



Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et
Nanostructures, UMR CNRS / UCB Lyon



Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures,
UMR CNRS 5259, INSA Lyon

Biolubrification par des membranes phospholipidiques. Corrélation entre la stabilité nanomecanique et les propriétés tribologiques

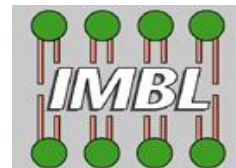
Master 2 Recherche Biomécanique
INSA de Lyon, LaMCoS

A.-M. Trunfio-Sfarghiu, F. Dekkiche, M. C. Corneci,
B. Munteanu, Y. Berthier, J.-P. Rieu



Hôpitaux de Lyon

Forum microscopie sonde locale 2011



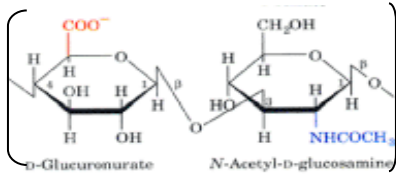
Plan

- Contexte de l'étude et état de l'art
- Obtention des bicouches supportées ex vivo
- Analyse bio-tribologique
- Analyse nano-mécanique
- Conclusions et Perspectives

Lubrifiant biologique – Composition (Le liquide synovial)

Acide hyaluronique

Chaîne moléculaire
L ~ 12 μm

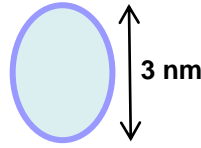


x 12500 \Rightarrow

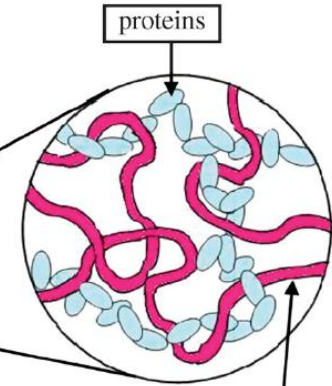
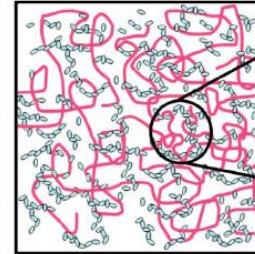


Albumine

Protéine
globulaire



Gel synovial



hyaluronic acid chains

Oates (2005)

Lubricine (polyélectrolyte)



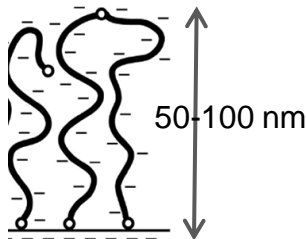
L ~ 200 nm

Swann (1972)

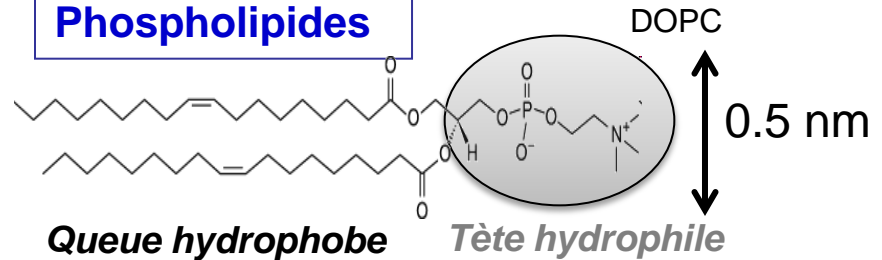
Brosse moléculaire
 $\mu \sim 0.0005$

Raviv Klein [2002, 2003]

Pas avec la lubricine
Israelachvili [2007]



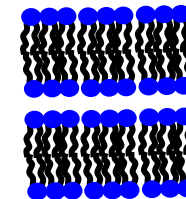
Phospholipides



DOPC

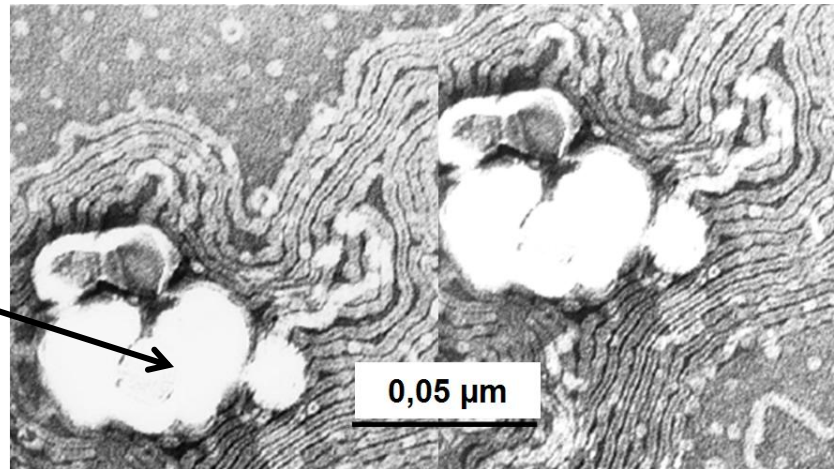
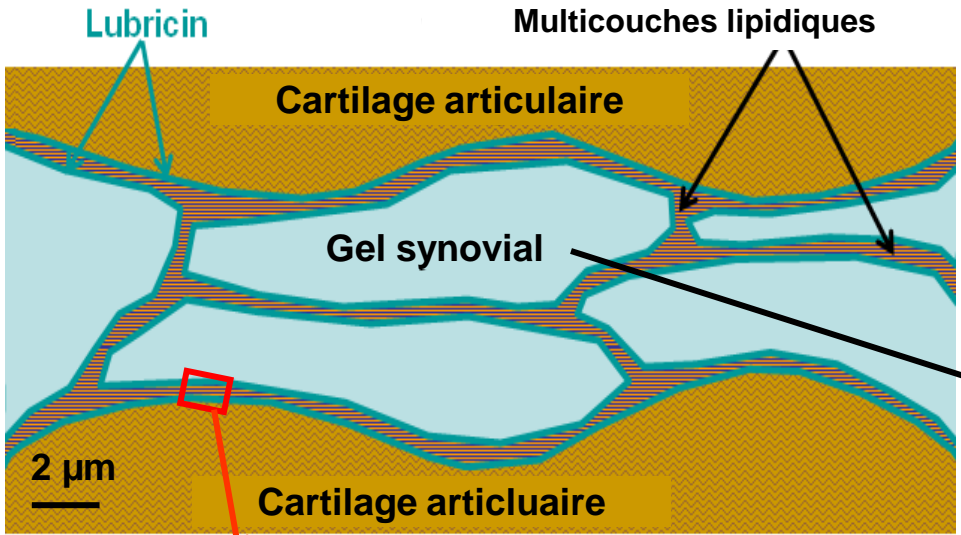
0.5 nm

