

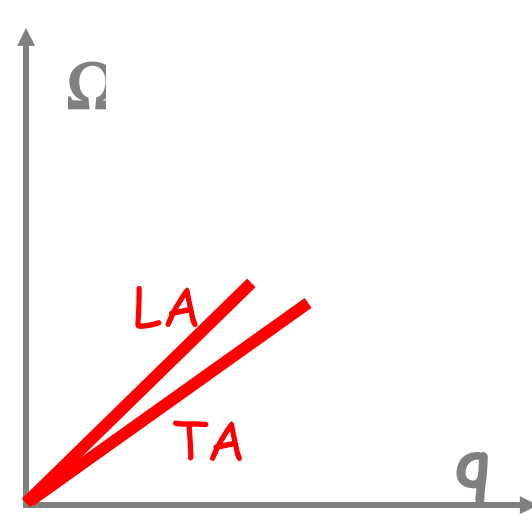
1. Motivations

Mécanismes à l'origine de l'atténuation des ondes acoustiques (Ω , q) dans les verres

Relation de dispersion : $\Omega = vq$

Libre parcours moyen l^{-1} (atténuation spatiale α) ou frottements internes Q^{-1}

$$l^{-1} = \alpha = \frac{2\Gamma}{v} \quad Q^{-1} = \frac{2\Gamma}{\Omega} = \frac{l^{-1}v}{\Omega}$$



Dans les cristaux les mécanismes d'atténuation sont essentiellement dus aux relaxations de la structure via les interactions anharmoniques entre phonons (Akhiezer), $\Gamma \propto \Omega^2$

Dans les verres plusieurs mécanismes mènent à l'atténuation et à la dispersion du son :

- couplage avec les systèmes à deux niveaux (TLS), dominant en-dessous de 3K

- couplage avec les relaxations thermiquement activées (TAR) des « défauts structuraux » : dominant aux fréquences sonores et ultrasonores

- anharmonicité ou « viscosité du réseau »

- diffusion Rayleigh du son par les fluctuations figées de densité ou des constantes élastiques

- couplage avec les modes en excès (pic Boson) \rightarrow fin des branches acoustiques (?)

Atténuation et variation de vitesse des ondes sonores :

Variation relative de la vitesse du son : $\frac{\delta v}{v} = \frac{v(\Omega, T) - v_0}{v_0}$, $v_0 = v(\Omega, T \rightarrow 0)$

Q^{-1} et $2\delta v/v$ sont reliés par la transformation de Kramers-Krönig : $-\frac{2\delta v(\Omega, T)}{v} = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{Q^{-1}(x, T)}{x - \Omega} dx$

2. Spectroscopie Brillouin haute résolution

Fabry-Perot Plan (FPP), intervalle spectral libre (ISL) ~ 100 GHz, 4 passages \Rightarrow haut contraste $C \sim 10^{10}$

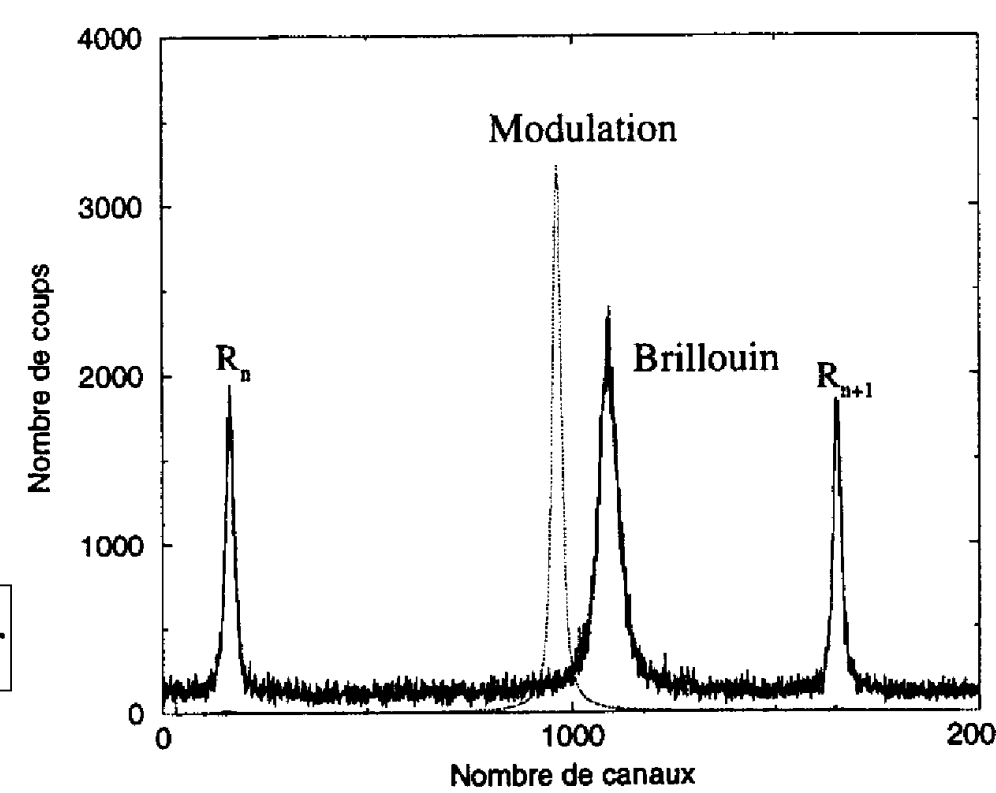
- Stabilisé par un signal de référence généré par modulation électro-optique de la raie laser ($v_0 \pm v_M$)
- v_M fixé à v_B

