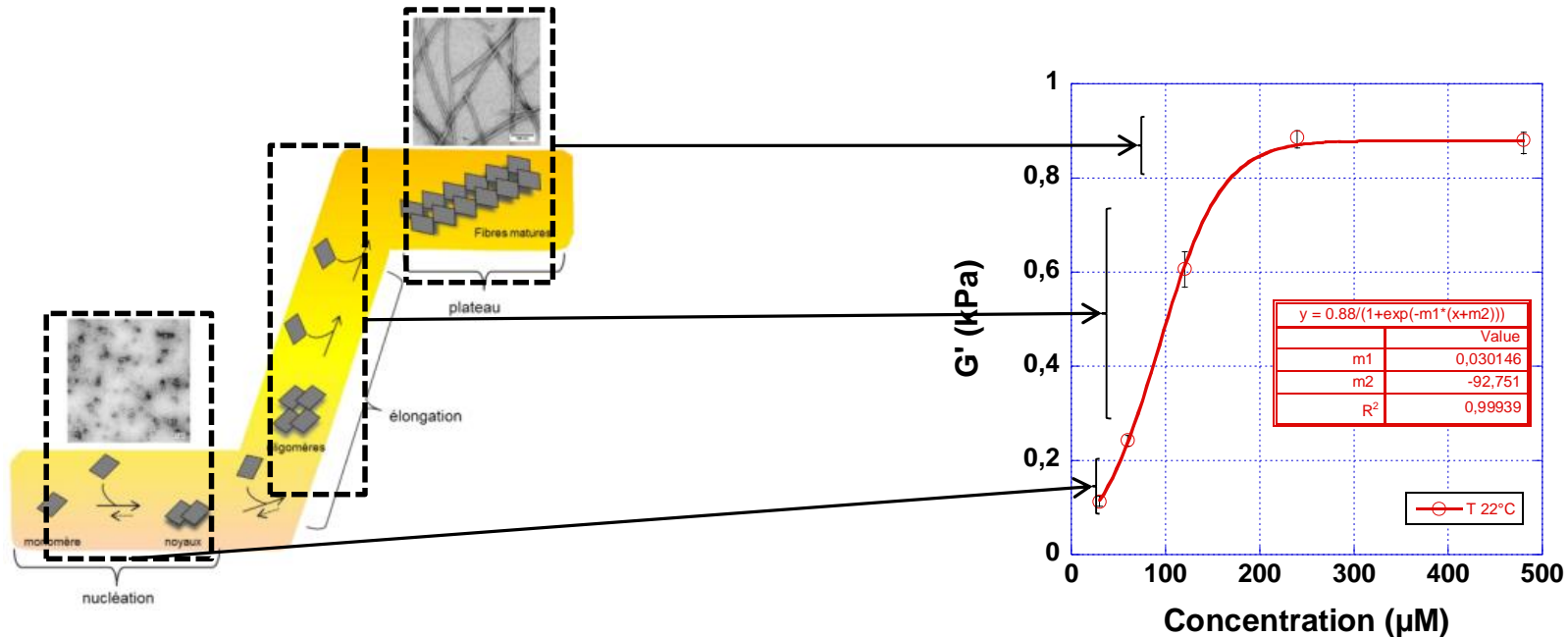
# Applications : Détection de légionelles



Projet 2A Loic Mosser 2017

# Suivi de la polymérisation de protéines

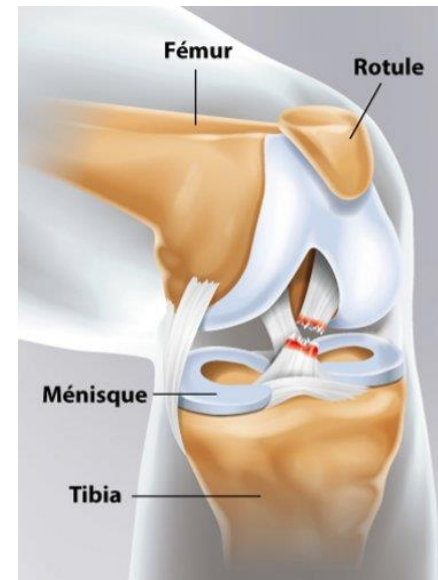
- Assemblages de protéines -> maladie d'Alzheimer
- Mesure en continu de la polymérisation de protéines



