

**L'Université d'Orléans**

*Ancrée dans le territoire,  
ouverte à l'international*



# UNIVERSITE D'ORLEANS



[Yann.Vaills@univ-orleans.fr](mailto:Yann.Vaills@univ-orleans.fr)



Diffusion Brillouin de la lumière par la matière dense



# Quelques étudiants célèbres de l'Université d'Orléans, créée en 1306 :

- ✓ Bertrand de Got (futur Pape Clément 5) XIIIème
  - ✓ François Rabelais XVIème
  - ✓ Jean Calvin XVIème
  - ✓ Erasme XVIème
- ✓ Etienne de la Boétie - 1553
- ✓ Jean-Baptiste Poquelin (Molière) - 1640
  - ✓ Charles Perrault - 1651
  - ✓ Jean de la Bruyère - 1665

# Caractérisation des propriétés mécaniques de la matière par diffusion de la lumière : du solide vitreux au liquide avec un détour par la matière biologique

Yann Vaills

E-mail : [Yann.Vaills@univ-orleans.fr](mailto:Yann.Vaills@univ-orleans.fr)

<http://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/?nom=vaills>

Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation UPR 3079 CNRS



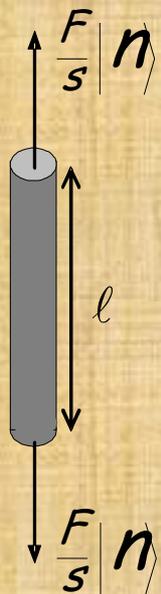
Diffusion Brillouin de la lumière par la matière dense



dépasser les frontières

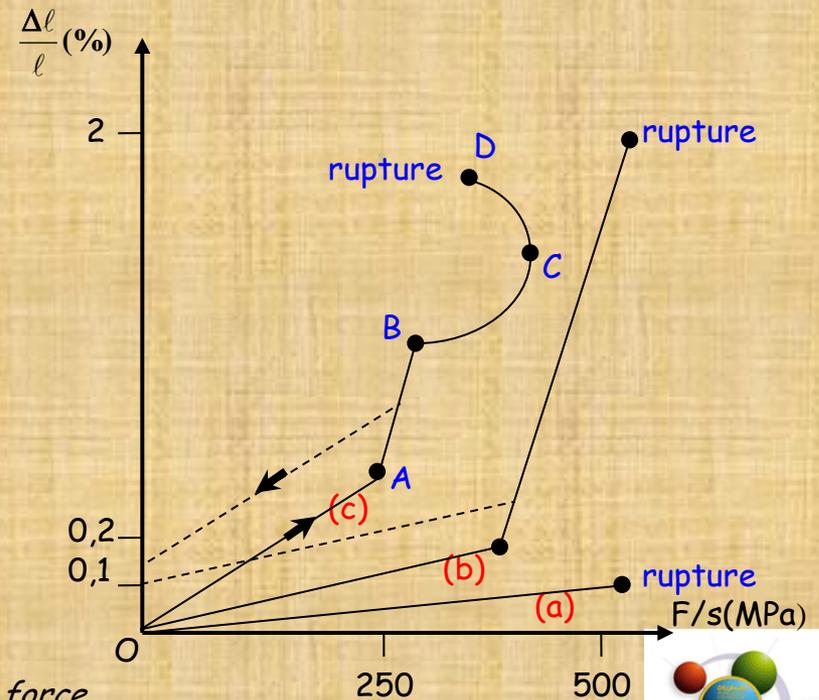
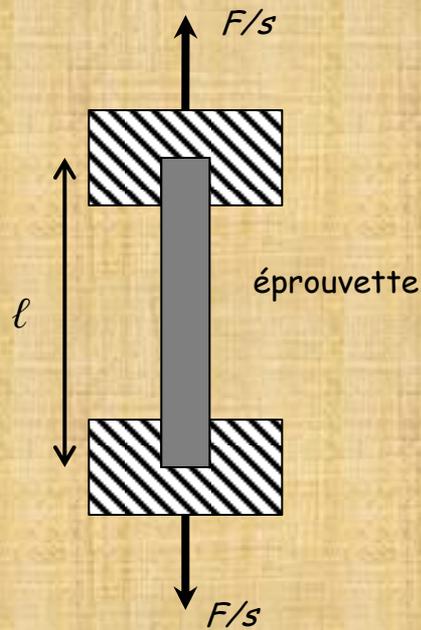


# Les propriétés mécaniques de la matière



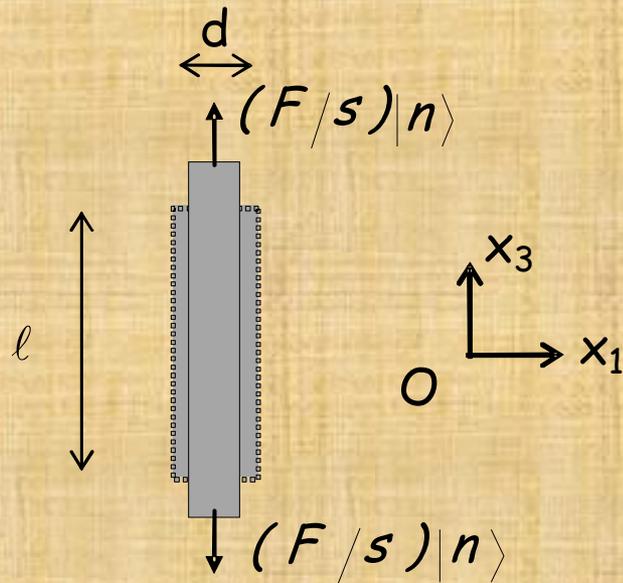
Le module d'Young :  $E$

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{F}{s}$$



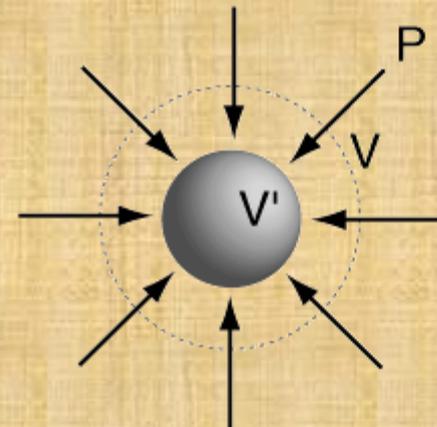
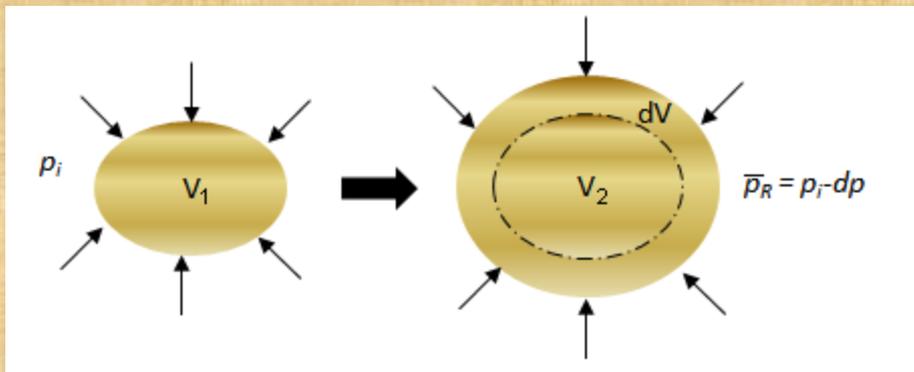
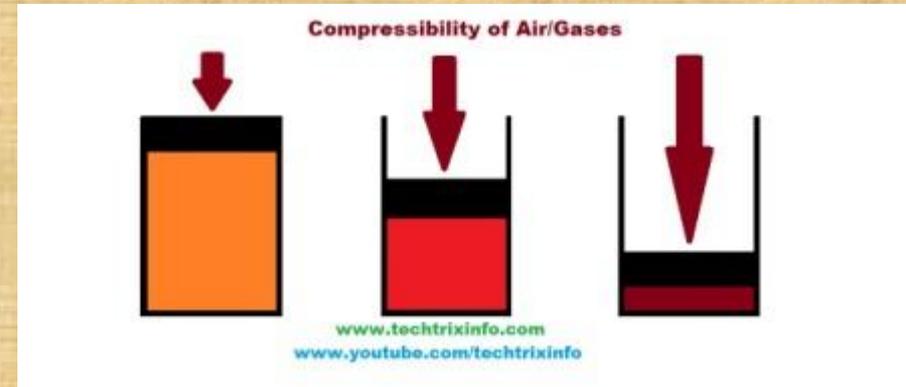
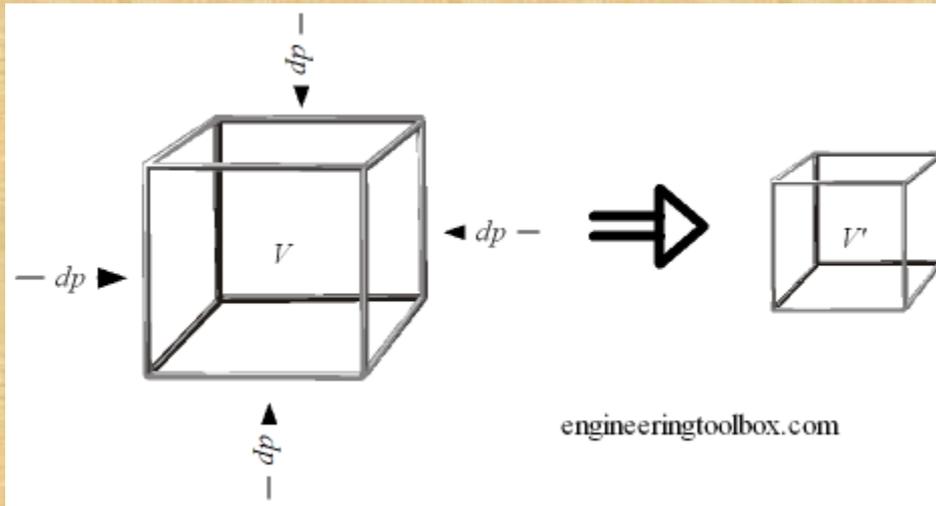
$F/s$  contrainte exercée :  $F$  = force,  
 $s$  = section de l'éprouvette

# Quotient de Poisson : $\sigma$



$$\sigma_p = - \frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

# Compressibility or Bulk Modulus : $\chi = B^{-1}$

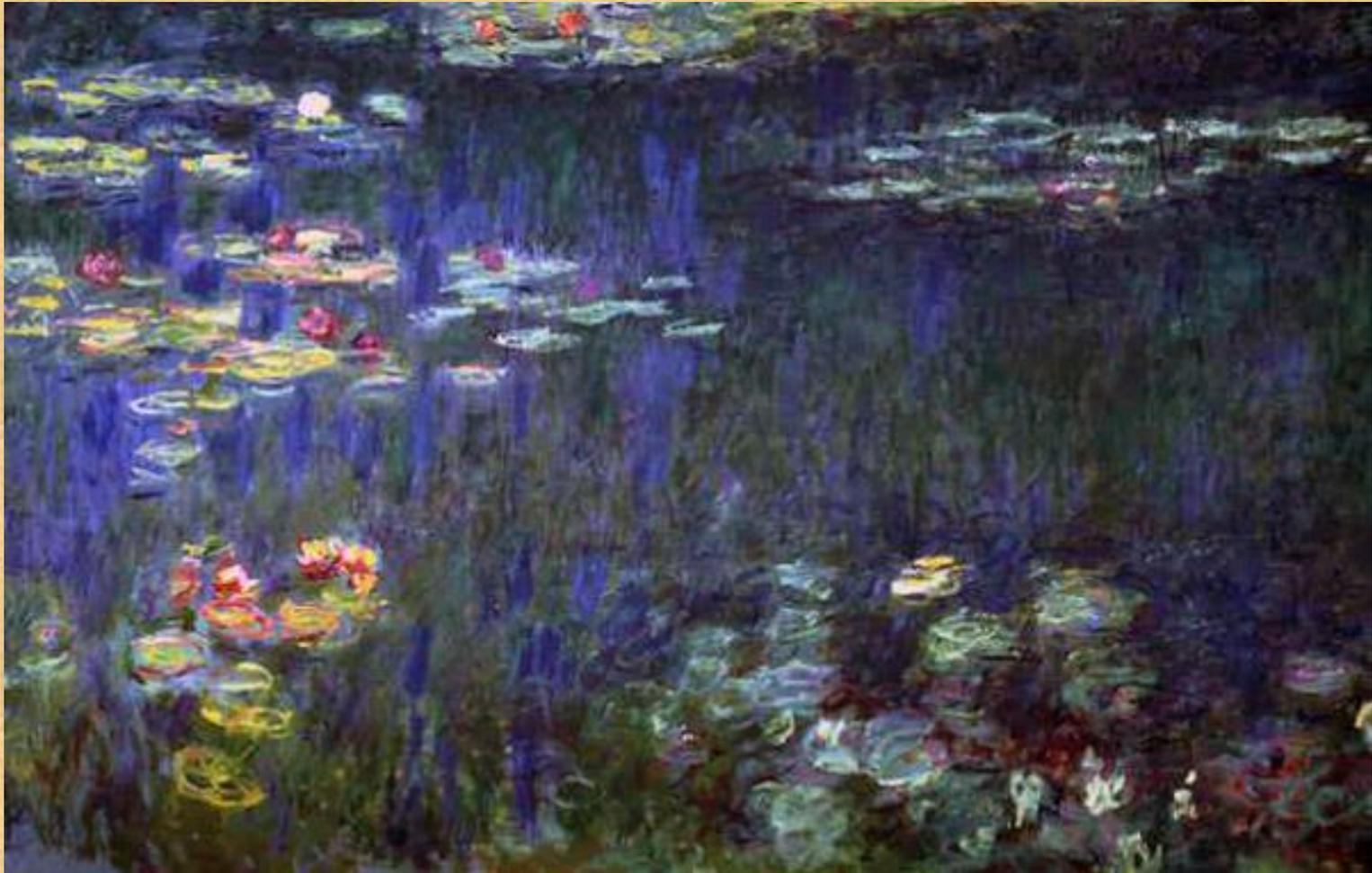


Bulk modulus:

$$B = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$$

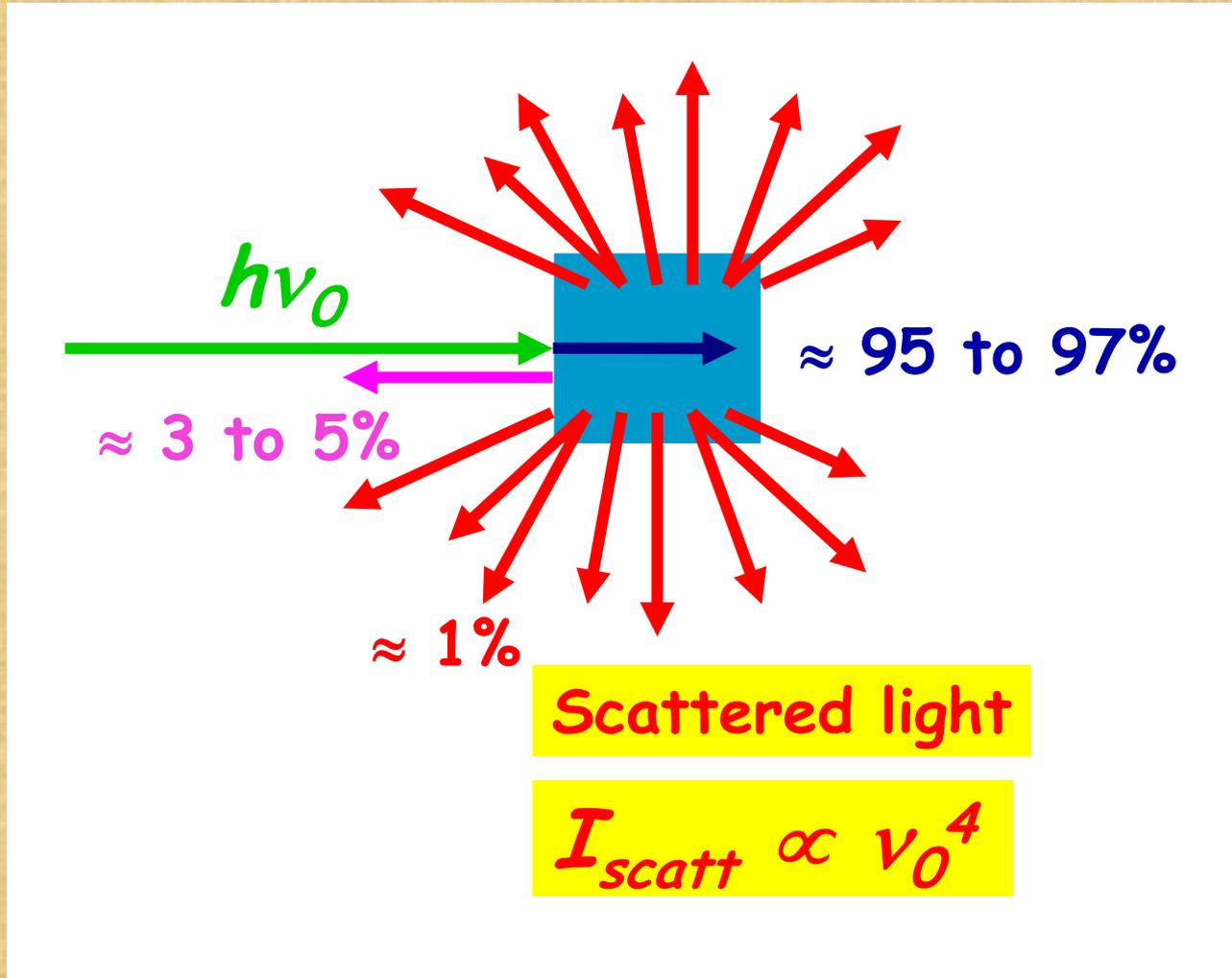
$P$  = pressure  
 $V$  = volume

# Light scattering



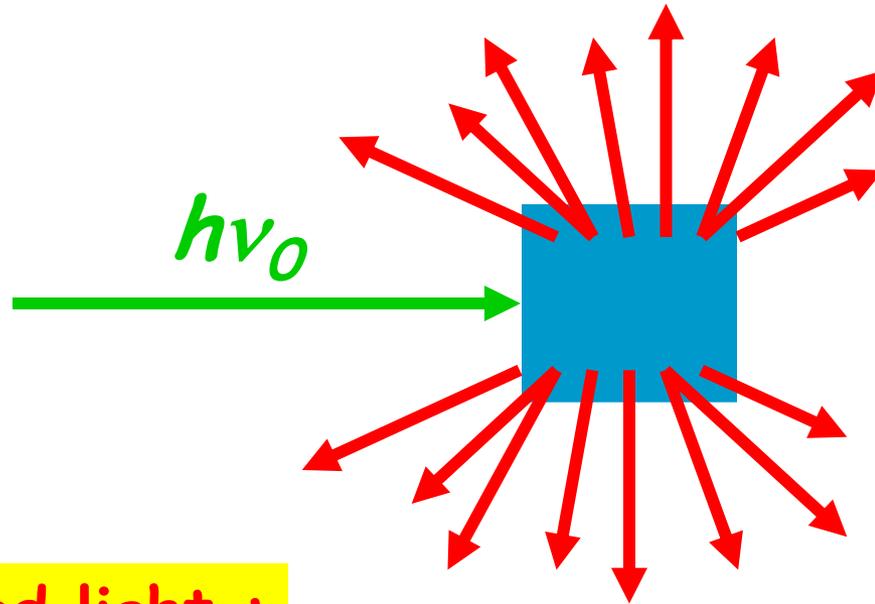
*« La lumière est le principal personnage dans le tableau »*

# Light scattering



# Light scattering





Scattered light :

$$I_{scatt} = I(\nu_0) + I(\nu \neq \nu_0)$$

≈ 90 to 99 %

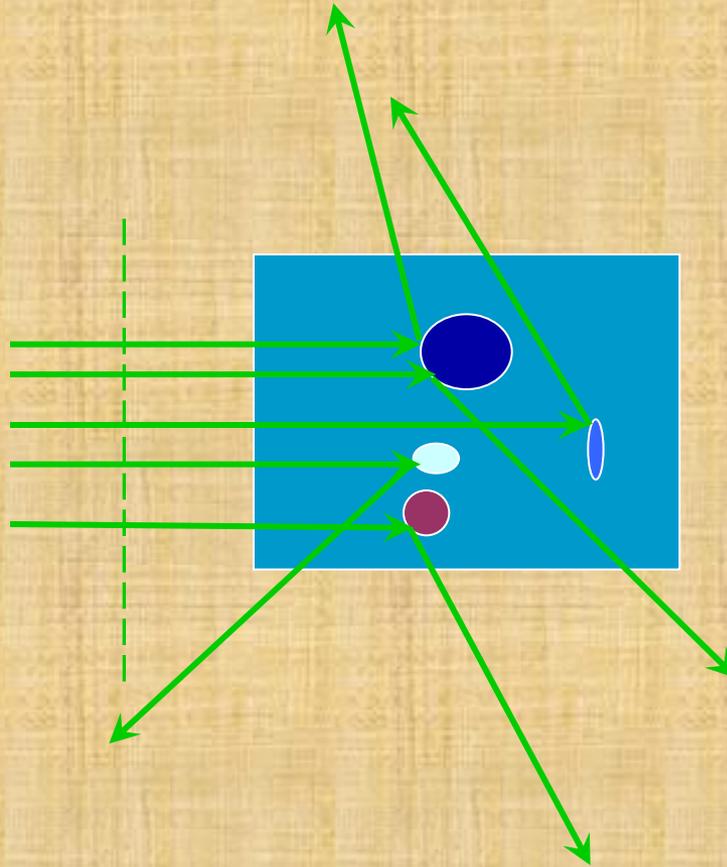
Rayleigh scattering

≈ 1 to 10%

Raman effect

# a. Rayleigh scattering :

due to the static fluctuations of refractive index



## b. The Raman effect

$$I_{scatt} = I_{Rayl}(\nu_0) + I_{Raman}(\nu)$$

$$\nu_{Raman} = \nu_0 \pm \nu_i$$

$\nu_0$ : incident light frequency

$\nu_i$ :  $i$  vibrational mode frequency

➤ Si le mode de vibration est « **acoustique** » alors :

✓ il contrôle les propriétés **mécaniques** du matériau

✓ on le détecte par la **spectroscopie dite Brillouin**

➤ Si le mode de vibration est « **optique** » alors :

✓ il contrôle les propriétés **optiques** du matériau

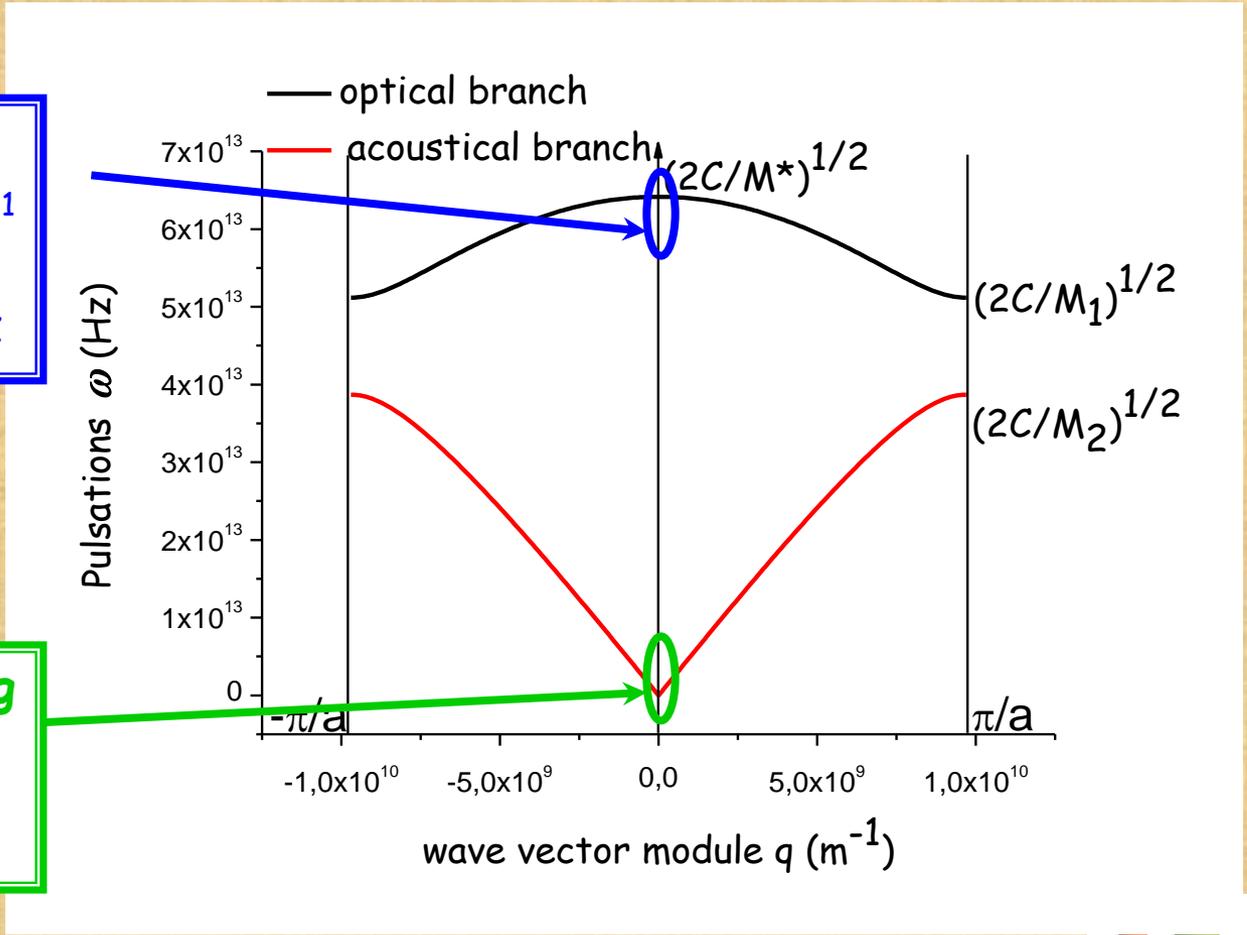
✓ on le détecte par la **spectroscopie dite Raman**

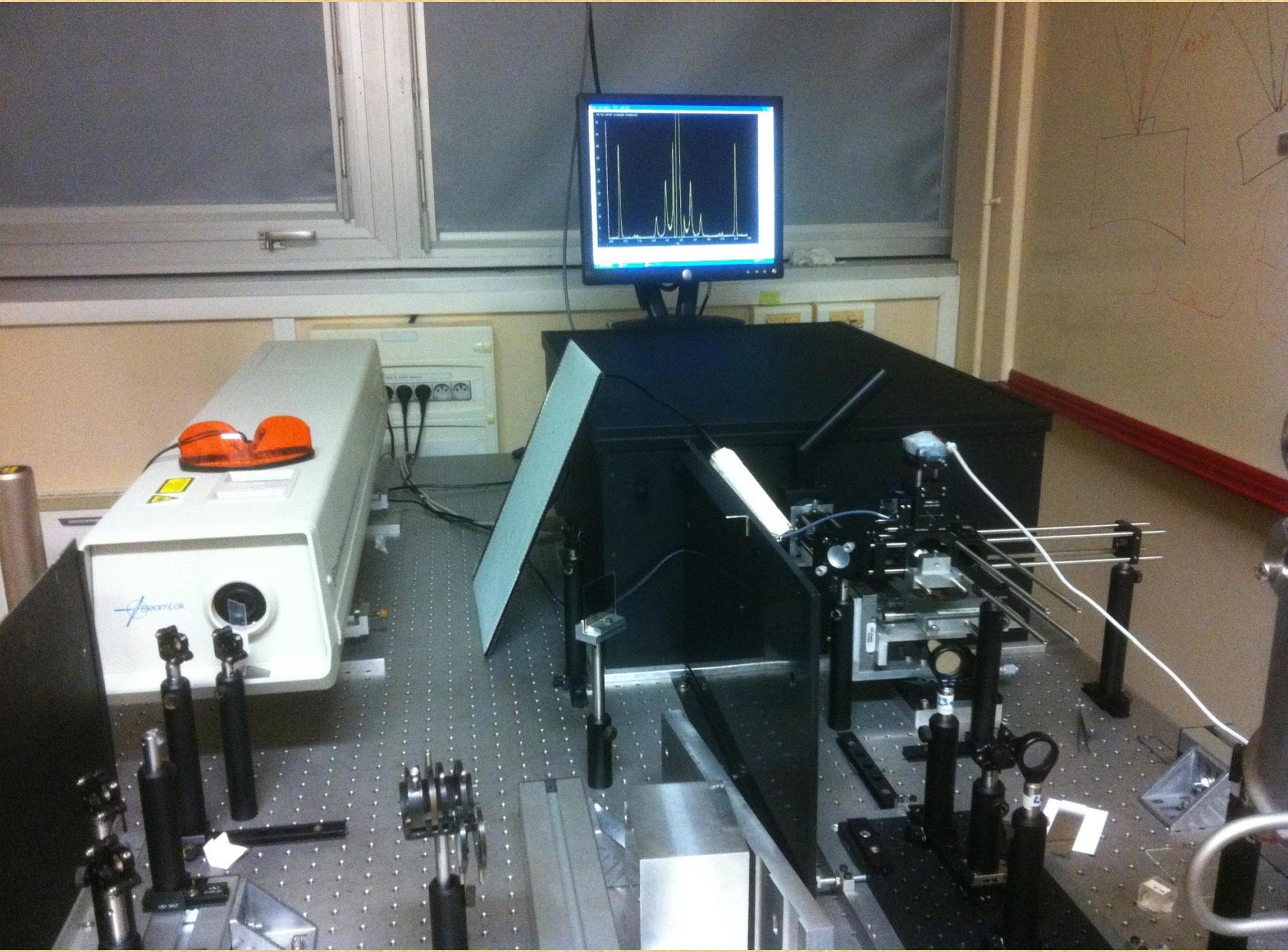
# The case of a diatomic linear lattice, periodicity : $a$

$$\|\vec{q}\| \cong \|\vec{k}_{inc}\| \cong \|\vec{k}_{scatt}\| \cong \frac{2\pi}{\lambda_0} \ll \frac{\pi}{a}$$