Fabry-Perot Sphérique (FPS), ISL ~ 1.5 GHz, largeur de la fonction d'appareil ~ 15 MHz

- Calibration avec le signal de référence v_0
- \Rightarrow haute précision sur la fréquence v_B

Spectre typique dans la silice densifiée

(d-SiO₂ $\rho=2.60$ g/cm³)



Haute résolution et précision

$v_B = 42.320 \pm 0.003$ GHz

$\Gamma = 25 \pm 3$ MHz

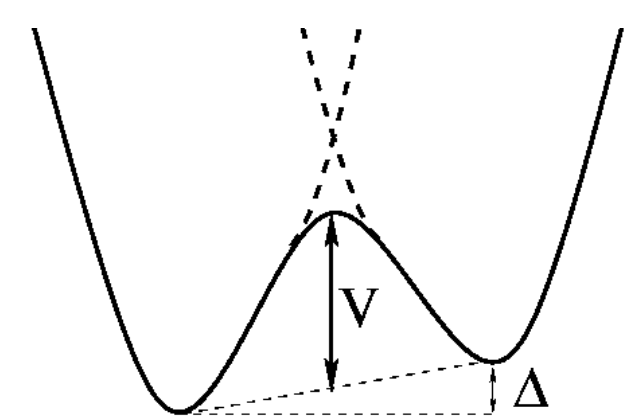
E. Rat, M.Foret et al PRB 72 214204 (2005)

[H. Sussner, R. Vacher, Appl. Opt. 18 3815 (1979); R. Vacher, H. Sussner, M. Schickfus, Rev. Sci. Instrum. 51 288 (1980); R. Violla, Opt. Instrum., Coll. de la société française d'optique, ed. Bouchareine (1996)]

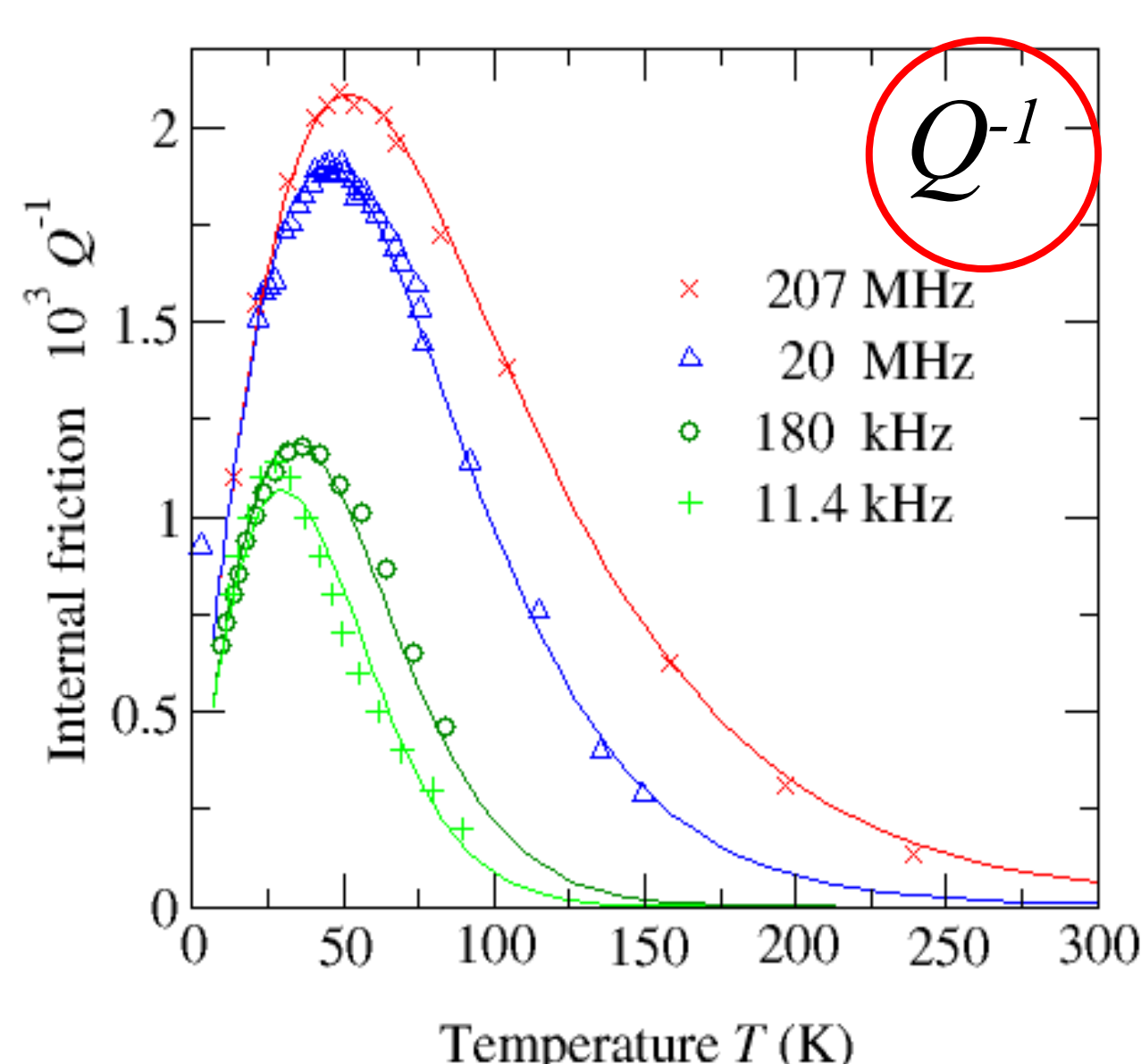
3. Relaxations structurales dans la silice

