



Nanométrie des parois cellulaires végétales par microscopies à force atomique

A. L. Lereu

Institut Fresnel – CNRS – AMU – Marseille – France

A. Normand, A. M. Charrier,

Centre interdisciplinaire de nanoscience de Marseille – CNRS – AMU – Marseille – France

R. H. Farahi, U. Kalluri, B. H. Davison, A. Passian

Oak Ridge National Laboratory – Tennessee – USA

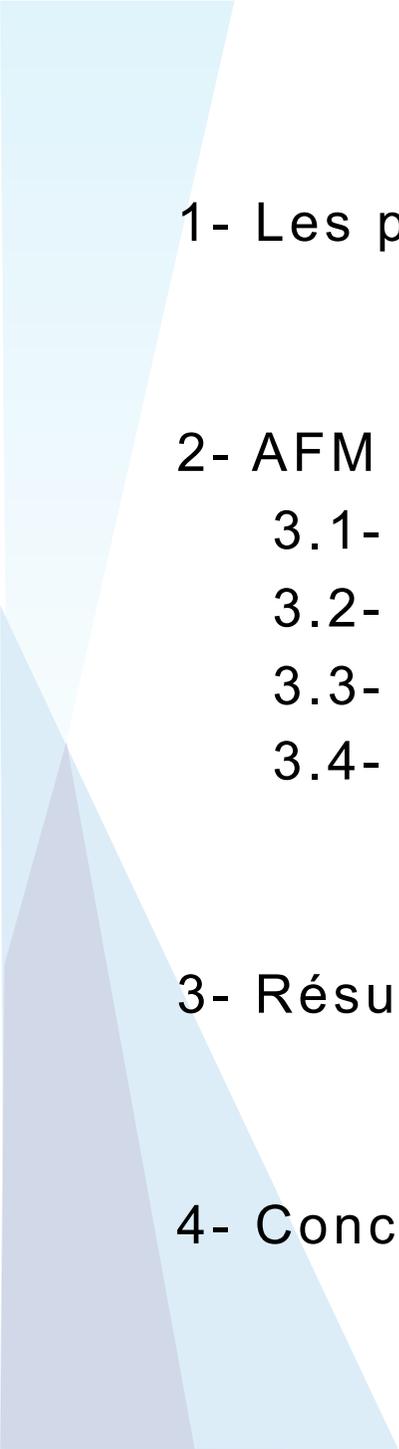
University of Tennessee, Knoxville – USA

L. Tetard et al, Nanotechnol. 22, 465702 (2011)

R. H. Farahi et al, Sci Report 7, 152 (2017)

A. M. Charrier, et al Frontiers in Energy Research 6(11) (2018)

R. H. Farahi, et al, Submitted to Sci. report (2018)



1- Les parois végétales du bois

2- AFM et modes dérivés :

3.1- AM AFM : topographie

3.2- MSAFM: imagerie sub-surface

3.3- HPFM: information chimique

3.4- QFM: nanomécanique

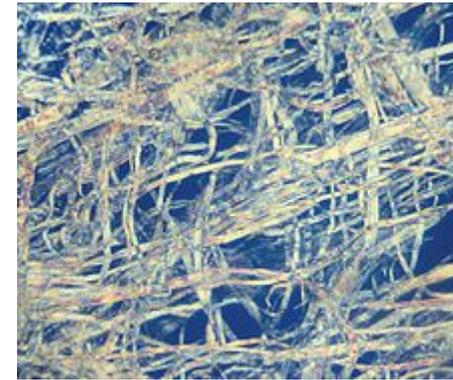
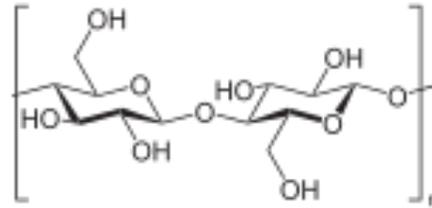
3- Résultats dans le contexte de délignification

4- Conclusion et perspectives

Le bois : matériau hétérogène et anisotrope

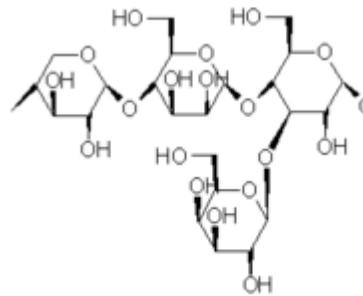
Cellulose

35-50% Biomasse
Paroi des fibres végétales



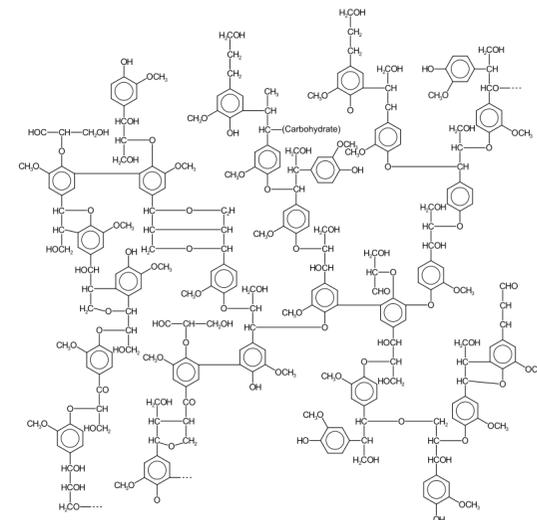
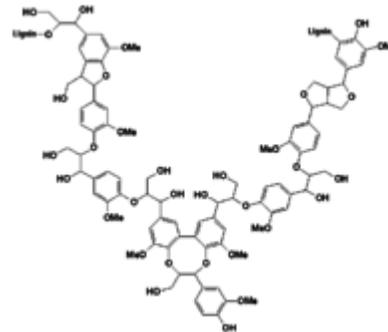
Hémicellulose