Empilement bicouches

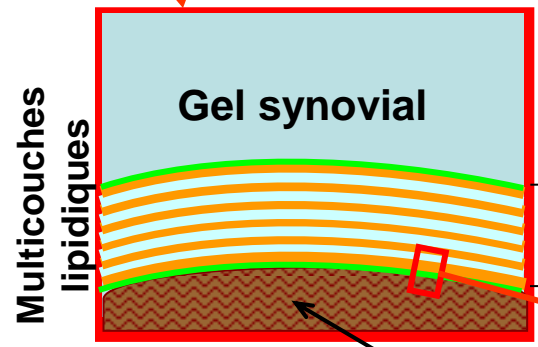


$\downarrow \mu$
LaBerge [2000]
Trunfio-Sfarghiu [2007]

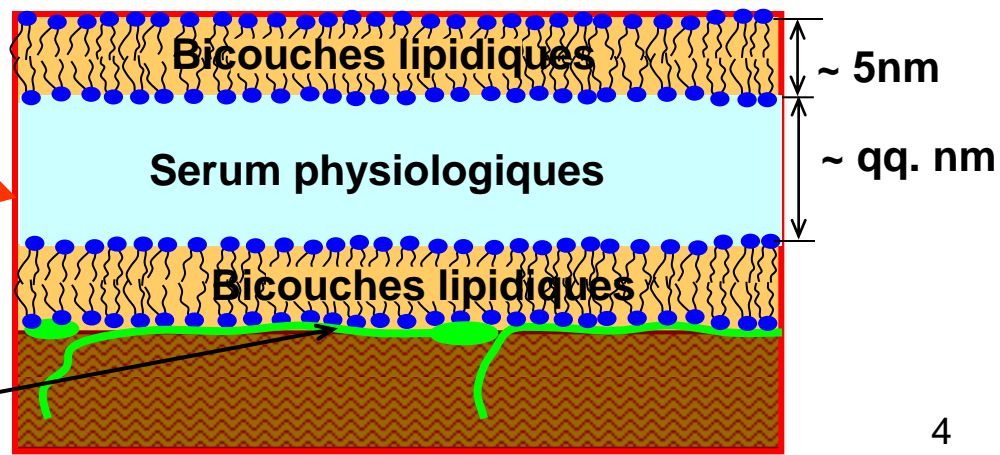
Lubrifiant biologique – Modèle structural (liquide synovial)



Pasquali-Ronchetti (1997)