L'atténuation entre 10 kHz et 200 MHz est due au couplage avec la relaxation de « défauts structuraux » activés thermiquement.

Modélisation par des potentiels à double puits dissymétriques avec une distribution large de la hauteur de barrière (V) et de dissymétrie (Δ).



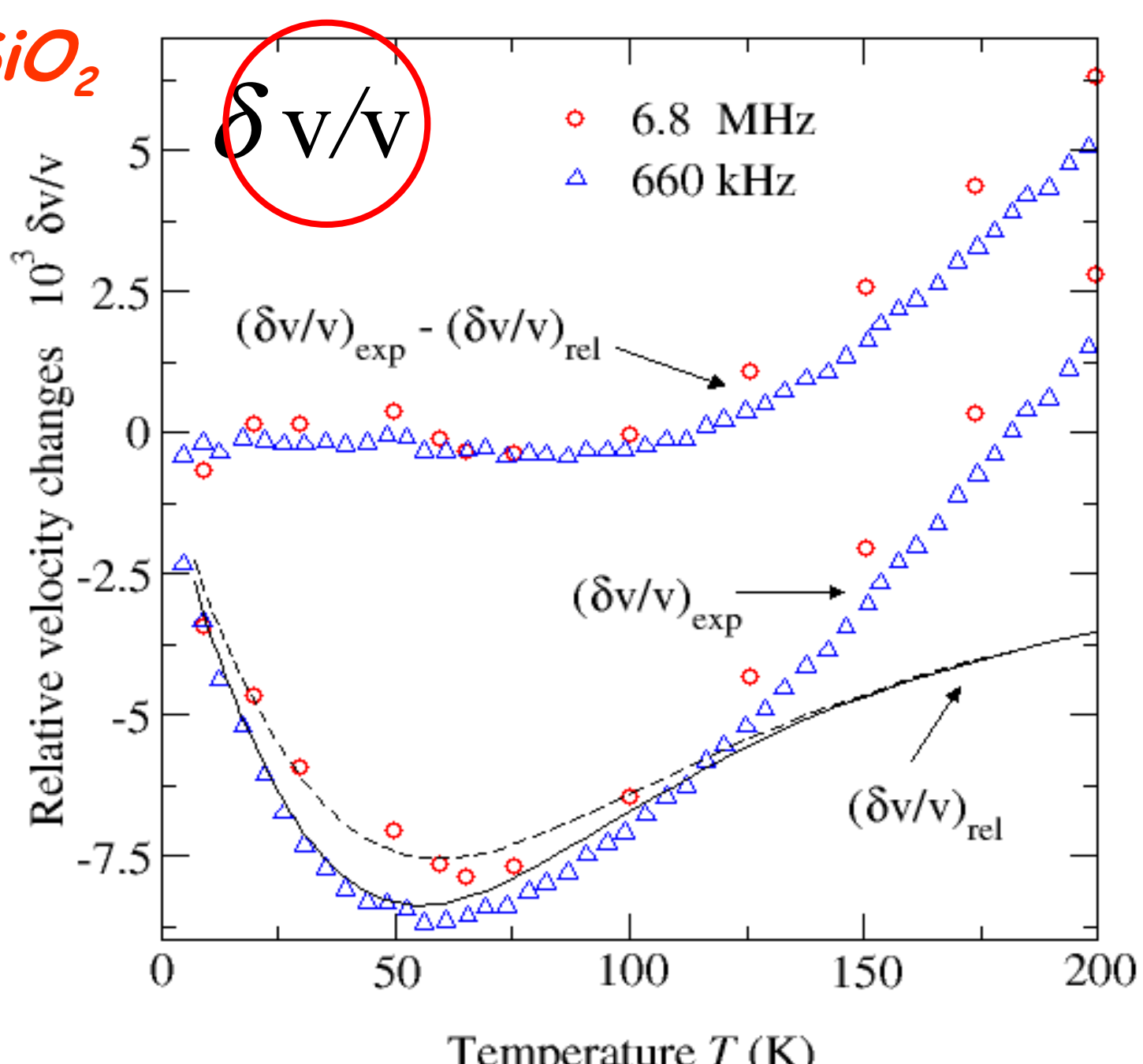
[W.A.Phillips (1972); P.W.Anderson, B.I.Halperin and C.M.Varma (1972)]



