

Dans le contexte **physique statistique hors équilibre**, on peut se poser la question de l'existence de théorèmes similaires à ceux existants à l'équilibre permettant de relier les fonctions de réponse et fonctions d'autocorrélation ; on peut aussi se poser la question du comportement spatio-temporel des fonctions de corrélation lors de trempes, de fluctuations d'entropie négative quand le système est soumpis à une force externe...

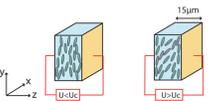
Pour cette étude nous avons choisi un système expérimental apparemment simple : la transition de Frederickz d'un cristal liquide nématique qui s'apparente à une transition de phase du second ordre, qui subit donc un vieillissement lorsque l'on effectue une trempe au point critique.

## Étude de la transition de Frederickz

Cristal liquide nématique

L'état cristal liquide (CL) nématique est un état intermédiaire entre solide et liquide :

- ordre orientationnel
- pas d'ordre positionnel



Une cellule de verre aux parois conductrices est remplie d'un CL nématique (5CB). Une différence de potentiel  $U$  est appliquée entre les 2 électrodes.  
Un traitement de surface oriente les molécules aux parois selon  $y$

$\theta_m^2$  : paramètre d'ordre  
 $\varepsilon$  : paramètre de contrôle  
 $L$  : épaisseur de la cellule  
 $k_1$  : constante élastique  
 $\Upsilon$  : rapport de constantes diélectriques  
 $\kappa$  : rapport de constantes élastiques

$$\varepsilon = (U_0^2 - U_c^2) / U_c^2$$

Compétition entre énergie élastique et énergie électrique

$$F = \frac{\pi^2 k_1}{4L} \left[ -\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_{\perp} U^2}{\pi^2 k_1} - \theta_m^2 \varepsilon + \frac{\theta_m^4}{4} (\kappa + \gamma + 1) \right]$$

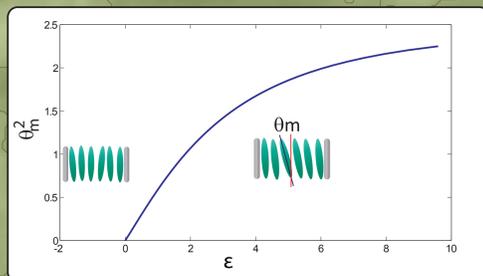


Fig 1 : diagramme de l'instabilité de Frederickz

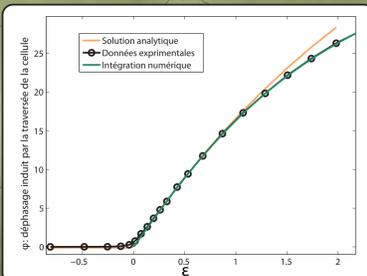
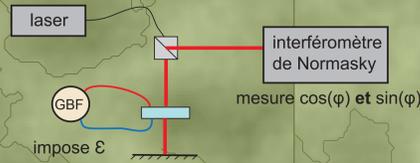


Fig 2 : Diagramme expérimental de l'instabilité de Frederickz

## Deux dispositifs expérimentaux



Spécificités :

- Mesure directe de  $\phi$  donc de  $\theta^2$
- Mesure intégrée sur  $\varnothing$  du faisceau  $\sim 1\text{mm}$
- Très bon rapport signal/bruit

Mesures :

- Fonction d'autocorrélation, spectres moyennés spatialement
- Violation du théorème de fluctuation dissipation lors de trempes

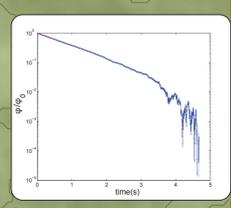
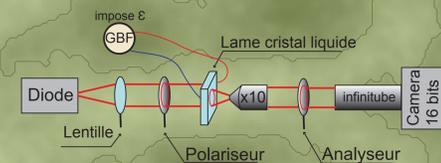


Fig 3 : exemple d'acquisition à l'interféromètre. Mesure de la réponse indicelle.