**Raman scattering**  
 $50 \text{ cm}^{-1} < \nu < 2000 \text{ cm}^{-1}$   
 $1.5 \text{ THz} < \nu < 60 \text{ THz}$

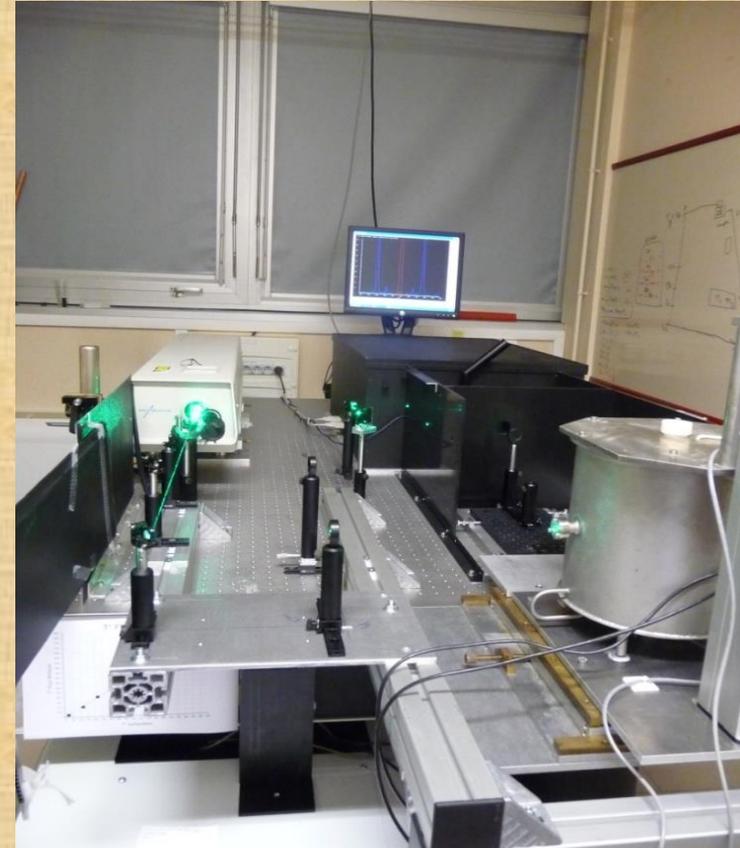
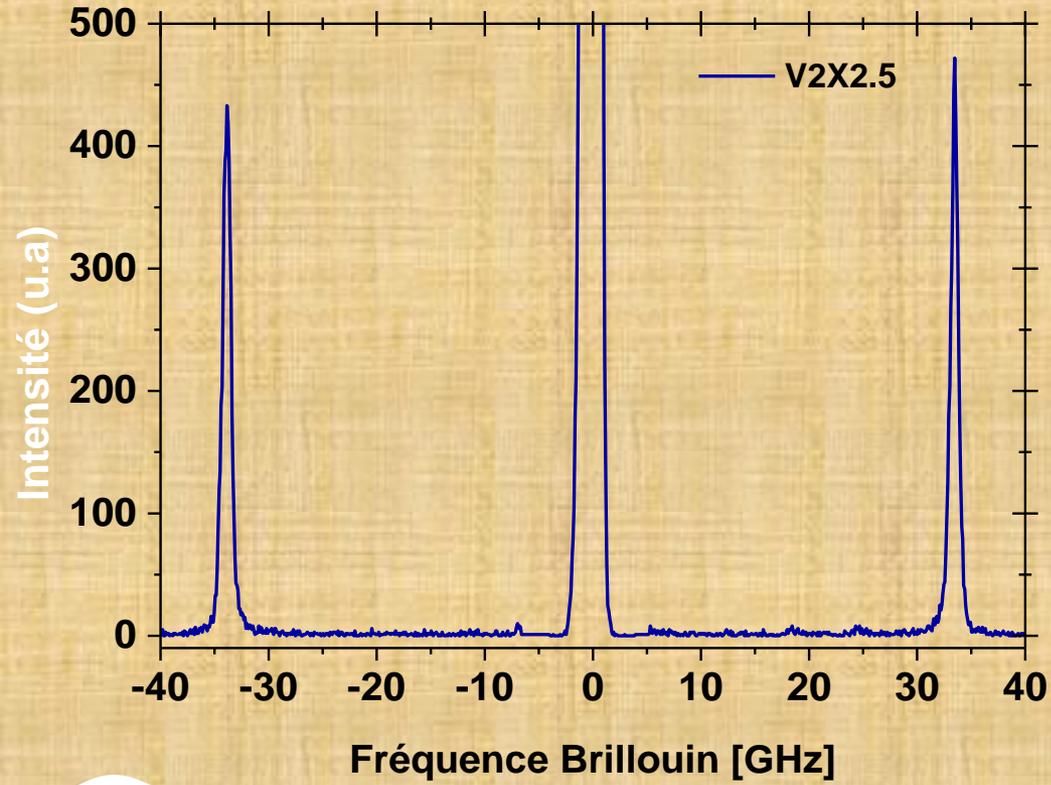
**Brillouin scattering**  
 $\nu < 2 \text{ cm}^{-1}$   
 $\nu < 60 \text{ GHz}$

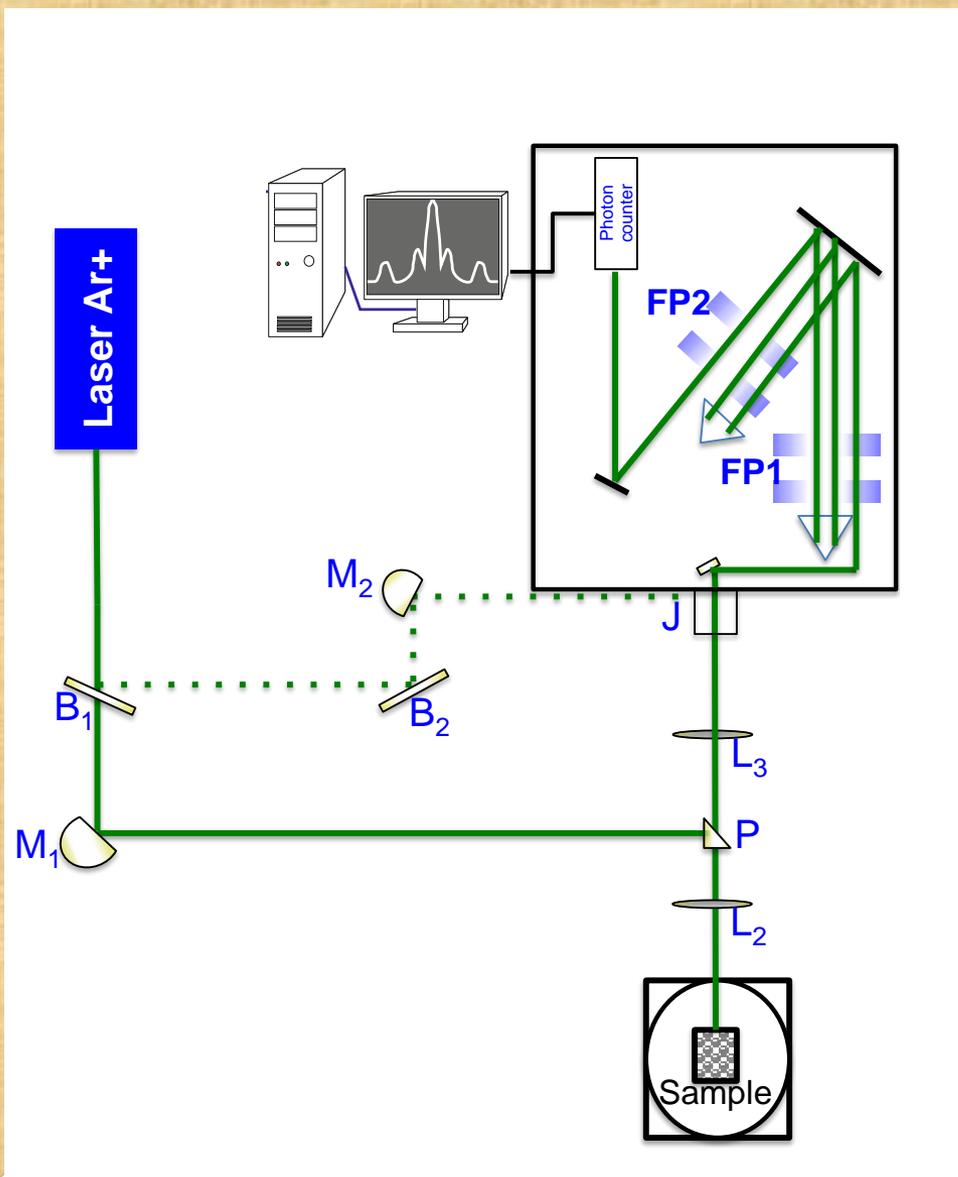


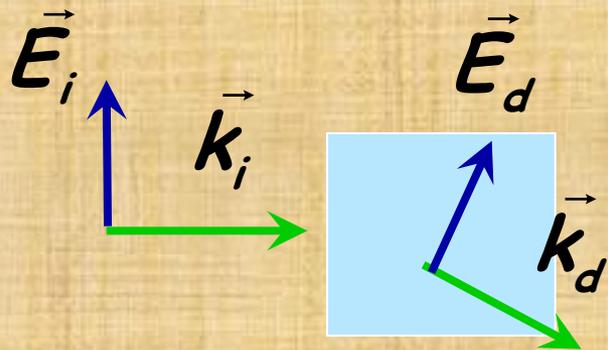


# La diffusion Brillouin de la lumière

La diffusion Brillouin de la lumière est la diffusion inélastique de la lumière par les modes de vibrations acoustiques de la matière



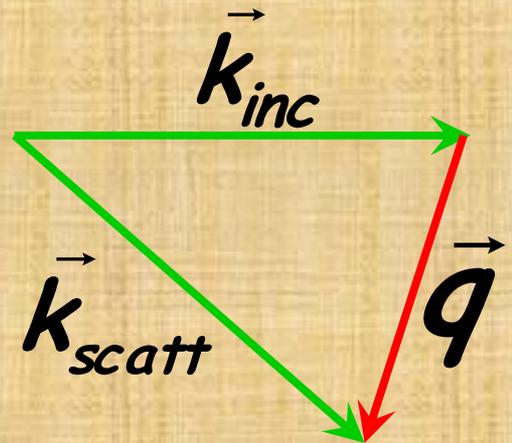




Interaction  
photon/phonon  
avec :

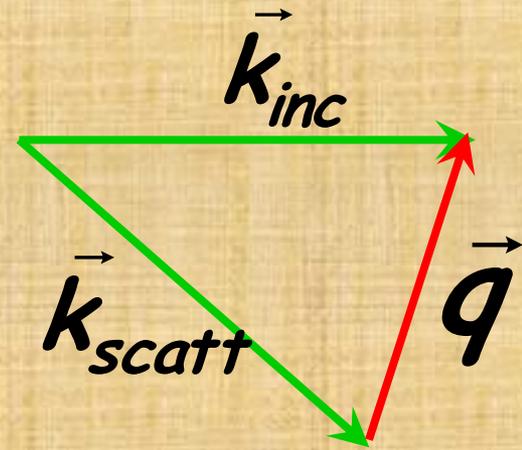
Conservation de  
l'impulsion  $\hbar \vec{k}$

Conservation  
de l'énergie



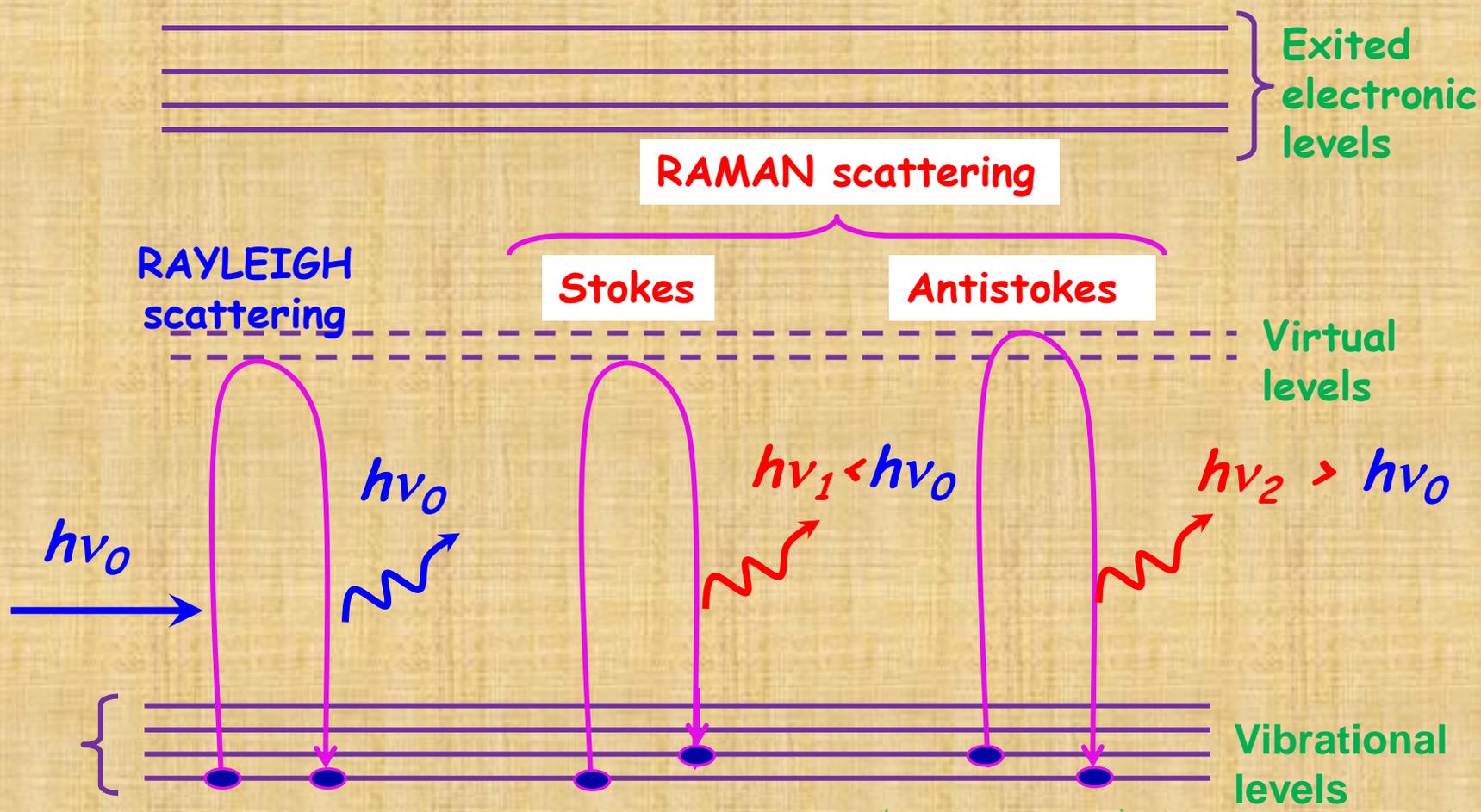
Annihilation of a  
vibrational mode  
 $\nu_s = \nu_0 + \nu_{phonon}$

↑  
antistokes



creation of a  
vibrational mode  
 $\nu_s = \nu_0 - \nu_{phonon}$

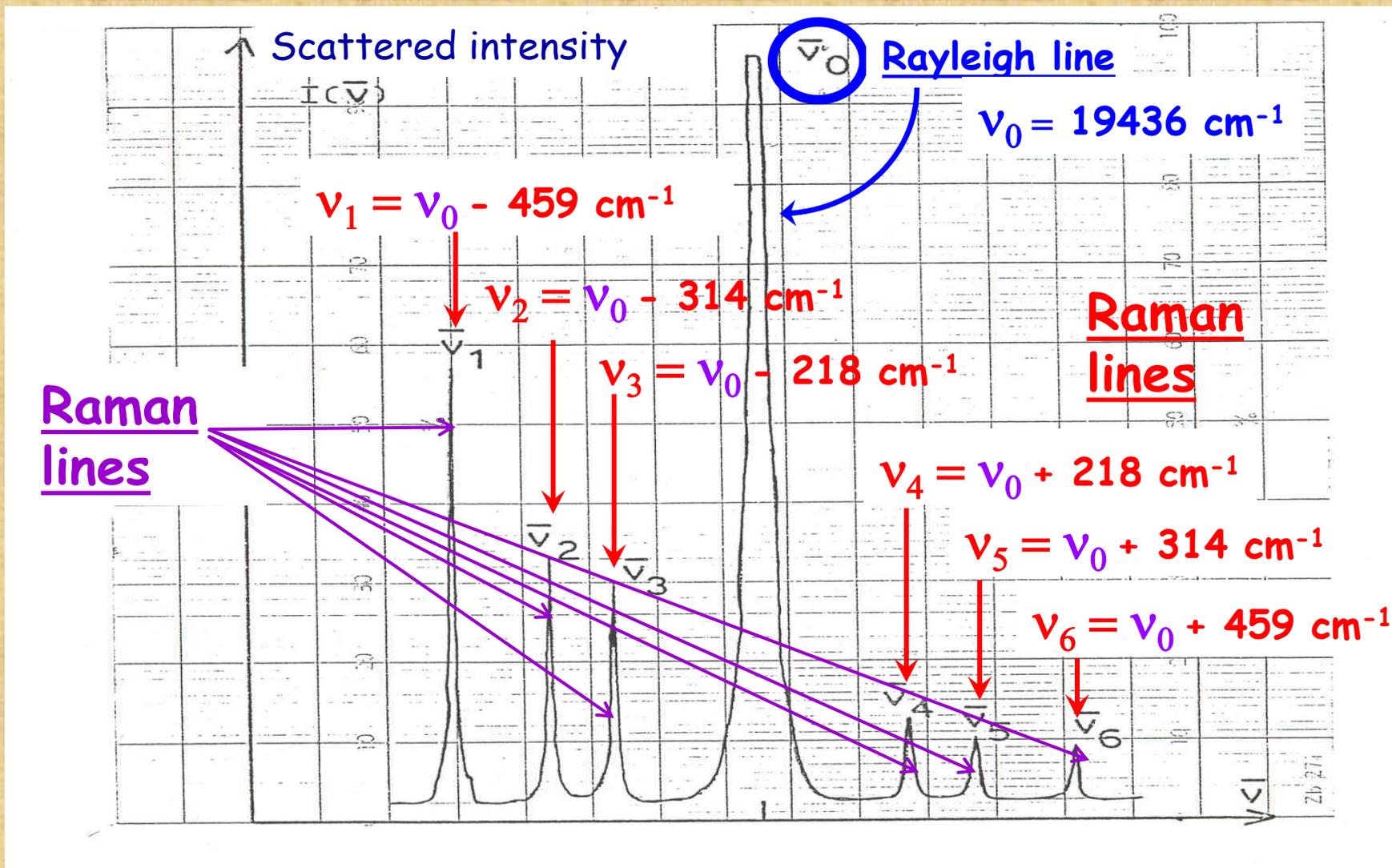
↑  
stokes



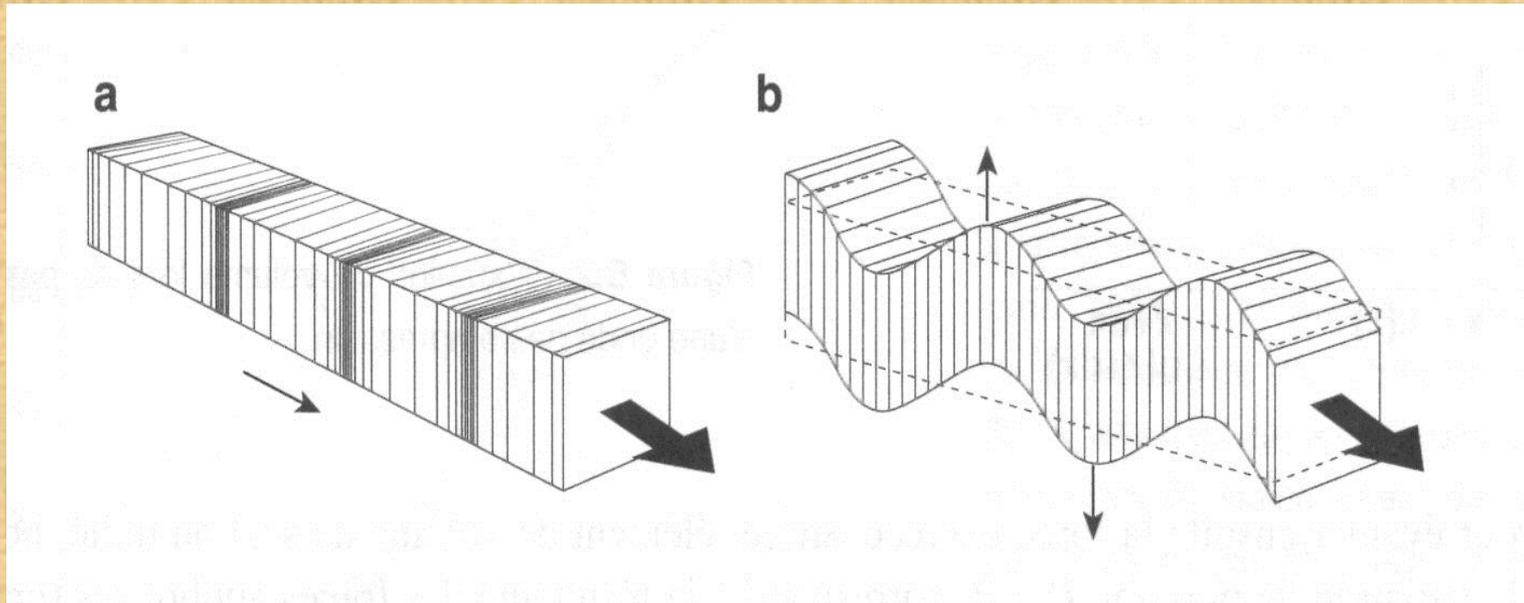
Fondamental electronic level

$$\propto \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right) = \exp\left(-\frac{\left[n + \frac{1}{2}\right] h\nu}{k_B T}\right)$$

Maxwell - Boltzmann  $\Rightarrow$  Raman Stokes et anti-Stokes lines have not the same intensities

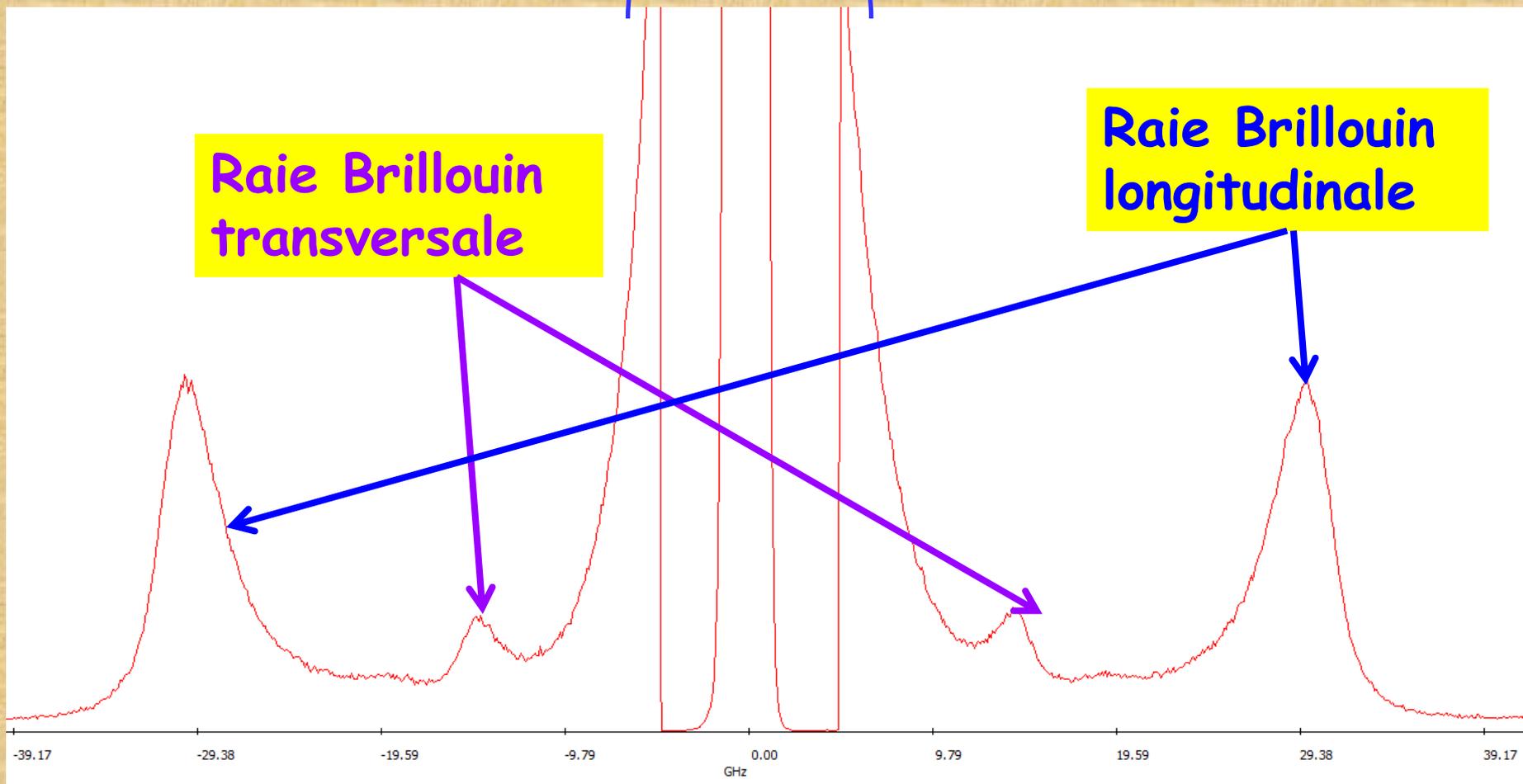


$\text{CCl}_4$  Raman spectrum at room temperature



*Ondes acoustiques longitudinales (a) et transversale (b). Les grandes flèches indiquent la direction de propagation du vecteur d'onde, les petites celles des déplacements de la matière (représentés pour une seule des deux polarisations transverses)*

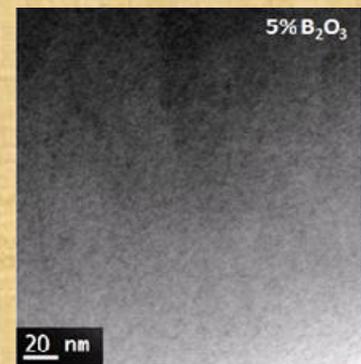
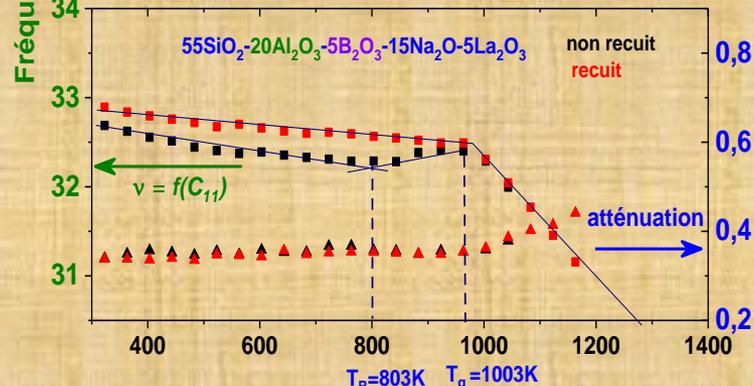
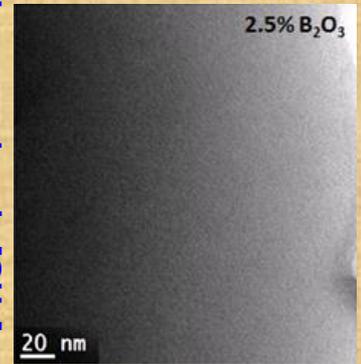
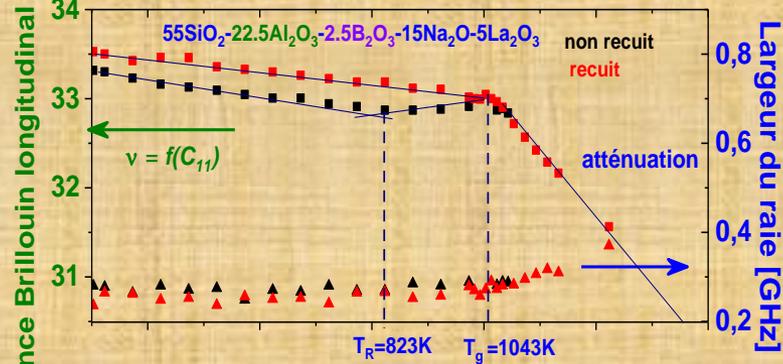
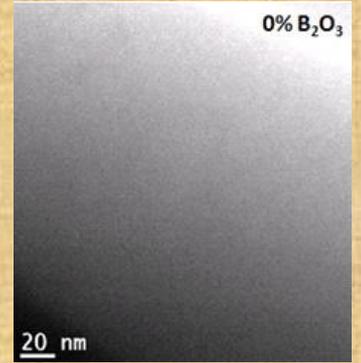
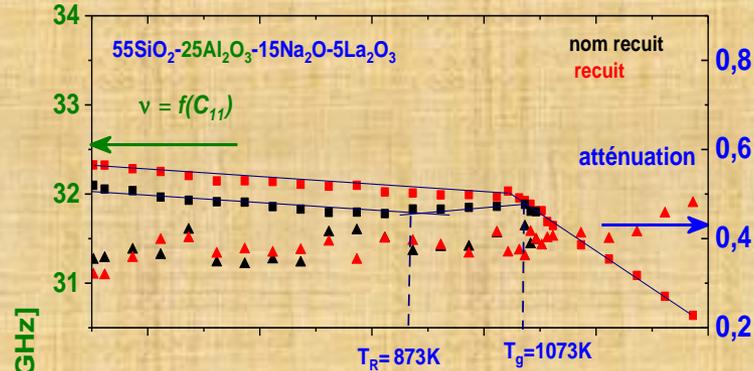
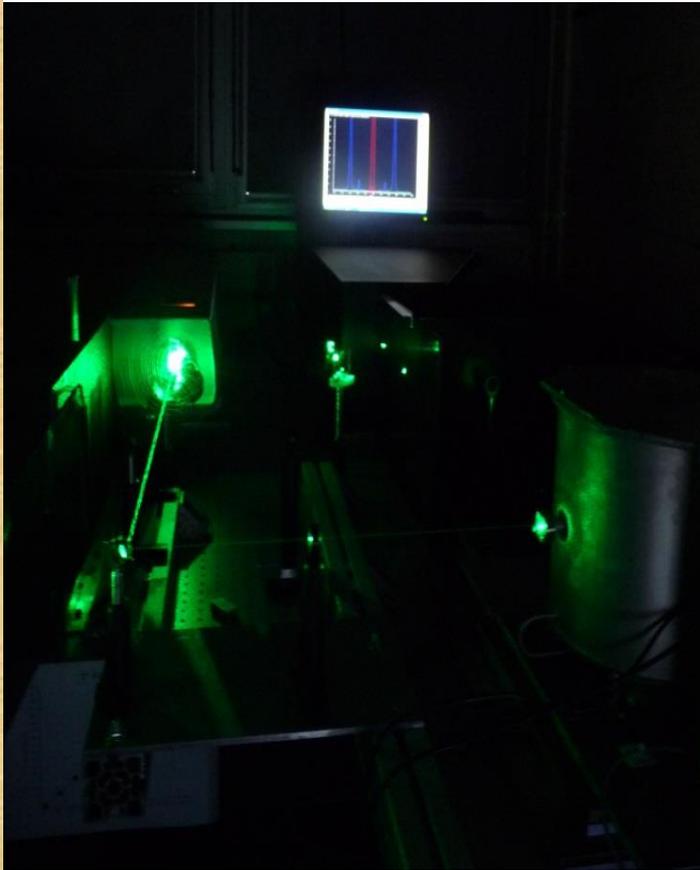
# Raie de diffusion Rayleigh