Cartilage articulaire



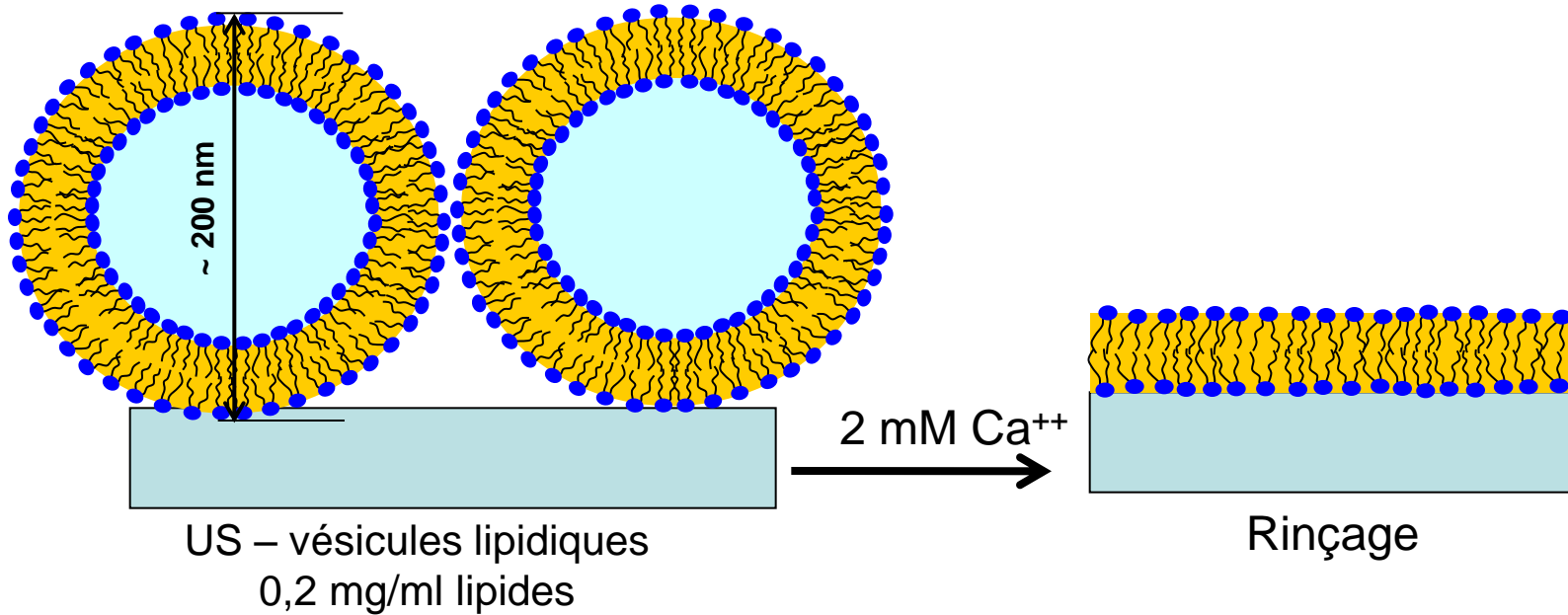
lubricine

Plan

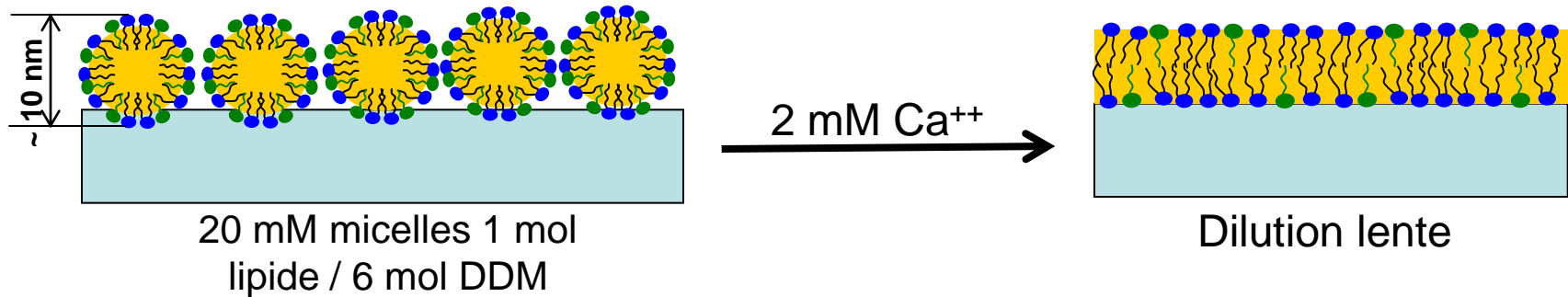
- Motivation de l'étude et état de l'art
- Obtention des bicouches supportées ex vivo
- Analyse bio-tribologique
- Analyse nano-mécanique
- Conclusions et Perspectives

Obtention ex vivo des bicouches lipidiques

1. Éclatement des vésicules



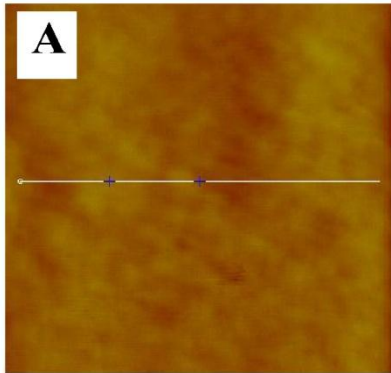
2. Co-adsorption des micelles lipides / détergent (DDM)



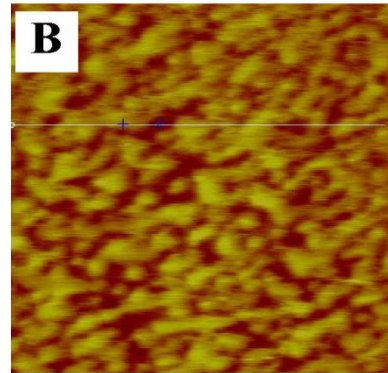
Obtention ex vivo des bicouches lipidiques

Qualité des bicouches

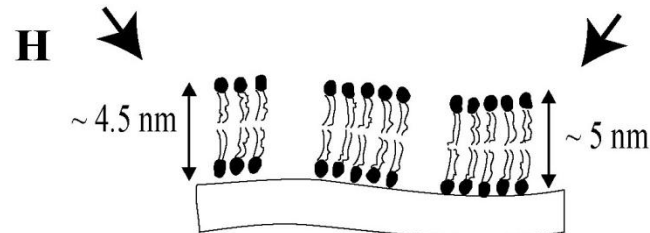
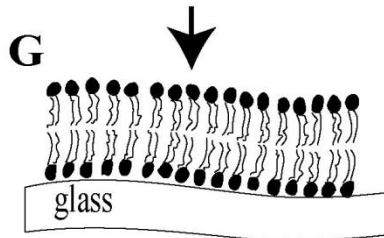
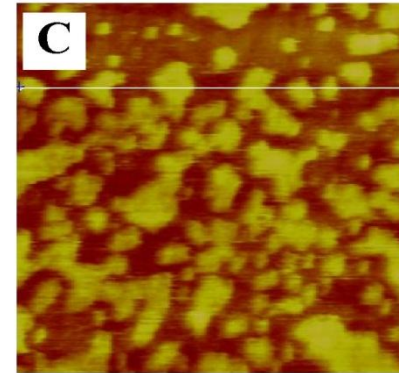
Vésicules ou
Micelles à très faible
taux de dilution ($<1 \text{ min}^{-1}$)



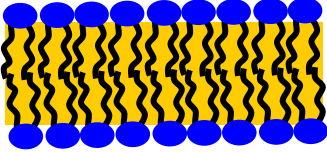
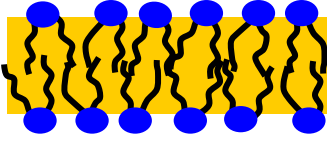
Micelles à faible
taux de dilution
($1 - 4 \text{ min}^{-1}$)



Micelles à fort
taux de dilution
($>4 \text{ min}^{-1}$)



