

Du nouveau sur l'effet Lehmann thermique dans des gouttes cholestériques

Guilhem POY, Patrick OSWALD

École Normale Supérieure de Lyon

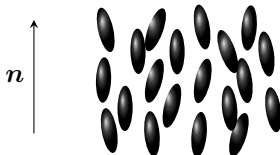
10 Septembre 2015

Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 Rotation solide ou sur place ?
- 4 Conclusion

Rôle de la chiralité : création d'une torsion spontanée

- Nématique, non chirale : le directeur \mathbf{n} tend à être uniforme

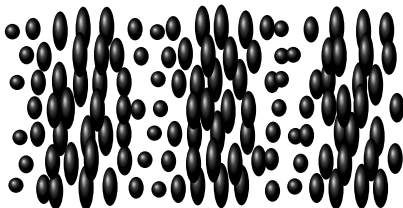


Rôle de la chiralité : création d'une torsion spontanée

- Nématique, non chirale : le directeur \mathbf{n} tend à être uniforme



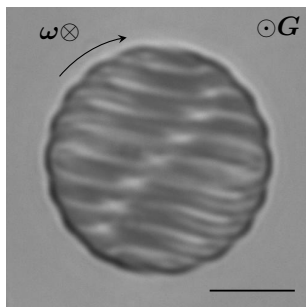
- Cholestérique = nématique dopé avec des molécules chirales : le directeur \mathbf{n} tend à former une hélice dans une direction de l'espace



←→
 P : pas cholestérique

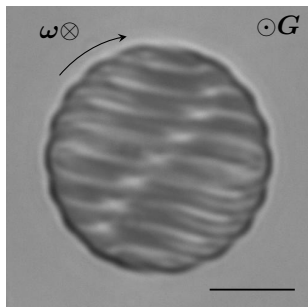
Découverte de l'effet par Lehmann et interprétation de Leslie

- 1900, Lehmann : la texture de gouttes cholestériques en coexistence dans le liquide isotrope tourne avec une vitesse angulaire ω s'il y a un gradient thermique G



Découverte de l'effet par Lehmann et interprétation de Leslie

- 1900, Lehmann : la texture de gouttes cholestériques en coexistence dans le liquide isotrope tourne avec une vitesse angulaire ω s'il y a un gradient thermique G



- 1968, Leslie : existence d'un couple thermomécanique s'appliquant sur le directeur \mathbf{n}

$$\Gamma_{Leslie} = \nu_L \mathbf{n} \times (\mathbf{n} \times \mathbf{G})$$

Mesures expérimentales par Oswald et Dequidt

- 2014, Oswald et Dequidt : mesure de ν_L dans un cholestérique pur

Mesures expérimentales par Oswald et Dequidt

- 2014, Oswald et Dequidt : mesure de ν_L dans un cholestérique pur
- 2008-2015, Oswald et Dequidt : mesure des vitesses de rotation des gouttes cholestériques en coexistence avec l'isotrope et modèle théorique

$$-\frac{\nu_L G}{\gamma_1 \omega} = 1 + I[\mathbf{n}, \mathbf{r}_s],$$

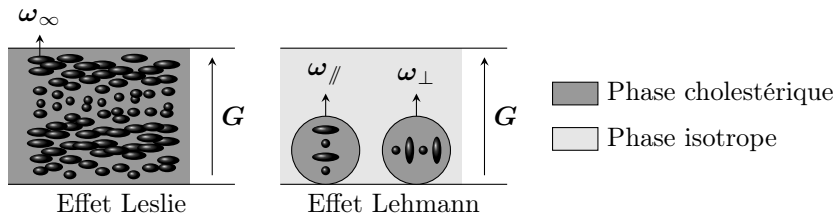
- ★ ν_L : coefficient de couplage thermomécanique de Leslie
- ★ G : intensité du gradient thermique
- ★ γ_1 : viscosité rotationnelle
- ★ ω : vitesse angulaire de rotation de la texture
- ★ \mathbf{n} : champ vectoriel du directeur dans la goutte
- ★ \mathbf{r}_s : paramétrisation de l'interface de la goutte