Raie Brillouin transversale

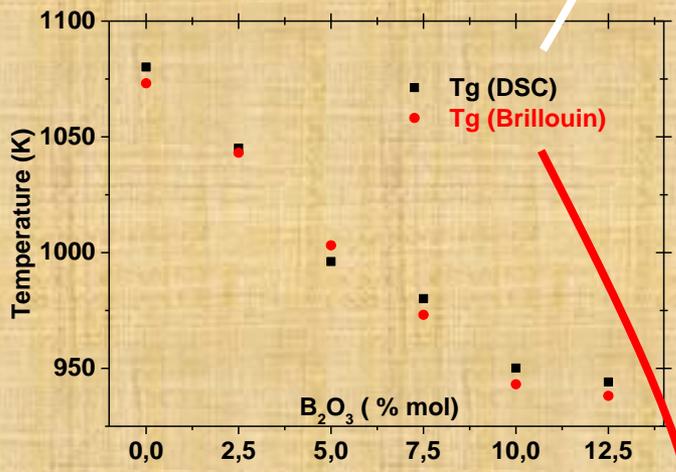
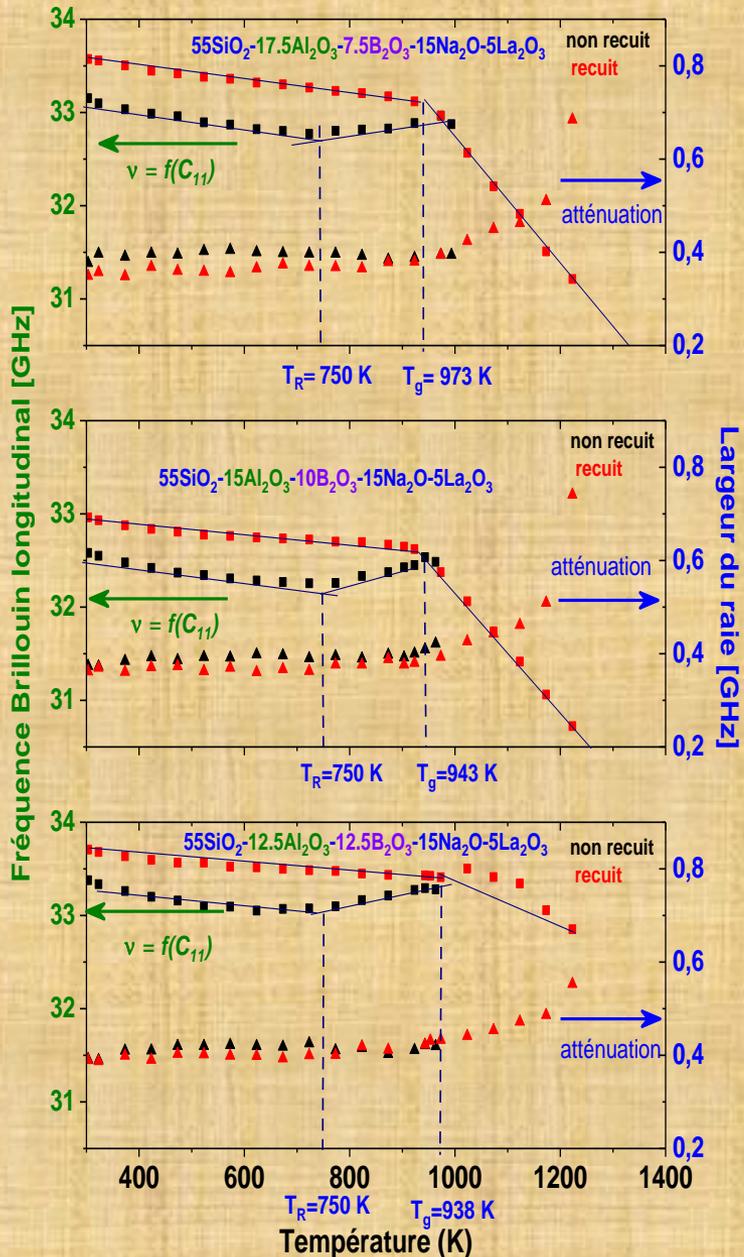
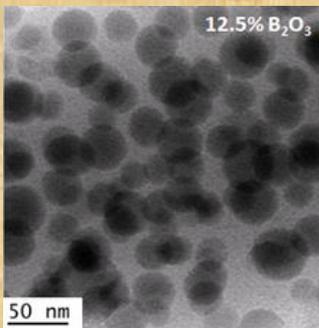
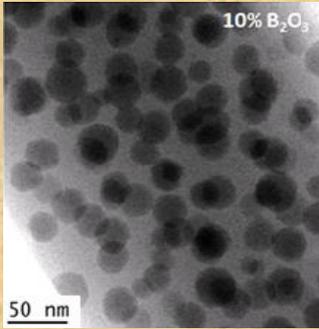
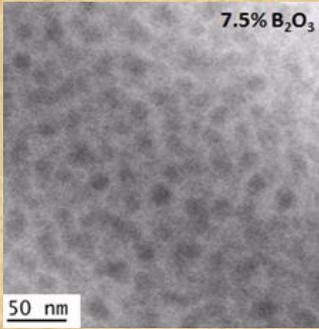
Raie Brillouin longitudinale

# Etude en température



Température (K)

# Etude en température



- i. Lines frequencies

For a right scattering configuration  $\vec{k}_{inc} \perp \vec{k}_{scatt}$

The example of glasses

$$v_l = \frac{v_0}{c} n \sqrt{2V_l} = \frac{v_0}{c} n \sqrt{\frac{2C_{11}}{\rho}}$$

Longitudinal acoustic mode of vibration

$$v_t = \frac{v_0}{c} n \sqrt{2V_t} = \frac{v_0}{c} n \sqrt{\frac{2C_{44}}{\rho}}$$

Transverse acoustic mode of vibration

# ■ From the Brillouin frequencies we deduce

The elastic properties of materials

- $n$  and  $\rho$  : measured by classical methods
- in an isotrope material : 2 independent elastic constants

Brillouin scattering  $v_l$   $v_t$   $\Rightarrow C_{11}$  and  $C_{44}$

$$C_{12} = C_{11} - 2C_{44}$$

$$\lambda = C_{12}$$

$$\mu = C_{44}$$

Lame's constants

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}$$

Young's modulus

$$\chi = \frac{3}{3\lambda + 2\mu} = \mathbf{K}^{-1}$$

compressibility

$\mathbf{K}$  Bulk modulus

$$\sigma_p = \frac{\lambda}{2(\mu + \lambda)}$$

Poisson ratio

## ■ Cas particuliers

### ➤ Milieu isotrope

- *deux modes de vibration*  $v_l$   $v_t$
- seul le mode longitudinal est détectable en rétrodiffusion
- **rétrodiffusion  $\Rightarrow$  1 seule raie Brillouin**  $v_l$

### ➤ Milieu anisotrope

- *trois modes de vibration*
  - *1 mode longitudinal ou pseudo longitudinal (intense)*
  - *2 modes transversaux ou pseudo transversaux (faibles)*

## ii. Experimental Brillouin linewidth : convolution of

- Natural Brillouin linewidth  $\Delta\Gamma_B$  ( $\approx 0.1$  GHz)
- Instrumental linewidth ( $\approx 1$  GHz)

Phonon lifetime  $\tau$

$$\tau = \frac{1}{\Delta\Gamma_B}$$

Phonon attenuation coefficient  $\alpha$  :

$$\Delta\Gamma_B = \frac{\alpha V_l}{\pi}$$

- iii. Lines intensities

Scattering by density fluctuations :

Rayleigh scattering (static)  
Brillouin scattering (dynamic)

Freezing of density fluctuations at the glass transition

$$I_{id} = I_0 \left( \frac{8\pi^3}{3\lambda_0^4} \right) n^8 \left( \frac{\beta_{id}}{\rho} \right)^2 \langle |\Delta\rho|^2 \rangle V_0 k_B T$$

*J. Shroeder JACS 1973 ; K. Saito APL 1997*

$T > T_g$

$$I_{id} = I_0 \left( \frac{8\pi^3}{3\lambda_0^4} \right) n^8 \beta_{id}^2 \chi_T(T) k_B T$$

$$T < T_g$$

$$I_{id} = I_0 \left( \frac{8\pi^3}{3\lambda_0^4} \right) n^8 \beta_{id}^2 \left[ \chi_{T,rel}(T_g) k_B T_g + \chi_{S,\infty}(T) k_B T \right]$$

(J. Shroeder JACS 1973)

### Rayleigh scattering :

- static density inhomogeneities  
(elastic scattering)
- Incoherent atoms motions,  
non propagating excitations  
(quasielastic scattering)

(R. Vacher JCP 1985)

**Brillouin scattering : inelastic scattering  
(dynamic density fluctuations : mechanical waves)**

## ■ Landau-Placzek ratio

$$R_{L-P} = I_R / 2I_{B_L}$$

In a viscoelastic material :

(N. Laberge JACS 1973)

$$I_{Rayleigh} \propto \left\langle \Delta \rho_k^2 \right\rangle_{v=0} = (\rho_0^2 / V) k_B T [(\chi_T - \chi_S) + \chi_S^r]$$

Isobaric-entropy fluctuations

Fluctuations associated with structural variations in adiabatic-pressure fluctuations  $\Leftrightarrow$  relaxational compressibility

After quenching fluctuations are frozen into the material at the equilibrium structural configuration corresponding to the fictive temperature  $T_f$

$$I_{Rayleigh} \propto \langle \Delta \rho_k^2 \rangle_{v=0} = (\rho_0^2 / V) k_B T_f [(\chi_T - \chi_S) + (\chi_S - C_{11}^{-1})]$$

(N. Laberge JACS 1973)

$$I_{Brillouin} \propto \langle \Delta \rho_k^2 \rangle_{v \neq 0} = (\rho_0^2 / V) [k_B T C_{11}^{-1}]$$

⇒ Determination of a glass **fictive temperature**

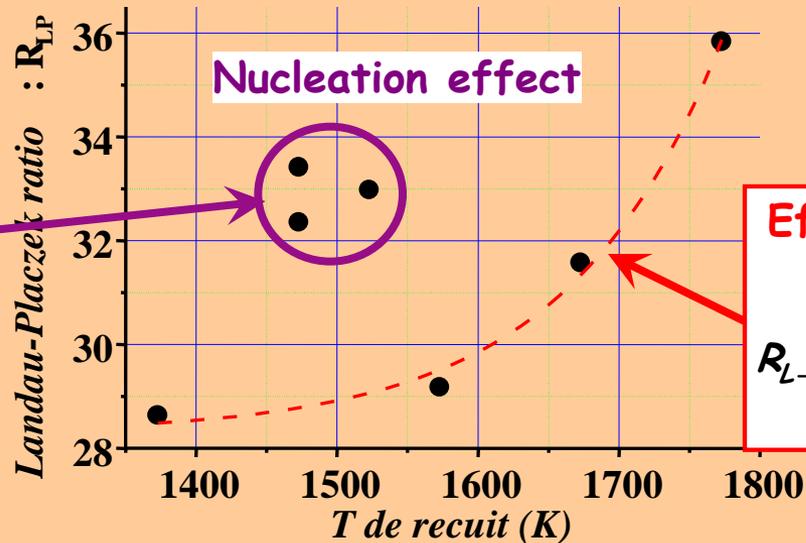
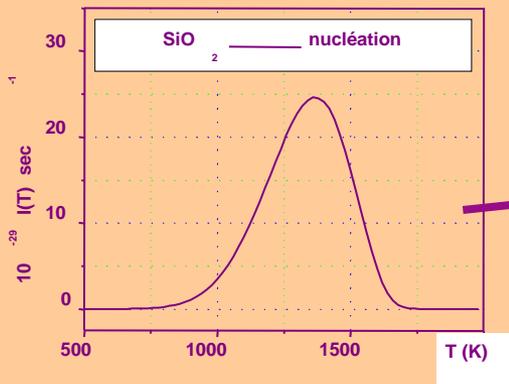
$$R_{L-P} = \frac{T_f}{T} (C_{11} \chi_T - 1)$$

Directly deduced from by Brillouin scattering

# Influence of heat treatment on silica for optical fiber

Y. Vaills (CRMHT), P. Simon (CRMHT), G. Matzen (CRMHT),  
H. Cattey (post-doc CRMHT-Alcatel), G. Orcel (Alcatel)

## Effect of fictive de la temperature on light scattering in silica



Effect of fictive temperature

$$R_{L-P} = \frac{T_f}{T} (C_{11}\chi_T - 1)$$

## ■ From the Brillouin line intensities we deduce

- The photoelastic constants of the materials

Coupling between elastic waves and electromagnetic waves

- electromagnetic energy loss in materials

Attenuation of electromagnetic wave in optical fibers

- fictive temperature of glasses

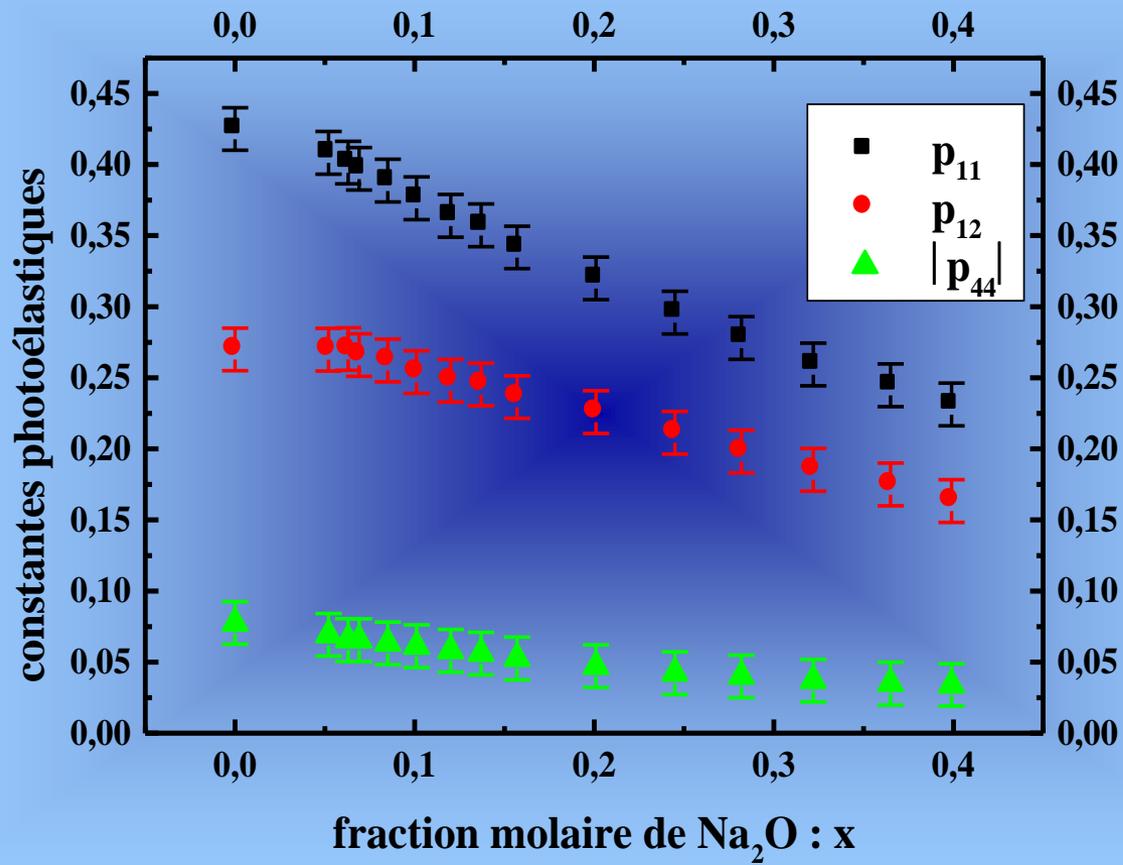
# Propriétés photoélastiques des verres $(\text{SiO}_2)_{1-x}(\text{Na}_2\text{O})_x$

$$I_{id} = I_0 \left( \frac{8\pi^3}{3\lambda_0^4} \right) n^8 \beta_{id}^2 \left[ \chi_{T,rel}(T_g) k_B T_g + \chi_{S,\infty}(T) k_B T \right]$$

$$I_B(VV) = I_0 \left( \frac{kT}{32\pi^2} \right) \varepsilon^4 \left( \frac{\omega}{c} \right)^4 \left( \frac{P_{12}^2}{C_{11}} \right) v_0$$

$$I_B(HH) = I_0 \left( \frac{kT}{32\pi^2} \right) \varepsilon^4 \left( \frac{\omega}{c} \right)^4 \left( \frac{(P_{11} - P_{12})^2}{4C_{11}} \right) v_0$$

$$I_B(VH) = I_B(HV) = I_0 \left( \frac{kT}{32\pi^2} \right) \varepsilon^4 \left( \frac{\omega}{c} \right)^4 \left( \frac{P_{44}^2}{2C_{44}} \right) v_0$$



Carleton (1972) et Schreoder (1980) ont proposé :

$$p_{11} = \frac{(n^2 - 1)^2}{n^4} \left[ \left( \frac{\varepsilon_0}{\alpha \rho} \right) + \left( \frac{4}{15} \right) - \left( \frac{14}{15} \right) \Gamma \right]$$

$$p_{12} = \frac{(n^2 - 1)^2}{n^4} \left[ \left( \frac{\varepsilon_0}{\alpha \rho} \right) - \left( \frac{2}{15} \right) - \left( \frac{8}{15} \right) \Gamma \right]$$

la relation de Cauchy :

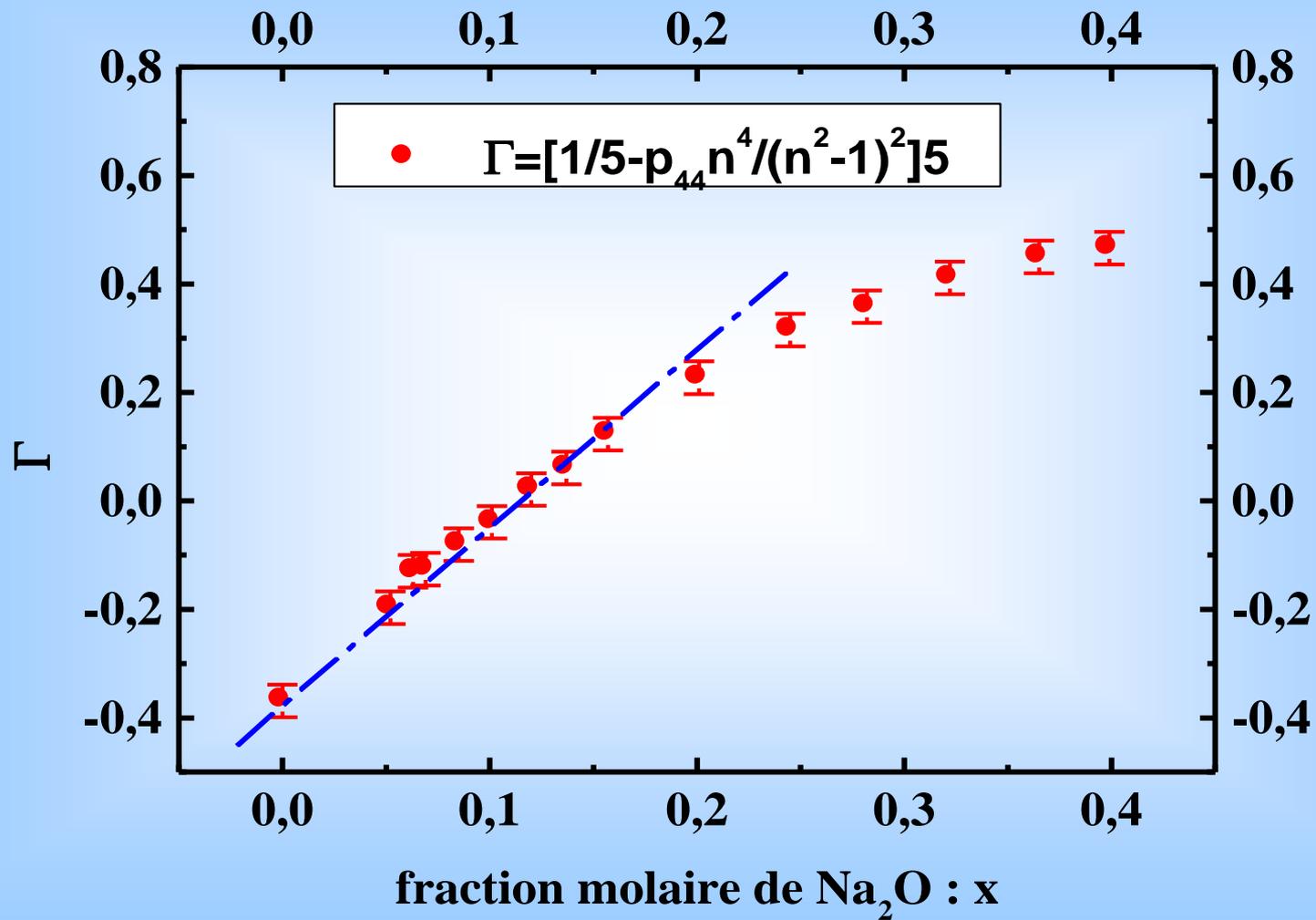
$$|p_{44}| = \frac{1}{2} |p_{11} - p_{12}|$$

permet de déduire :

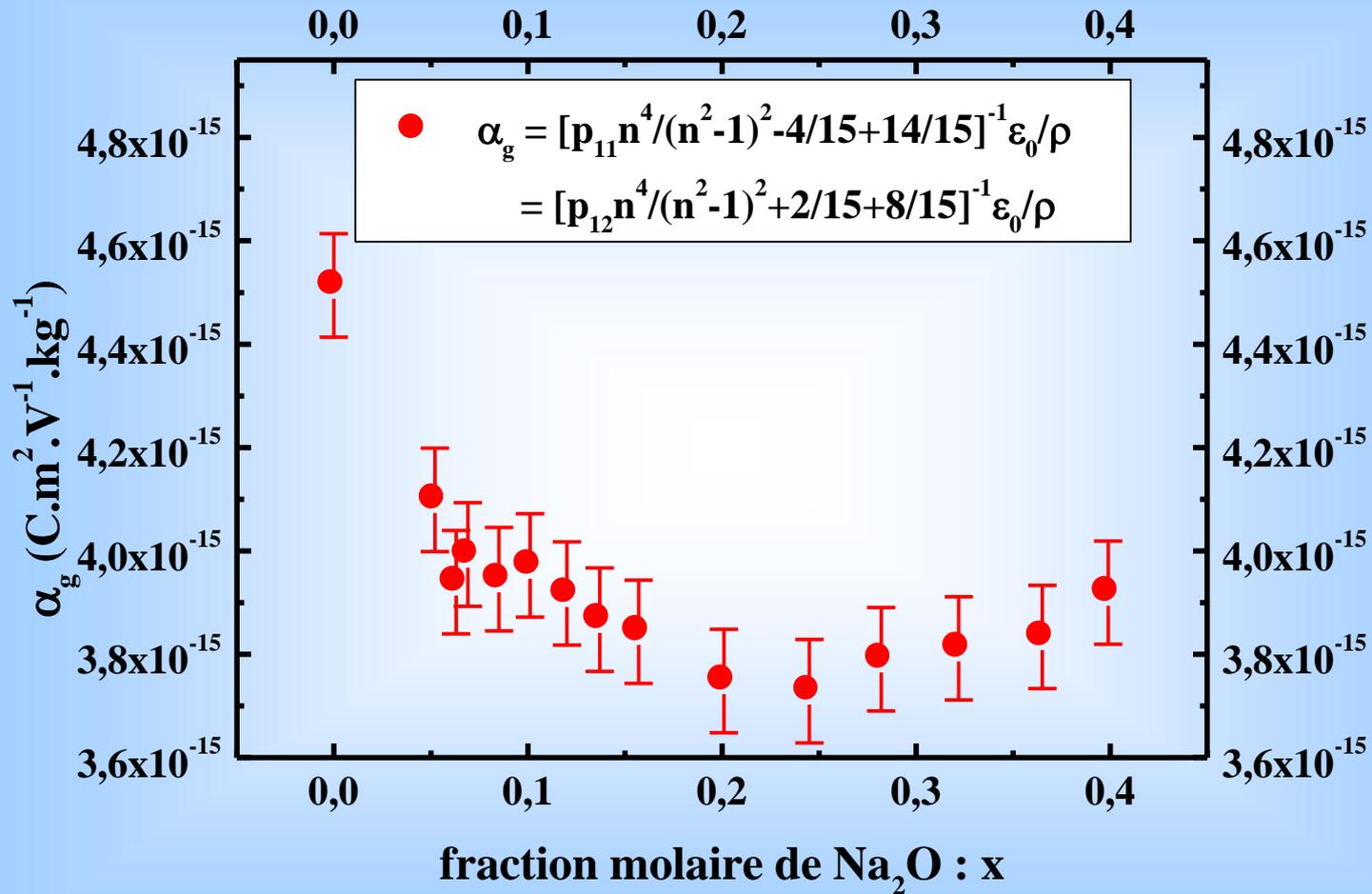
$$p_{44} = \frac{(n^2 - 1)^2}{n^4} \left[ \left( \frac{1}{5} \right) - \left( \frac{1}{5} \right) \Gamma \right]$$

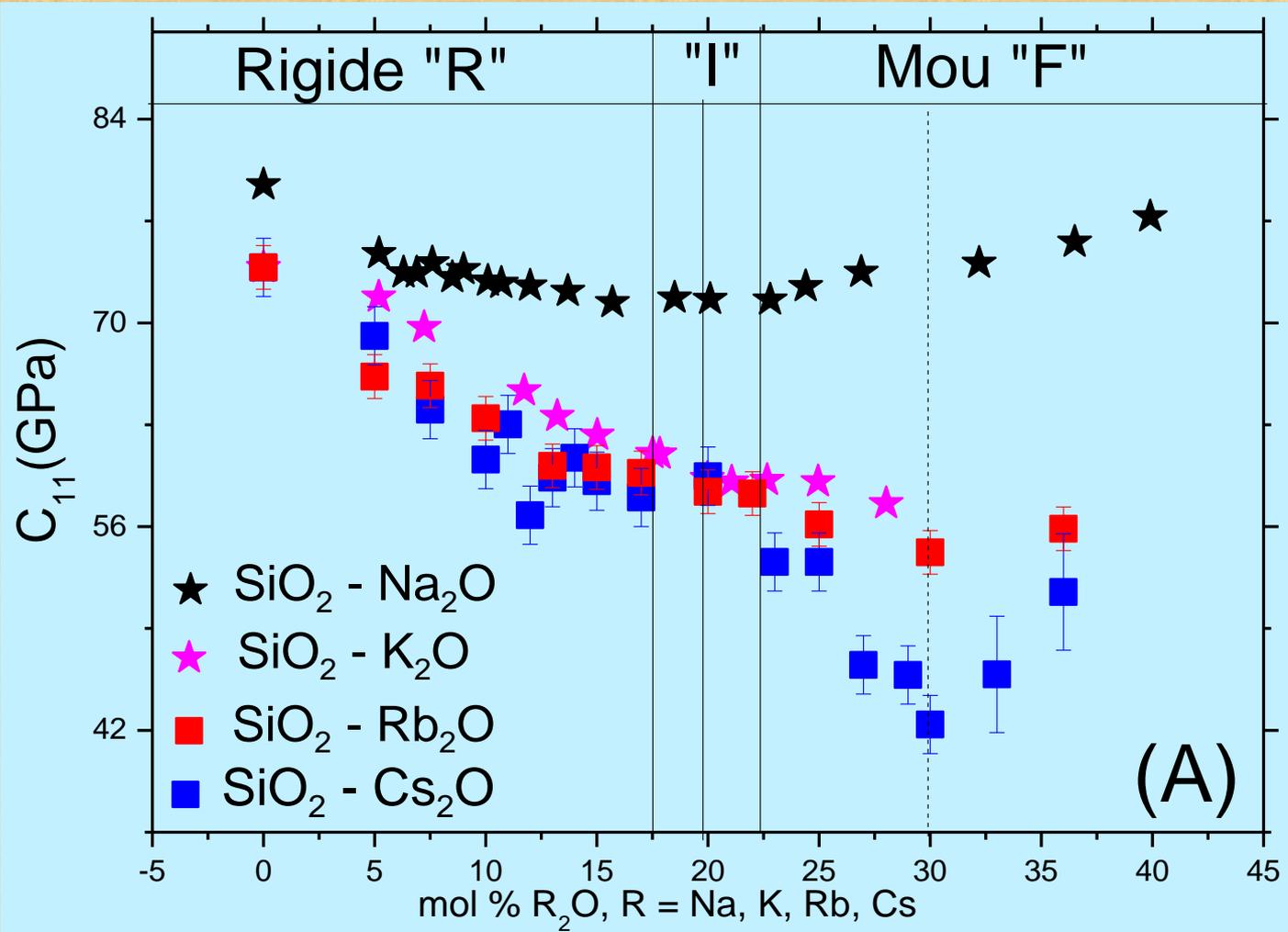
où

$$\Gamma = \frac{3\alpha}{4\pi\varepsilon_0} \int_0^\infty g_{12}(r) \frac{dr}{r^4}$$