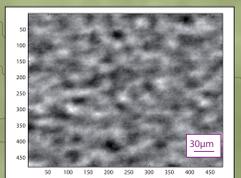


Spécificités :

- Mesure spatio-temporelle
- Mesure de  $\cos(\phi)$  : - fluctuations en  $\sin(\phi_0) \cdot \delta\phi$
- Moins bon rapport signal/bruit que interféromètre

Mesures :

- Visualisation des fluctuations thermiques
- Mesures spatiales de la fonction de corrélation
- Moyennes sur différentes échelles spatiales (effets de taille finie)


 Fig 4 : exemple d'acquisition à la caméra. Fluctuations spatiales instantanées à  $U=950\text{mV}$ 

## Analyse Dynamique : Fluctuations vs trempes

Théorie

Pour écrire une équation de Langevin on introduit un coefficient de dissipation : la viscosité rotationnelle  $\gamma_1$  dans notre configuration. Le système a donc un temps caractéristique naturel :  $\tau_0 \equiv \frac{\gamma_1 L^2}{\pi^2 k_1}$

$$\tau_0 \dot{\theta}_m = \varepsilon \theta_m - \frac{1}{2} (\kappa + \Upsilon + 1) \theta_m^3$$

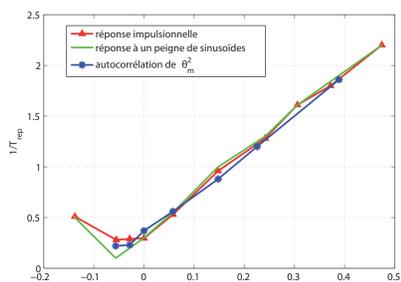
Solution générale : 
$$\theta_m^2(t) = \frac{\theta_m^2(\infty)}{1 + \left( \frac{\theta_m^2(\infty)}{\theta_m^2(t=0)} - 1 \right) \exp\left(-\frac{2\varepsilon t}{\tau_0}\right)}$$

Analyse linéaire

Cadre de la **réponse linéaire** : on néglige le terme cubique :  $\tau_0 \dot{\theta}_m = \varepsilon \theta_m$   $T_{rep} = \tau_0 / 2\varepsilon$

- En stationnaire, on accède à la fonction d'autocorrélation, au spectre
- En modulant le paramètre de contrôle  $\varepsilon$  on accède aux fonctions de réponse linéaire (réponse indicelle, réponse à un peigne de sinusoides...). On vérifie expérimentalement le théorème de fluctuation dissipation.

On observe bien la dépendance expérimentale de l'inverse du temps de réponse en  $\varepsilon$ . La pente de l'inverse du temps de réponse en fonction de  $\varepsilon$  donne accès au paramètre de dissipation que nous avons introduit pour écrire l'équation de la dynamique :  $\gamma_1 = 144 \pm 7cP$


 Fig 5 : Temps de réponse en fonction de  $\varepsilon$  dans le cadre de la réponse linéaire

Or dans la littérature\*, la viscosité rotationnelle du 5CB est estimée à :  $\gamma_1 = 80cP$

Ce qui n'est pas compatible avec nos résultats. Cependant leur mesure est très différente de la notre, puisqu'il s'agit de la mesure du temps de relaxation après coupure du champ.

\*Wu&amp;Wu, Phys. Rev. A. 42 (1990) 2219

Analyse lors de trempes

Dans la littérature\*, la mesure de la viscosité est toujours effectuée lors d'une trempe à -1. Les auteurs estiment partir de  $\theta$  suffisamment petit pour pouvoir linéariser l'équation et considèrent une relaxation exponentiel de temps caractéristique  $\tau_0/2$

Comme dans la littérature, nous retrouvons bien une décroissance exponentielle aux temps courts, qui ne dépend quasiment pas du point de départ et qui re donne la viscosité Wu&Wu\*

$\tau_0 \dot{\theta}_m = \varepsilon \theta_m$

$\gamma_1 = 85cP$

Fig 6 : réponse à une trempe à  $\varepsilon = -1$

Pour comprendre ce qui se passe, nous avons étudié d'autres trempes. Nous mettons en évidence l'existence de 2 régimes :

- l'un aux temps courts, toujours présent
- un autre aux temps plus longs qui sort du bruit si la trempe ne va pas trop près de  $\varepsilon = -1$ .