Choix du type de lipides

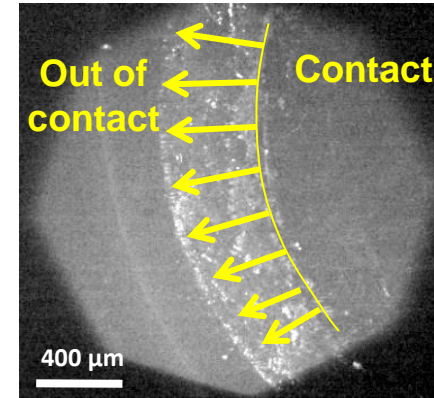
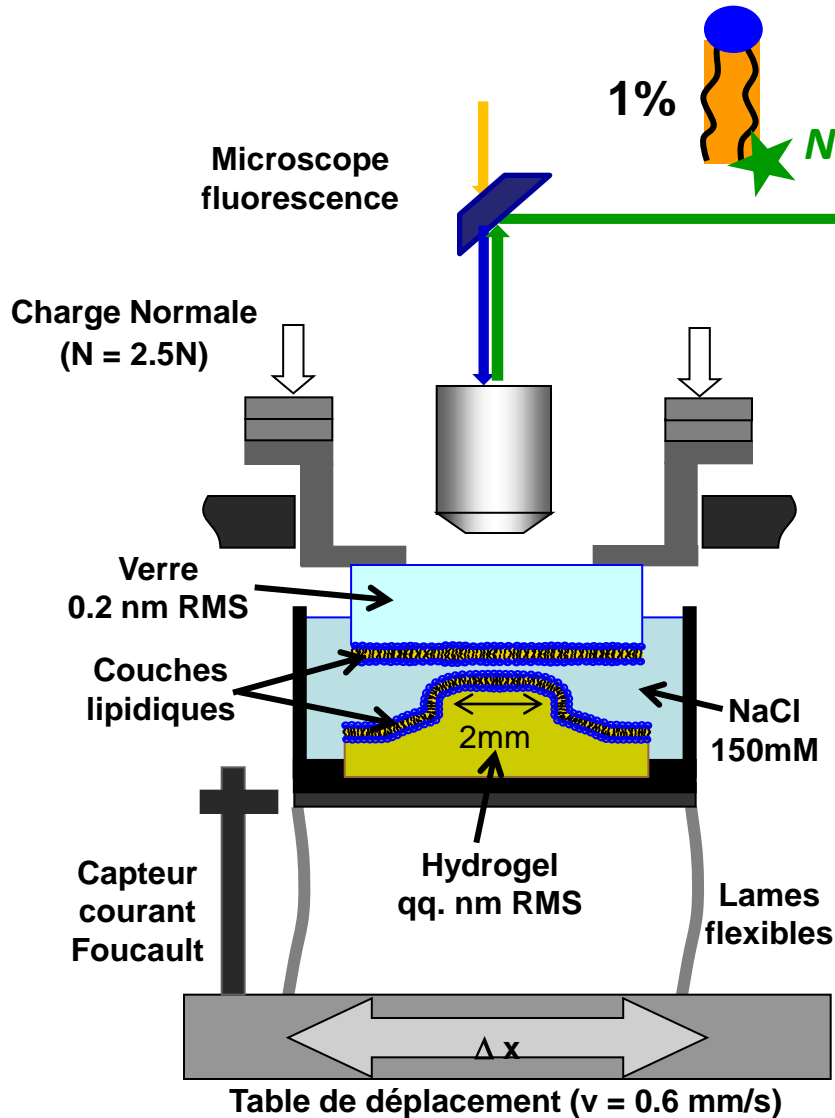
	Phase solide	Phase fluide	
Synovie			
In vivo	60%	40%	41% PC; 27% PE; 32% sphingomyelines < 1% PI+PS
Simulation ex vivo	DPPC T transition : 42°C Diffusion: 10^{-12} cm ² /s Densité: ~ 48 (Å ²)/molécule	DOPC T transition : -19°C Diffusion: 10^{-8} cm ² /s Densité: ~ 72 (Å ²)/molécule (bicouche vésicules) Densité: ~ 86 (Å ²)/molécule (bicouche micelle)	

Température constante (~ 25°C)

Plan

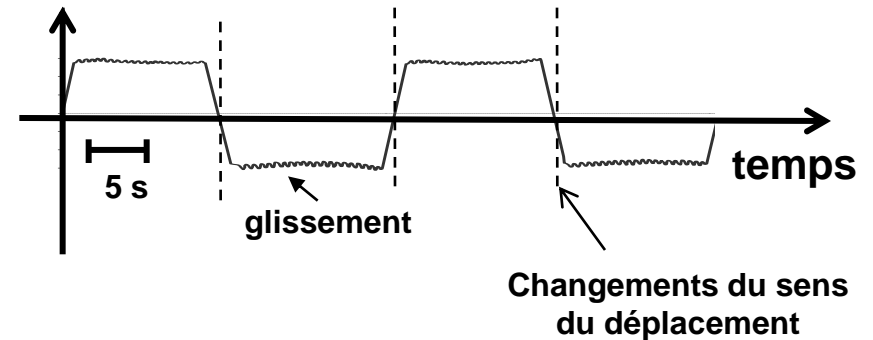
- Motivation de l'étude et état de l'art
- Obtention des bicouches supportées ex vivo
- Analyse bio-tribologique
- Analyse nano-mécanique
- Conclusions et Perspectives