$\alpha_g = \text{polarisabilité globale du matériau}$





(A)

$$\alpha_m = \alpha_g \frac{M_x}{N} \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\alpha = 4,04 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$\alpha = 5,45 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$\alpha = 5,44 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$$

pour la silice

pour la molécule SiF<sub>4</sub>

pour la molécule SiH<sub>4</sub>

notre travail

(Maryott, 1953)

(Maryott, 1953)

$$\alpha = \frac{q^2}{\epsilon_0 \mu \omega^2}$$

Composé/modes	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_3$	$\nu_4$
[SiO <sub>4</sub> ] <sup>4-</sup>	819	340	956	527
NaO <sub>4</sub> <i>I.R.</i>	-	886, 880	1425, 1413	701, 694
NaO <sub>4</sub> <i>Raman</i>	1084, 1079	-	1432, 1423	702, 698

# Détails techniques

**Spectromètre Sandercock**

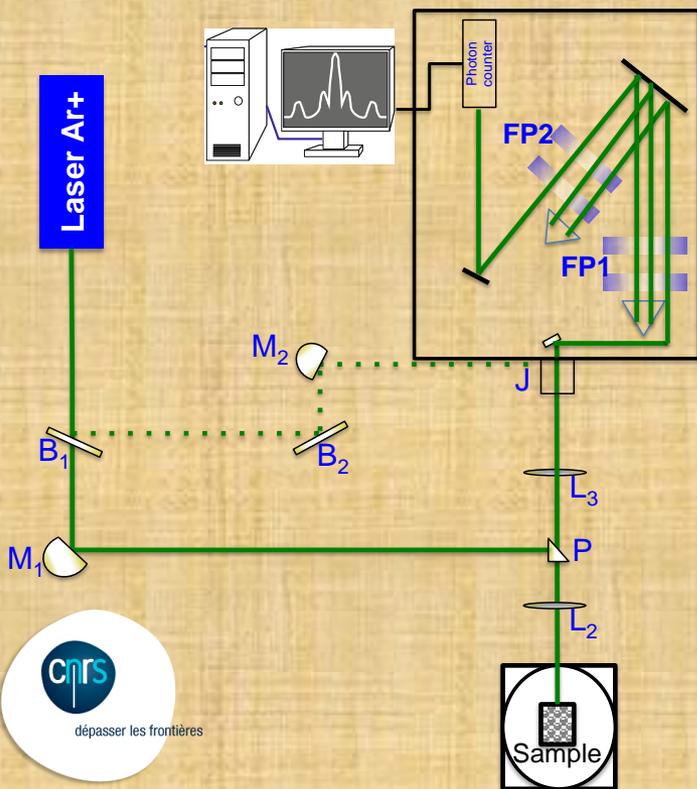
**Laser  $\lambda = 514.5 \text{ nm}$**

**2 Fabry-Pérot (3 passages)**

**Mode Tandem**

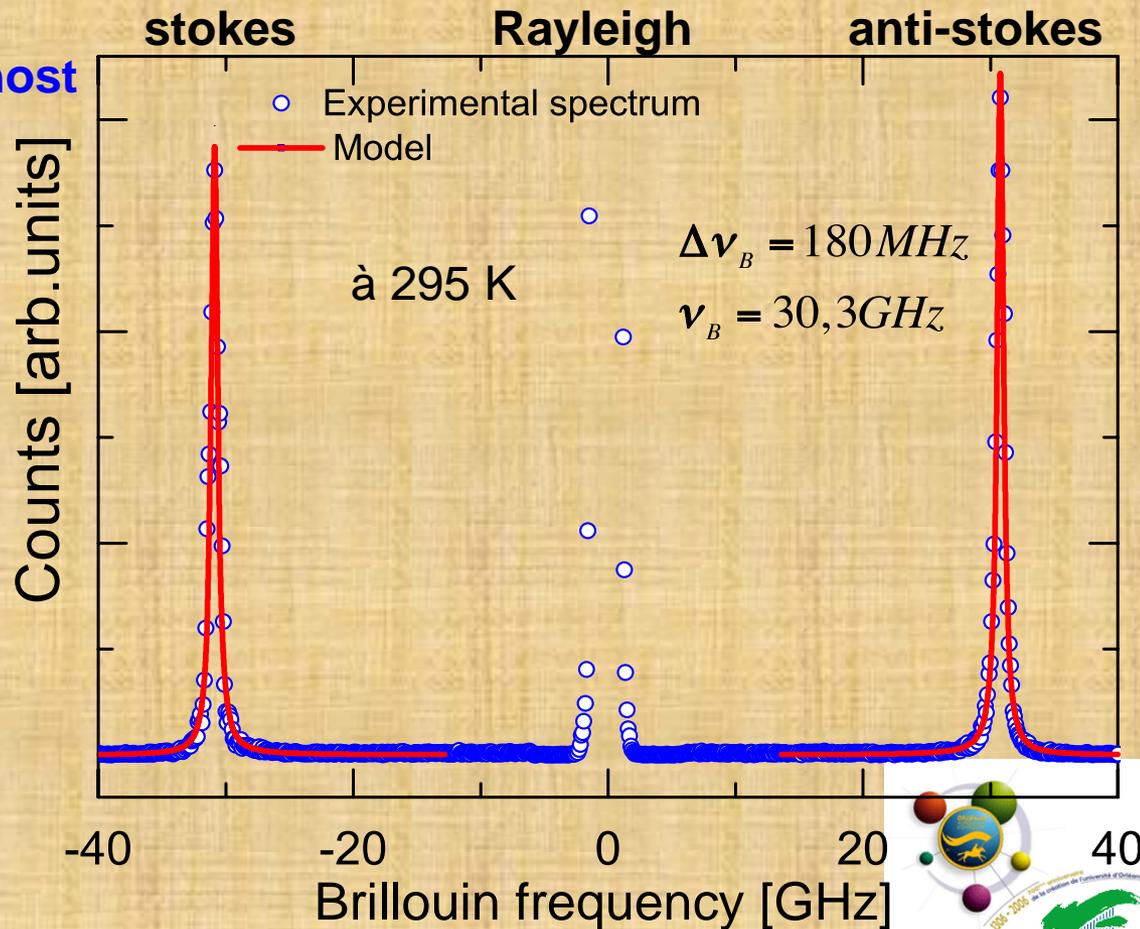
**ISL = 50 GHz**

**Routine acq en collab avec Ghost Linkam TS1500**



# Analyse des spectres

$$I = I_{Dho} \ddot{A} I_{instr}$$



# I. L'exemple des verres

## De nombreux domaines d'intérêt :

- ✓ Vie quotidienne: Vitres, verreries...
- ✓ Stockage de déchets
- ✓ biocomptibilité
- ✓ Télécommunication: fibre optique ...

**Mais ce matériau évolue au cours du temps !**



*Ordures ménagères:  
Réfiom*



*Stockage déchets  
radioactifs : 10 000 ans*

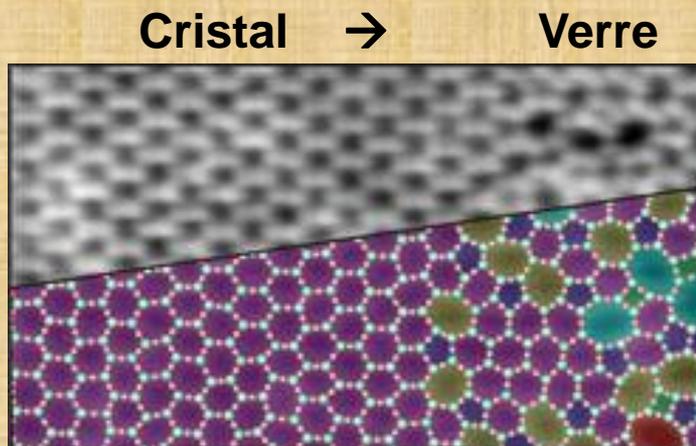
**Technique : pouvoir prévoir et maîtriser son évolution dans le temps,  
Fondamental : il est essentiel de comprendre les phénomènes de relaxation.**



## Verre vs. Cristal

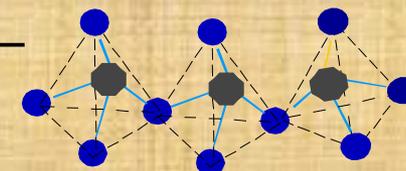
*film de silice en 2D*  
*Image par STM à résolution atomique*

**PRL, 109, 106101 (2012)**



**Courte distance** : à l'échelle nanométrique de l'unité structurale, de la première sphère de coordination, ou clusters

**à moyenne distance** : jonction des polyèdres, distribution [O—Si—O] (~ dizaine de nanomètres)



**à longue distance** : fluctuations de densité → Hétérogénéités (de l'ordre d'une dizaine-centaine de nanomètres)



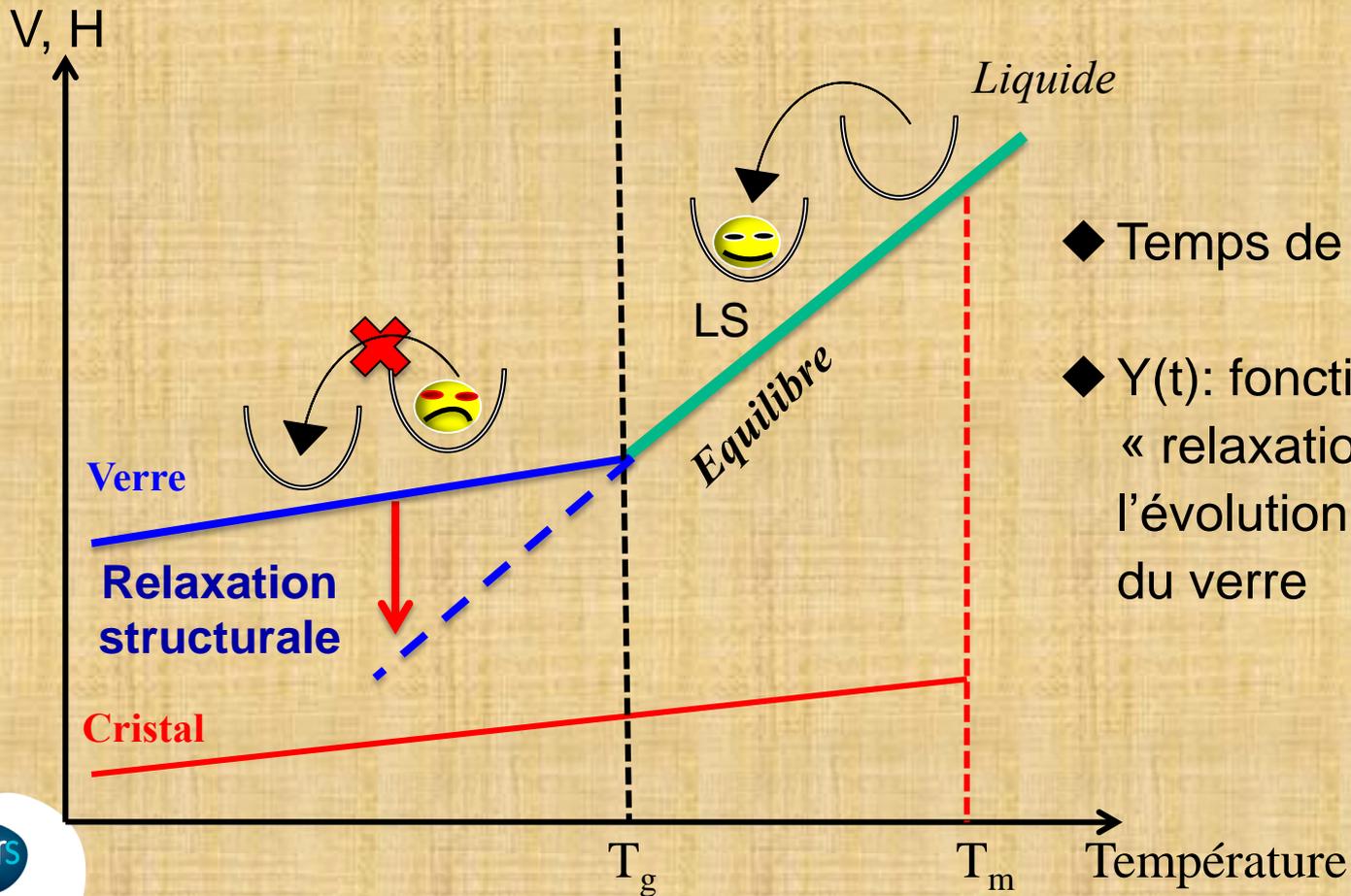
Le verre obtenu par refroidissement d'un liquide surfondu



Système hors-équilibre

$T, P, t \dots$

Equilibre



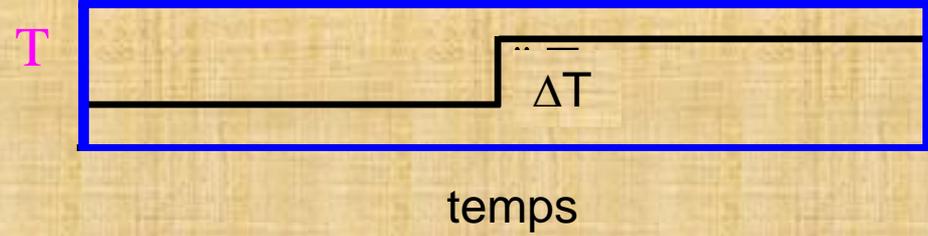
- ◆ Temps de relaxation  $\tau$
- ◆  $Y(t)$ : fonction dite de « relaxation » qui traduit l'évolution d'une propriété du verre

**Outil de mesure**  
temps expérience  $T_{exp}$



**Fonction de relaxation  $y(t)$**

**sollicitation en température : expérience en temps**



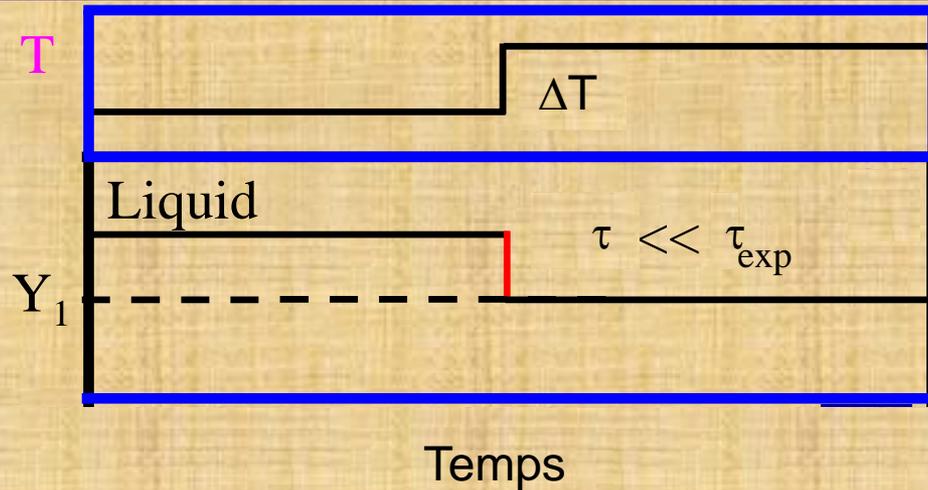
**Outil de mesure**  
temps expérience  $\tau_{exp}$



**Fonction de relaxation  $y(t)$**

**sollicitation en température : expérience en temps**

à l'état liquide



**Outil de mesure**  
temps expérience  $T_{exp}$



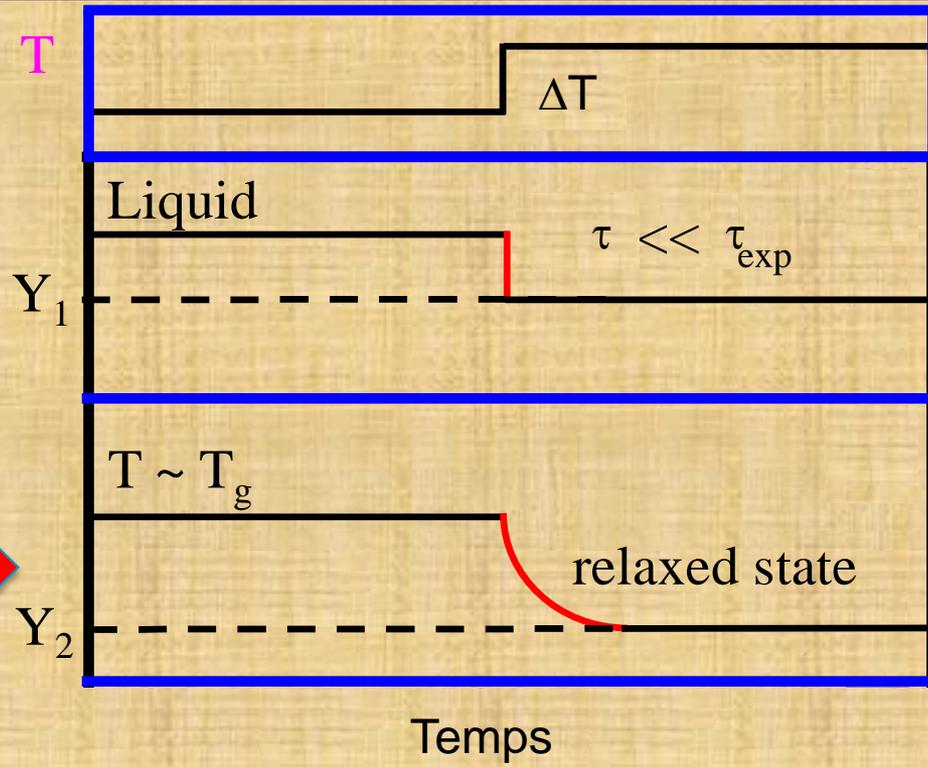
**Fonction de relaxation  $y(t)$**

**sollicitation en température : expérience en temps**

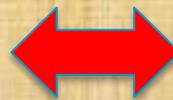
à l'état liquide



dans l'intervalle de  $T_g$



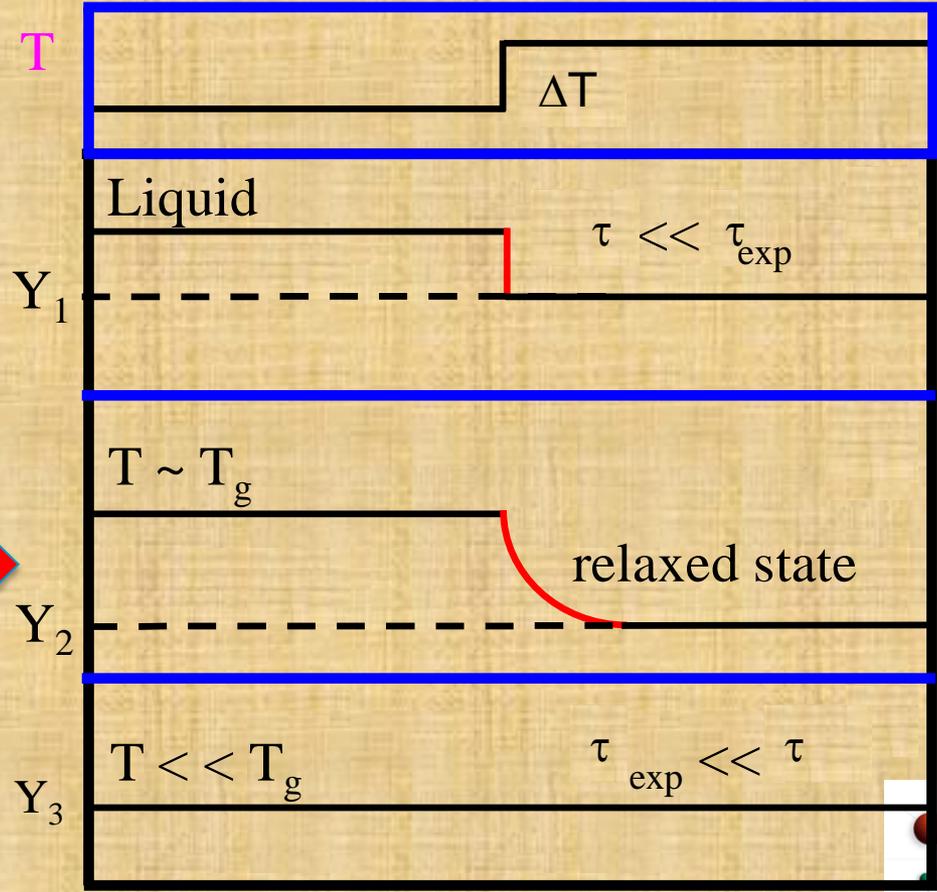
**Outil de mesure**  
temps expérience  $\tau_{exp}$



**Fonction de relaxation  $y(t)$**

**sollicitation en température : expérience en temps**

à l'état liquide



dans l'intervalle de  $T_g$



à la température ambiante



Time

## Polymères, verres moléculaires...

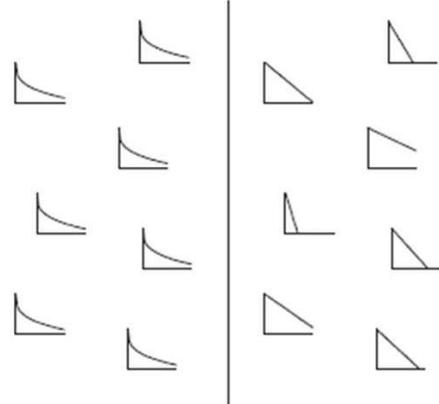
$Y(t) \rightarrow$  Plusieurs processus de relaxation

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \dot{a}_{oi} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)$$

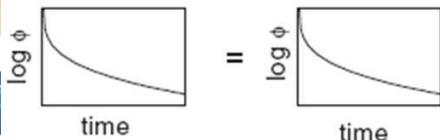
Origine spatiale

**Homogène**

**Hétérogène**



Moyenne d'ensemble



Richert (1994)

## Mise en évidence:

solution colloïdale  $T < T_g$

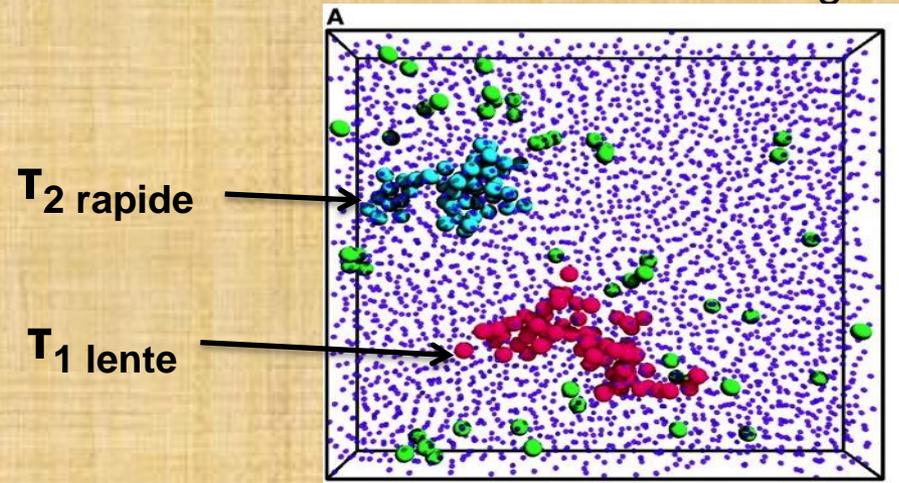


Image par spectroscopie confocale, Weeks (Science 2000)

## Et les verres d'oxydes ?

- ✓ Aucune étude n'a été réalisée dans cette optique.
- Verre oxyde : spatialement hétérogène (désordre chimique et topologique).
- La dynamique et la nature de la relaxation dépend fortement de l'échelle spatiale sondée.



## Questions: frontières de connaissances

1. *Quelle forme possède la fonction de relaxation sur une échelle de distance donnée ?*
2. *Quelle est la dépendance de la relaxation avec la température ?*
3. *Quel est l'effet **d'alcalin** dans la relaxation structurale dans un verre binaire silicatés ?*



**Composition** 0.27 Na<sub>2</sub>O- 0.73 SiO<sub>2</sub>

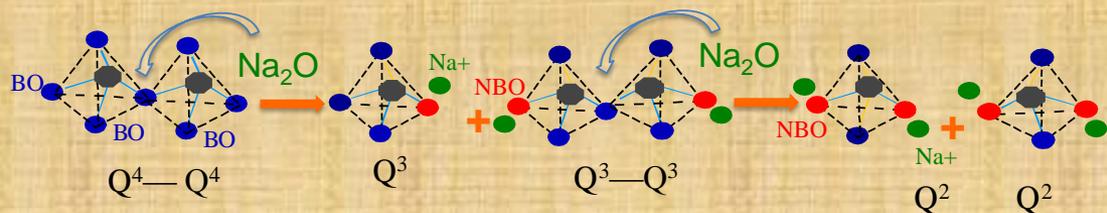
**Synthèse** classique par voie solide

✓ T<sub>g</sub>(DSC) = 730K

✓ peu hygroscopique

✓ Stable thermodynamique

**Ordre à courte échelle**



Q<sup>n</sup>: entité structurale

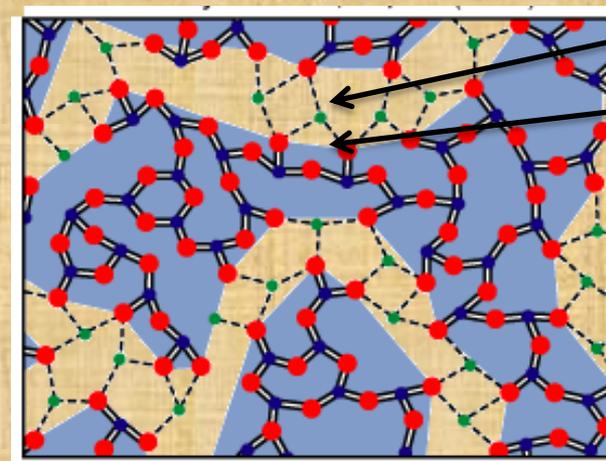
n: le nombre d'oxygènes pontants (BO)

4-n (nombre d'oxygènes non-pontants (NBO))

**Ordre à longue échelle**

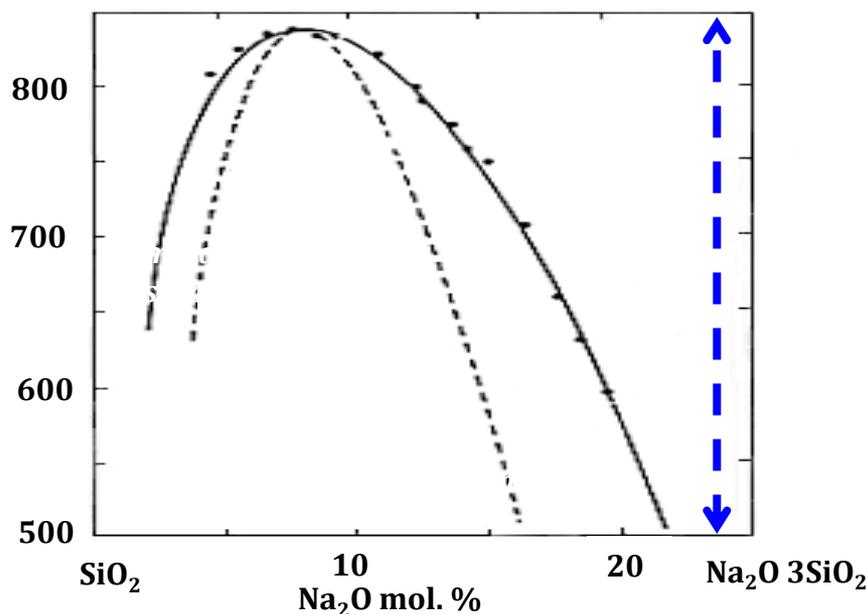
**Modèle du réseau modifiée aléatoire**

Proposé par Greaves (1985)