Mesures expérimentales par Oswald et Dequidt

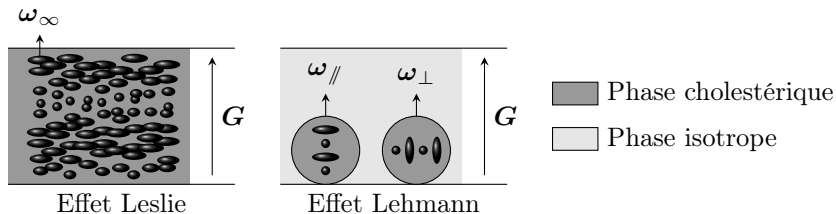
- 2014, Oswald et Dequidt : mesure de ν_L dans un cholestérique pur
- 2008-2015, Oswald et Dequidt : mesure des vitesses de rotation des gouttes cholestériques en coexistence avec l'isotrope et modèle théorique

$$-\frac{\nu_L G}{\gamma_1 \omega} = 1 + I[\mathbf{n}, \mathbf{r}_s],$$

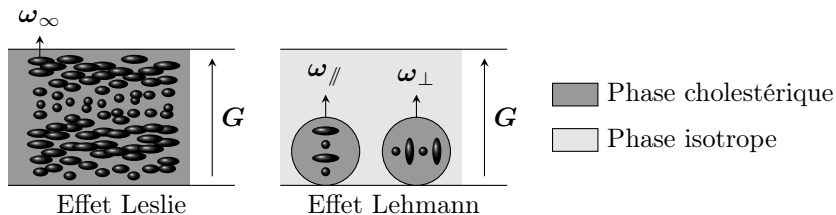
- ★ ν_L : coefficient de couplage thermomécanique de Leslie
- ★ G : intensité du gradient thermique
- ★ γ_1 : viscosité rotationnelle
- ★ ω : vitesse angulaire de rotation de la texture
- ★ \mathbf{n} : champ vectoriel du directeur dans la goutte
- ★ \mathbf{r}_s : paramétrisation de l'interface de la goutte
- Problème : ν_L mille fois trop petit pour expliquer les mesures expérimentales de ω .

Effet Leslie \neq Effet Lehmann

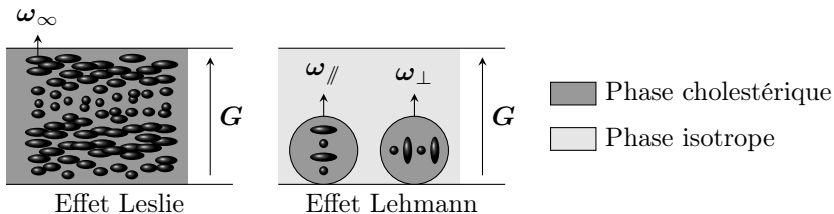
- Effet Leslie : cholestérique pur

Effet Leslie \neq Effet Lehmann

- Effet Leslie : cholestérique pur
- Effet Lehmann : goutte cholestérique en coexistence dans l'isotrope
 - ★ Goutte en bande : hélice perpendiculaire au gradient, vitesse angulaire ω_{\perp}
 - ★ Goutte orientée par un champ électrique : hélice parallèle au gradient, vitesse angulaire ω_{\parallel}



- Variation de $\omega_{\perp, \parallel}$ avec l'épaisseur d des échantillons ?



- Variation de $\omega_{\perp, \parallel}$ avec l'épaisseur d des échantillons ?
- Mécanisme de rotation de la texture : écoulement hydrodynamique ou rotation sur place des molécules ?

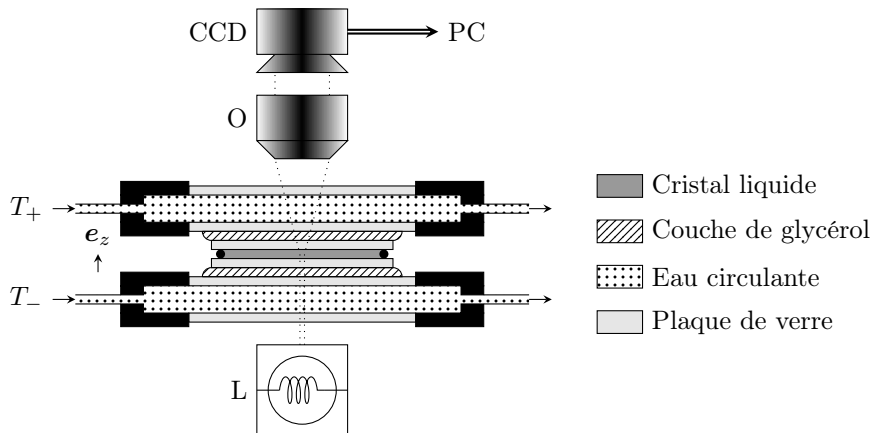
Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
 - Montage expérimental
 - Un exemple de courbe : variation de l'épaisseur
- 3 Rotation solide ou sur place ?
- 4 Conclusion

Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
 - Montage expérimental
 - Un exemple de courbe : variation de l'épaisseur
- 3 Rotation solide ou sur place ?
- 4 Conclusion

Le montage expérimental



- Gradient appliqué par deux bains circulants régulés séparément
- Vitesses de rotation et tailles des gouttes mesurées avec une caméra CCD
- Échantillon caractérisé par son épaisseur d et la fraction massique C de molécules chirales

Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
 - Montage expérimental
 - Un exemple de courbe : variation de l'épaisseur
- 3 Rotation solide ou sur place ?
- 4 Conclusion

Protocole

- Mélange cristal liquide+molécule chirale de concentration C fixée

Protocole

- Mélange cristal liquide+molécule chirale de concentration C fixée
- Plusieurs échantillons d'épaisseurs d différentes

Protocole

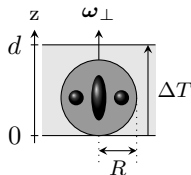
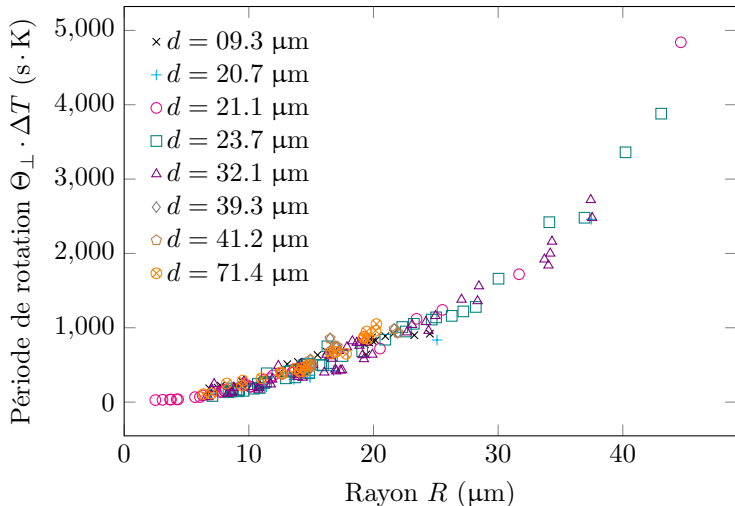
- Mélange cristal liquide+molécule chirale de concentration C fixée
- Plusieurs échantillons d'épaisseurs d différentes
- On mesure les périodes de rotation des gouttes en bandes (Θ_{\perp}) et orientée (Θ_{\parallel}) en fonction de leurs rayons R .

Protocole

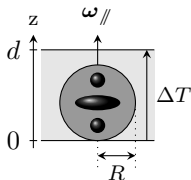
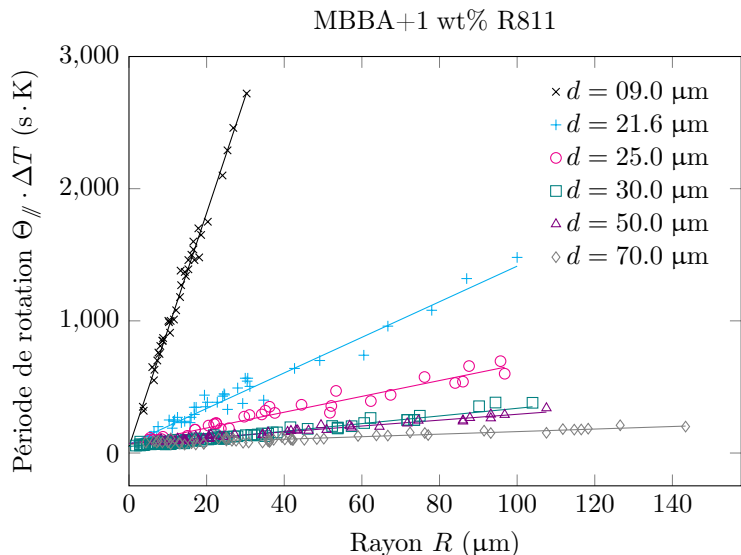
- Mélange cristal liquide+molécule chirale de concentration C fixée
- Plusieurs échantillons d'épaisseurs d différentes
- On mesure les périodes de rotation des gouttes en bandes (Θ_{\perp}) et orientée (Θ_{\parallel}) en fonction de leurs rayons R .
- Dépendance du gradient : on trace la période de rotation multipliée par la différence de température des deux bains ($\Theta_{\perp,\parallel} \cdot \Delta T$)