× R.Vacher et al JNCS 45 397 (1981); Δ O.L.Anderson et al J.Am.Ceram.Soc. 38 125 (1955); ○ R.Keil et al JNCS 164 1183 (1993); + D.Tielbürger et al PRB 45 2750 (1992)c

\rightarrow Hauteur de barrière distribuée entre 0 et une valeur élevée $V_0 \approx 660$ K

\rightarrow Dissymétrie du double puits limitée $\Delta \approx 80$ K

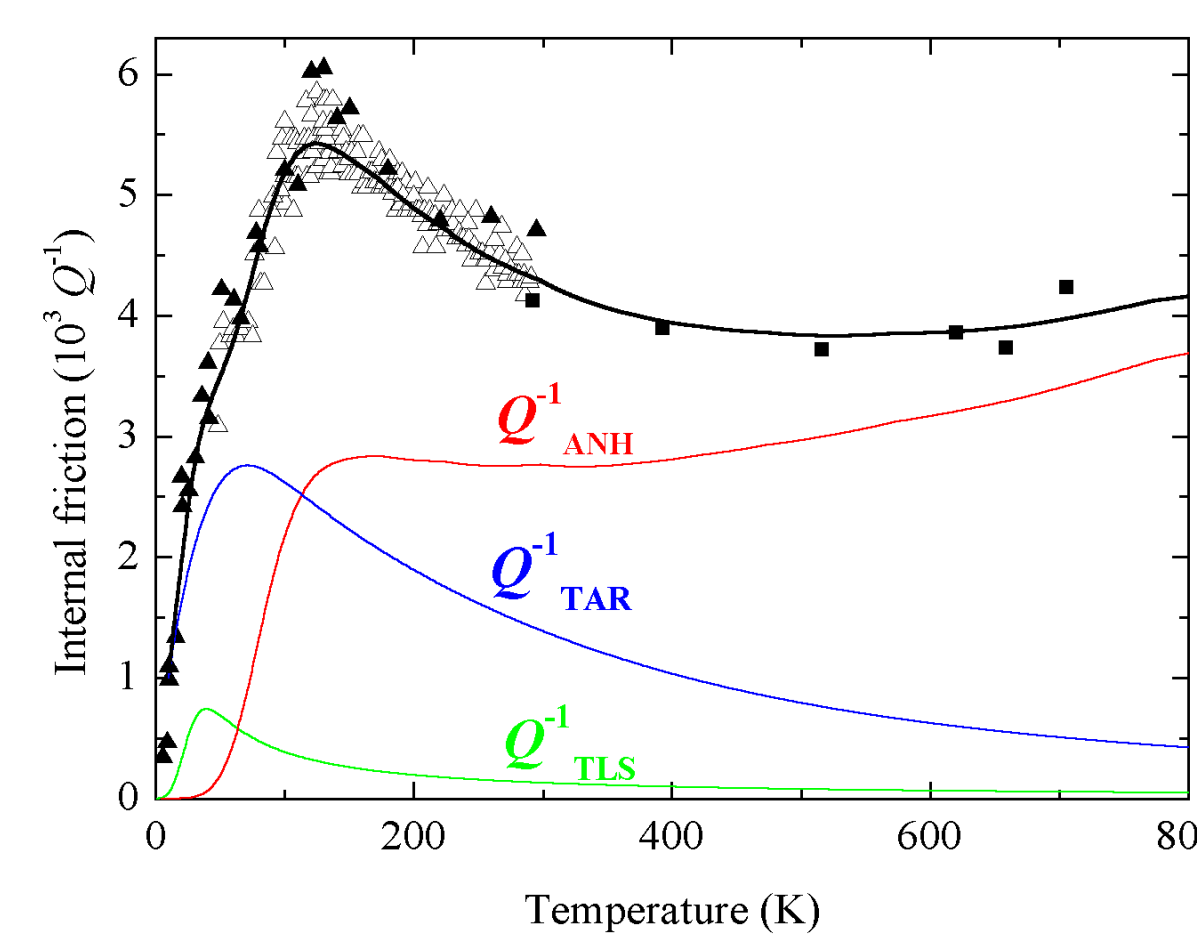


○ R.Vacher et al JNCS 45 397 (1981); Δ Gilroy and Phillips, Philos. Mag. B 43 735 (1981)

R.Vacher, E.Courtens and M.Foret PRB 72 214205 (2005)