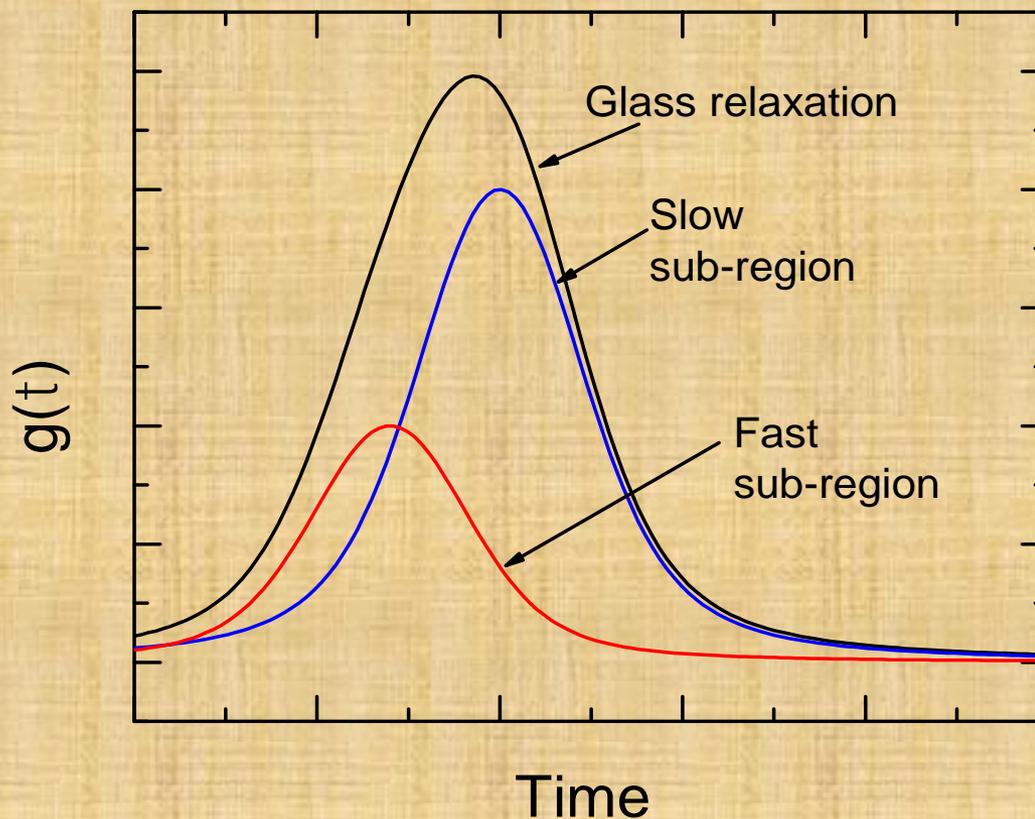


Na<sup>+</sup> ions

Q<sup>n<4</sup> unités



# Suivi des dynamiques à différentes échelles

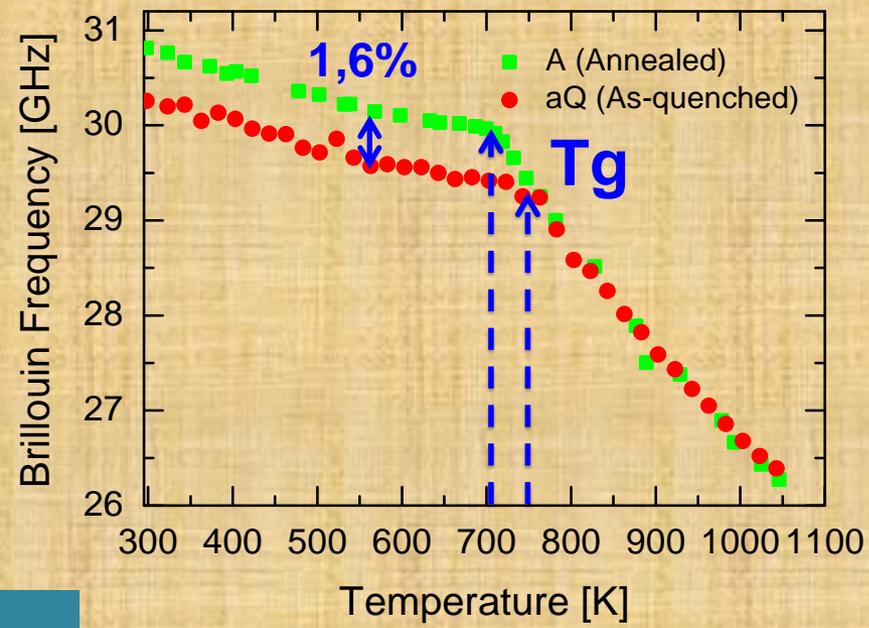


*Ediger (An. Rev. Phys. Chem. 2000)*

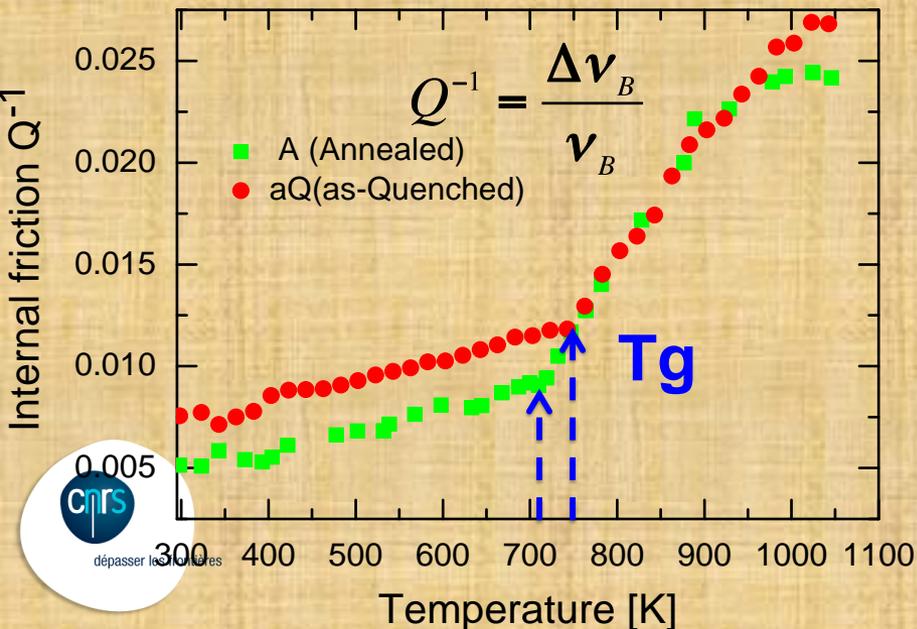
## Evolution de la fréquence

● Verre non recuit

■ Verre recuit :  
échantillon  
chauffé à 780 K



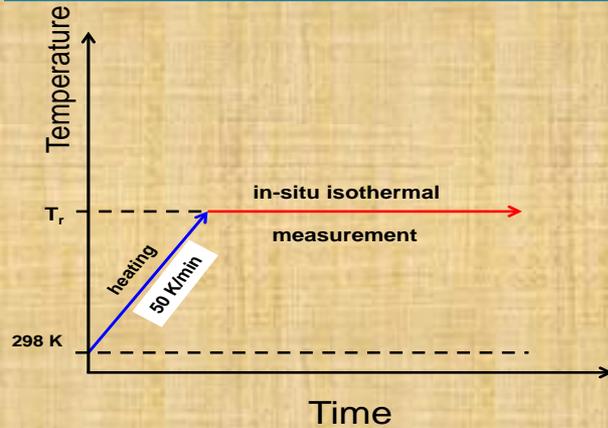
## Evolution de friction interne



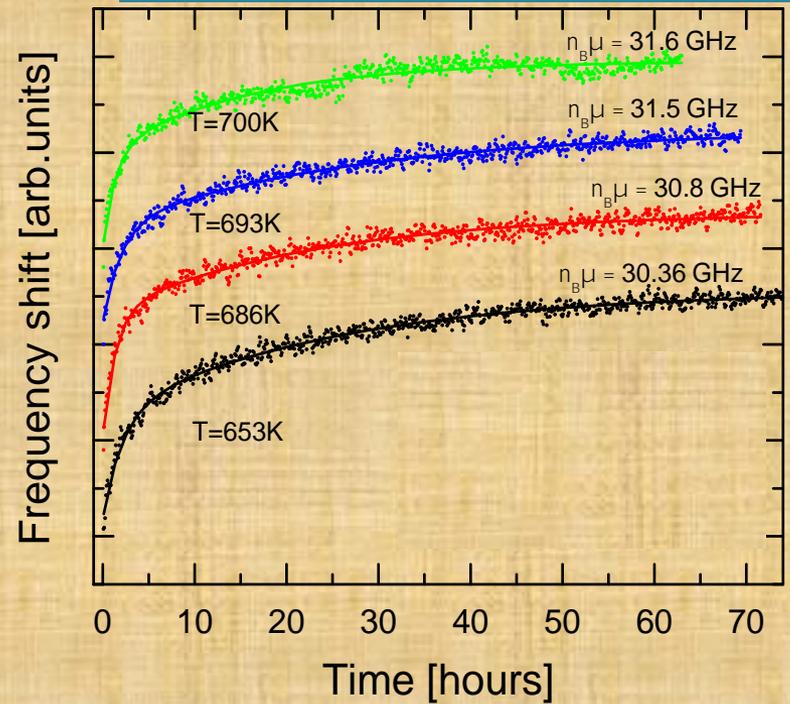
- ✓ Friction interne rend compte l'amortissement des ondes acoustiques
- ✓ Les ondes acoustiques dans le verre « recuit » sont moins amorties que dans le verre « vierge »
- ➔ La structure du verre recuit est plus « ordonnée », « cohérente » que dans celle du non recuit
- ➔ Signature d'une relaxation structurale à longue distance



## Protocole expérimental

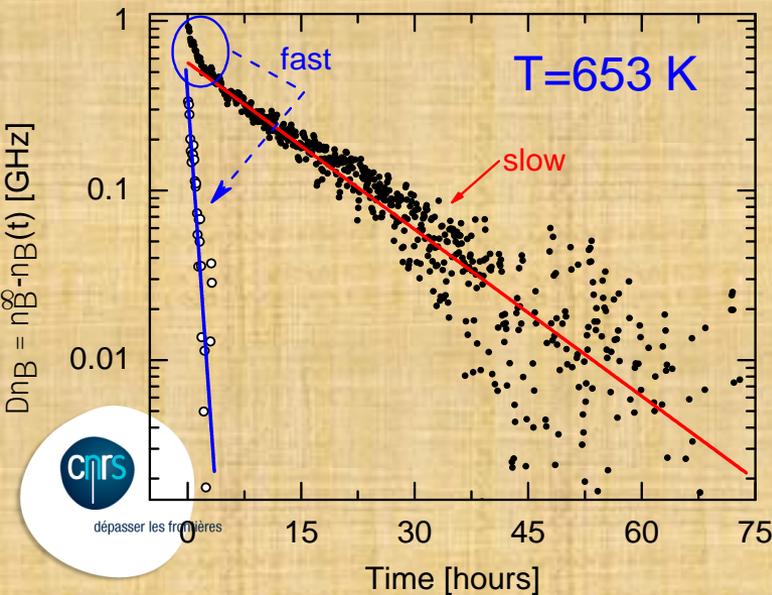


## Cinétiques de relaxation



## Procédure analytique

### Décomposition d'exponentielle



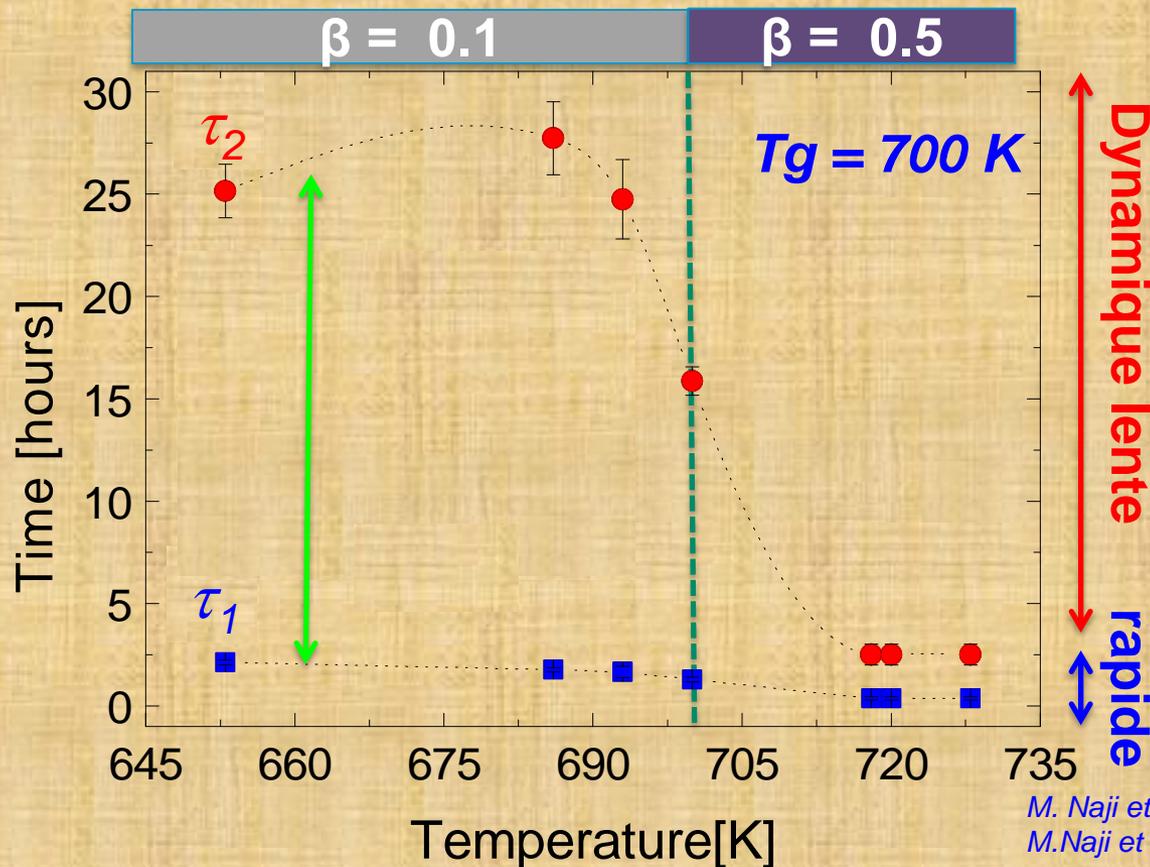
➔ **Modèle exponentielle étirée**

$$n_B(t) = n_B^\infty - w \exp\left[-\frac{t}{\tau} \right] \text{ avec } 0 < b \leq 1$$

➔ **Modèle bi-exponentielle**

$$n_B(t) = n_B^\infty - w_1 \exp\left[-\frac{t}{\tau_1}\right] - w_2 \exp\left[-\frac{t}{\tau_2}\right]$$





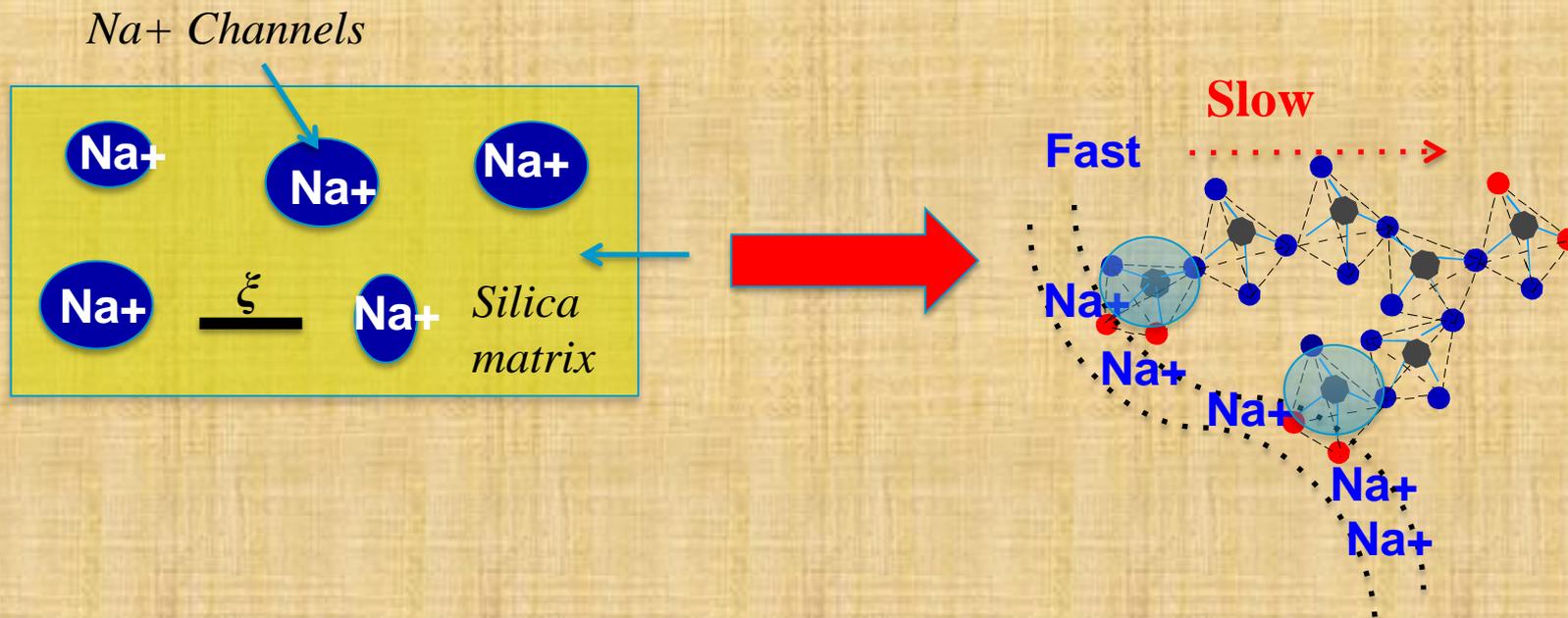
→ Dynamique de relaxation Non-Arrhèniene

→ La relaxation la plus lente **est 10 plus grande** que la relaxation rapide

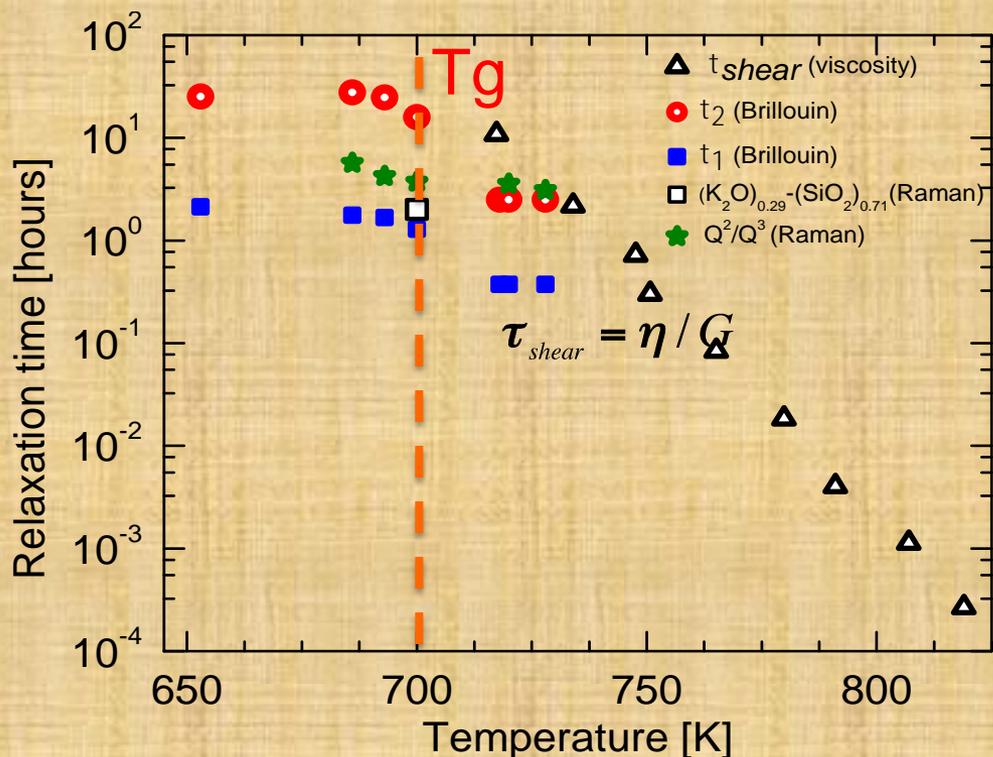
→  $T < T_g$  : forte hétérogénéité ;  $T > T_g$  : faible hétérogénéité

→ Evidence d'une **dynamique hétérogène à longue distance**

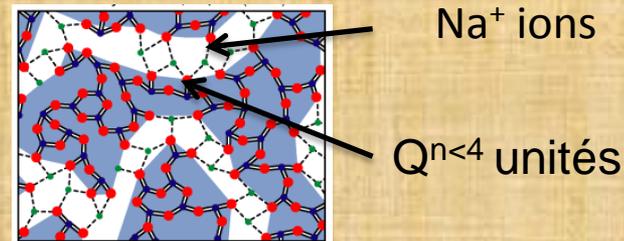
# Scénario de relaxation $T < T_g$



## Comparaison des dynamiques de relaxation (Brillouin, Raman, viscosité)



Temps de relaxation Raman ( $Q^2/Q^3$ ) est très proche e l'échelle rapide Brillouin  
Le temps lent Brillouin est en accord avec le temps de cisaillement (viscosité) : Si—O--Si

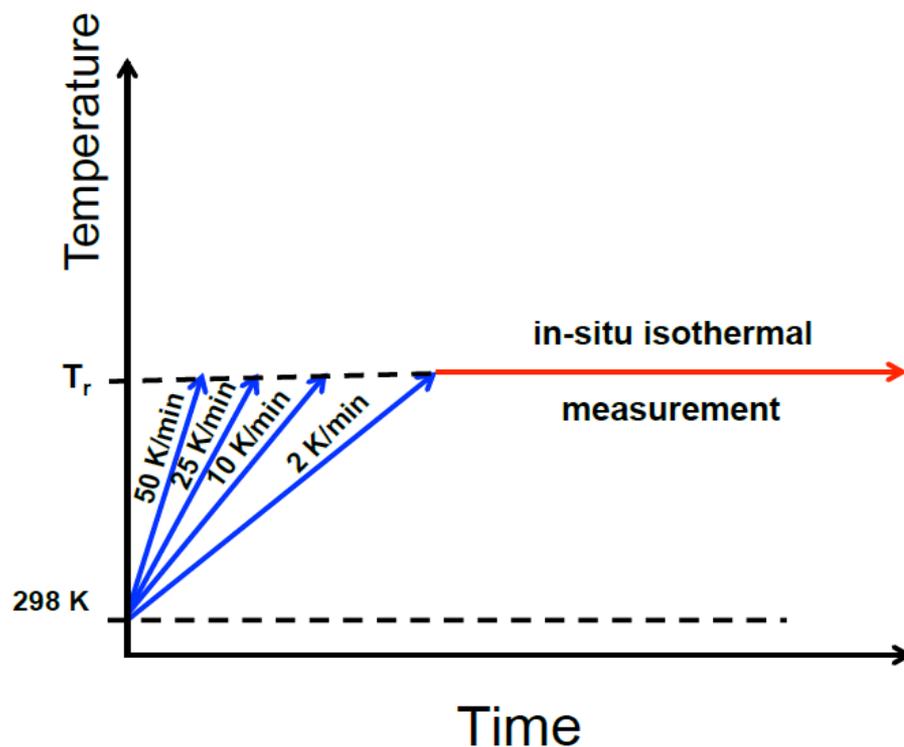


Augmentation de la conductivité ionique prouve un changement dans les canaux de diffusion de sodium.

Ce changement peut être due à :

- (i) changement de population : augmentation des  $Q^2$ .
- (ii) réarrangement des  $Q^2$  formant les canaux de diffusion sans cassure de liaison

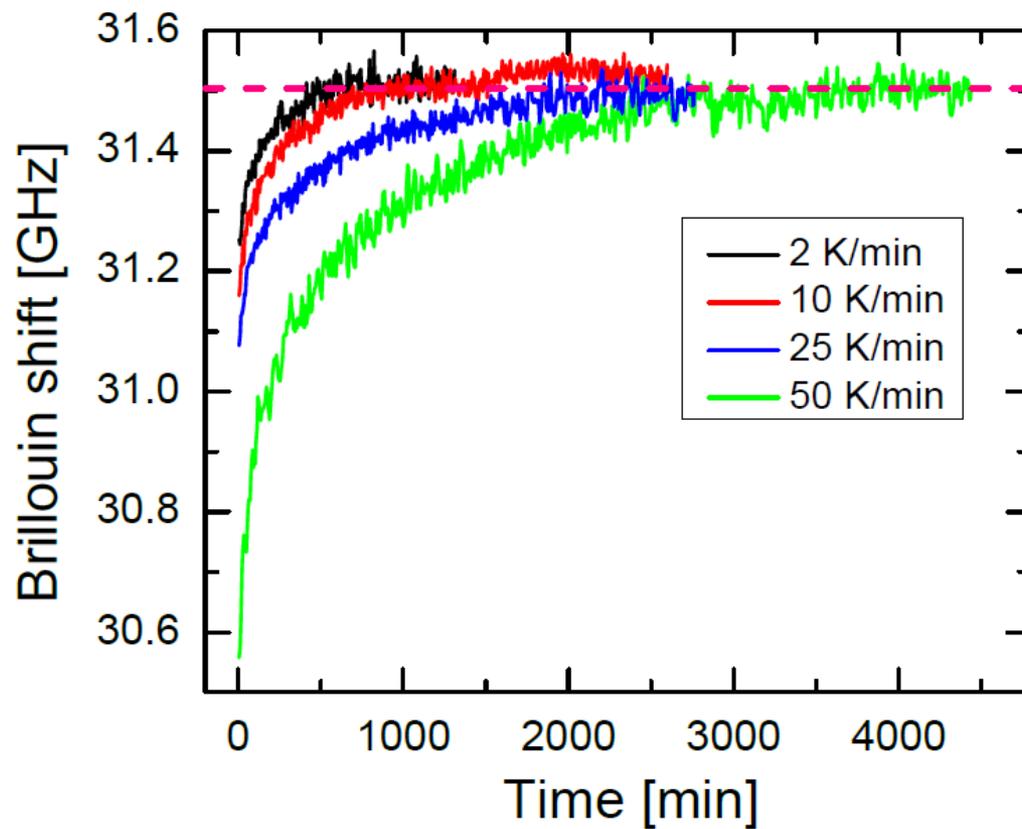
# Effet de la vitesse de montée en température



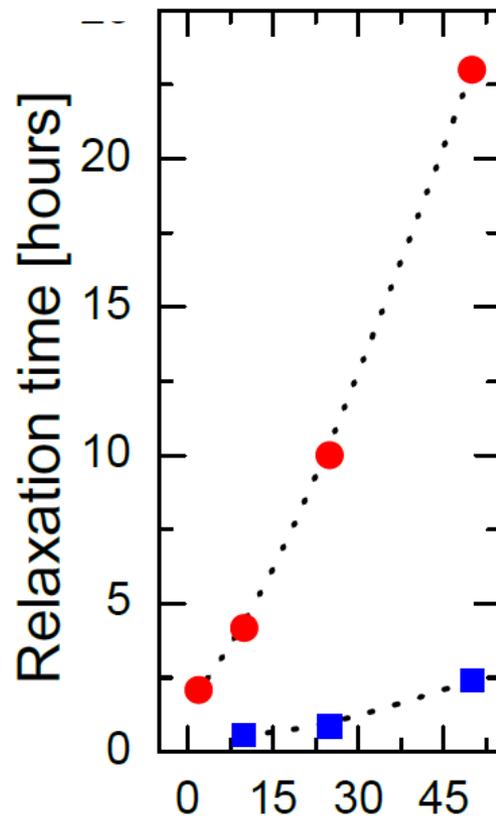
Tr = 693 K

Vitesse de montée (K/min)	Temps de montée (min)
2	200
10	40
25	16
50	8

Tr = 693 K

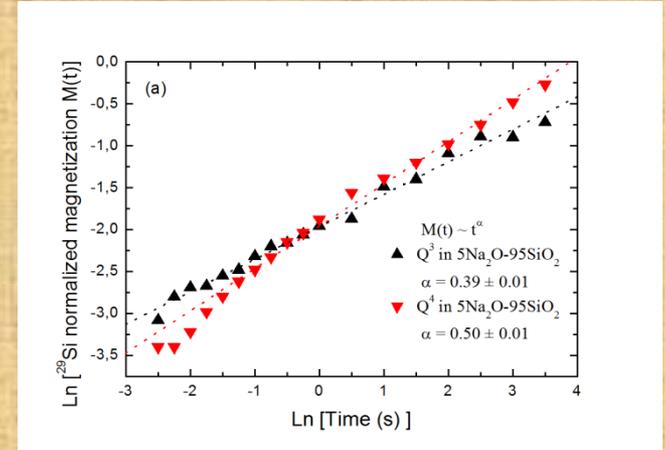
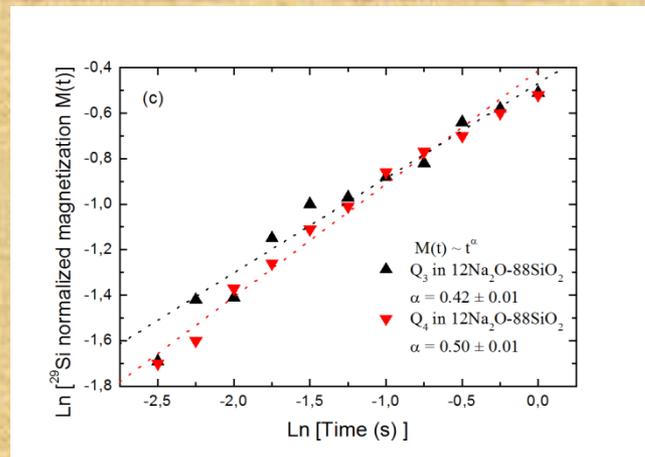
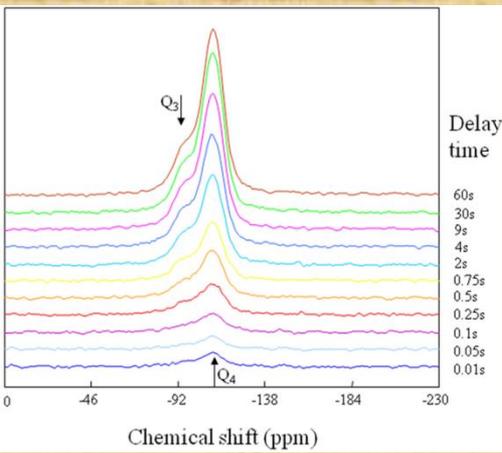
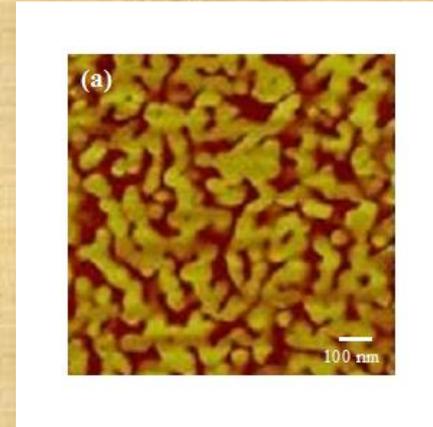
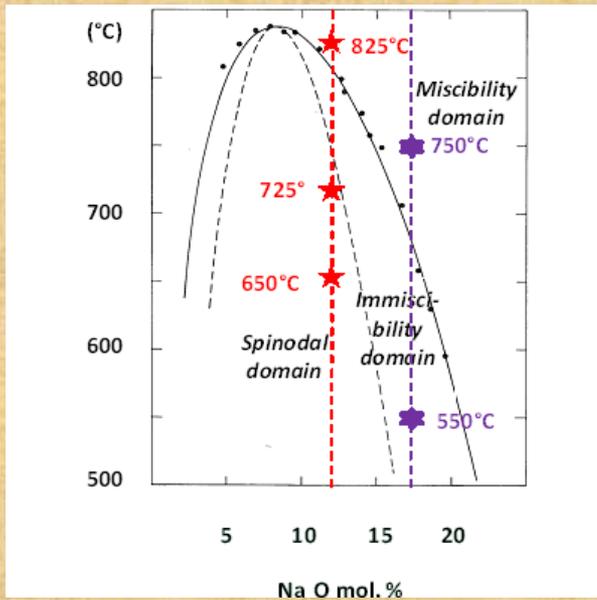