30-45% Biomasse
Pontage de la cellulose



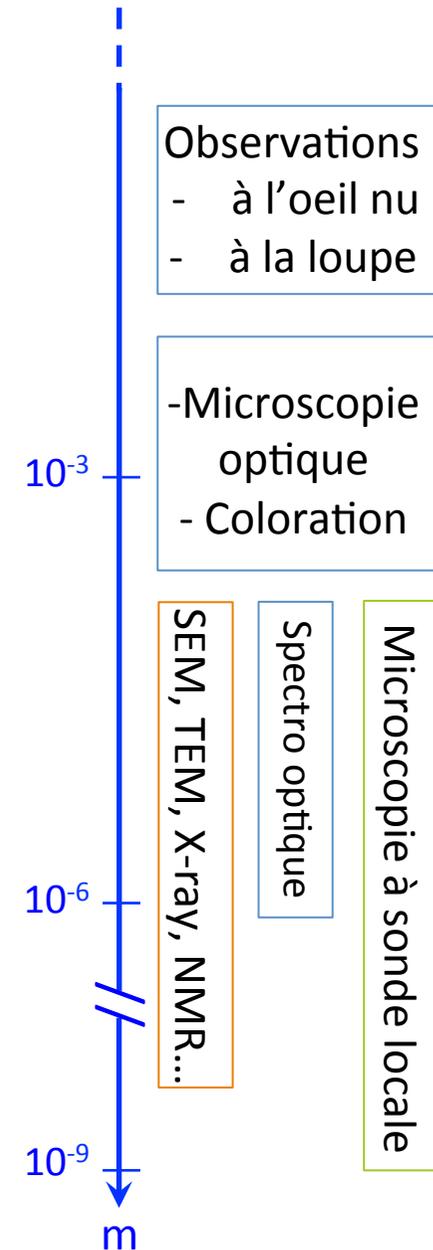
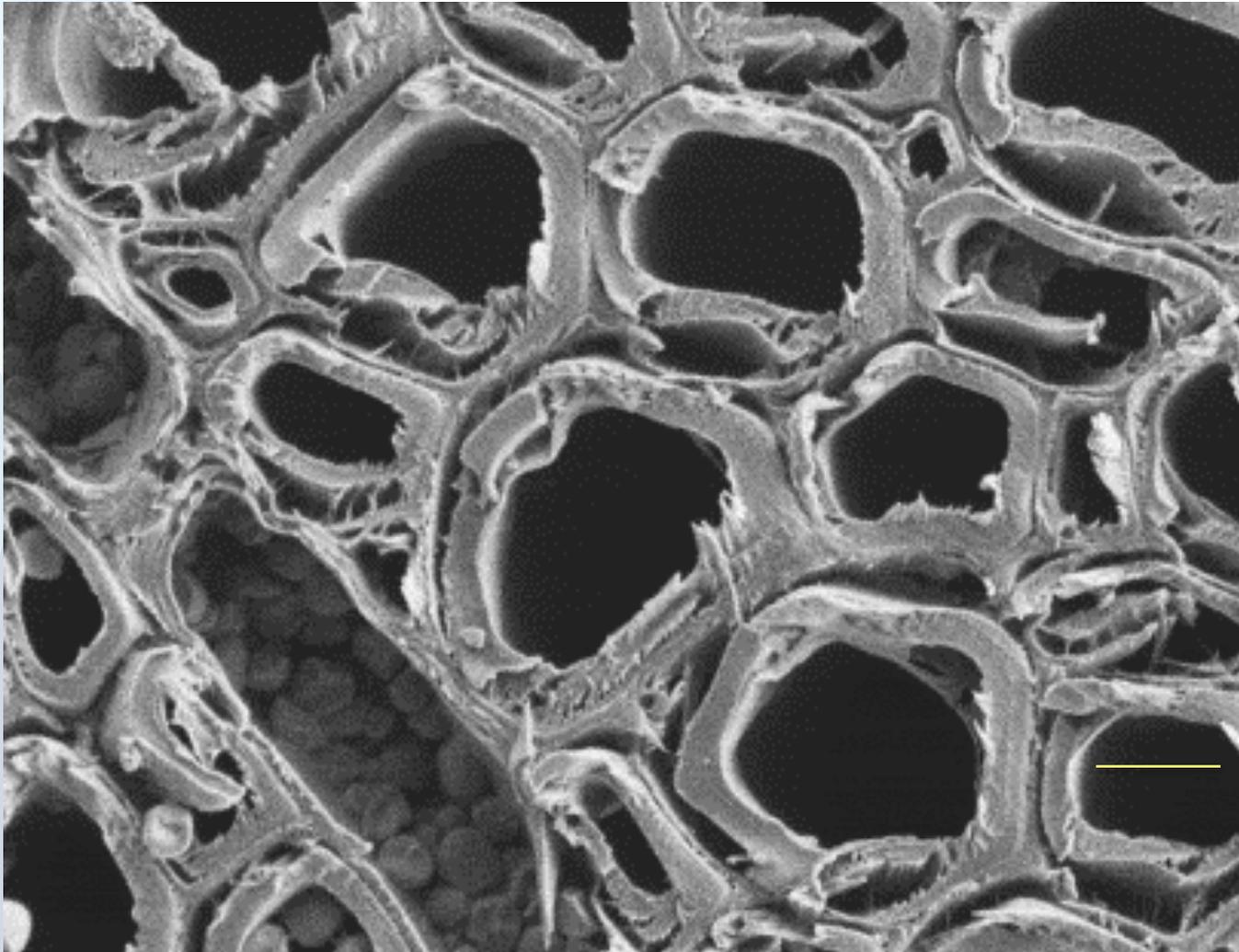
Lignine

15-25% Biomasse
Propriétés mécaniques



Composition et organisation moléculaire déterminent les propriétés physiques de la plante aux échelles micro et macro

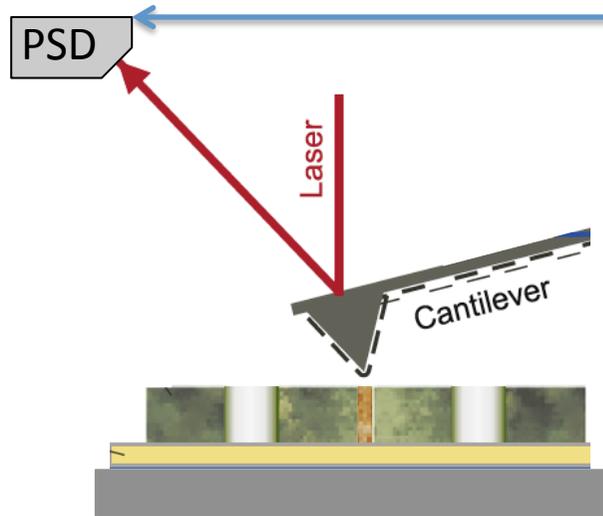
Populus deltoides stem cell walls



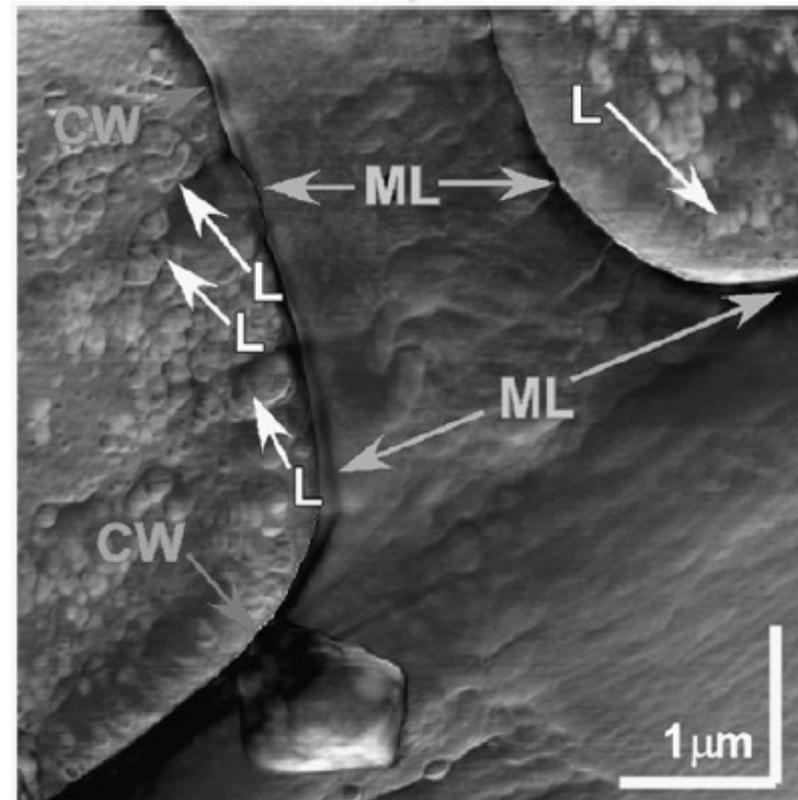


AM AFM : Amplitude modulation AFM

3.1- Changements structurels à l'échelle nano



- Interactions pointe-échantillon entraînent le bending du levier → Loi de Hooke dans le cas des petites oscillations
- Van der Waals, électrostatique, magnétique, forces mécaniques ou chimiques...
- qqs dizaines de pN