4. Mesures en diffusion Brillouin de la lumière

v-SiO₂, 34 GHz



▲ R.Vacher J.Pelous PRB 14 823 (1976); ■ J.Pelous R.Vacher, Sol.Stat.Com. 18 657 (1976); Δ D.Tielbürger et al, PRB 45 2750 (1992)

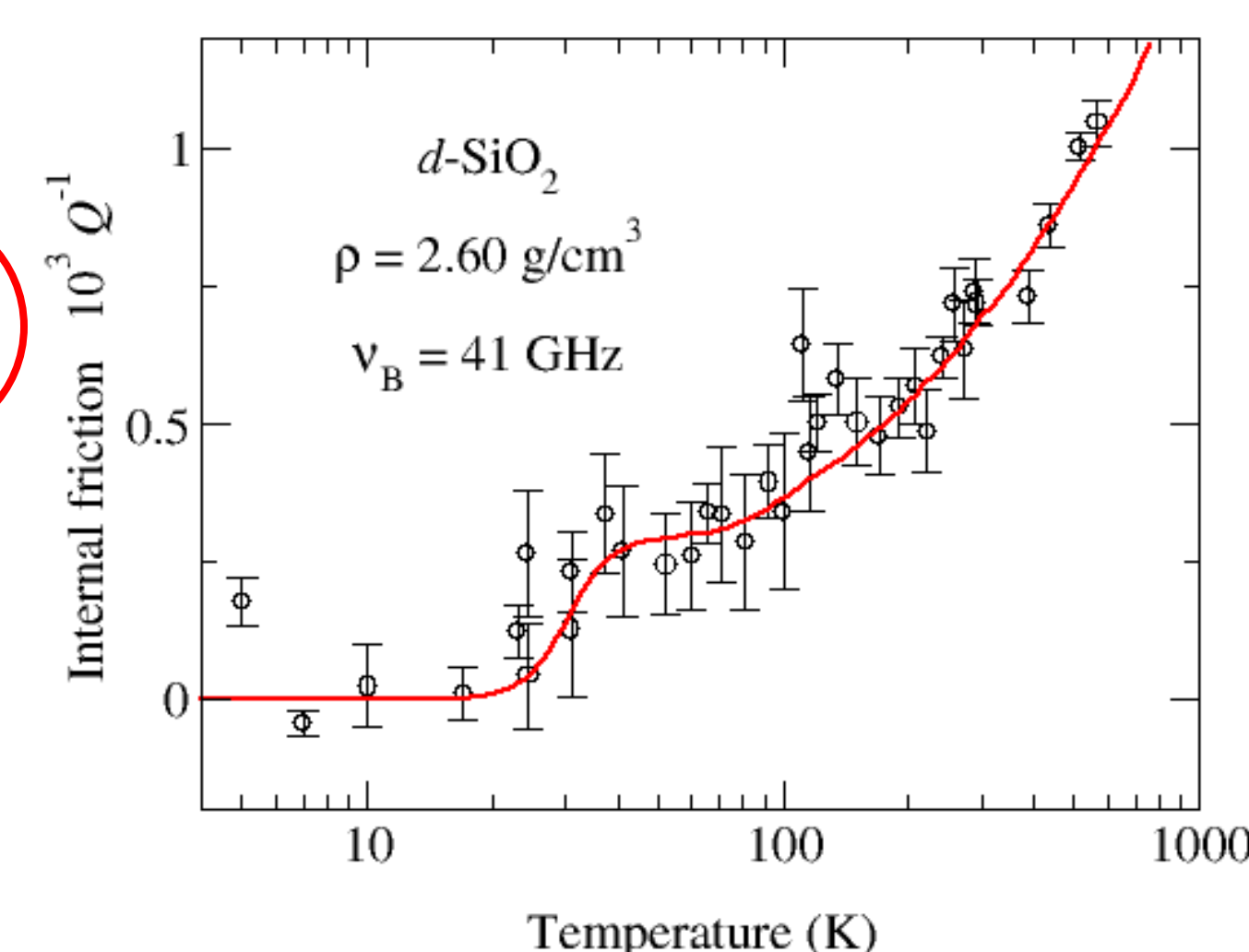
processus anharmoniques:

τ_{th} : temps de vie moyen des phonons thermiques

$$\Omega \tau_{th} \ll 1: \begin{cases} Q_{anh}^{-1} = A\Omega \tau_{th} \\ \delta v/v = -A/2 \end{cases} \quad A = \frac{\gamma^2 C_V T v}{2\rho v_D^3}$$

$$\text{Sinon: } Q_{anh}^{-1} = A\Omega \tau_{th} / (1 + \Omega^2 \tau_{th}^2)$$

d-SiO₂ ($\rho = 2.6$ g/cm³), 41 GHz



Résultats:

d-SiO₂ : $Q^{-1} = Q_{ANH}^{-1}$ (TAR négligeable)

v-SiO₂ : $Q^{-1} = Q_{TAR}^{-1} + Q_{ANH}^{-1} + (Q^{-1}_{TLS})$

E. Rat, M.Foret et al PRB 72 214204 (2005)

R.Vacher, E.Courtens and M.Foret PRB 72 214205 (2005)