Vitesse de montée (K/min)	Temps de montée (min)
2	200
10	40
25	16
50	8



Vitesse de montée de la température (K/min)

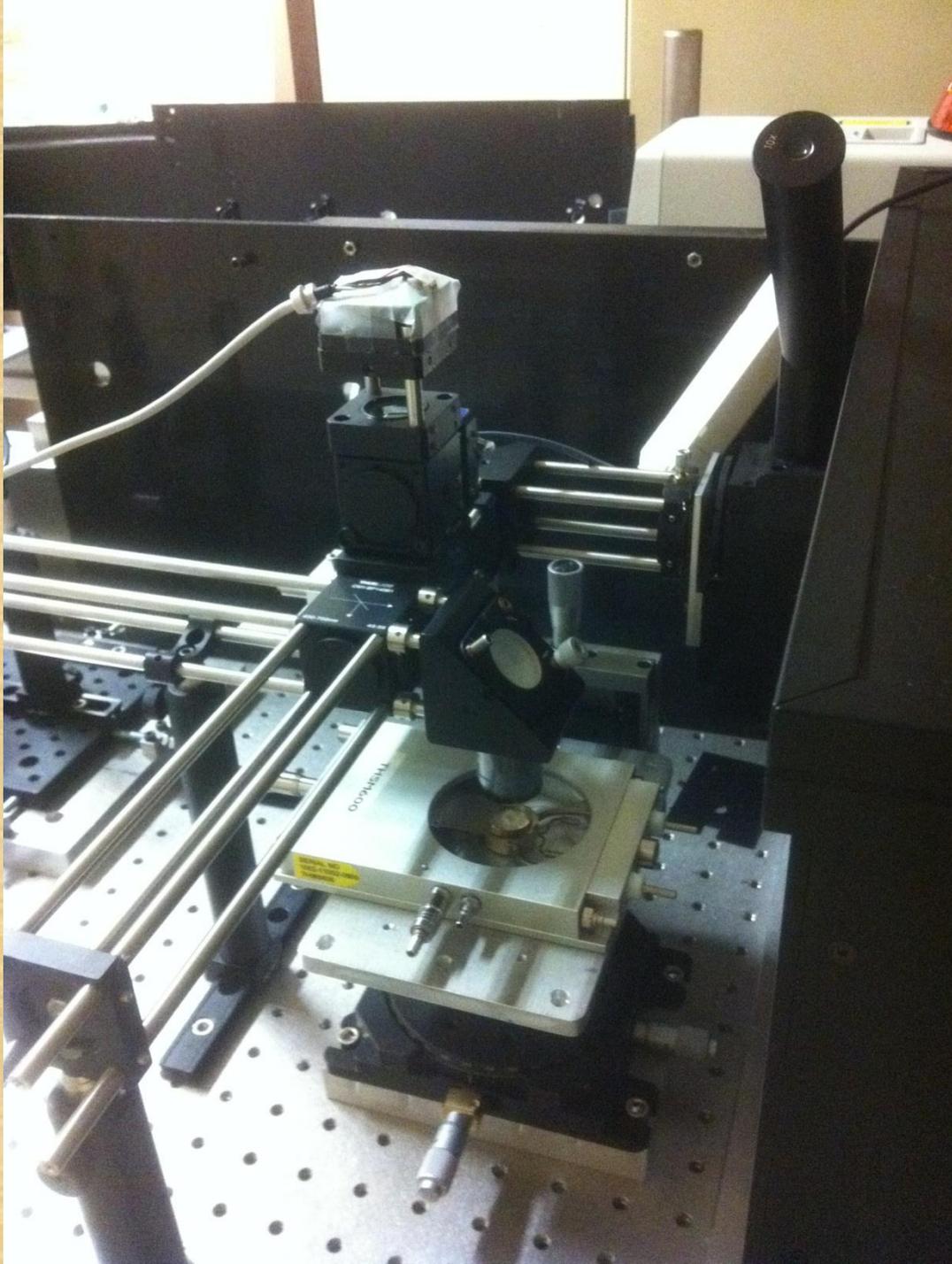
Interprétation :  
structuration « auto-  
similaire »



## II. La matière biologique

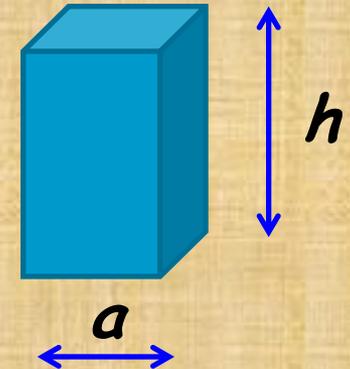
Etude par diffusion Brillouin de la lumière d'os souffrant d'ostéoporose traitée et non traitée

*Les expériences sont faites en rétrodiffusion*



# Volume diffusant sondé

Objectif microscope	X5	X20	X 50	X100
$a$ ( $\mu\text{m}$ )	5,1	1,5	1,2	0,7
$h$ ( $\mu\text{m}$ )	138,9	12,5	8	2,5
$Vol$ ( $\mu\text{m}^3$ )	3500	30	12	1,2



Modalité du déplacement	Pas du déplacement ( $\mu\text{m}$ )
manuel	5
moteur	0,1

- Trois échantillons ont été étudiés en « aveugle » :
  - ✓ G 20
  - ✓ GS 65
  - ✓ SHAM
- Les spectres sont faits sur une tranche transversale de fémur de rat, selon une ligne radiale

ation de person

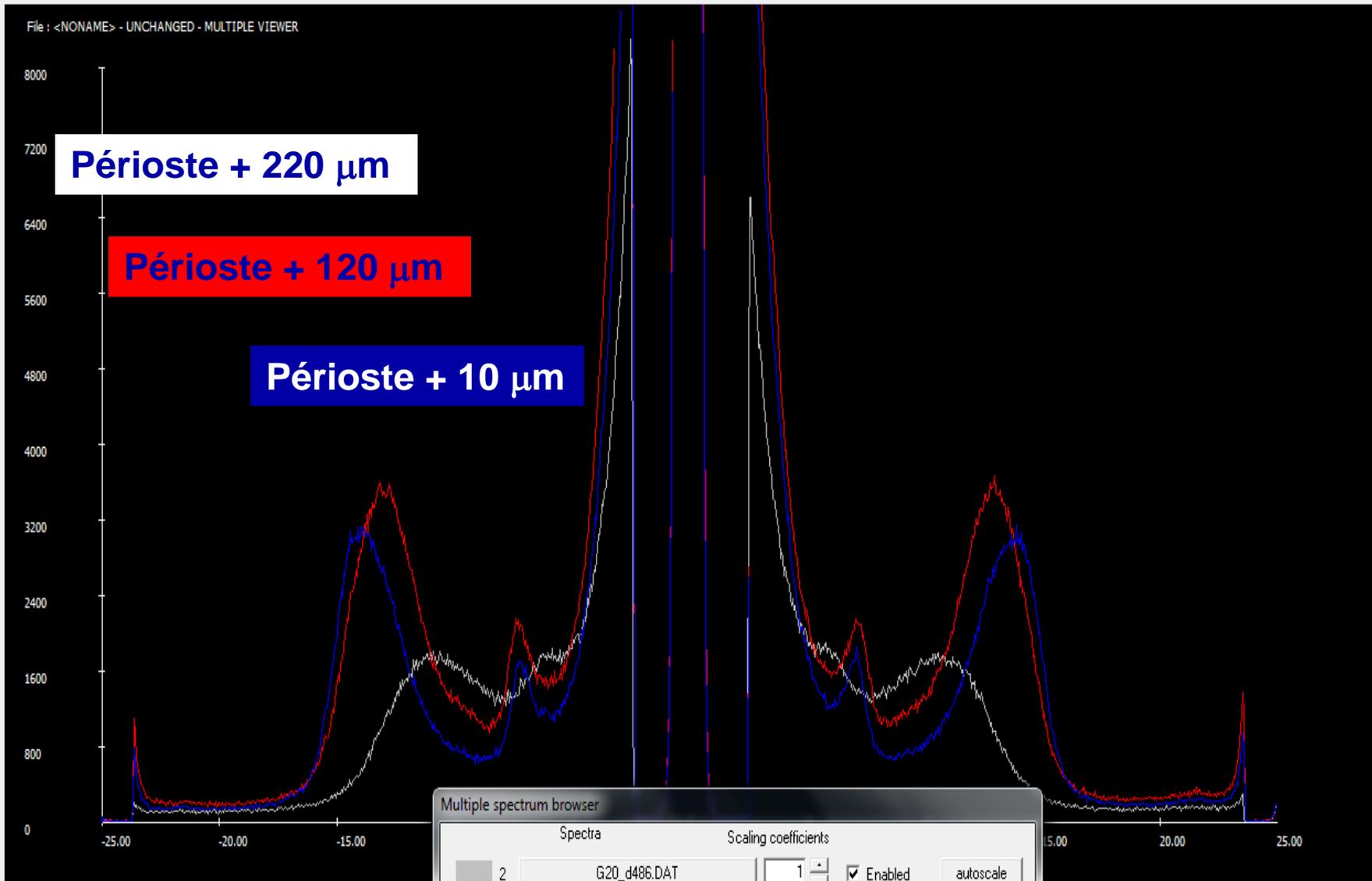
148  
URGES

84 00  
ORLEANS



# Os de rat échantillon dénommé G 20

- 73 spectres ont été faits de l'endoste au périoste, soit un spectre tous les 20 mm en moyenne



Scale  
8000

Cycles  
0

Mark1

Mark2

Channels :  
1024

Zoom in

Zoom out

lin  log

line  dots

Autoscale

Exit

Multiple spectrum browser

Spectra	Scaling coefficients
2 G20_d486.DAT	1 <input type="checkbox"/> Enabled autoscale
3 G20_d475.DAT	1 <input type="checkbox"/> Enabled autoscale
4 G20_d465.DAT	1 <input type="checkbox"/> Enabled autoscale

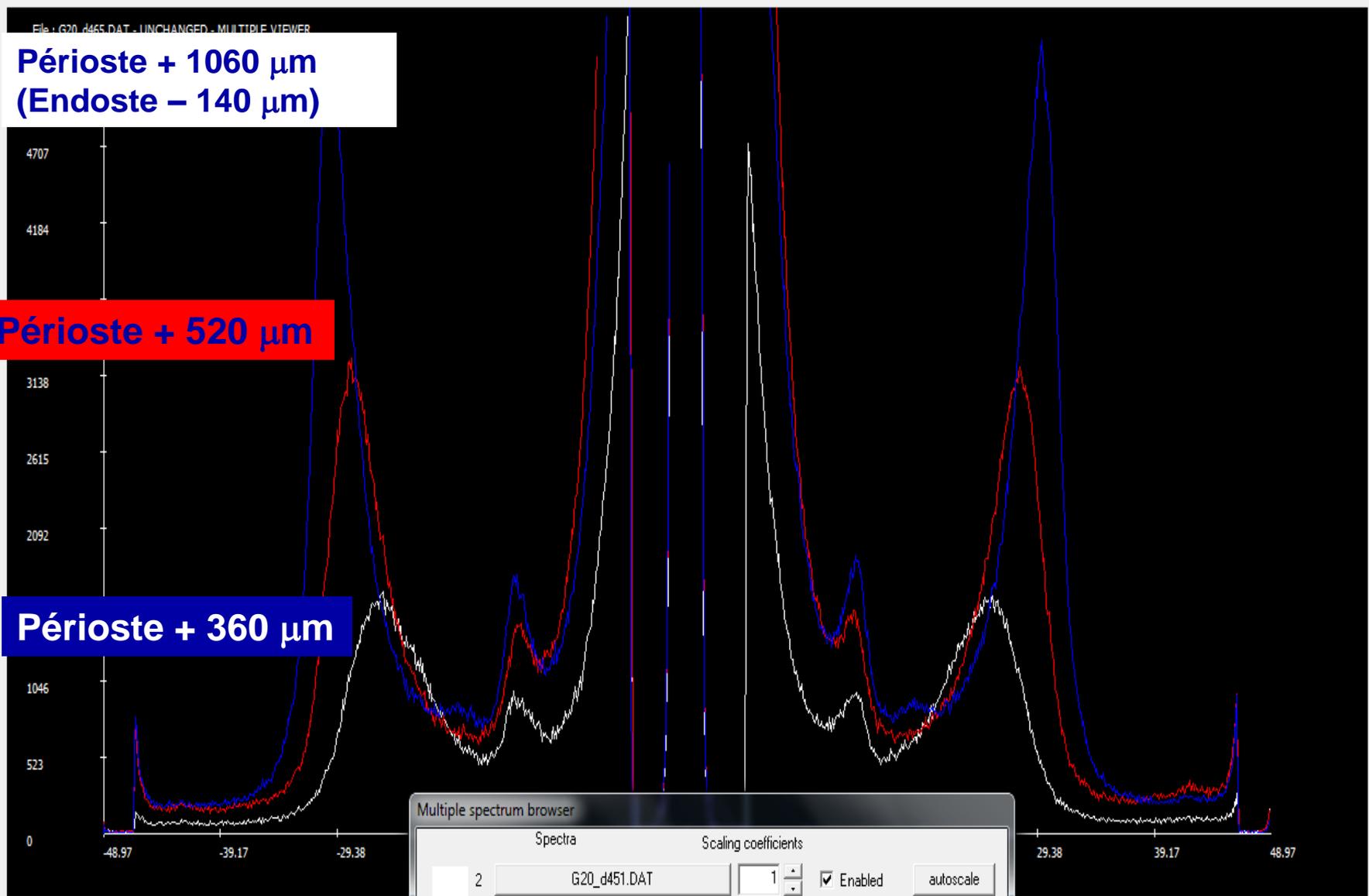
Show comments Edit Comments

Load spectrum Save spectrum Save raw Load raw

File: G20\_d465.DAT - UNCHANGED - MULTIPLE VIEWER  
**Périoste + 1060  $\mu\text{m}$   
(Endoste - 140  $\mu\text{m}$ )**

**Périoste + 520  $\mu\text{m}$**

**Périoste + 360  $\mu\text{m}$**

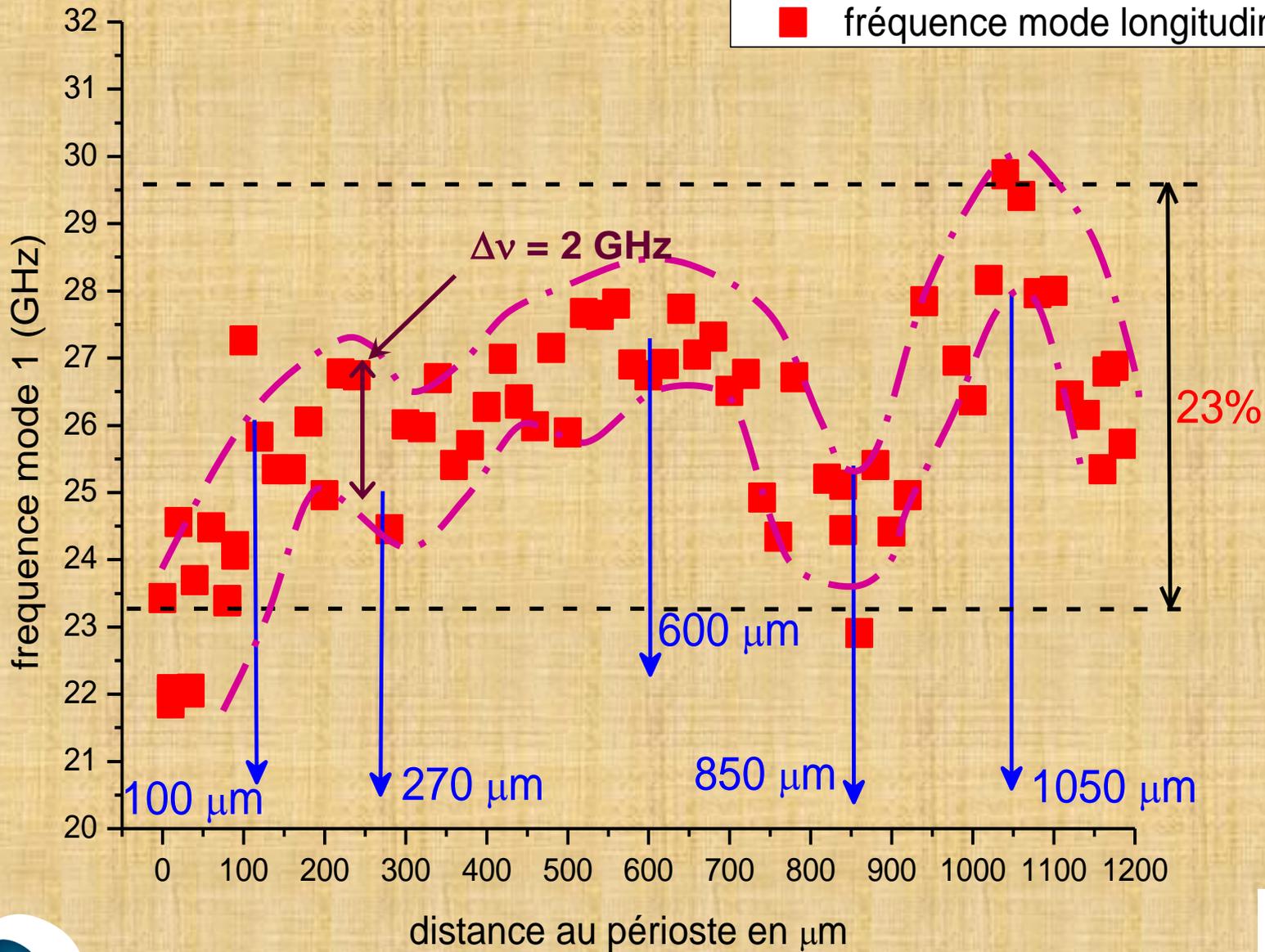


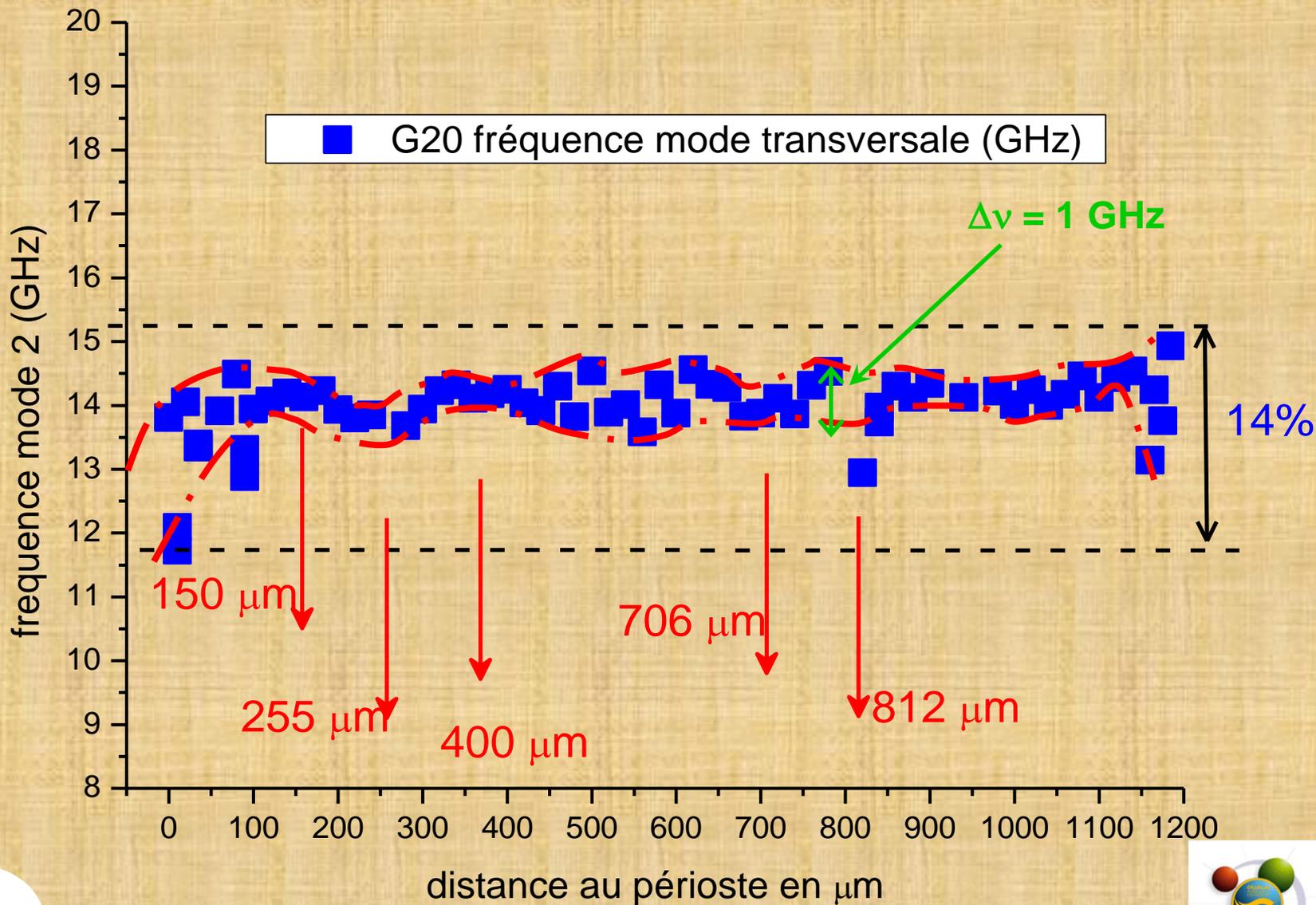
Scale: 5230  
 Cycles: 0  
 Mark1  
 Mark2  
 Channels: 1024  
 Zoom in  
 Zoom out  
 lin  log  
 line  dots  
 Autoscale  
 Exit

Multiple spectrum browser

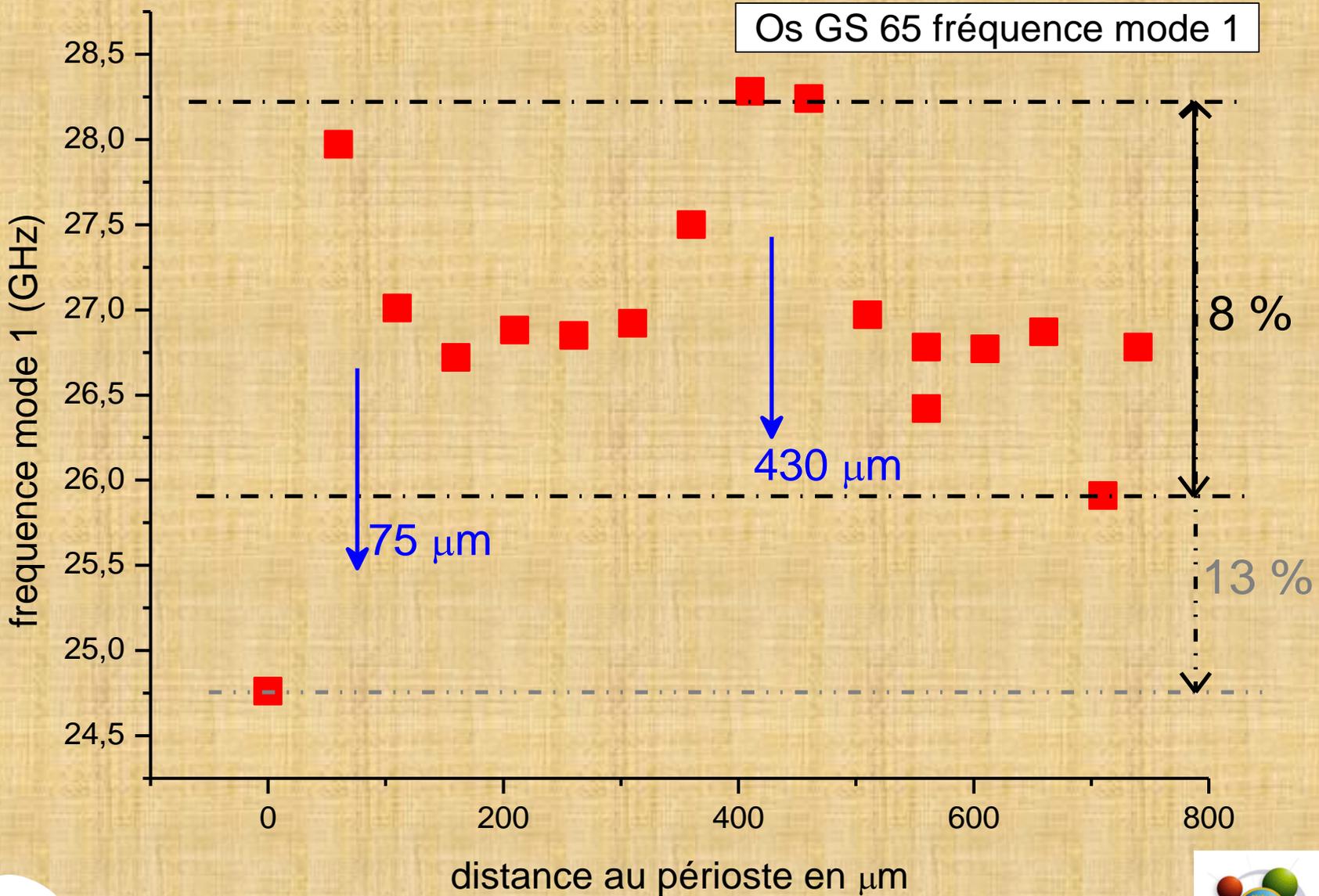
Spectra	Scaling coefficients	Enabled	autoscale
2 G20_d451.DAT	1	<input checked="" type="checkbox"/> Enabled	autoscale
3 G20_d435.DAT	1	<input checked="" type="checkbox"/> Enabled	autoscale
4 G20_d381.DAT	1	<input checked="" type="checkbox"/> Enabled	autoscale