Analyse bio-tribologique

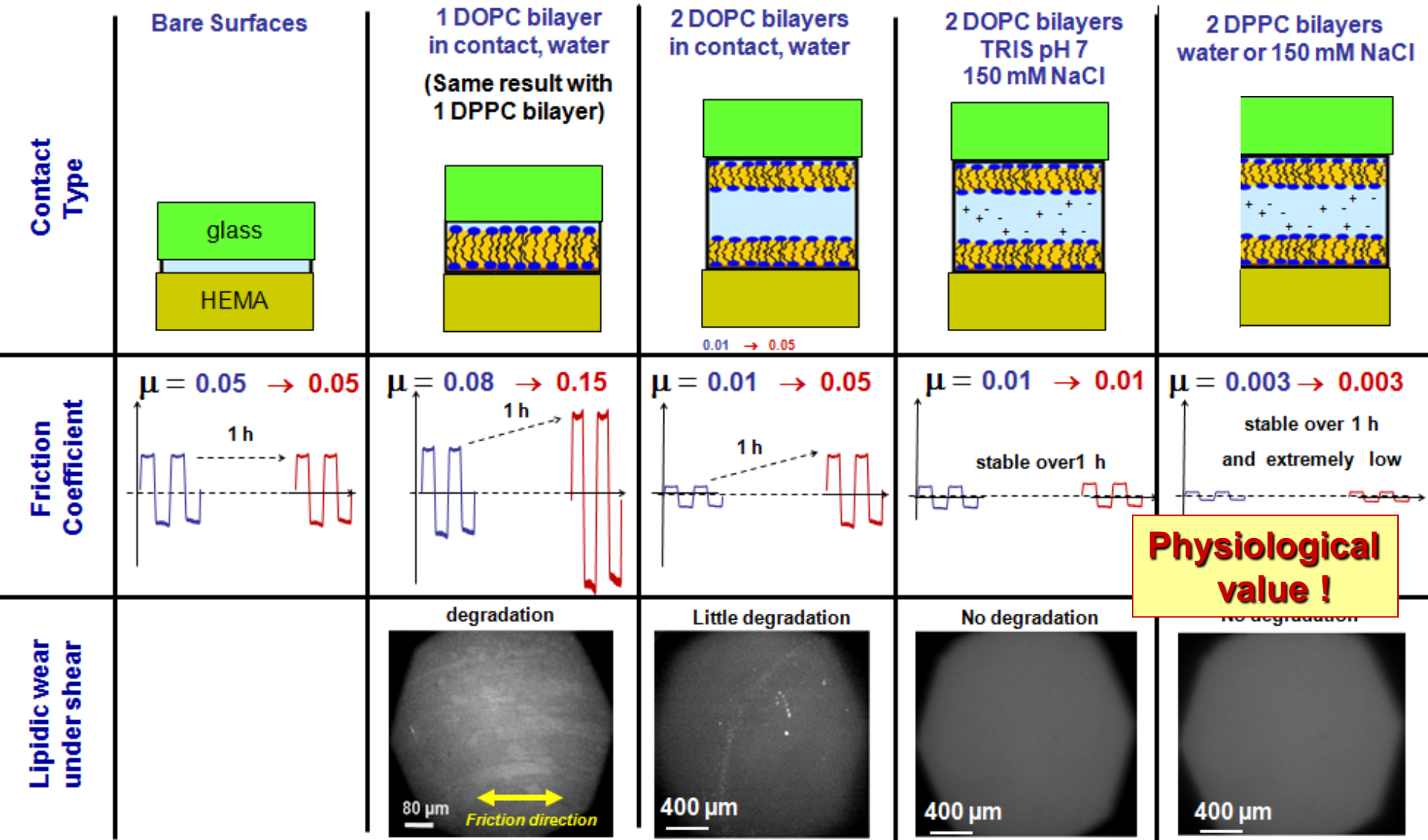


Degraded Bilayer:
Lipid ejection
out of contact

Coefficient de frottement (f) = T/N



Résultats bio-tribologiques

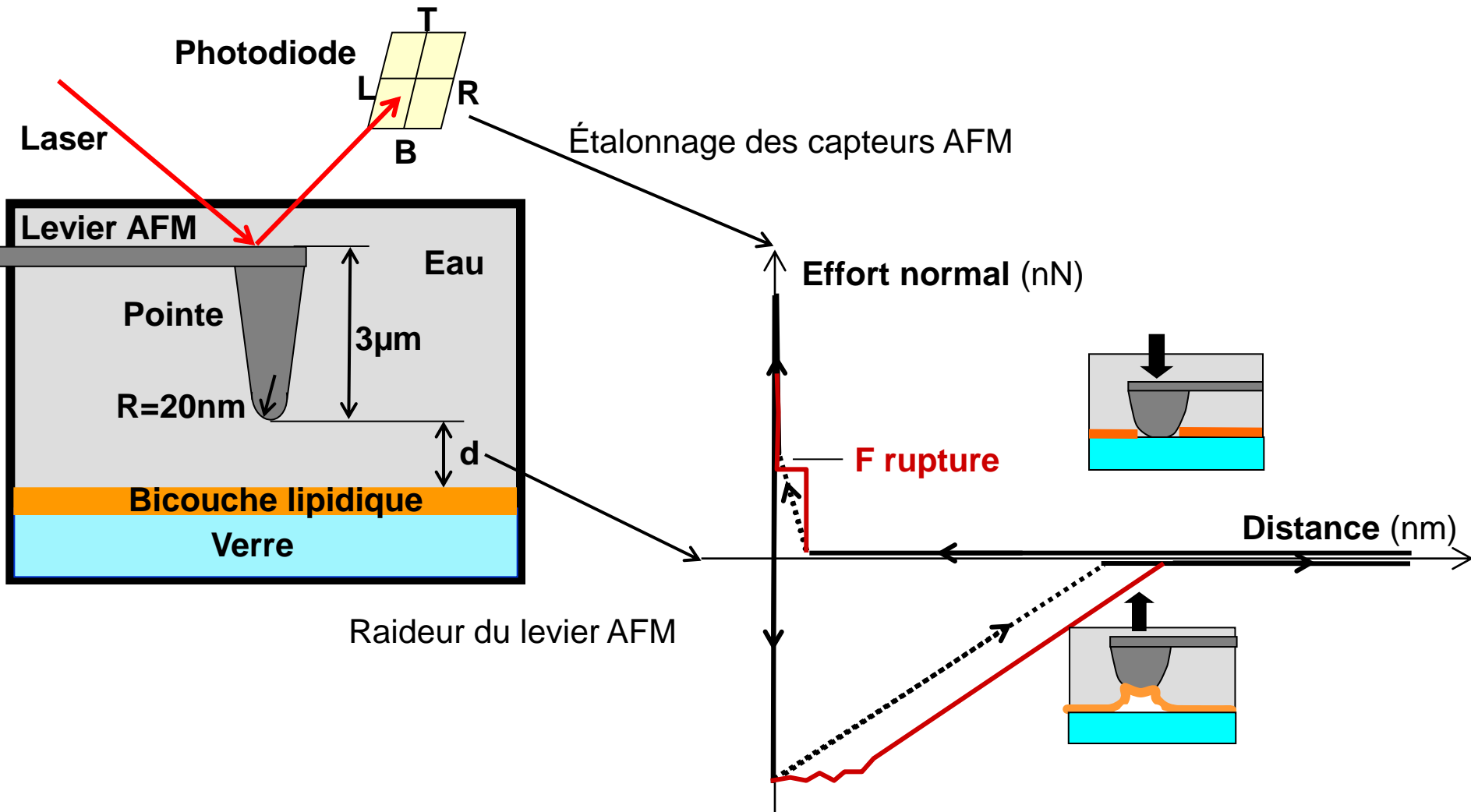


Physiological value !