L. Tetard et al, Ultramicroscopy 110, 701 (2010)

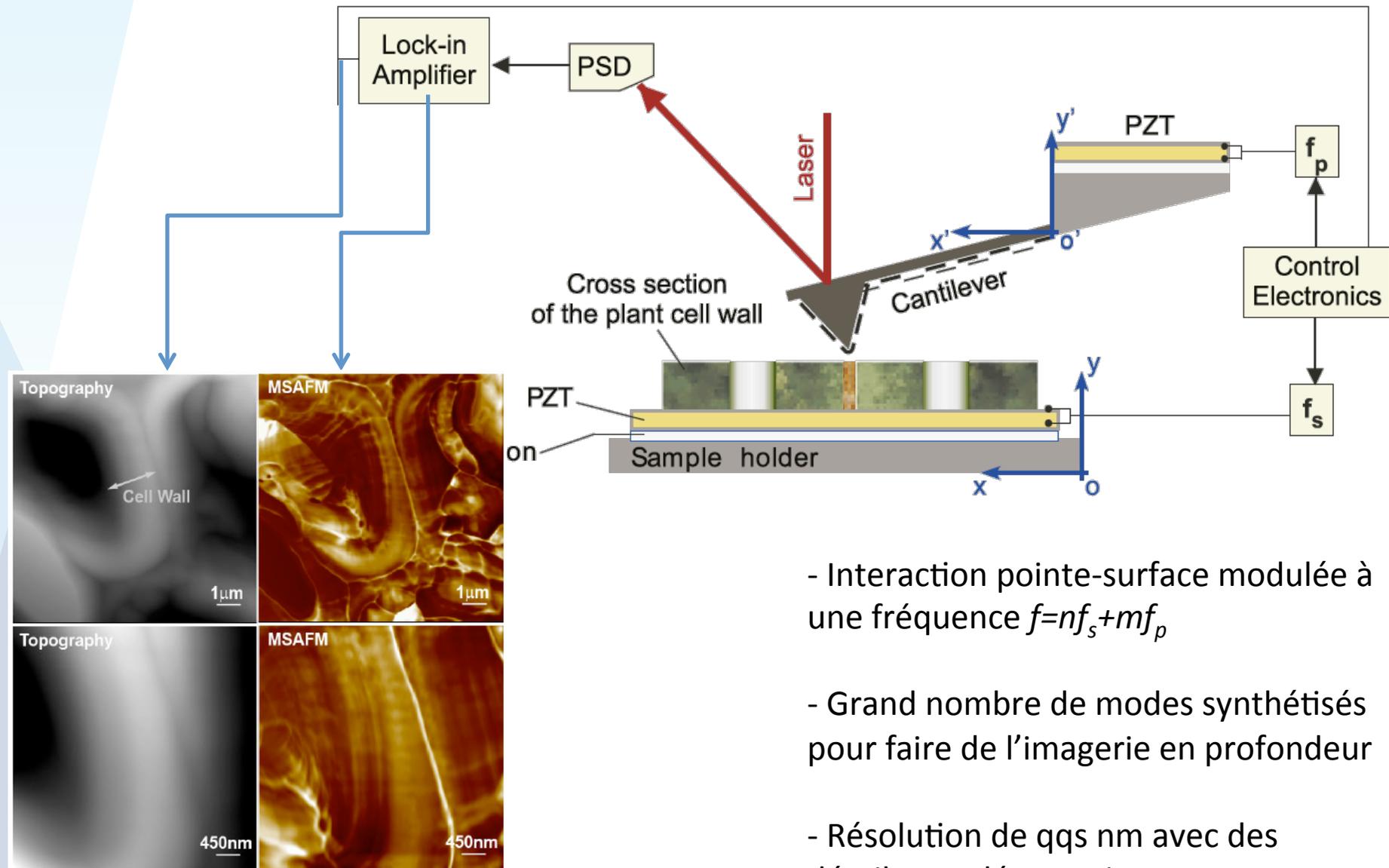


MSAFM : Mode synthesizing AFM

&

HPFM : Hybrid photonic Force microscopy

3.2- MSAFM – mode synthesizing AFM

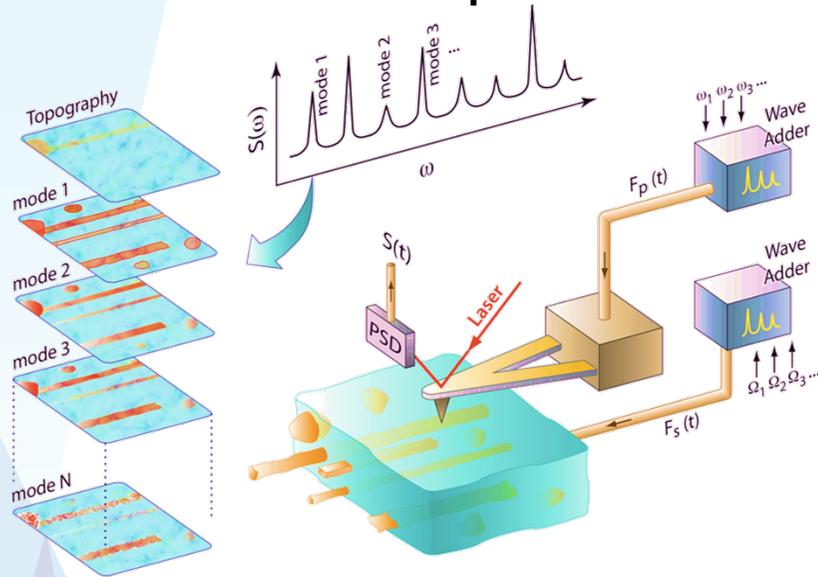


- Interaction pointe-surface modulée à une fréquence $f = nf_s + mf_p$

- Grand nombre de modes synthétisés pour faire de l'imagerie en profondeur

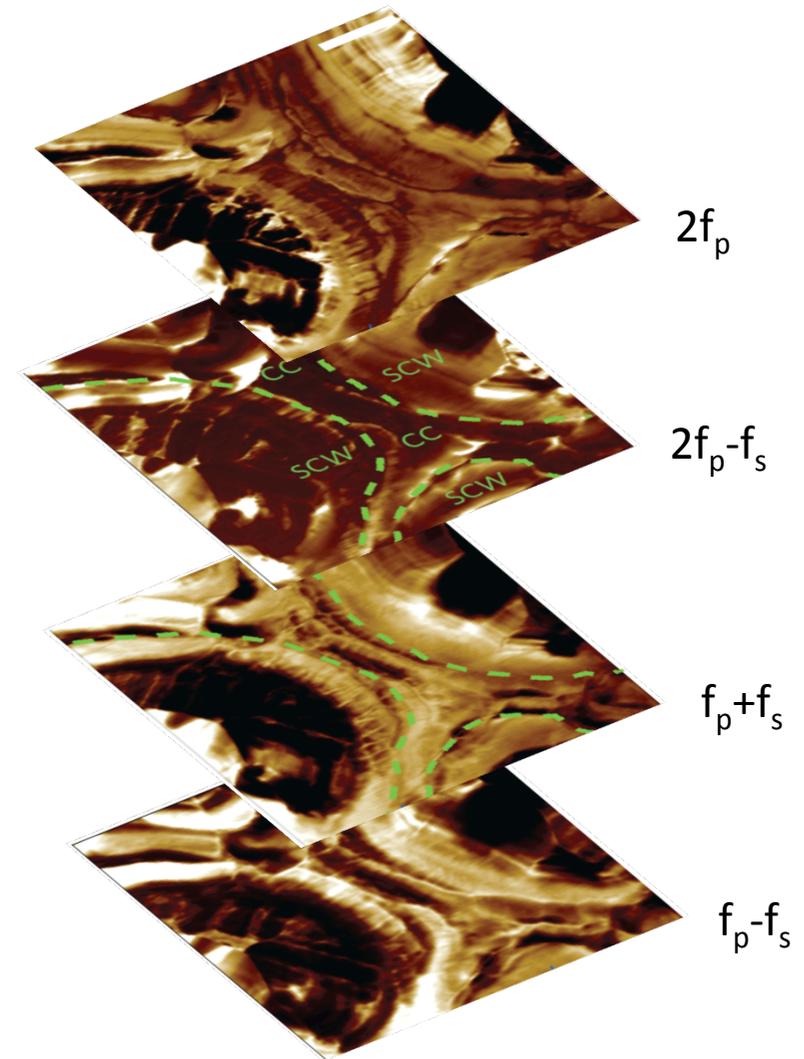
- Résolution de qqs nm avec des détails supplémentaires