Pierre Didier, PhD 2013-2017

# Mise au point de nouveaux matériaux

- Les tissus mous du vivant ont une structure fibreuse anisotrope
- Matériaux implantables : Poly(acétate de vinyle) PVA
- Les propriétés mécaniques doivent être maîtrisées et connues
- Suivi de la polymérisation du PVA



Projet 2A Damien Hoareau 2017

Amaury Dalla Monta, PhD 2015-2018

# Savoir-faire pluridisciplinaire

Modélisation

Informatique

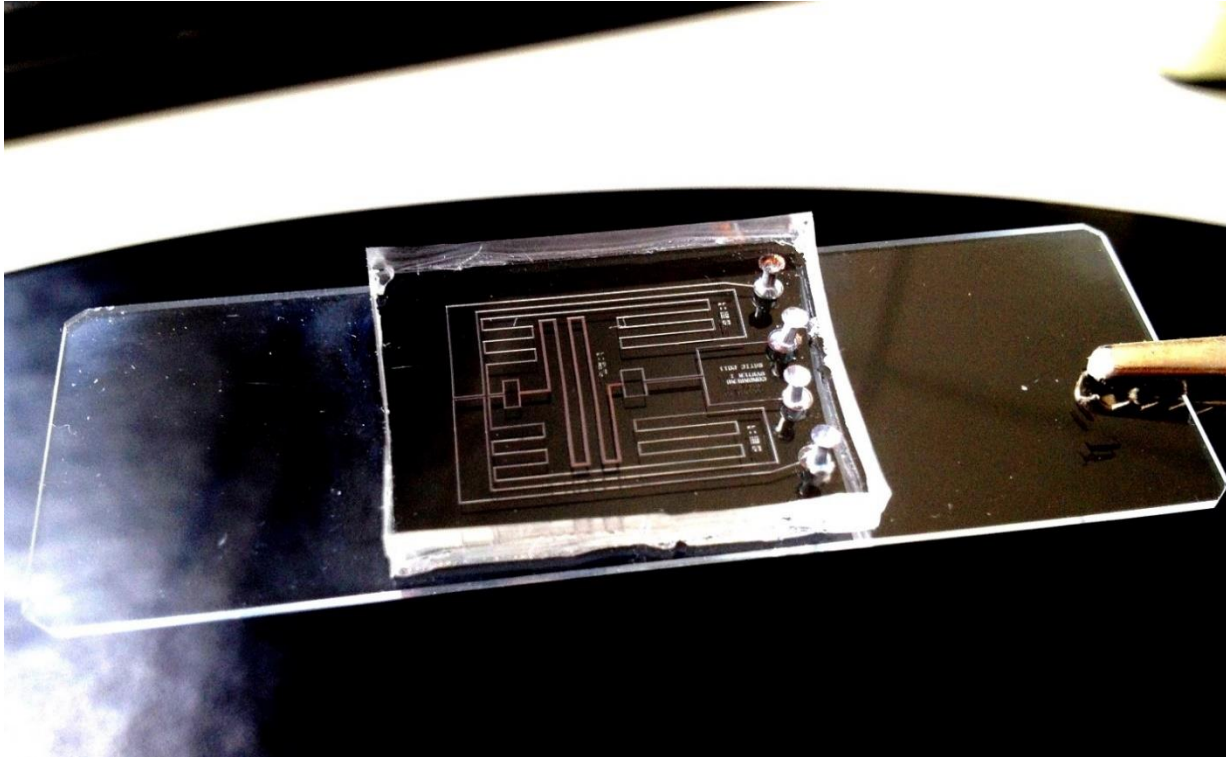
Electronique

Instrumentation

Biologie, chimie

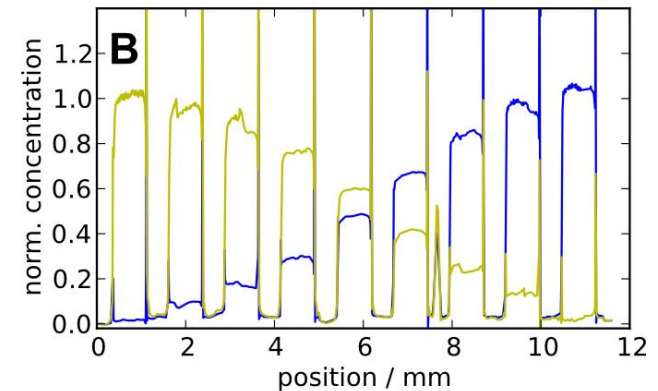
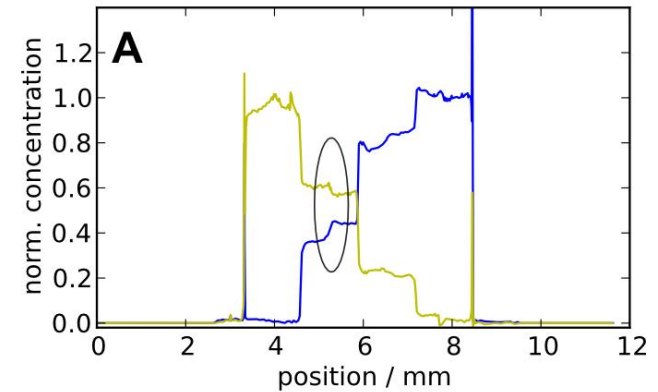
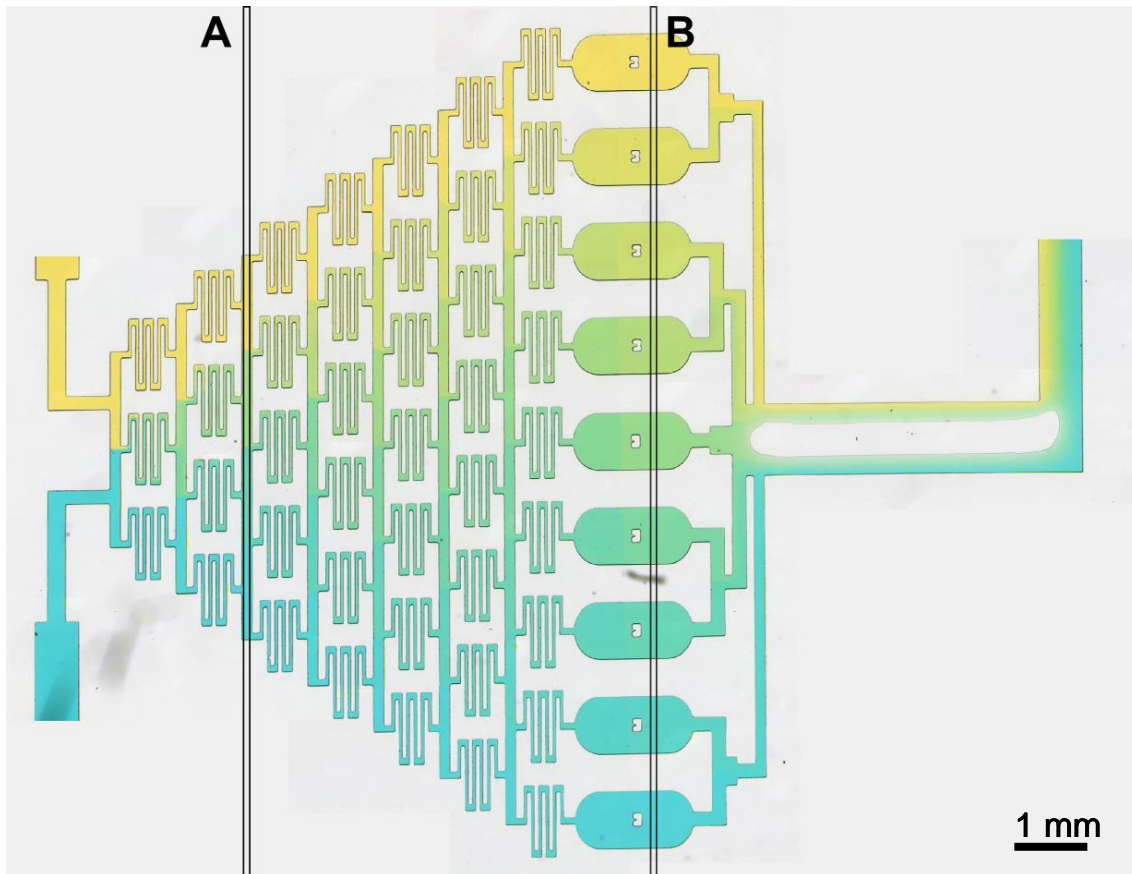
Mécanique, mécanique des fluides, matériaux