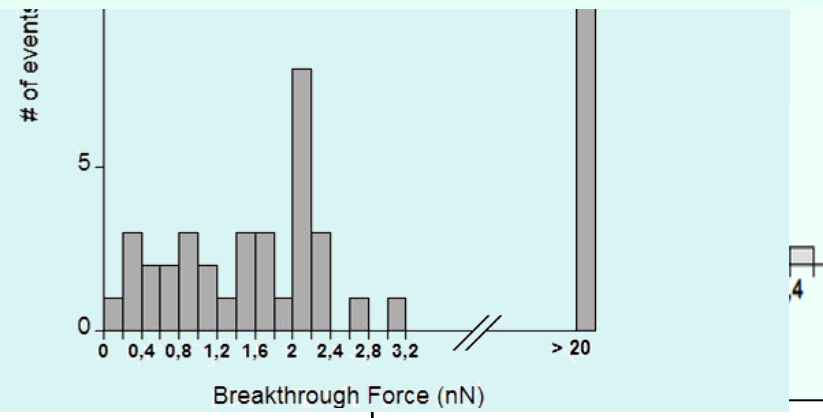
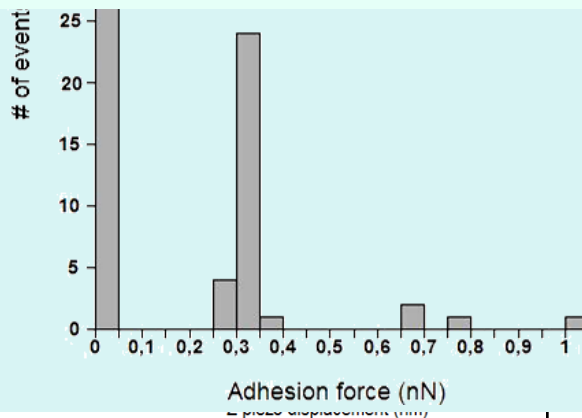
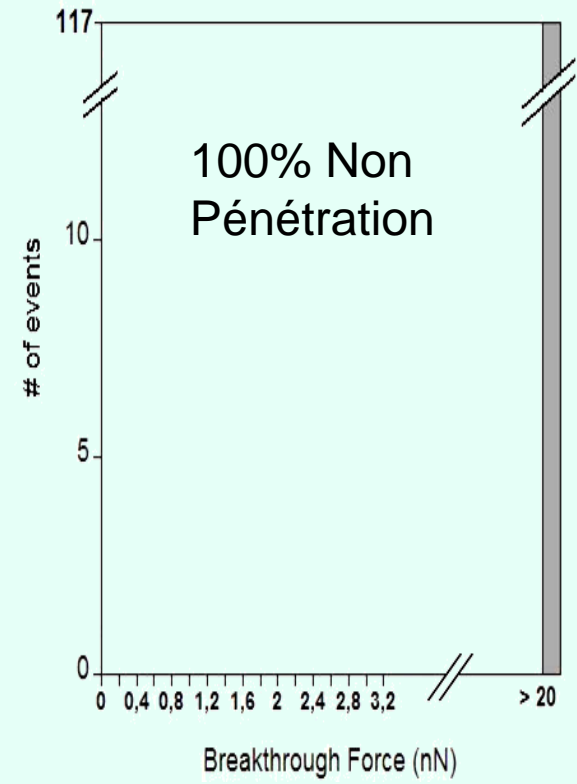
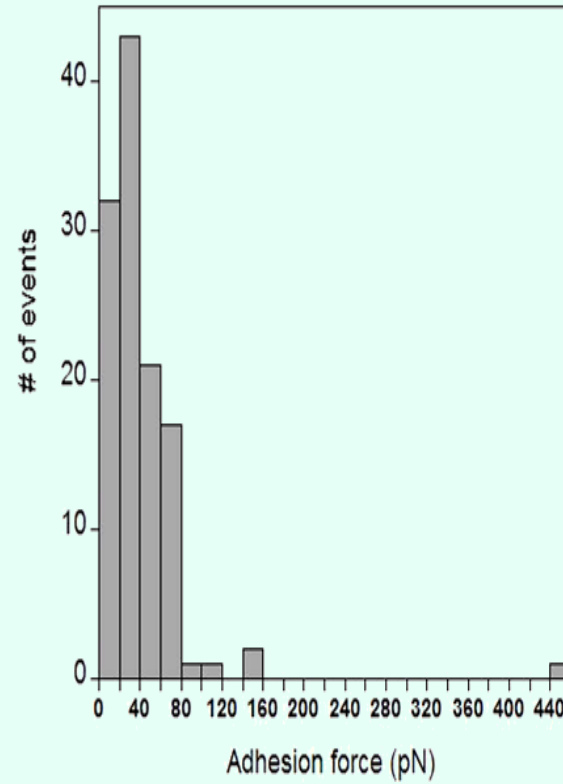
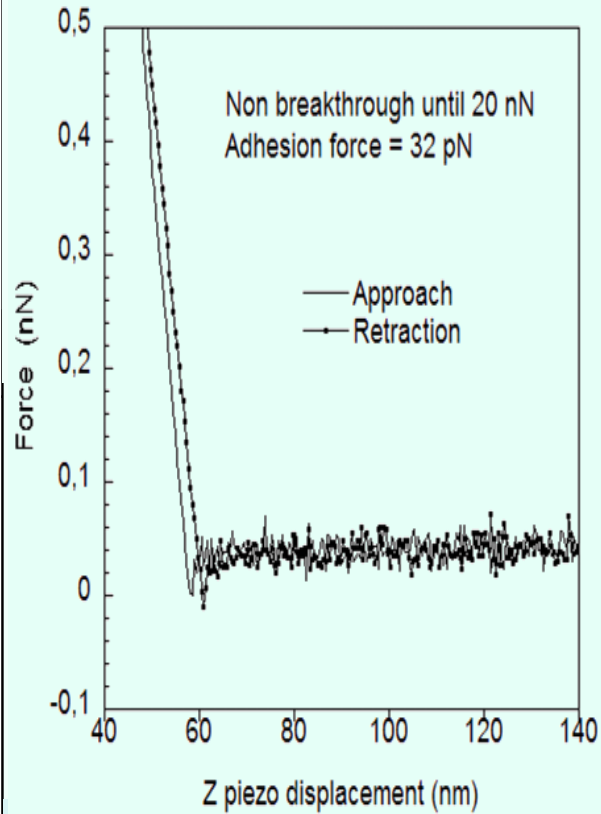
Plan