3.2- Imagerie en profondeur avec une résolution spatiale au nm

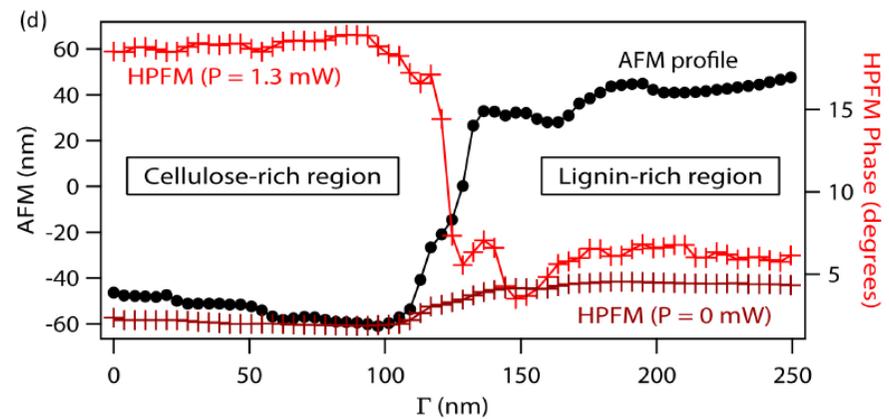
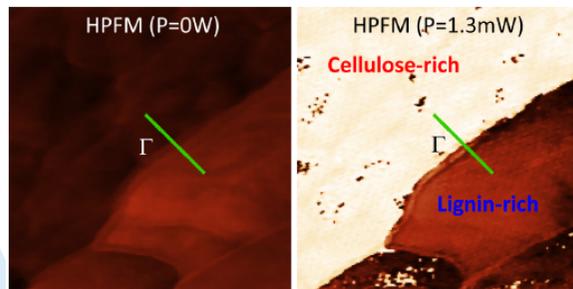
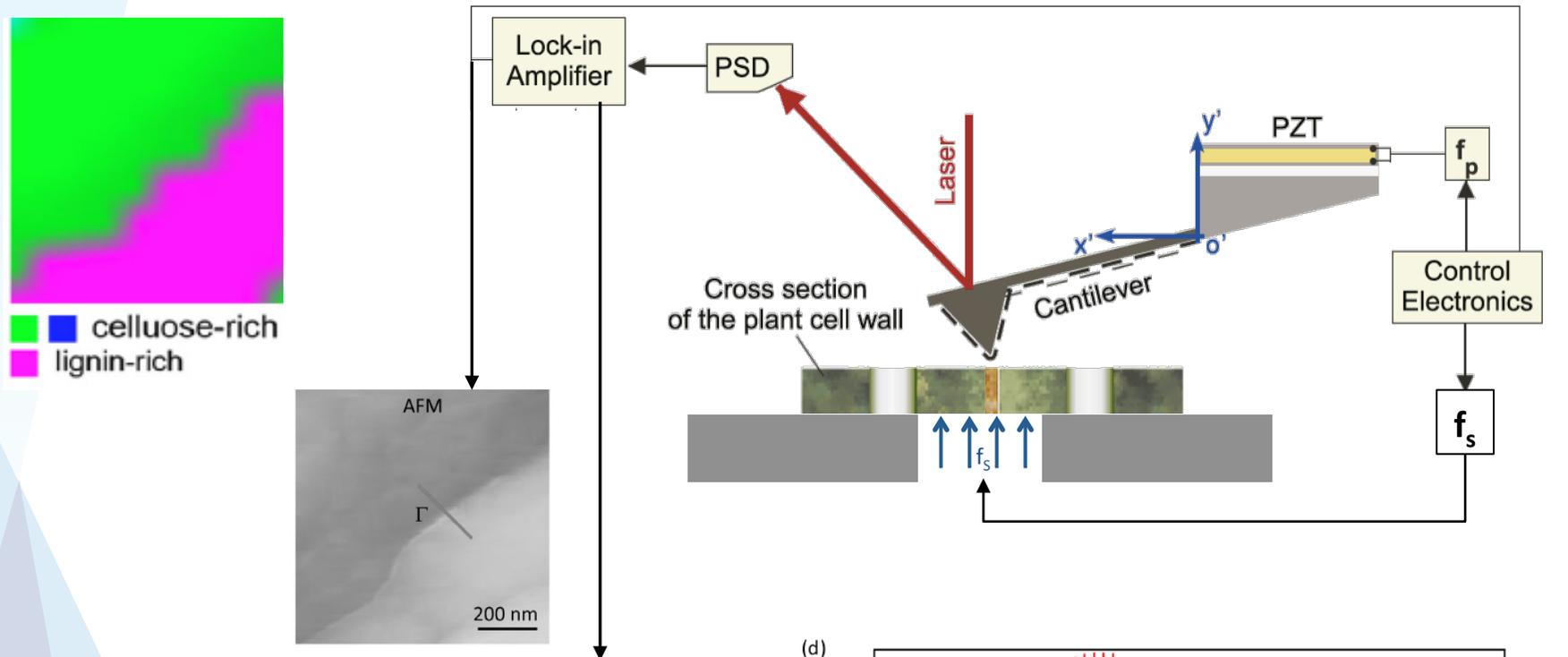


Tetard et al, Nature Nanotechnol. 5, 105 (2010)

- MSAFM permet de résoudre les différentes régions : parois secondaires, lamelle moyenne...
- Selon le mode synthétisé utilisé, on va pouvoir imager des détails enterrés.