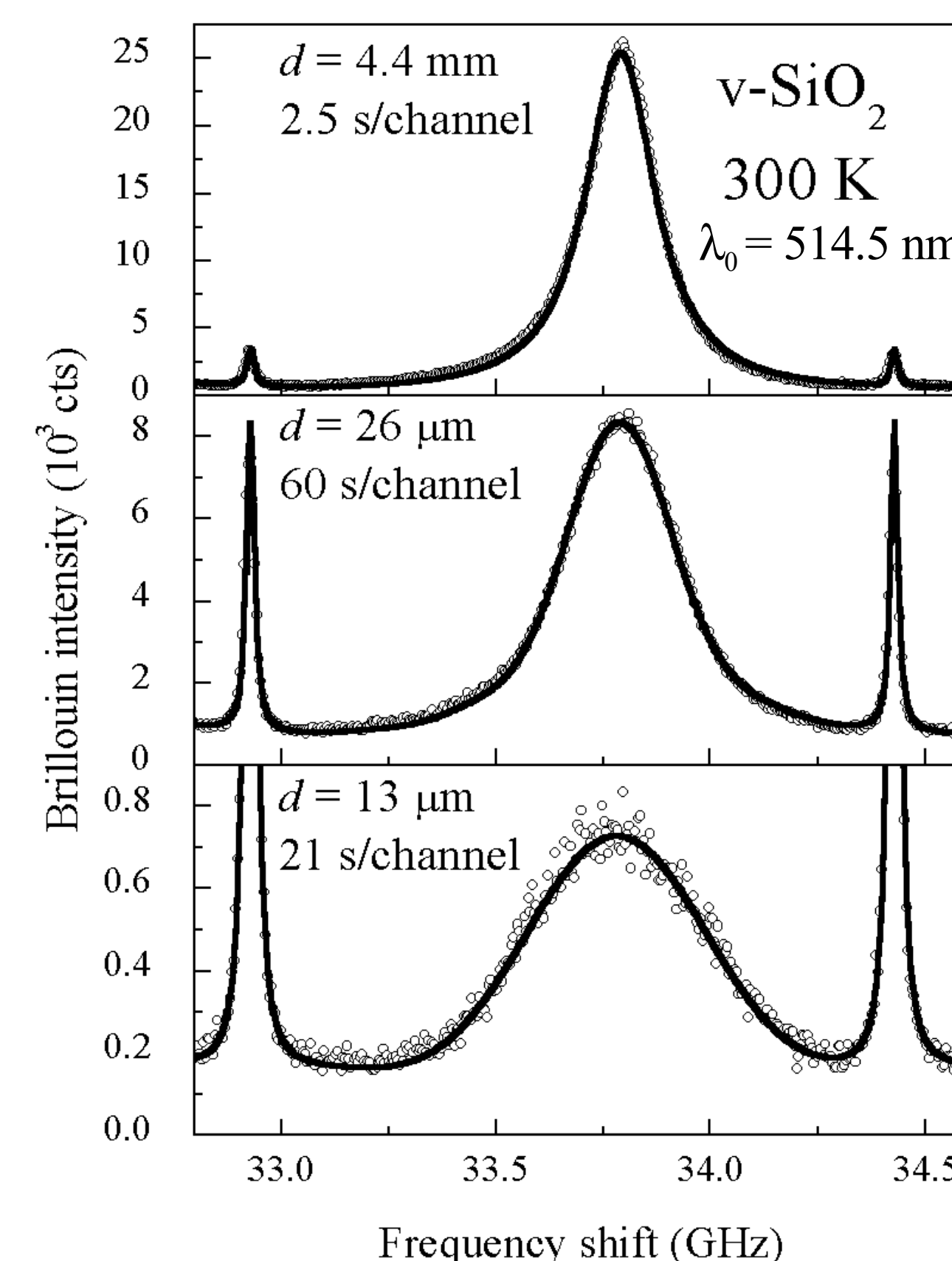
5. Elargissement du aux effets de taille finie

R.Vacher, S.Ayrinhac, M.Foret, B.Rufflé and E.Courtens Phys. Rev. B 74 012203 (2006)