- Motivation de l'étude et état de l'art
- Obtention des bicouches supportées ex vivo
- Analyse bio-tribologique
- Analyse nano-mécanique
- Conclusions et Perspectives

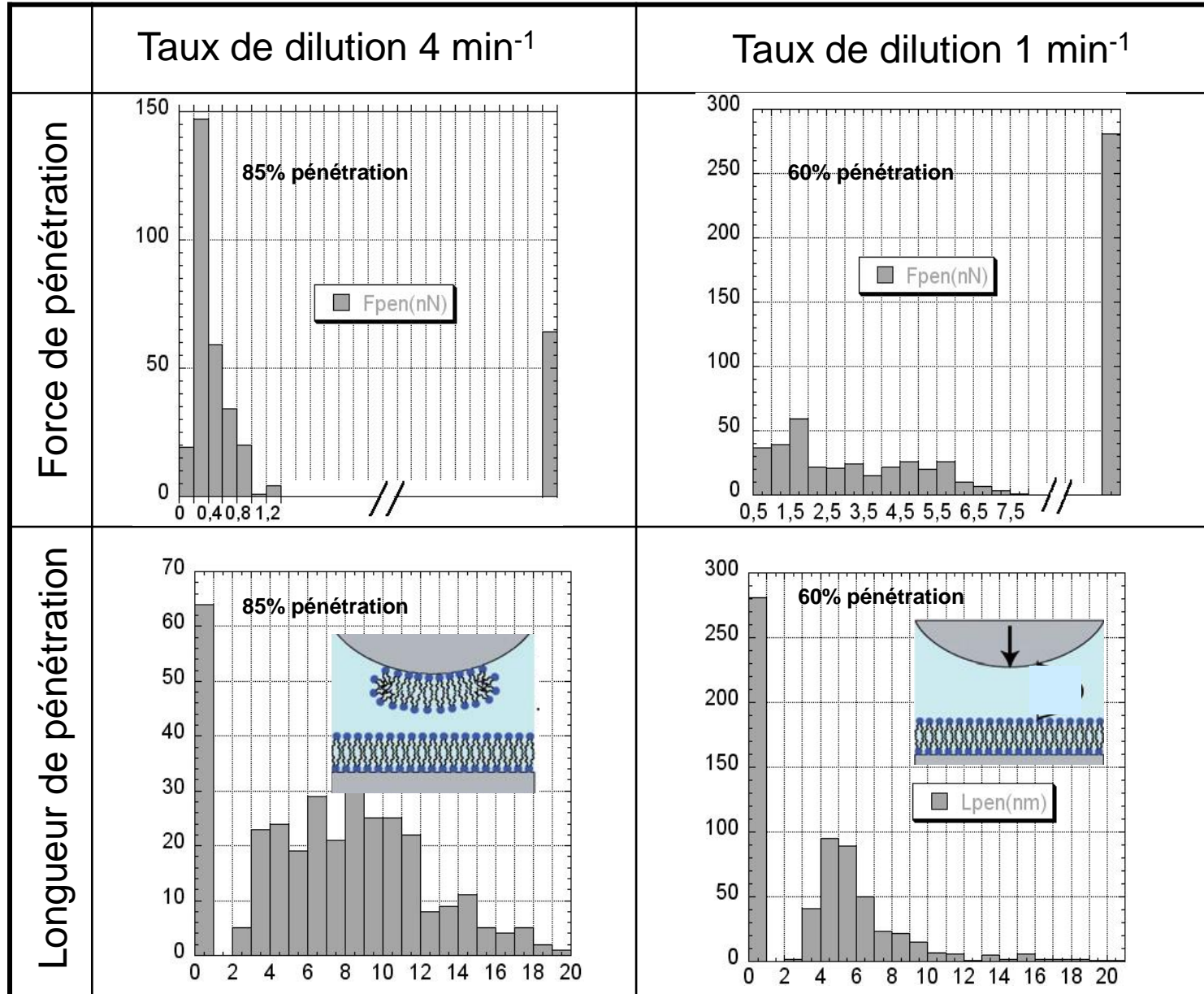
Caractérisation nano-mécanique des bicouches lipidiques



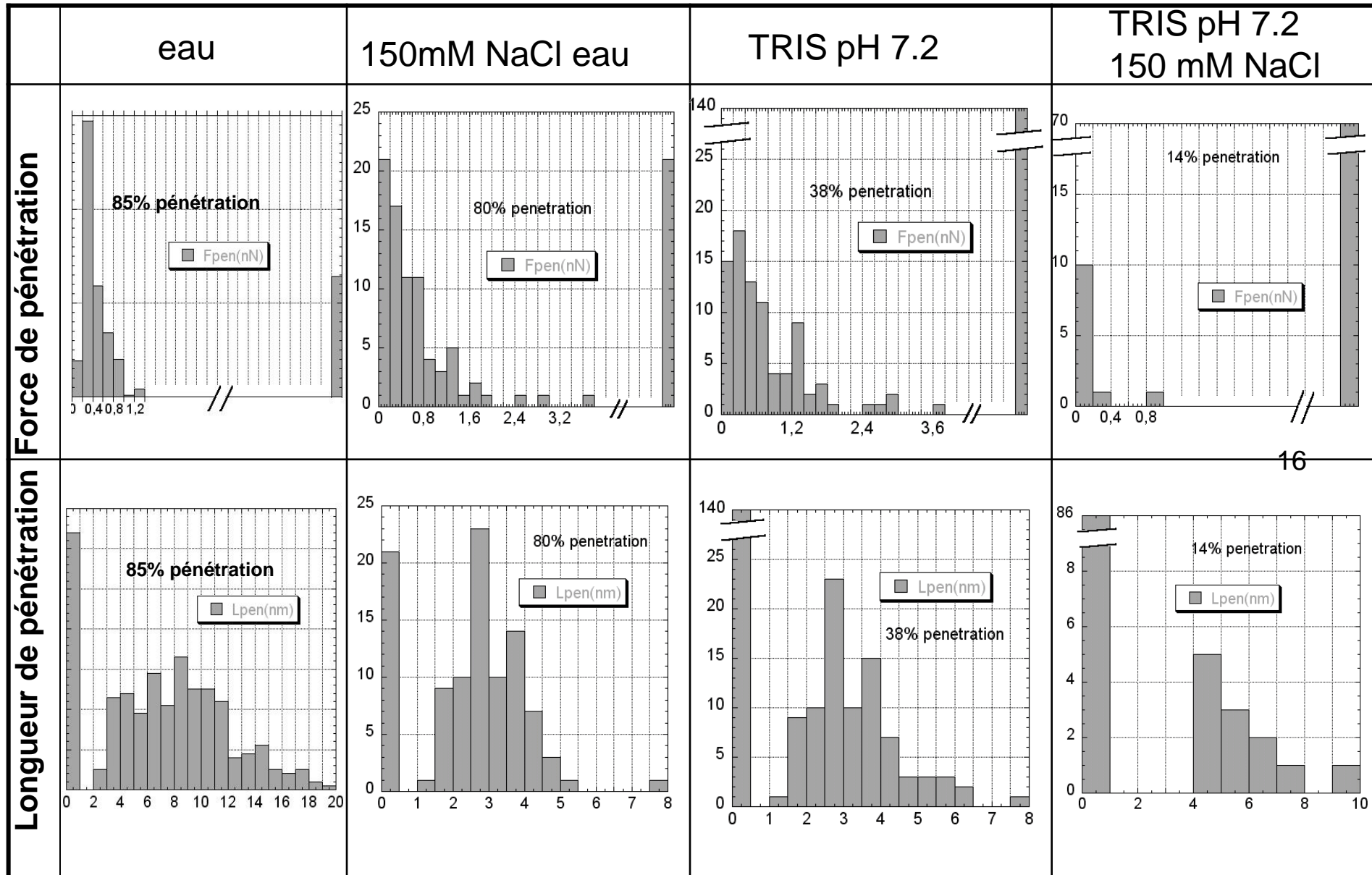
Caractérisation nano mécanique des bicouches lipidiques