3.3- HPFM – Hybrid photonic force microscopy

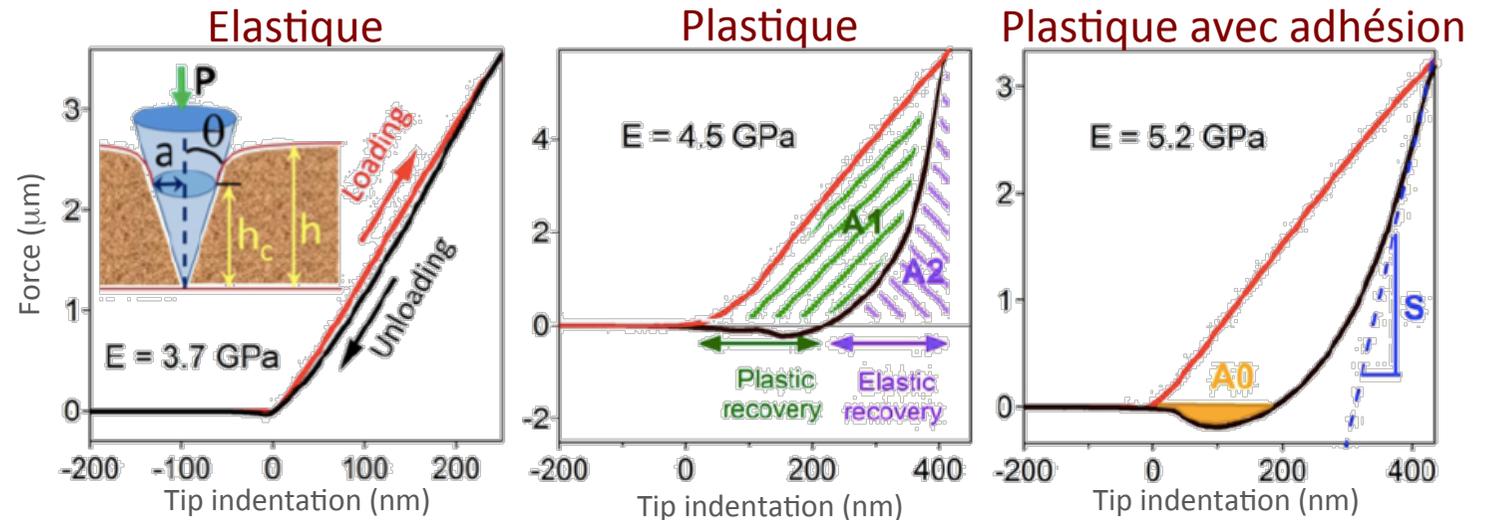
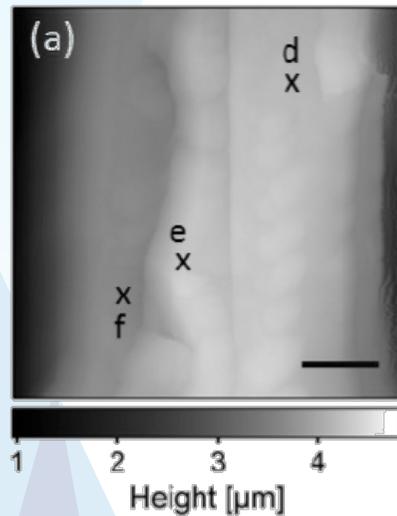


Tetard et al, Nature Nanotechnol. 10, 870 (2015)



QFM : Quantitative force microscopy

3.4- Propriétés d'élasticité, de plasticité et d'adhésion par AFM nanoindentation

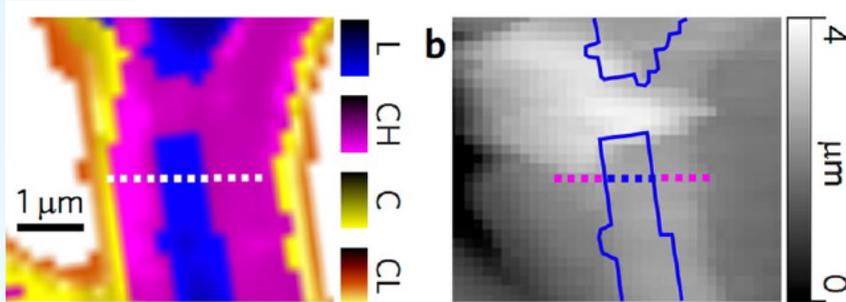


$$S = \frac{dP}{dh} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \frac{E}{(1 - \nu^2)} \times \sqrt{A}$$

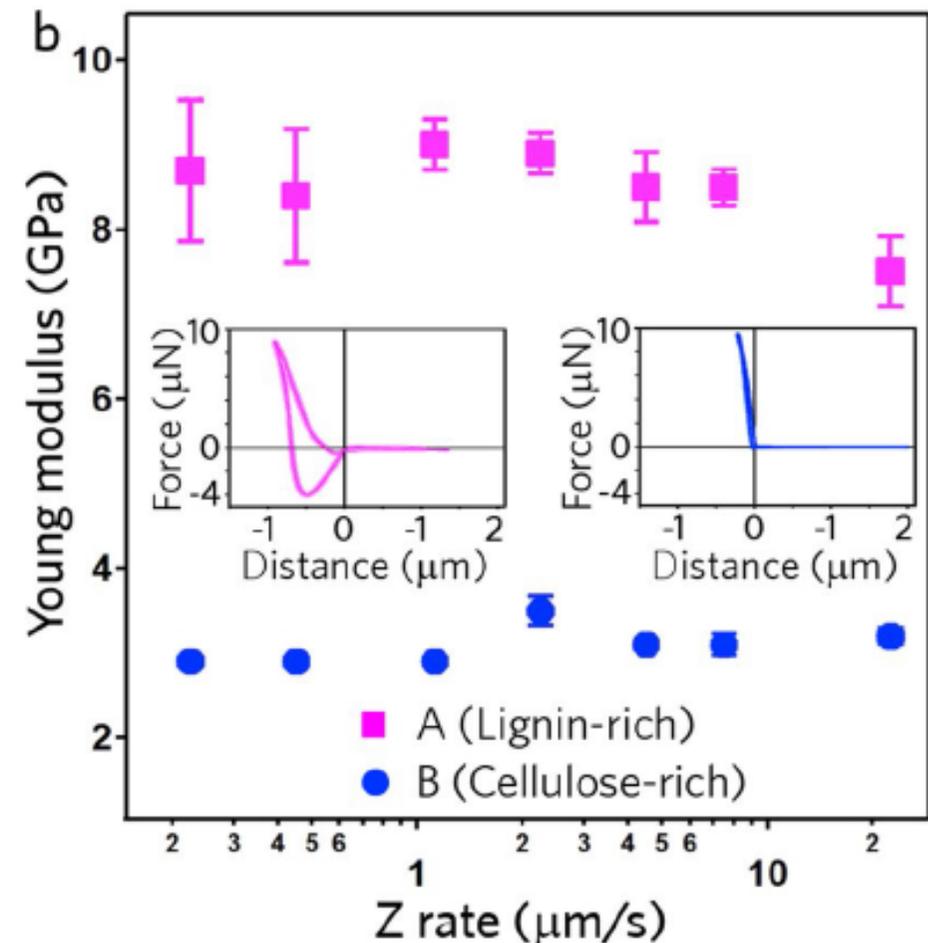
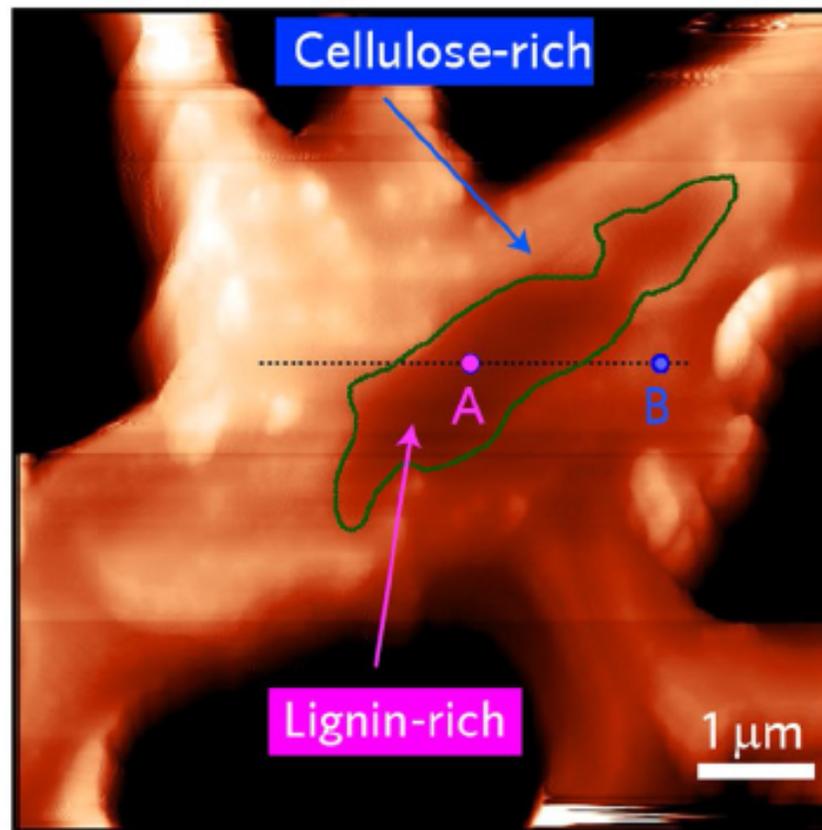
$$0 \leq \text{Parfaitement élastique} \quad PI = \frac{A_1}{(A_1 + A_2)} \quad \leq 1 \quad \text{Pleinement viscoplastique}$$