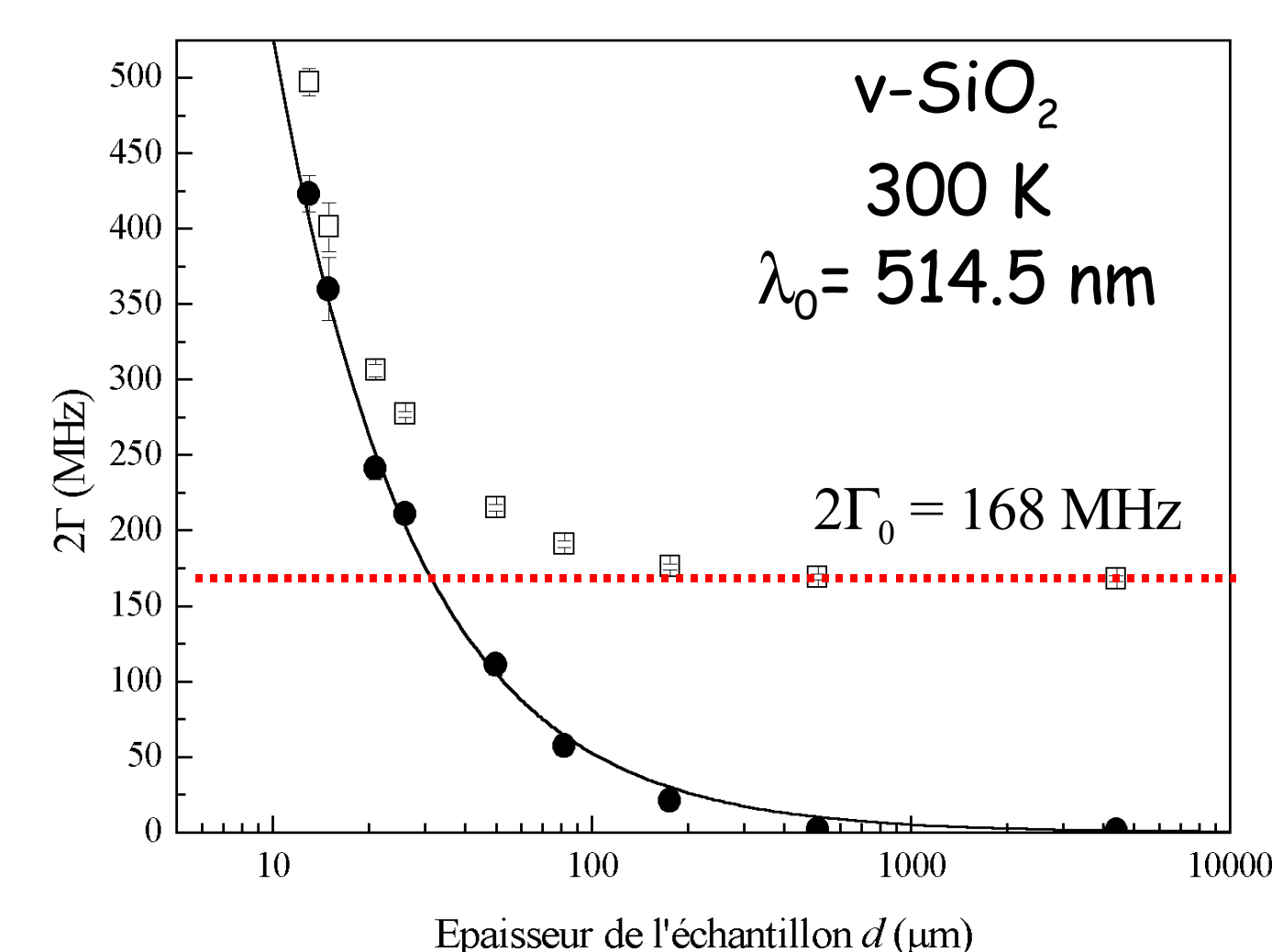
Volume de diffusion réduit \Rightarrow élargissement additionnel résultant de l'incertitude sur Q

5.1 Cas des échantillons minces

$$f(\omega) \sim \left[\frac{\sin((\omega - \Omega)d/2v)}{(\omega - \Omega)d/2v} \right]^2 \quad [A.Dervisch and R.Loudon (1976); J.R.Sandercock (1972)]$$



$$I(q, \omega) = [f_{app}(\omega) \otimes \text{DHO}(\omega, 2\Gamma)] \otimes f(\omega, 2\gamma)$$