Caractérisation nano mécanique des bicouches lipidiques – influence des paramètres du dépôt (DOPC mic)



Caractérisation nano mécanique des bicouches lipidiques – influence du milieu d'hydratation (DOPC mic, taux 4min^{-1})

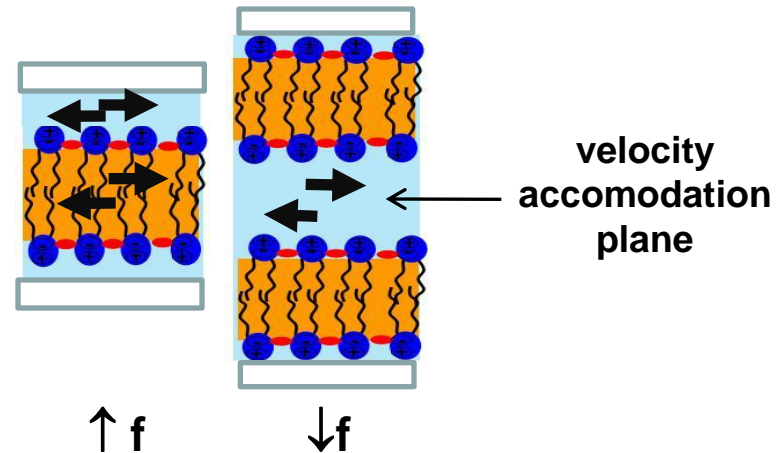


Plan

- Motivation de l'étude et état de l'art
- Obtention des bicouches supportées ex vivo
- Analyse bio-tribologique
- Analyse nano-mécanique
- Conclusions et Perspectives

Conclusions

- Les bicouches en phase solide diminuent le coefficient de frottement des surfaces frottantes avec un facteur 15 par rapport au surfaces sans lipides (« superlubricant proprieties »).
- \uparrow fluidité de la bicouche lipidique $\Rightarrow \uparrow$ coefficient de frottement
- Une bonne résistance au nano-indentation est essentielle pour obtenir un coefficient de frottement faible et stable.
- La résistance au nano-indentation des bicouches est augmenté par la force ionique et le pH du milieu d'hydratation.
- Le faible coefficient de frottement est assurée par l'eau d'hydratation entre les bicouches lipidiques

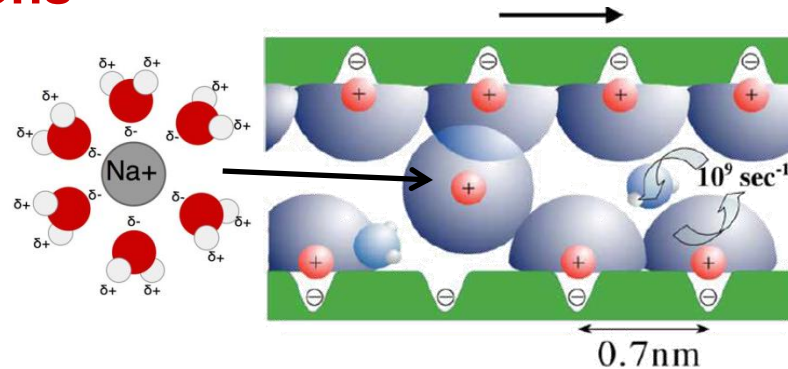


Origin of the superlubricating properties of lipid layers

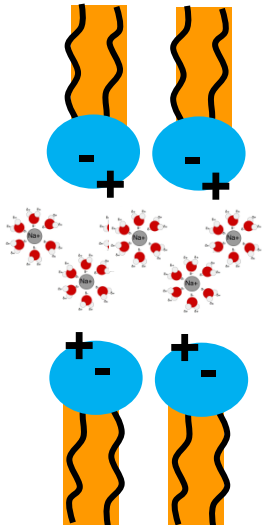
1. Lubrication by hydrated ions

SFA shear experiments on mica in presence of ions. Hydrated ions do not condense into the negatively charged surface and remains fluid

→ “ball bearing” effect



Raviv & Klein, Nature (2002, 2003)



Phospholipids are also charged (or zwitterionic)

→ **MPC polymer is a proposed candidate for reducing wear and reducing friction of PE implants**

(Moro et al., 2002-2010; PhD Na Wang)

Merci de votre attention!