Hélice cholestérique perpendiculaire au gradient

7CB+0.9 wt% R811



Hélice cholestérique parallèle au gradient



Bilan

- Gouttes en bandes : Θ_{\perp} indépendant de l'épaisseur d

Bilan

- Gouttes en bandes : Θ_{\perp} indépendant de l'épaisseur d
- Gouttes orientées : Θ_{\parallel} dépendant de l'épaisseur d

Bilan

- Gouttes en bandes : Θ_{\perp} indépendant de l'épaisseur d
- Gouttes orientées : Θ_{\parallel} dépendant de l'épaisseur d
- Pour un même mélange, même extrapolation à rayon nul quelle que soit l'orientation de l'hélice cholestérique

Bilan

- Gouttes en bandes : Θ_{\perp} indépendant de l'épaisseur d
- Gouttes orientées : Θ_{\parallel} dépendant de l'épaisseur d
- Pour un même mélange, même extrapolation à rayon nul quelle que soit l'orientation de l'hélice cholestérique
- On peut donc définir un unique coefficient Lehmann ν quantifiant cet effet

Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 Rotation solide ou sur place ?**
 - Mécanismes possibles de rotation de la texture
 - Montage de Photobleaching
 - Premiers résultats sur les gouttes en bandes
- 4 Conclusion

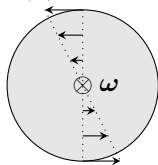
Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 **Rotation solide ou sur place ?**
 - Mécanismes possibles de rotation de la texture
 - Montage de Photobleaching
 - Premiers résultats sur les gouttes en bandes
- 4 Conclusion

Deux mécanismes à discriminer

- Rotation solide de la goutte : écoulement hydrodynamique purement rotationnel, texture préservée à une rotation près

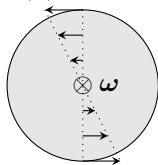
$$\mathbf{v}(\mathbf{r}) = \mathbf{r} \times \boldsymbol{\omega}$$



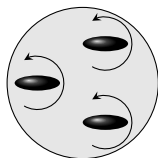
Deux mécanismes à discriminer

- Rotation solide de la goutte : écoulement hydrodynamique purement rotationnel, texture préservée à une rotation près

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}) = \mathbf{r} \times \boldsymbol{\omega}$$



- Rotation sur place des molécules : pas d'écoulement hydrodynamique, texture préservée à une rotation près



Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 Rotation solide ou sur place ?**
 - Mécanismes possibles de rotation de la texture
 - Montage de Photobleaching**
 - Premiers résultats sur les gouttes en bandes
- 4 Conclusion

Principe général

- Échantillon dopé avec des molécules fluorescentes

Principe général

- Échantillon dopé avec des molécules fluorescentes
- Observation en réflexion avec un montage de fluorescence

Principe général

- Échantillon dopé avec des molécules fluorescentes
- Observation en réflexion avec un montage de fluorescence
- Focalisation d'un faisceau gaussien pendant un temps court juste à côté d'une goutte cholestérique : apparition d'une tâche noire avec profil gaussien