$$E_{adh} = A_0$$

E au moins 2.5 fois plus grand au niveau de la lamelle moyenne



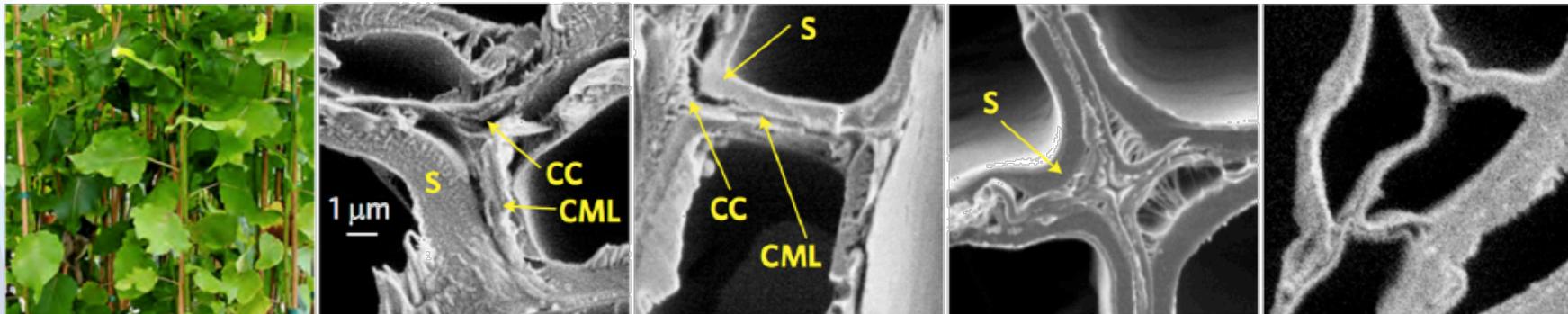
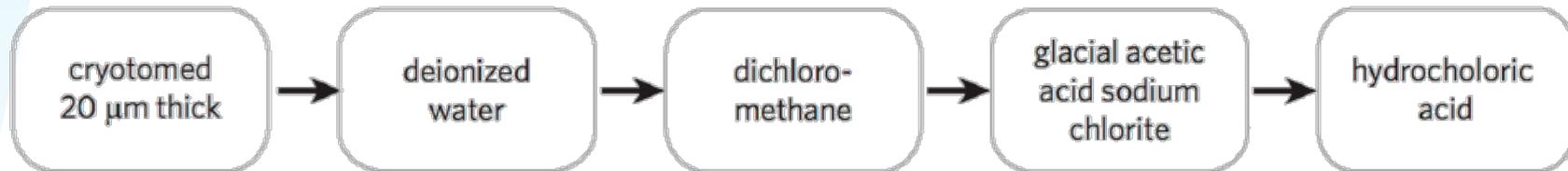
R. Farahi et al, Sci Report 7, 152 (2017)





Dans le contexte de biocarburant : suivi
de procédé chimique de délignification

Délicignification par procédés chimiques



Young poplar

seedling,
6 weeks old

Untreated raw (UR)

organics (fats,
terpenes, etc.)
lignin, cellulose,
hemicellulose

Extractive-free (EF)

lignin, cellulose,
hemicellulose

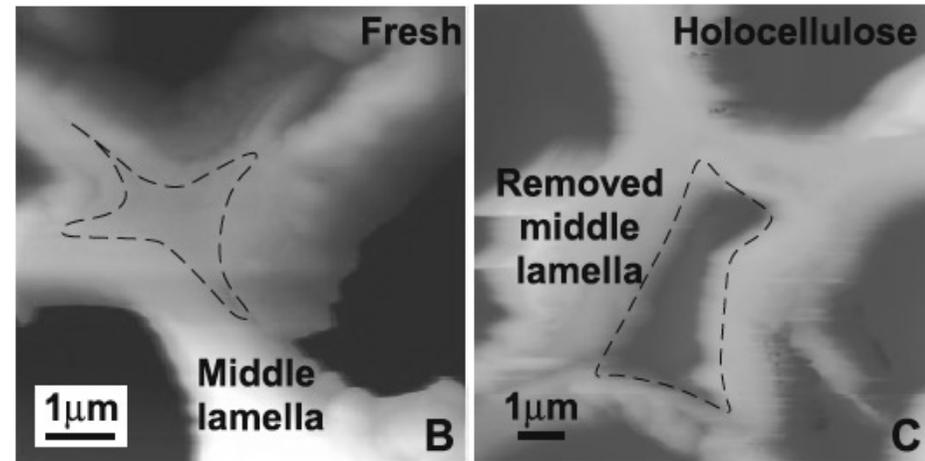
Holopulped (EH)

cellulose,
hemicellulose,
some lignin

Acid treated (EHA)

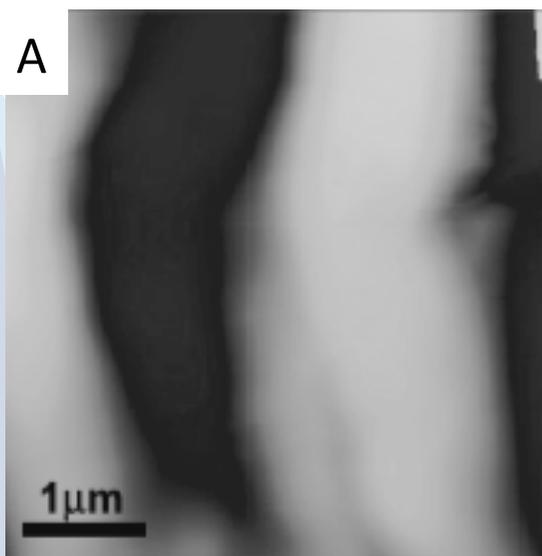
cellulose, trace
amounts of lignin
and hemicellulose