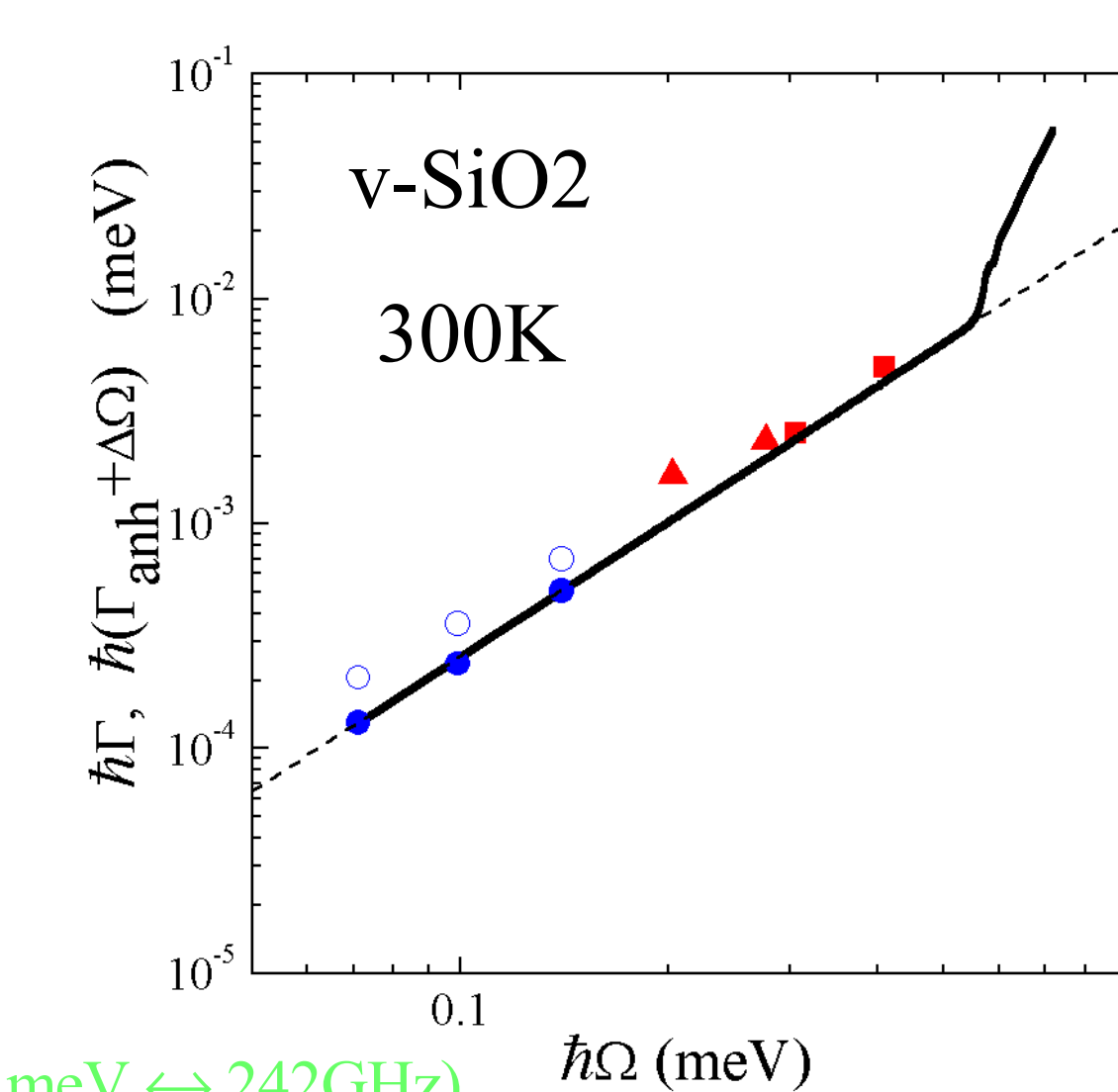
□ largeur apparente (convolution d'un DHO par $f_{app}(\omega)$, 2Γ libre)

● largeur 2γ de $f(\omega)$ (convolution d'un DHO par $f(\omega) \otimes f_{app}(\omega)$; $2\Gamma_0 = 168$ MHz)

— largeur 2γ de la fonction $f(\omega)$ calculée en utilisant les valeurs connues de l'épaisseur.

5.2 Milieux fortement absorbants pour la radiation excitatrice

Largeurs Brillouin mesurées dans le visible et l'UV



(1 meV \Leftrightarrow 242 GHz)

○ BLS (visible) : Γ_{TOT} (nos mesures à différents angles de diffusion)

● BLS (visible) : $\Gamma_{ANH} = \Gamma_{TOT} - \Gamma_{TAR}$ (calcul de la contribution anharmonique)

▲ BLS (UV) [P.Benassi et al PRB (2005)]

■ BLS (UV) [C.Masciovecchio et al PRL (2004)]

--- $\Gamma_{anh} = A Q^2$, $A \approx 0.025$ meV⁻¹

— calcul de Γ proche du seuil d'absorption UV,

$$\Gamma = \Gamma_{anh} + \Delta\Omega \quad \text{avec} \quad \frac{\Delta\Omega}{\Omega} = \frac{\alpha_0 \lambda_0}{2\pi n_1} \quad \text{où } \alpha_0 \text{ est le}$$

coefficient d'absorption de la lumière [Sandercock (1972)]

\Rightarrow proche du seuil d'absorption UV (~ 8 eV, $\lambda_0 = 155$ nm) l'élargissement $\Delta\Omega$ du aux effets de taille finie devient rapidement dominant

En résumé l'analyse de l'atténuation du son requiert des mesures de haute qualité sur une large échelle de fréquences et de températures.

Dans v-SiO₂, le mécanisme d'atténuation dominant aux fréquences sonores et ultrasonores est le couplage avec la relaxation de défauts structuraux activés thermiquement. L'anharmonicité des vibrations se manifeste aux fréquences hypersoniques et devient le processus dominant à plus haute fréquence. Dans d-SiO₂, la densification diminue fortement l'atténuation liée à la relaxation activée thermiquement. L'anharmonicité est le processus dominant aux fréquences hypersoniques.

Dans le domaine du THz il est vraisemblable que le couplage résonant avec les modes du pic boson se manifeste et devient dominant, conduisant à la transition de Ioffe-Regel.