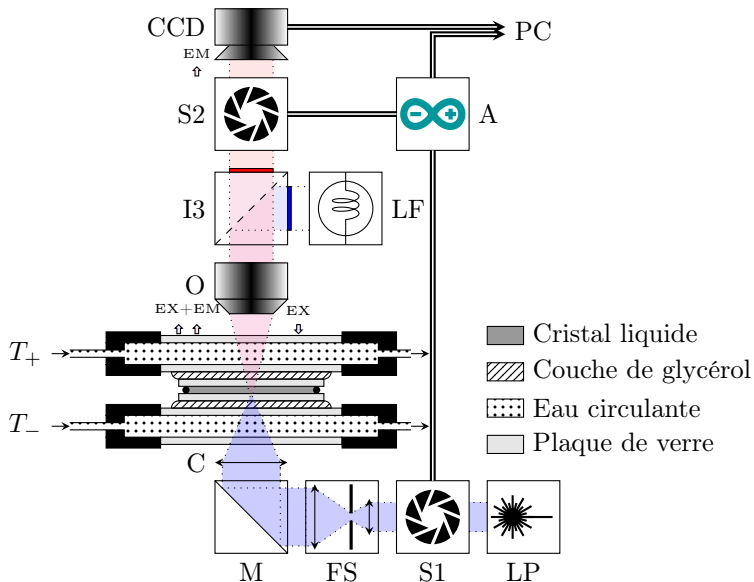
Principe général

- Échantillon dopé avec des molécules fluorescentes
- Observation en réflexion avec un montage de fluorescence
- Focalisation d'un faisceau gaussien pendant un temps court juste à côté d'une goutte cholestérique : apparition d'une tâche noire avec profil gaussien
- Observation de la diffusion/advection de la tâche :
 - ★ La tâche se déforme et son centre se déplace → présence d'écoulement hydrodynamique

Principe général

- Échantillon dopé avec des molécules fluorescentes
- Observation en réflexion avec un montage de fluorescence
- Focalisation d'un faisceau gaussien pendant un temps court juste à côté d'une goutte cholestérique : apparition d'une tâche noire avec profil gaussien
- Observation de la diffusion/advection de la tâche :
 - ★ La tâche se déforme et son centre se déplace → présence d'écoulement hydrodynamique
 - ★ La tâche reste gaussienne et son centre reste fixe → pas d'écoulements

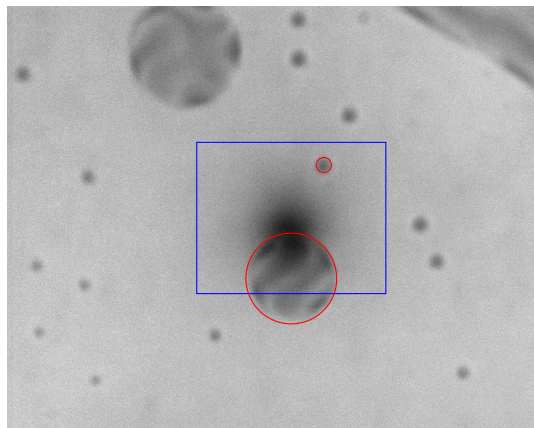
Le montage expérimental



Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 Rotation solide ou sur place ?**
 - Mécanismes possibles de rotation de la texture
 - Montage de Photobleaching
 - Premiers résultats sur les gouttes en bandes
- 4 Conclusion

Méthode de régression



 Région d'intérêt

 Zone exclue

Régression non linéaire : algorithme de Levenberg-Marquardt avec un modèle de gaussienne 2D

Évolution de la tâche

Pas de déplacement du centre de la tâche \rightarrow pas d'écoulement

Plan

- 1 Introduction sur l'effet Lehmann thermique
- 2 Mesure expérimentale des périodes de rotation
- 3 Rotation solide ou sur place ?
- 4 Conclusion

Conclusion

- Orientation de l'hélice cholestérique \leftrightarrow effets d'épaisseur

Conclusion

- Orientation de l'hélice cholestérique \leftrightarrow effets d'épaisseur
- A faible rayon, même vitesse de rotation quelle que soit l'orientation de l'hélice : définition d'un unique coefficient Lehmann

Conclusion

- Orientation de l'hélice cholestérique \leftrightarrow effets d'épaisseur
- A faible rayon, même vitesse de rotation quelle que soit l'orientation de l'hélice : définition d'un unique coefficient Lehmann
- Pas de rotation solide : le directeur \mathbf{n} tourne sur place de manière à préserver la texture

Conclusion

- Orientation de l'hélice cholestérique \leftrightarrow effets d'épaisseur
- A faible rayon, même vitesse de rotation quelle que soit l'orientation de l'hélice : définition d'un unique coefficient Lehmann
- Pas de rotation solide : le directeur \mathbf{n} tourne sur place de manière à préserver la texture
- Perspectives théoriques : résultats sur la forme et la texture des gouttes

Merci pour votre attention !