Suppression de la lignine : AFM (structure) versus MSAFM (structure et subsurface)

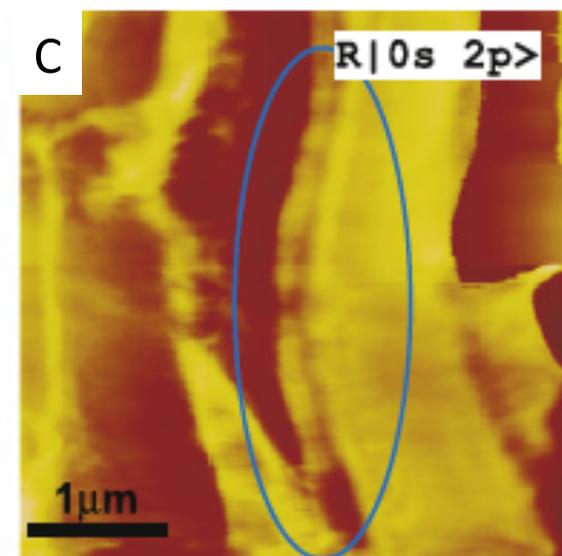
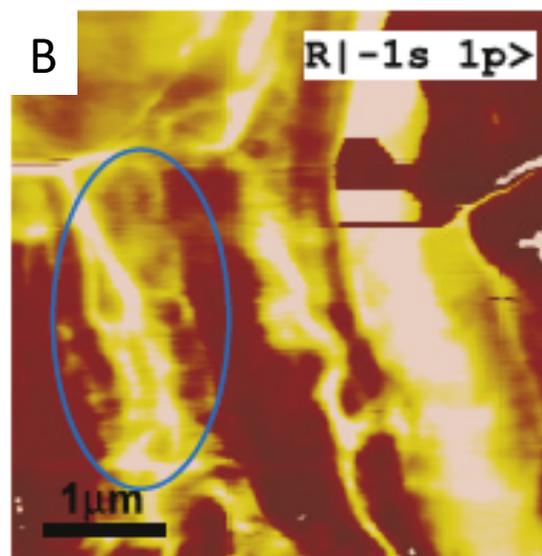


L. Tetard et al, Nanotechnol. 22, 465702 (2011)

Topographie

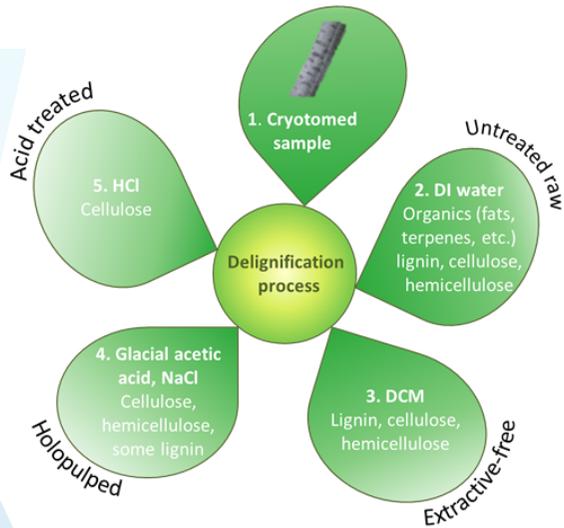


MSAFM

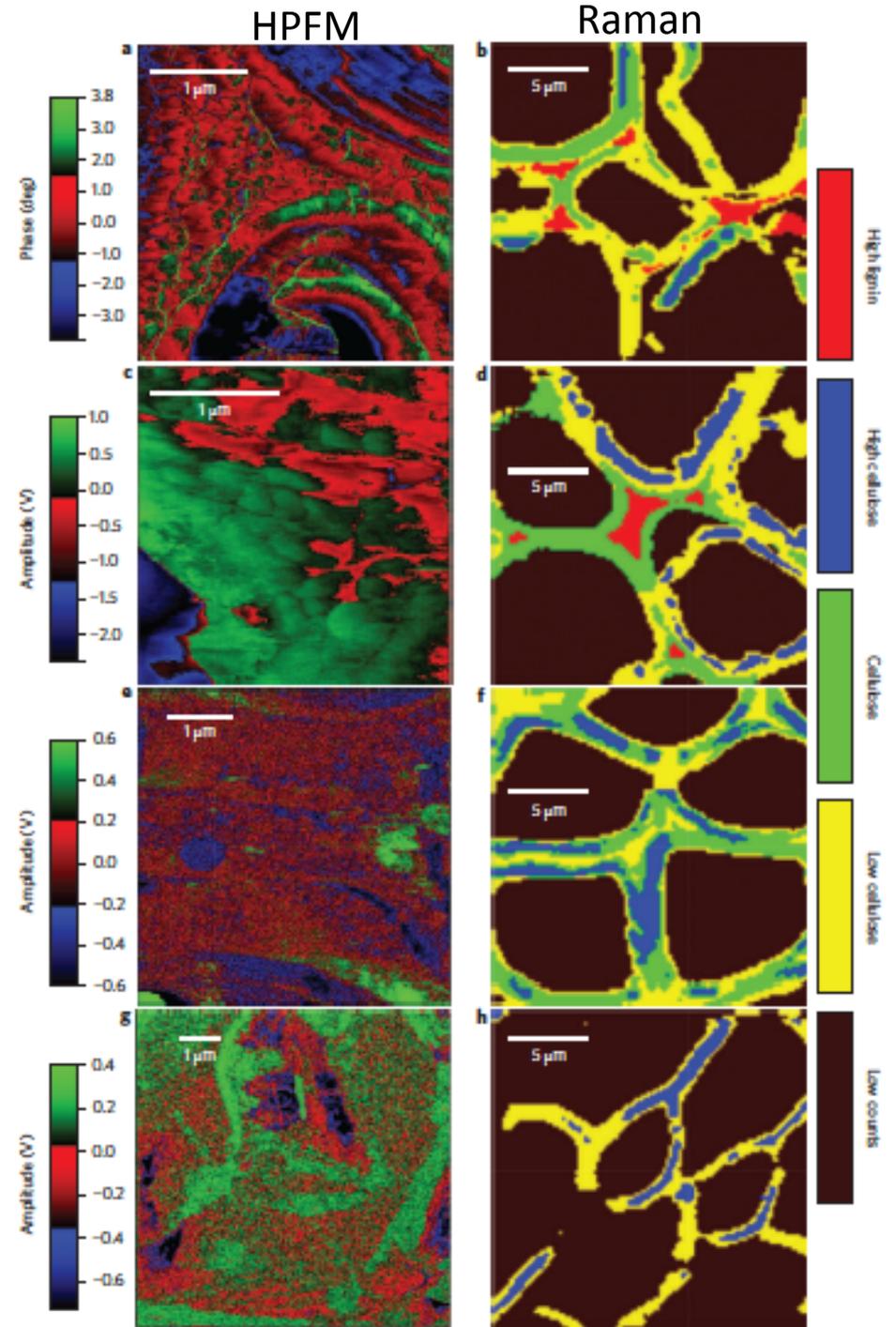


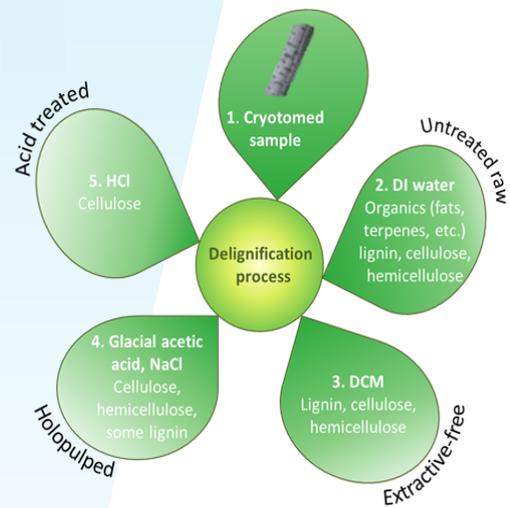
B- mise en évidence de structure de type vacuole } non observé sur la topographie associée
 C- mise en évidence de la structure en couche }