# Analyse optique en microsysteme



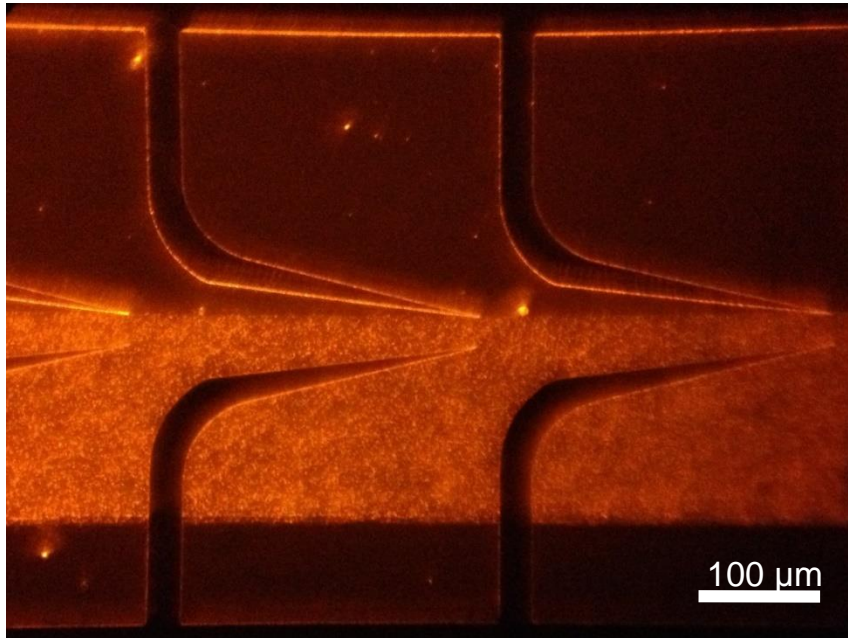
optically transparent microsystems can be coupled to optical microscopes and spectrometers