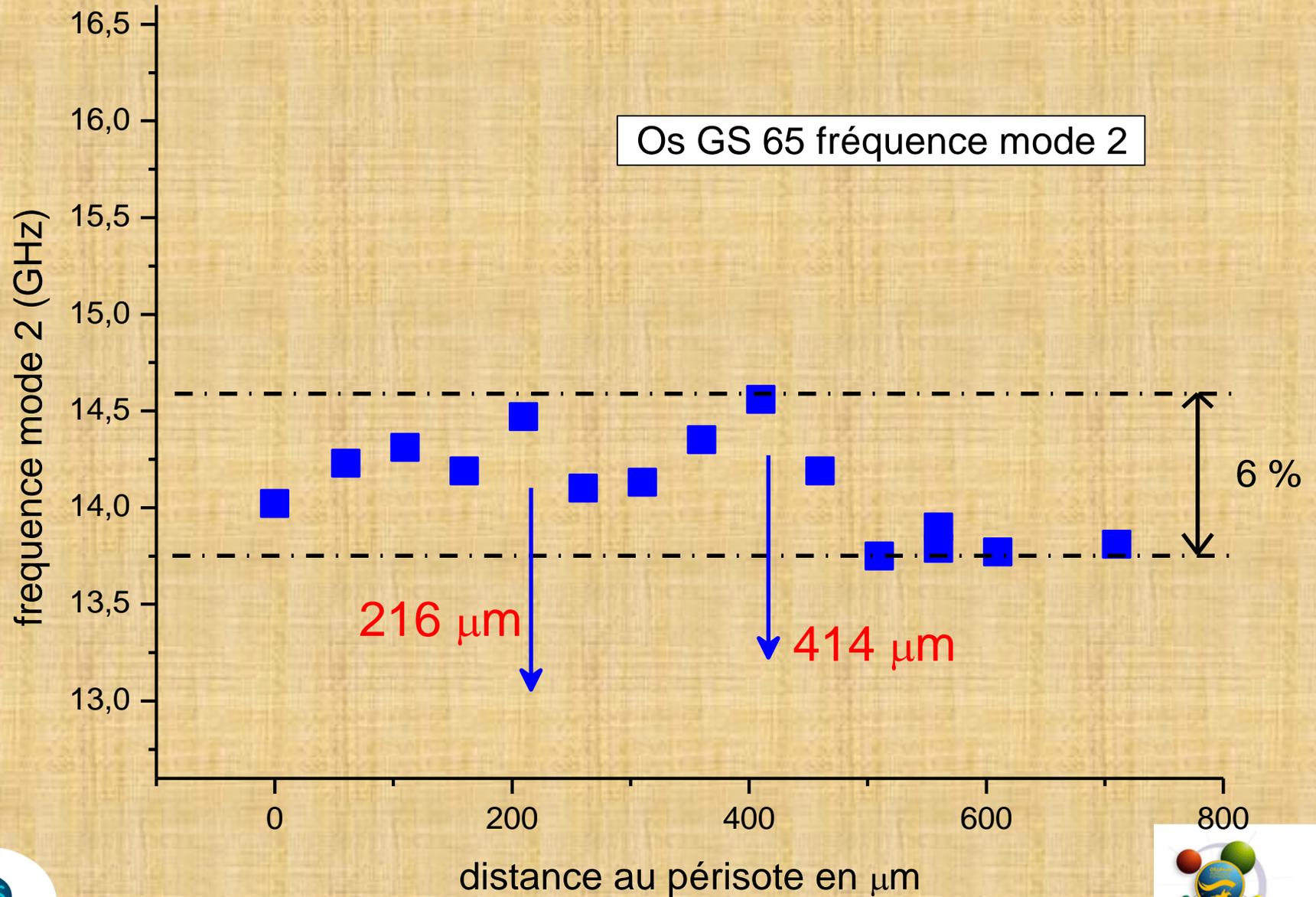
Mozilla Firefox



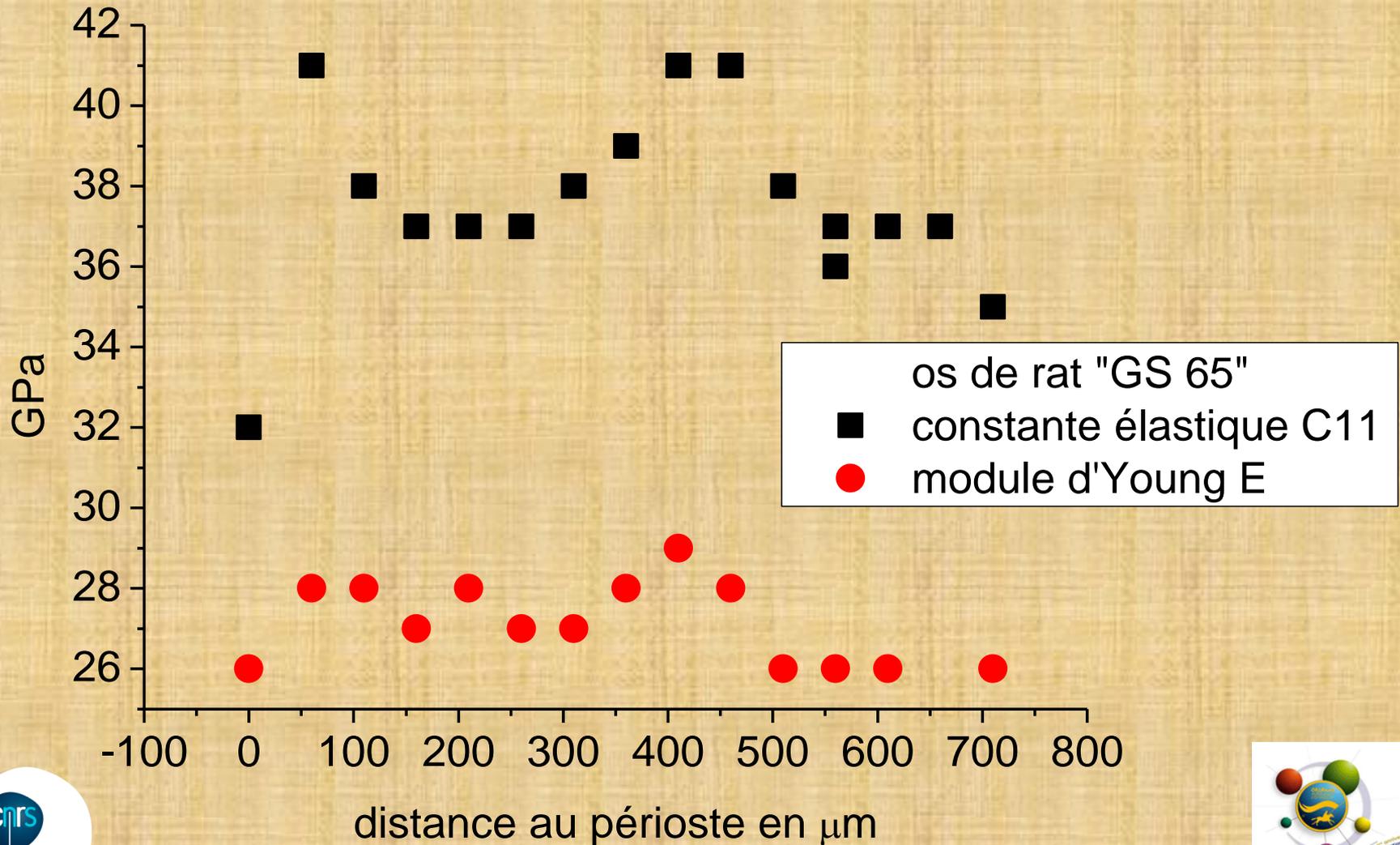


# Os de rat : échantillon dénommé GS 65

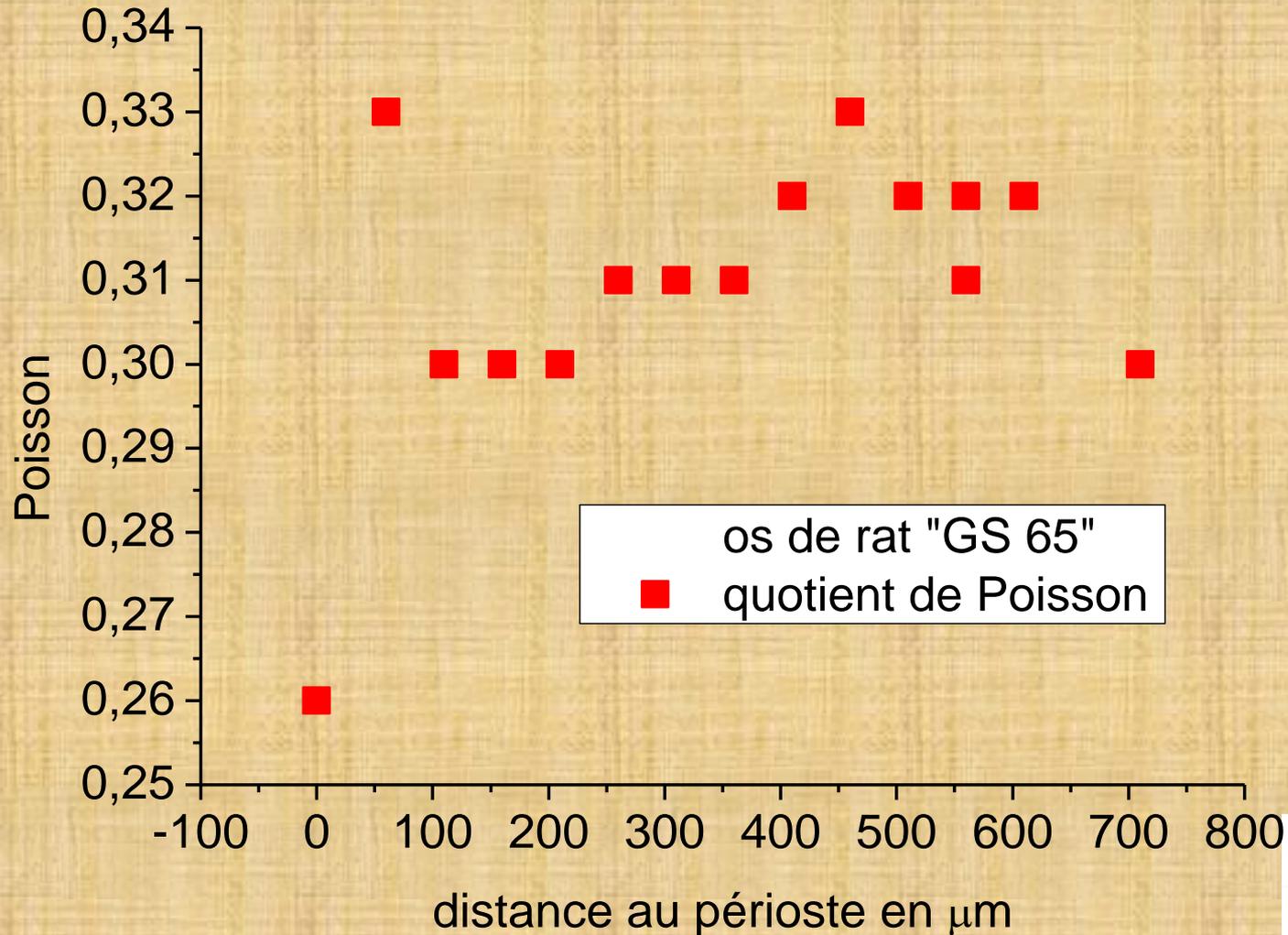




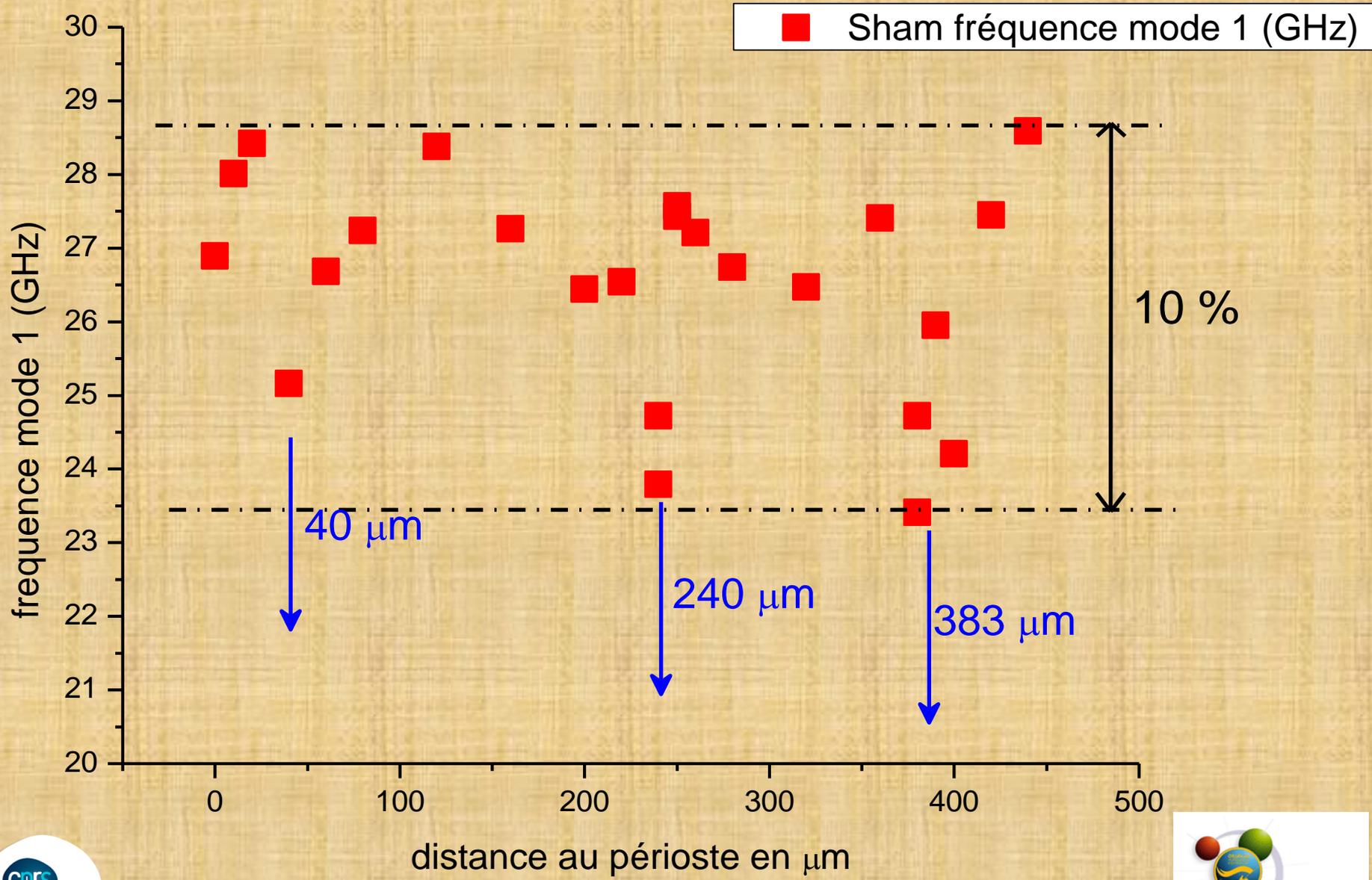
calculs fait avec : l'indice de réfraction  $n = 1,558$  (Ascenzi and Fabry, 1959)  
Masse volumique  $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$  (Journées Os – Ultrasons, Compiègne  
24-25 Janvier 2002)



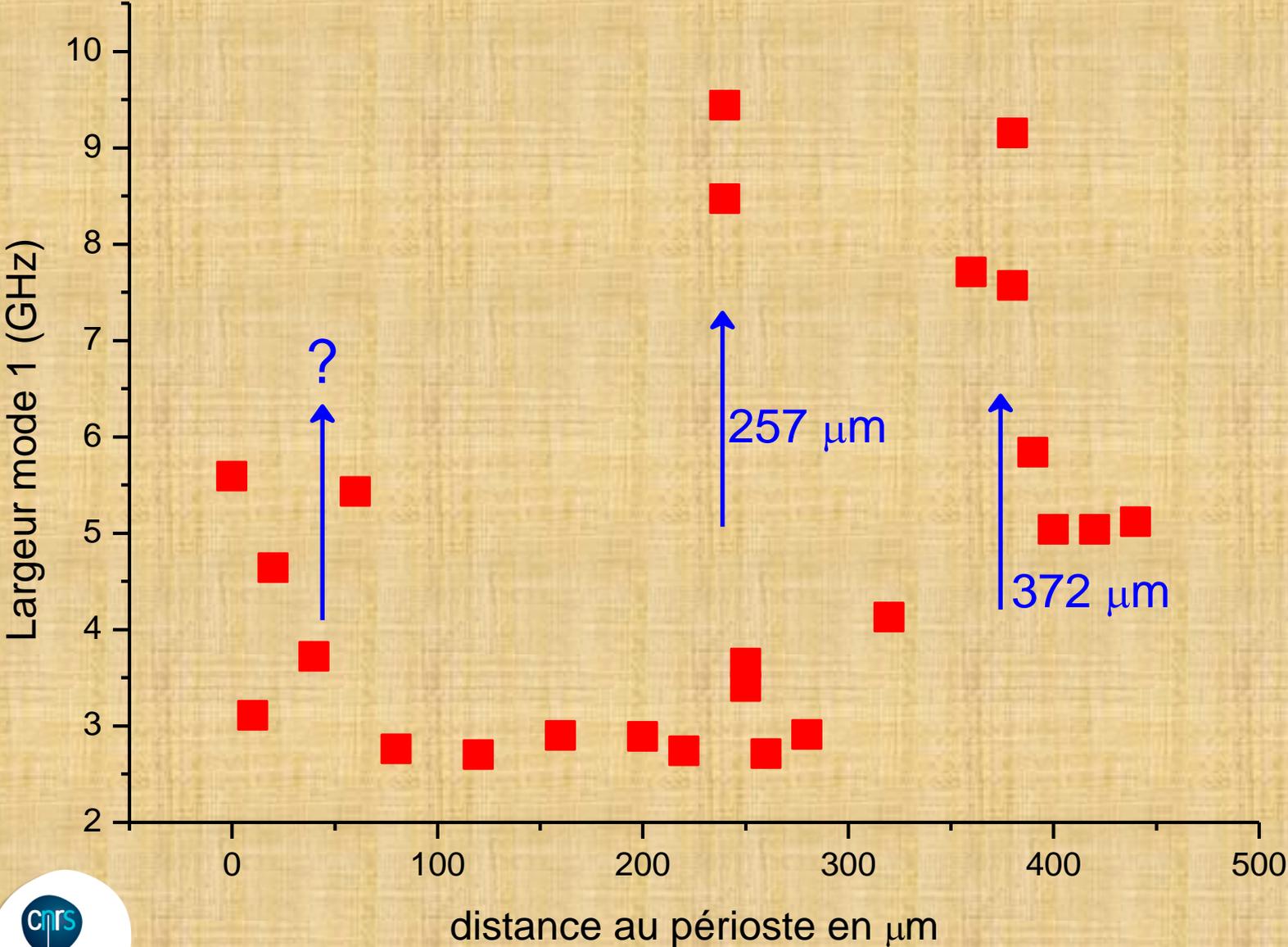
calculs fait avec : l'indice de réfraction  $n = 1,558$  (Ascenzi and Fabry, 1959)  
Masse volumique  $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$  (Journées Os – Ultrasons, Compiègne  
24-25 Janvier 2002)



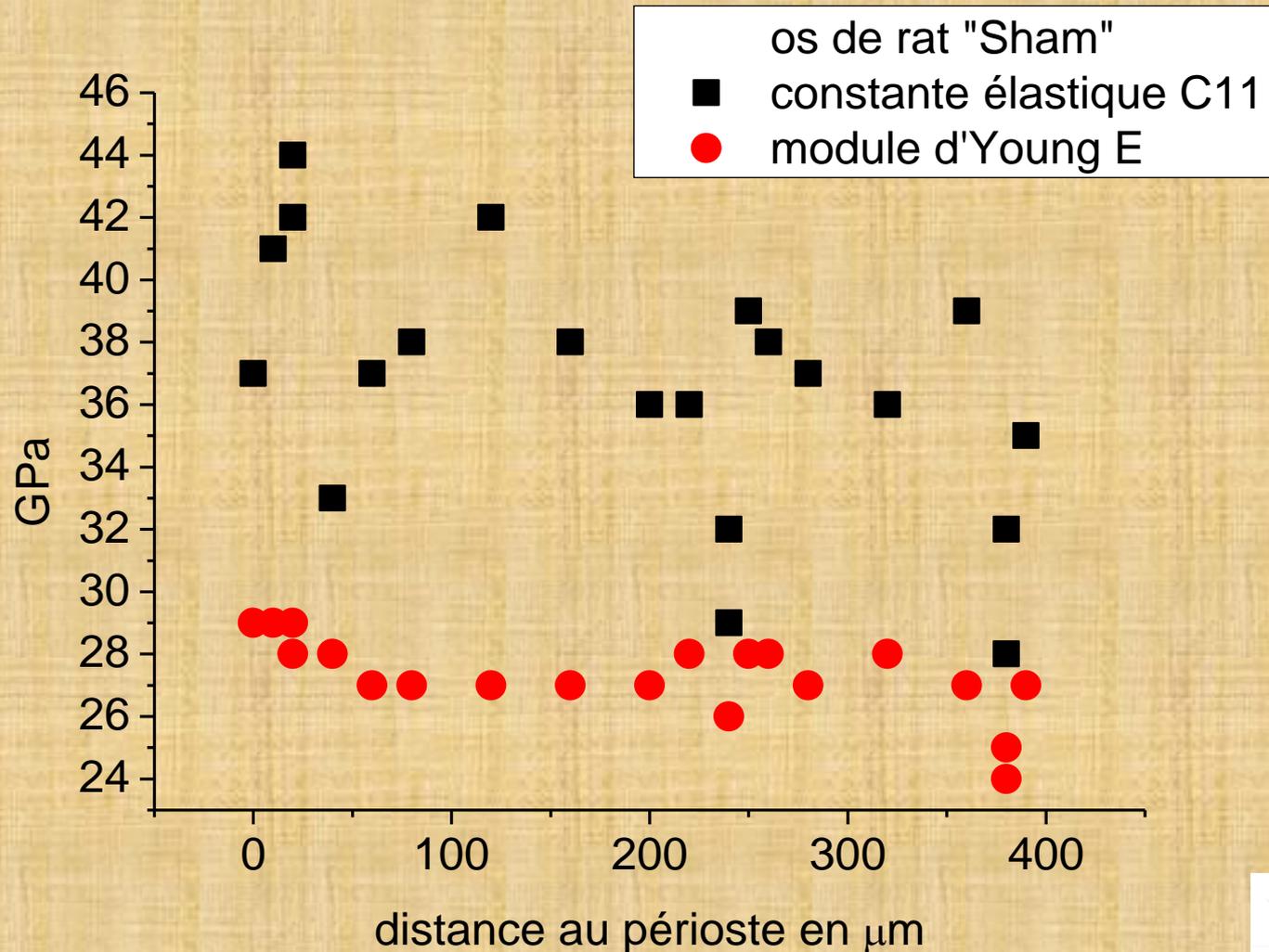
# Os de rat échantillon dénommé Sham



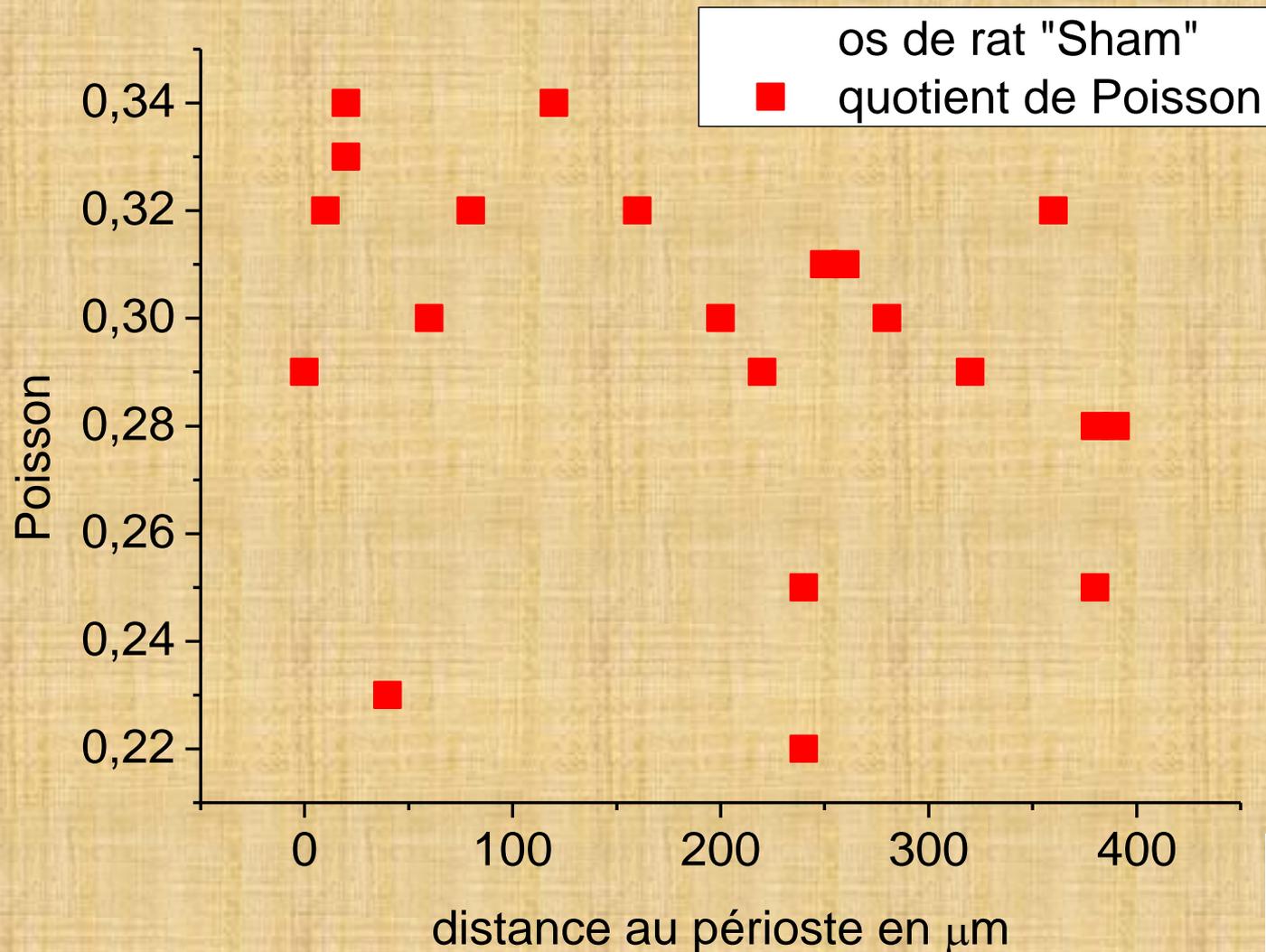
■ Sham Largeur mode 1 (GHz)



calculs fait avec : l'indice de réfraction  $n = 1,558$  (Ascenzi and Fabry, 1959)  
Masse volumique  $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$  (Journées Os – Ultrasons, Compiègne  
24-25 Janvier 2002)



calculs fait avec : l'indice de réfraction  $n = 1,558$  (Ascenzi and Fabry, 1959)  
Masse volumique  $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$  (Journées Os – Ultrasons, Compiègne  
24-25 Janvier 2002)



# Conclusions

- **Le milieu est anisotrope** (en rétrodiffusion on détecte les 2 raies Brillouin une longitudinale et une transversale, cependant la très faible intensité de la raie transversale signe une assez faible anisotropie)
- **Dans la plupart des échantillons on détecte 2 milieux diffusants de nature ou orientation différente** (superposition de 2 spectres Brillouin/détection de 2 raies de modes longitudinaux )

# Conclusions

- Le rapport entre l'amplitude des variations de la fréquence de la raie « longitudinale » et de la raie « transversale » dépend de l'échantillon.
- Le fait que les variations relatives de la fréquence de la raie « longitudinale » soit systématiquement plus faible que celles de la fréquence de la raie « transversale » signifie que ces variations ne sont pas aléatoire où dues aux incertitudes sur la mesure, mais révèle l'existence d'une réalité qu'il reste ici à élucider.

# Amplitude des variations des fréquences :

✓ G 20  $\frac{\Delta v_l}{v_l} \simeq 2 \frac{\Delta v_t}{v_t}$

✓ GS 65  $\frac{\Delta v_l}{v_l} \simeq \frac{\Delta v_t}{v_t}$

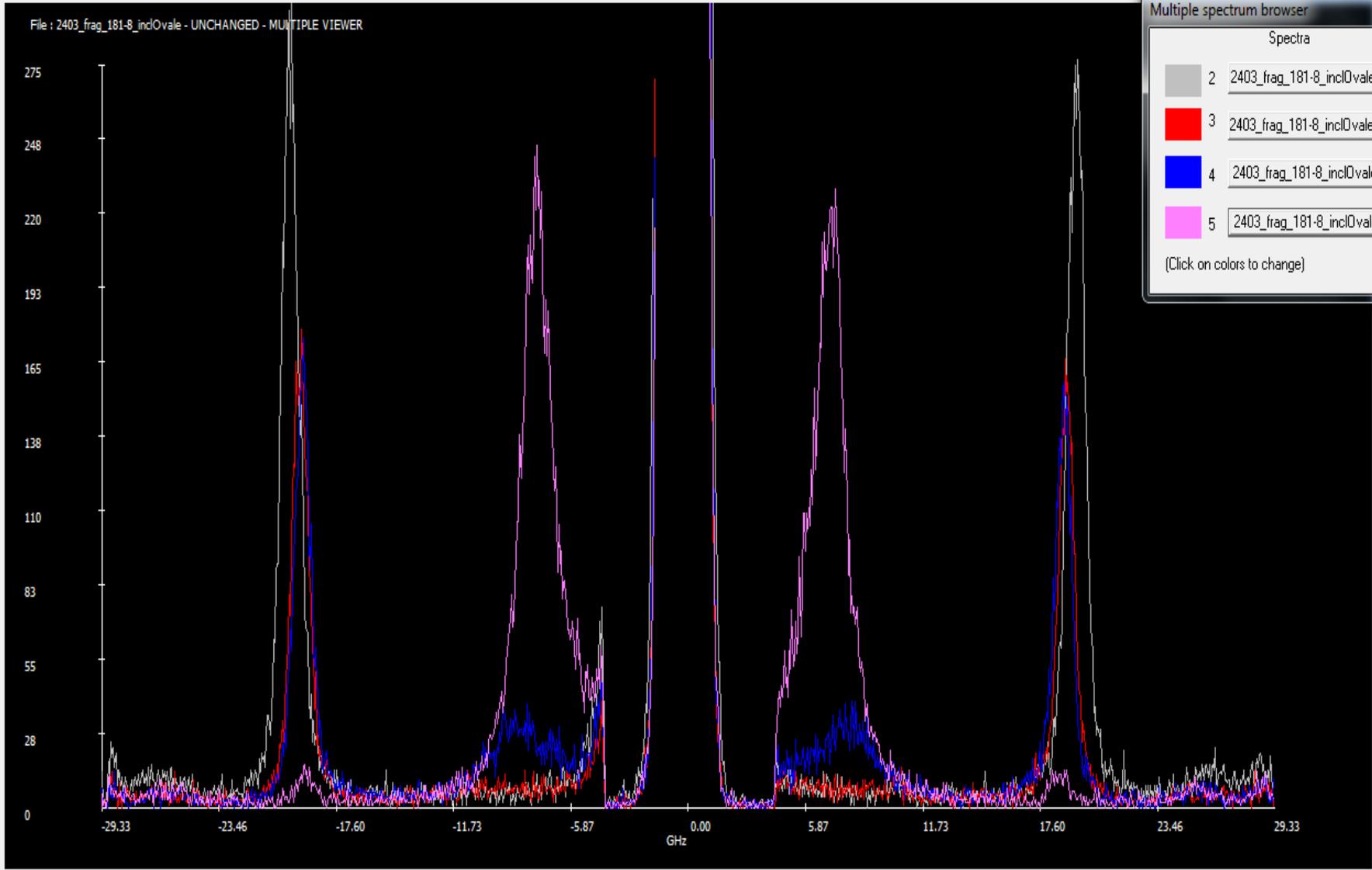
✓ SHAM  $\frac{\Delta v_l}{v_l} \simeq \frac{\Delta v_t}{v_t}$

Sham est plus homogène mécaniquement que les autres échantillons et cette homogénéité est plus marquée sur le cisaillement

	$\langle v_l \rangle$ (GHz)	$\langle v_t \rangle$ (GHz)	$\Delta v_l$ %	$\Delta v_t$ %
<b>G20</b>	26	13,5	23	14
<b>SHAM</b>	26,9	13,7	10	9
<b>GS65</b>	26,6	14,2	8	6

# III. Pour les Sciences de la Terre

L'eau sous pression négative  
contenue dans des inclusions du  
quartz



Multiple spectrum browser

	Spectra	Scaling
	2 2403_frag_181-8_inclOvale_-33mono d.DAT	
	3 2403_frag_181-8_inclOvale_-10mono m.DAT	
	4 2403_frag_181-8_inclOvale_-5mono m.DAT	
	5 2403_frag_181-8_inclOvale_0mono m.DAT	

(Click on colors to change)