HPFM pour une reconnaissance chimique



HPFM cartographies montrent la réponse hétérogène de la composition chimique de la biomasse selon les stades de traitements



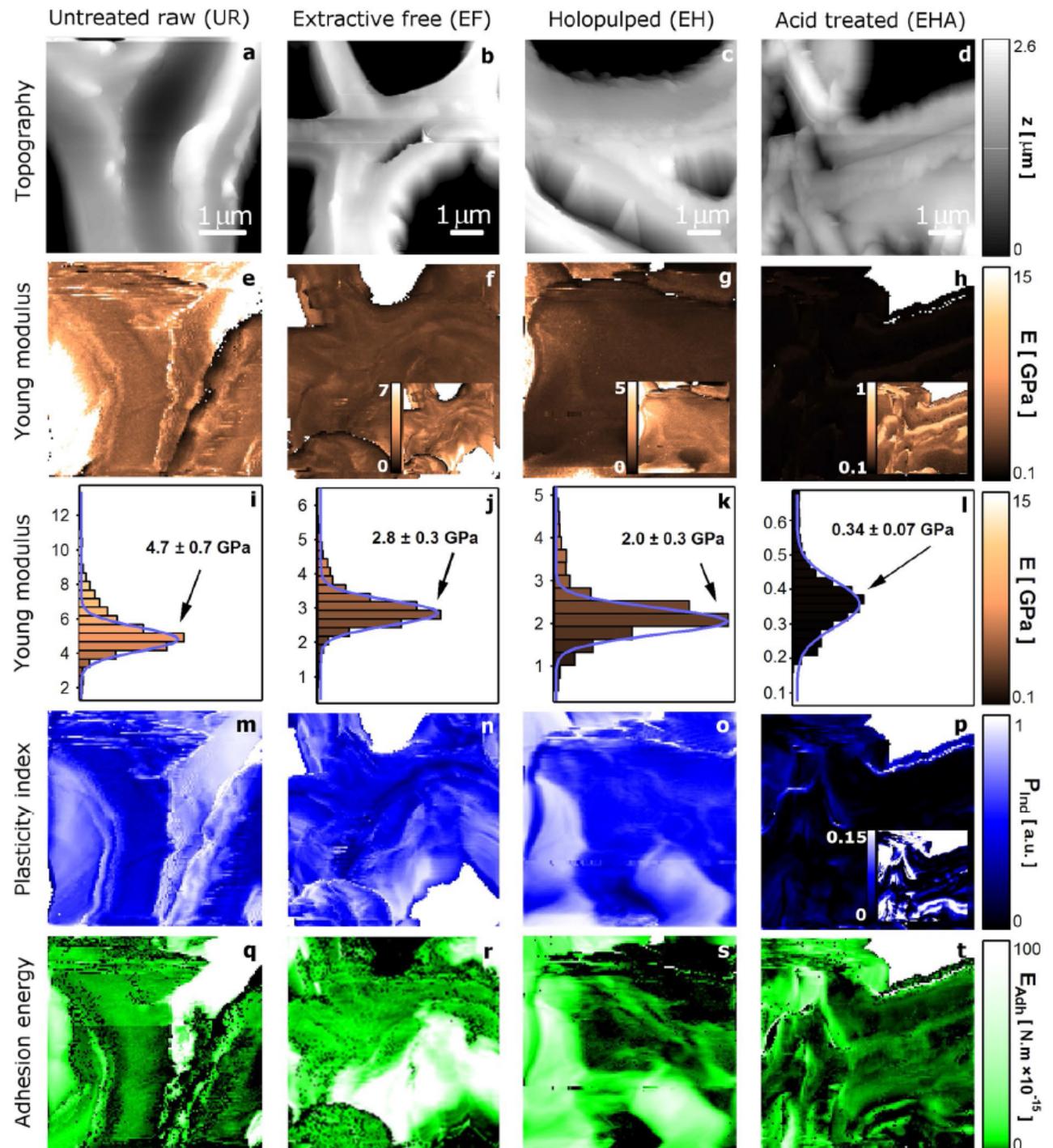


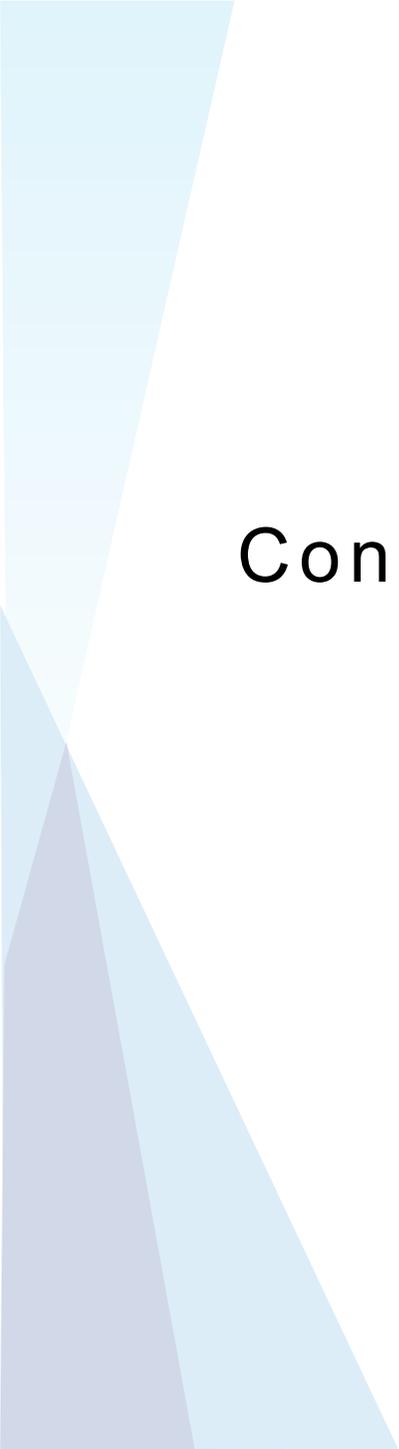
E réduit par plus de 2 fois pendant la suppression de la lignine

E réduit par plus de 10 fois à l'étape finale

Evolution vers des PI evidencing an elastic behavior

Sci Report 7, 152 (2017)
Frontiers in Energy Research, Bioenergy and Biofuels (2018)





Conclusion et perspectives

L. Tetard et al, Nanotechnol. 22, 465702 (2011)
R. H. Farahi et al, Sci Report 7, 152 (2017)
A. M. Charrier, et al Frontiers in Energy Research 6(11) (2018)
R. H. Farahi, et al, Submitted to Nature Comm. (2018)



Morphogénèse des plantes ou comment répondent-elles à un stimuli extérieur

Comment l'application d'un stress externe pendant la croissance va générer une modification des propriétés de la plante à l'échelle du nano et du micro ?

Remerciements



A. Charrier



A. Passian, R. H. Farahi, B. H. Davison