# Caractérisation spectrométrique de gradients de molécules

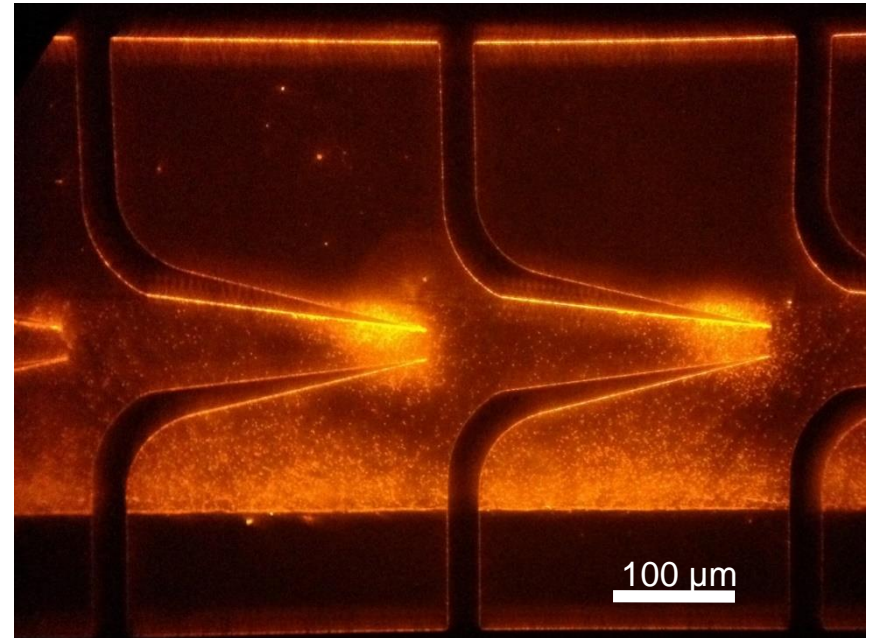


# Nanoparticules comme capteurs en microsystème

electric field off



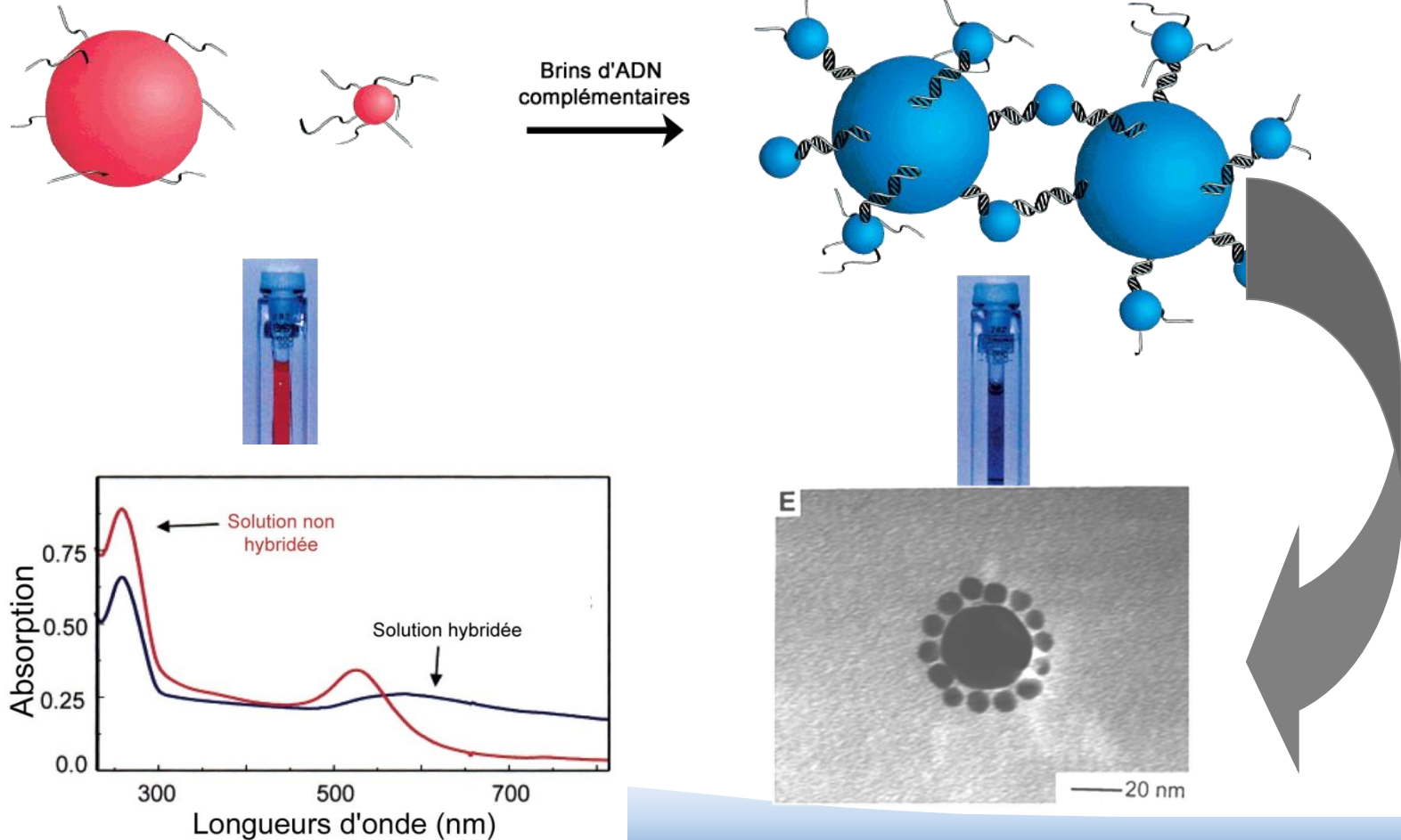
electric field on



sample: 150 nm gold colloids, water  $0.04 \text{ S m}^{-1}$   
LED dark field, 580 nm

# Nanoparticules d'or pour la détection d'ADN

## Color change by DNA hybridization







**Je vous remercie pour votre attention**