Quand on regarde l'évolution des temps caractéristiques ainsi obtenus, on comprend que le régime final correspond au régime linéaire et que l'autre régime n'est pas expliqué, et n'est pas directement relié à la mesure de la viscosité...

Fig 7 : réponse à une trempe de  $\varepsilon = 0.6$  à  $\varepsilon = 0.3$

Fig 8 : Temps de réponse mesuré lors des trempes en fonction de  $\varepsilon$

Finalement, plutôt que de regarder des comportements limites, nous nous sommes intéressés au fit complet à un paramètre des trempes. On constate que le fit est très bon si l'on reste éloigné du point critique.

Fig 9 : a) réponse à une trempe de  $\varepsilon = 0.6$  à  $\varepsilon = 0.1$   
b) réponse à une trempe de  $\varepsilon = 0.6$  à  $\varepsilon = 0.1$

En conclusion :

- la validité de l'équation d'évolution utilisée par tous n'est pas évidente.
- La mesure usuelle de la viscosité n'est pas la bonne mesure.

## Images et perspectives

Visualisation des fluctuations

avant le seuil de l'instabilité

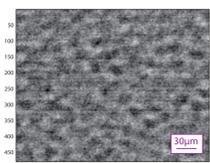


Fig 10 : Fluctuations spatiales sous le seuil

après le seuil de l'instabilité

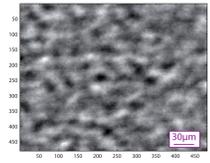


Fig 11 : Fluctuations spatiales après le seuil

Détermination des contours

On peut chercher à faire une analogie avec les verres de spins et chercher à observer des domaines

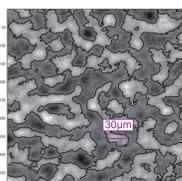


Fig 12 : Tracé du contour des domaines au dessus de la valeur moyenne

Objectifs :

- évolution de la taille des domaines en fonction de  $\varepsilon$
- évolution des domaines lors d'une trempe au pt critique
- caractérisation du terme diffusif qu'il faudrait rajouter ds l'équation de la dynamique pour expliquer les trempes

Fonctions de corrélation

On a accès aux fonctions de corrélations spatio-temporelles :

- $C(r,t)$
- $C_2(r,r',t,t')$

L'étude s'inspire des travaux de Cugliandolo et Corberi :

*Fluctuations and effective temperatures in coarsening*  
J. Stat P05010, may 2009

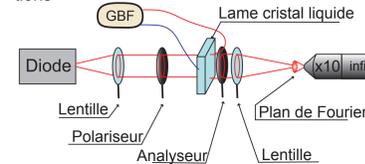
## Conclusions

L'écriture d'une équation pour l'évolution temporelle de ce système hors du régime linéaire n'est pas encore acquise, alors que son énergie libre est elle bien connue. Le rôle joué par la diffusion paraît non négligeable et l'étude des images permettra de l'estimer.

Nous disposons là d'un système expérimental idéal pour tester les travaux théoriques actuels sur l'évolution spatio-temporelle des fonctions de corrélations et de réponse dans les systèmes vieillissant.

Transformée de Fourier

On peut transformer le montage pour accéder directement à la transformée de Fourier optique des fluctuations



On peut alors suivre l'évolution de la transformée de Fourier lors de trempes :

- Afin de voir l'influence des termes diffusifs dans l'équation d'évolution
- lors de trempes au point critique pour étudier le vieillissement : violation du FDT, etc.