Exit

0

mark1:  
23.60 GHz

mark2:  
27.38 GHz

Channels :  
1024

Zoom in

Zoom out

lin  log

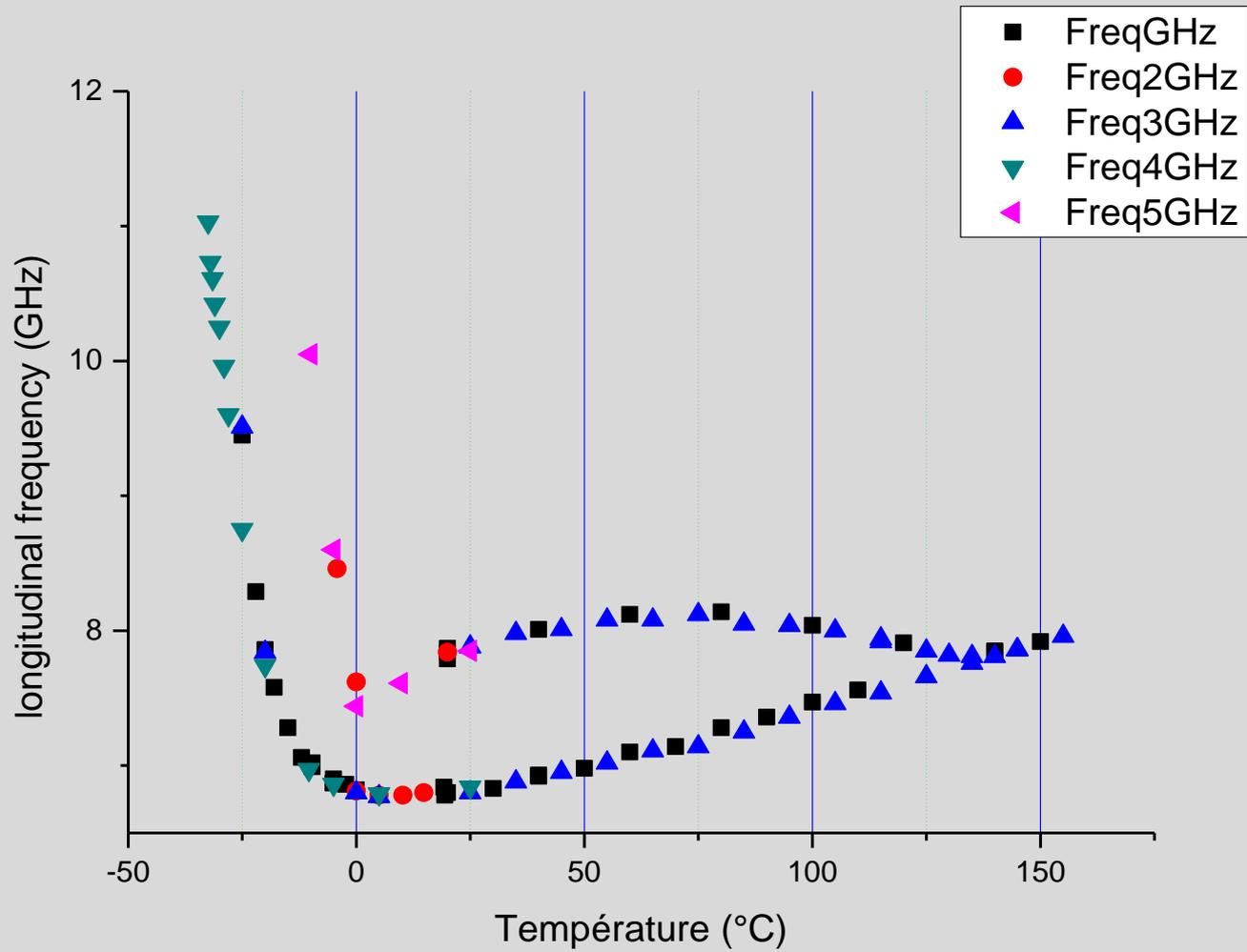
line  dots

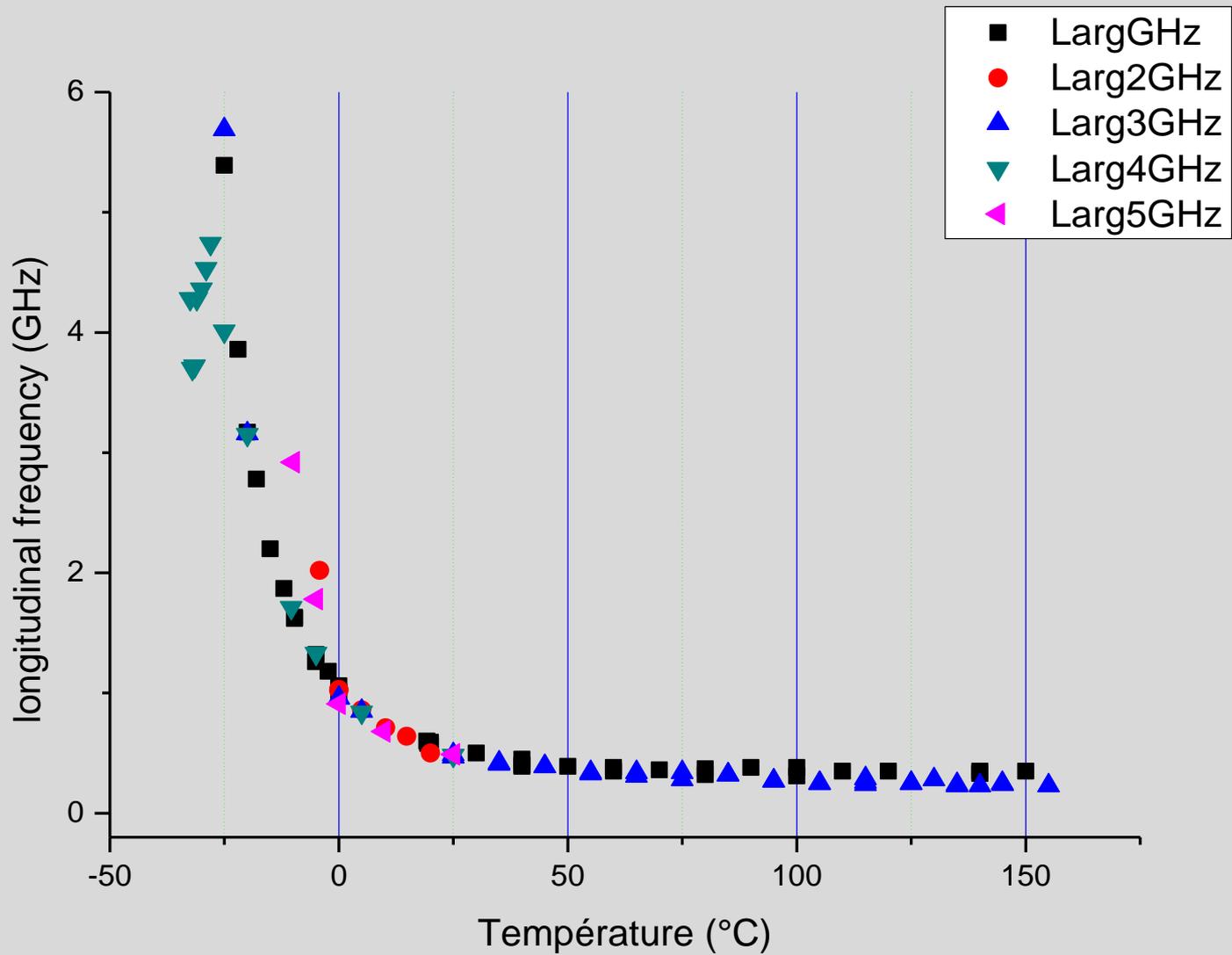
Autoscale

Exit

Delete spectrum Start acquisition Data analysis toolbox Show comments Edit Comments

Network... Observe signal Multiple viewer Load spectrum Save spectrum Save raw Load raw

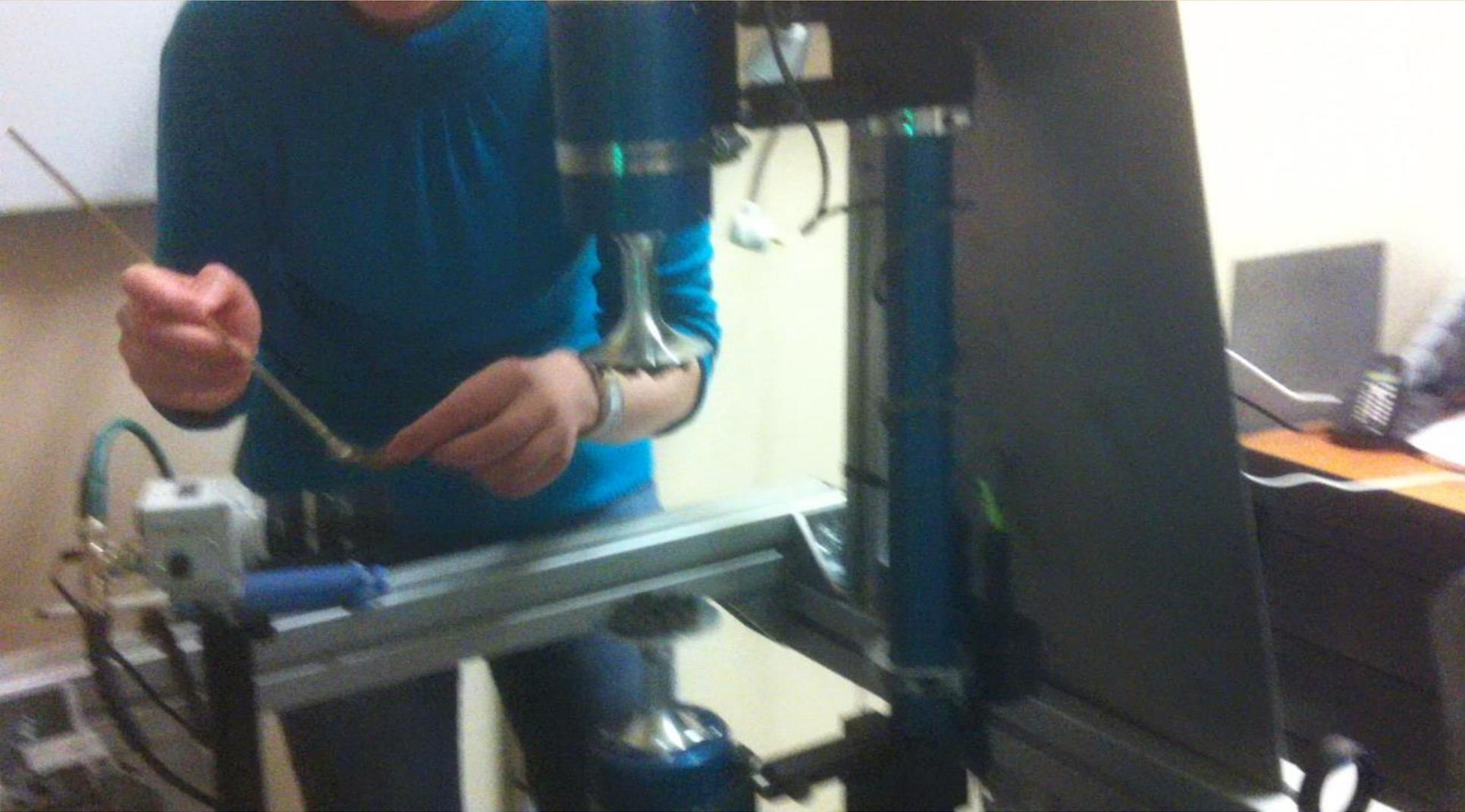


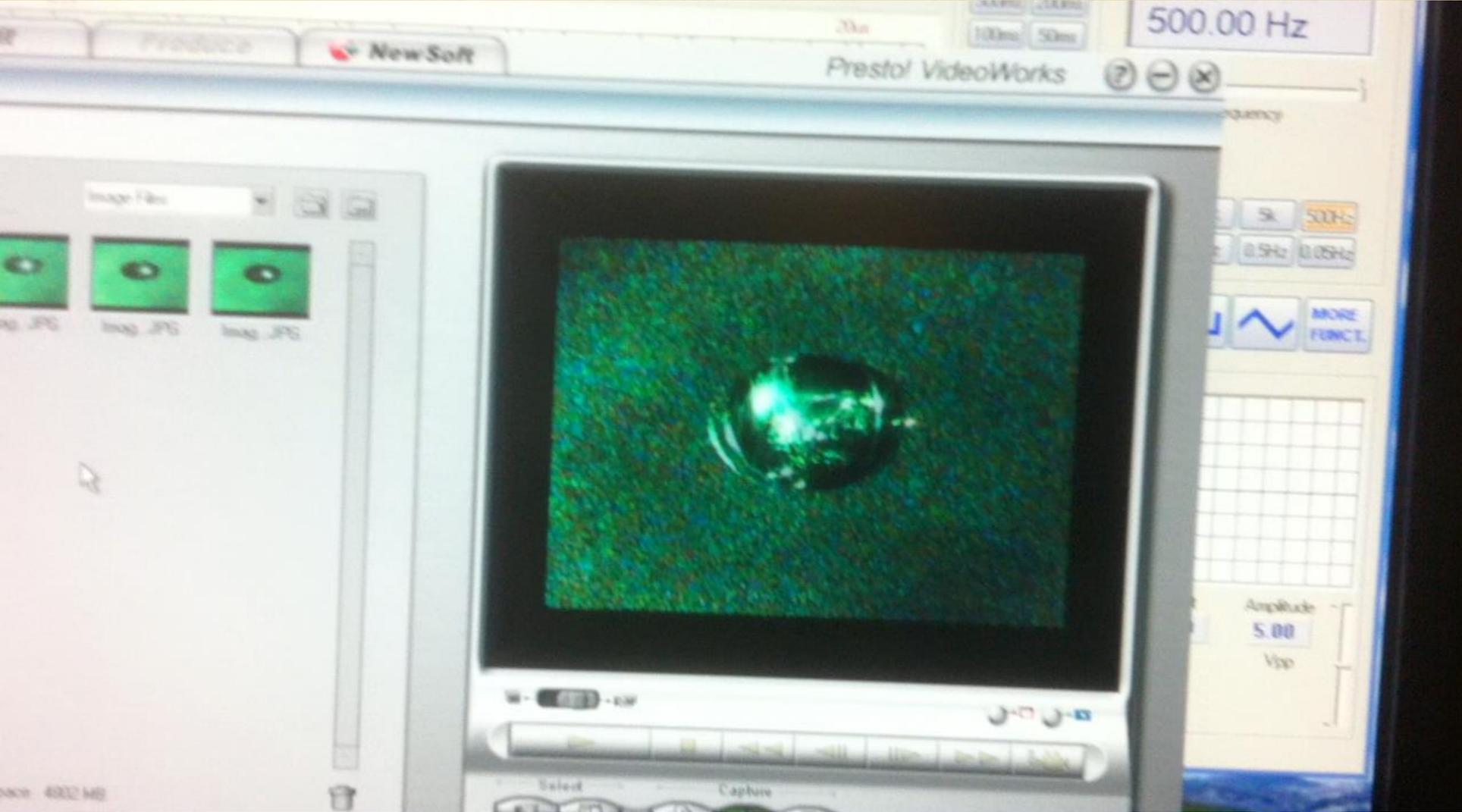


# IV. Nouvelle possibilité d'étude des propriétés mécaniques des systèmes

Étude des systèmes liquides  
grâce à **la lévitation acoustique**





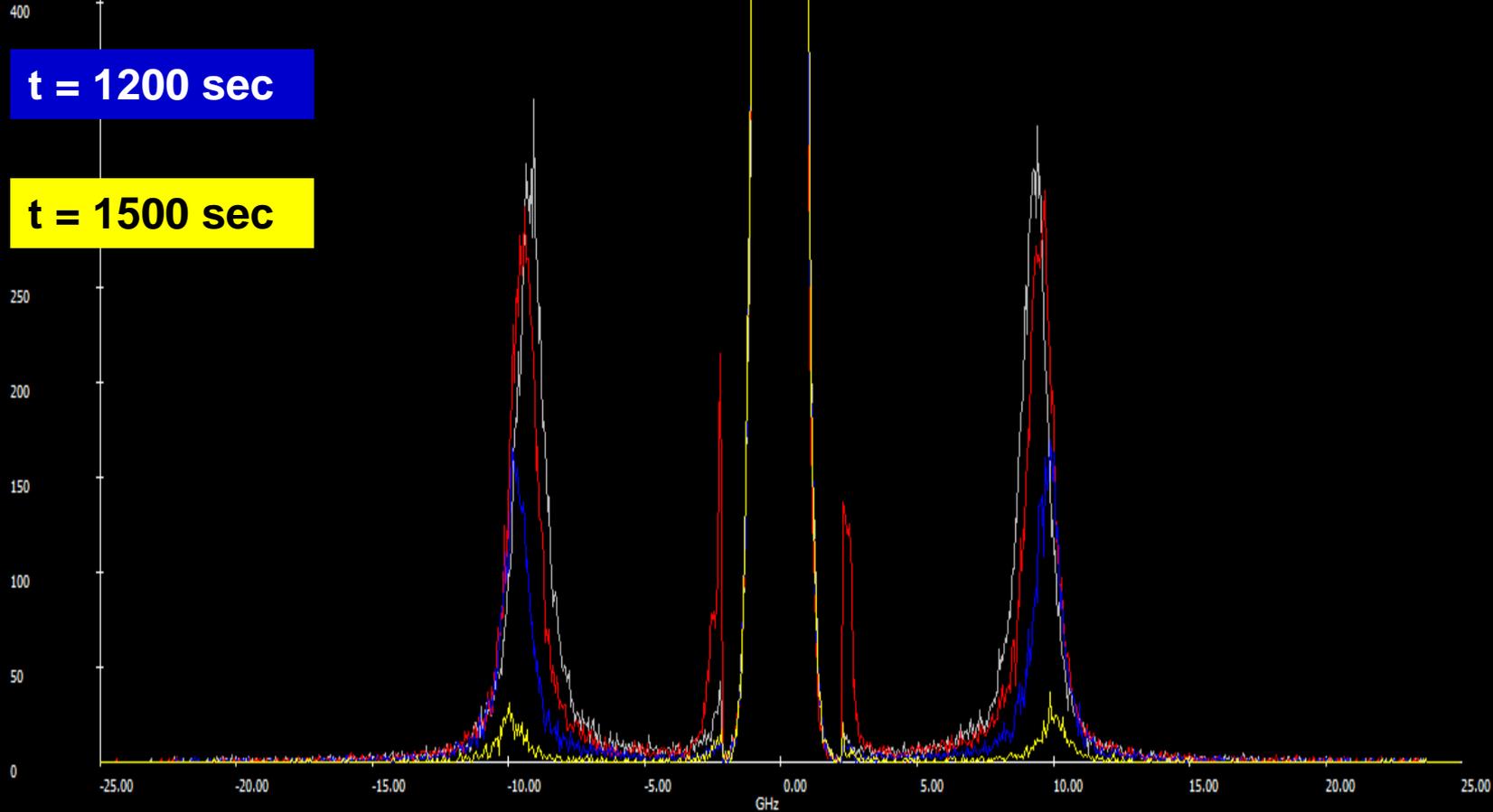


**t = 0 sec**  
**Myoglobine in D2O**

**t = 600 sec**

**t = 1200 sec**

**t = 1500 sec**



Scale: 500  
Cycles: 0  
Mark1  
Mark2  
Channels: 1024  
Zoom in  
Zoom out  
 lin  log  
 line  dots  
Autoscale  
Exit

Delete spectrum Start acquisition Data analysis toolbox Show comments Edit Comments  
Load spectrum Save spectrum Save raw Load raw

Multiple spectrum browser  
Spectra Scaling coefficients

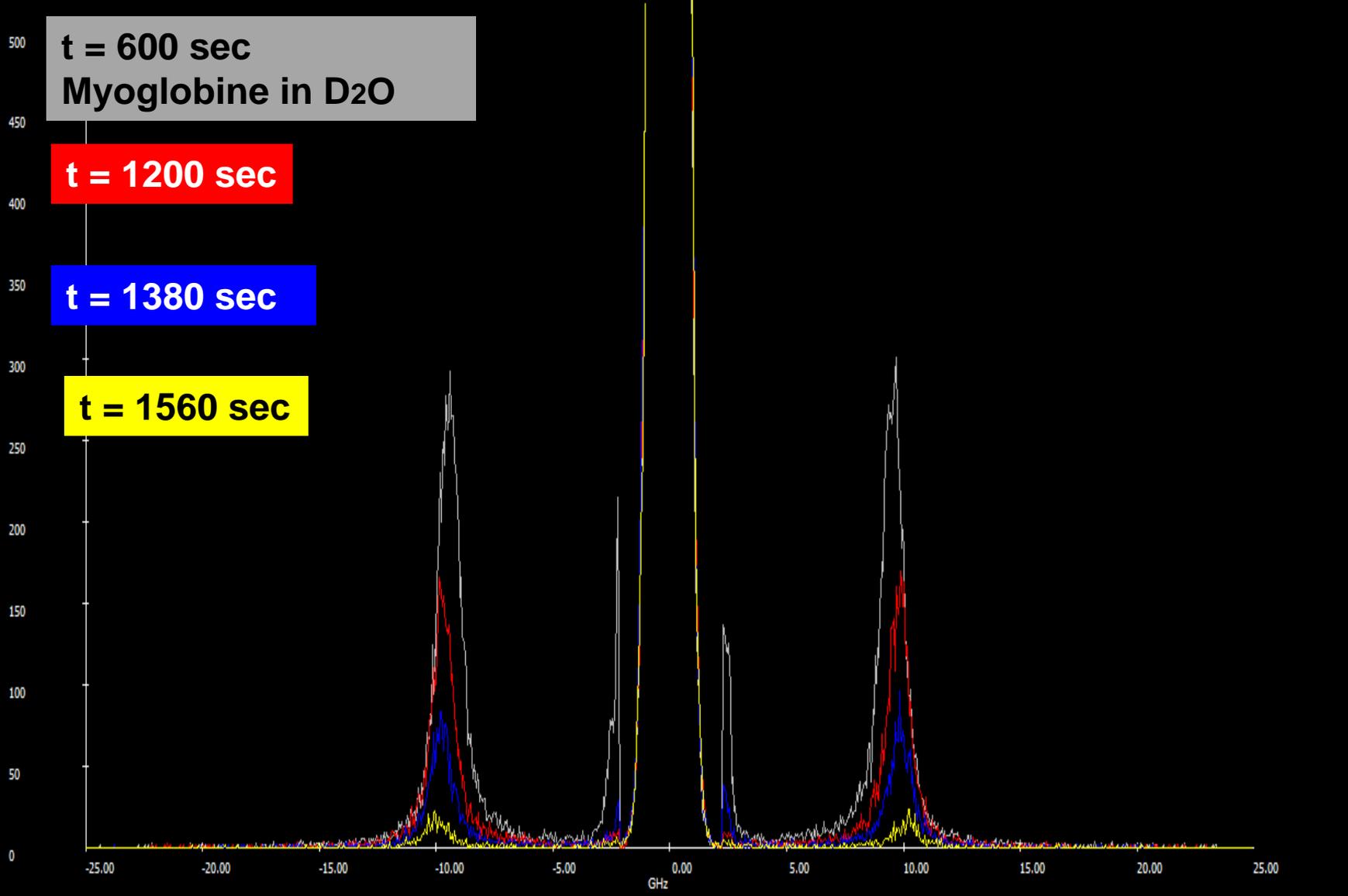
File : <NONAME> - UNCHANGED - MULTIPLE VIEWER

**t = 600 sec**  
**Myoglobine in D<sub>2</sub>O**

**t = 1200 sec**

**t = 1380 sec**

**t = 1560 sec**



Scale

500

Cycles

0

Mark1

Mark2

Channels :  
1024

Zoom in

Zoom out

lin  log

line  dots

Autoscale

Exit

Delete spectrum

Start acquisition

Data analysis toolbox

Show comments

Edit Comments

Multiple spectrum browser

Spectra

Scaling coefficients

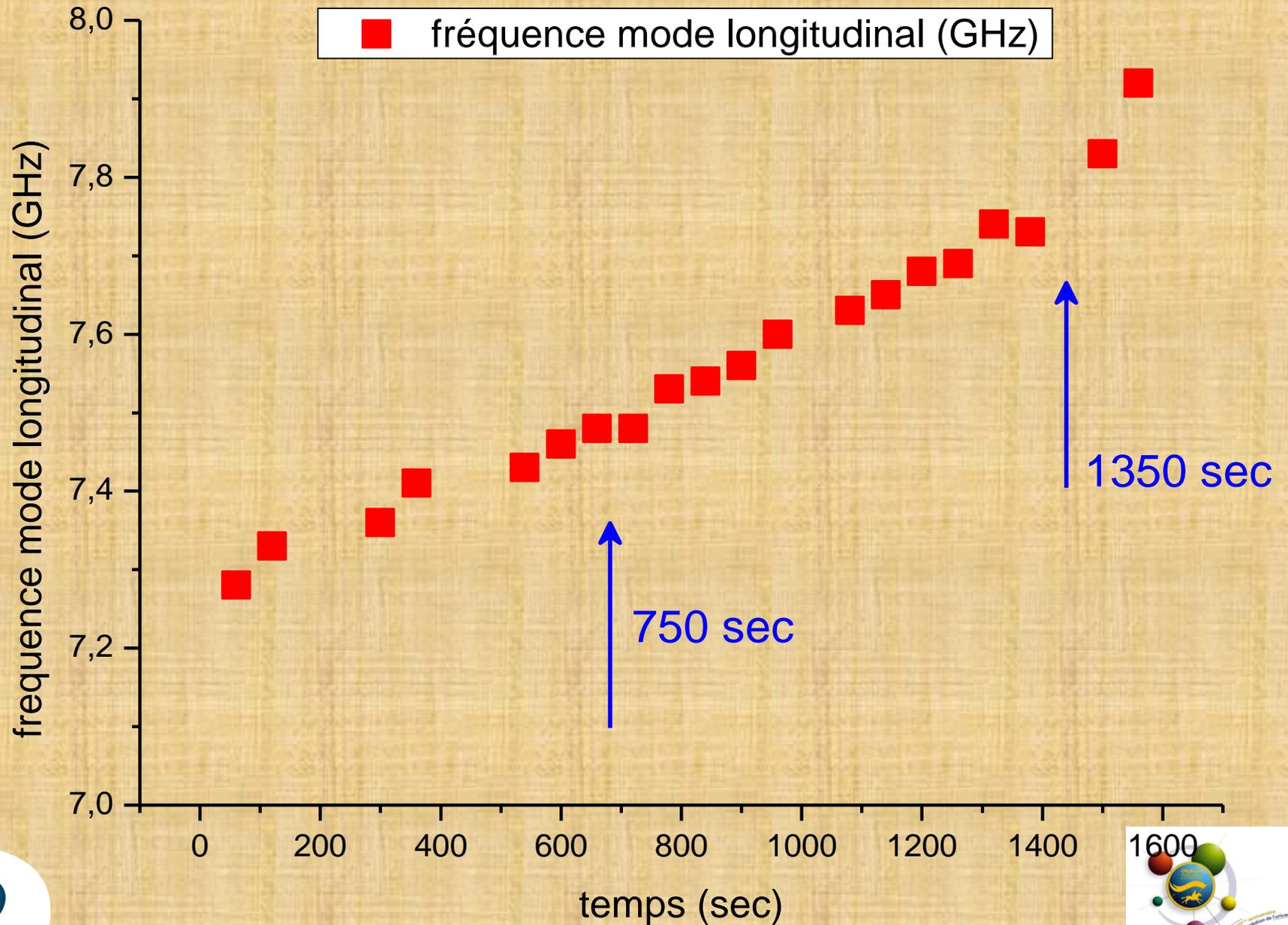
Multiple viewer

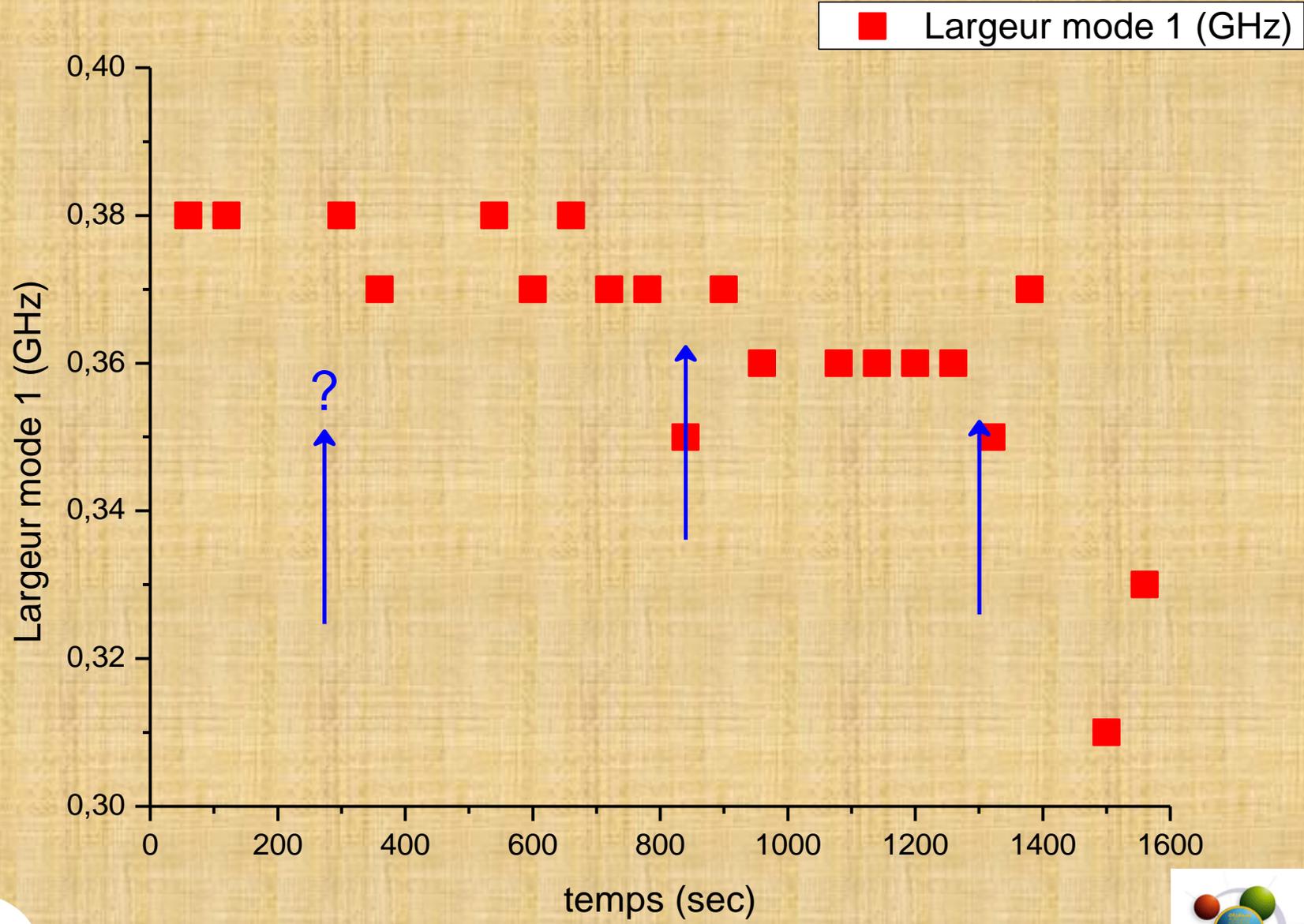
Load spectrum

Save spectrum

Save raw

Load raw





■ Intensité mode 1

