



## Molecular Crystals and Liquid Crystals

Publication details, including instructions for authors and subscription information:  
<http://www.tandfonline.com/loi/gmcl16>

### Création de Lignes de Dislocation dans un Cholestérique par l'Application d'un Champ Magnétique

Jacques Rault<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Physique des Solides, Faculté des Sciences, d'Orsay, 91, France  
Version of record first published: 28 Mar 2007.

To cite this article: Jacques Rault (1972): Création de Lignes de Dislocation dans un Cholestérique par l'Application d'un Champ Magnétique, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 16:1-2, 143-152

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/15421407208083587>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae, and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

# Création de Lignes de Dislocation dans un Cholestérique par l'Application d'un Champ Magnétique

JACQUES RAULT

Laboratoire de Physique des Solides†  
Faculté des Sciences d'Orsay-91  
France

Received May 27, 1971

**Abstract**—In a drop of cholesteric liquid crystal with a free surface there are no lines of discontinuity, analogous to those observed in a Grandjean wedge. We observe that the application of a magnetic field perpendicular to the helical axis gradually imposes on the surface molecules a single preferential direction with respect to the field. For a critical field  $H_L$  the orientation of the surface molecules is everywhere the same,  $45^\circ$  to the field direction. A lattice of dislocation lines is formed, analogous to that observed in the Grandjean wedge geometry. At the transition an estimate of the wall energy gives the order of magnitude of the line energy.

## 1. Introduction

Dans la géométrie de Grandjean<sup>(1,2,3)</sup>, l'orientation des molécules aux parois est fixée par la direction du clivage du cristal, ou la direction de frottement de la lamelle et de la lentille. Les lignes de dislocation observées correspondent à des sauts discontinus du nombre de demi-pas, et permettent de satisfaire les conditions aux limites imposées par les parois.

Dans une goutte à surface libre, les molécules sont ancrées à la surface inférieure, mais à l'interface cholestérique-air, aucune orientation n'est imposée, on n'observe pas les réseaux de lignes de disclinaisons; l'orientation à la surface varie continuellement,—lorsque les molécules ont tourné de  $\pi$ , la hauteur a varié de  $p/2$ , et il n'y a aucune torsion dans la préparation, alors que dans le coin de Grandjean-Cano, celle-ci est maximum, de part et d'autre des lignes de disclinaison.

Les préparations cholestériques étudiées ont un pas de 20 à 70 microns et sont obtenues par addition de traces de nonanoate de

† Laboratoire associé au C.N.R.S.

cholesterol à du cristal liquide nématique (MBBA); on dépose une goutte sur une lamelle de verre frottée, de manière à avoir une même orientation des molécules ancrées sur la surface de la lamelle. Le pas étant très grand par rapport à la longueur d'onde, le vecteur polarisation de la lumière rentrant parallèlement à la direction du frottement, suit la rotation des molécules du cholestérique. On observe entre nicols croisés un réseau de franges noires étendues, correspondant aux lignes de niveaux de la goutte, et qui ont été décrites par Maugin et Friedel.<sup>(2)</sup>

On passe d'une frange noire à une autre de même contraste en tournant l'analyseur de  $180^\circ$  (au cours de cette rotation, le contraste peut changer énormément). L'espacement  $d$  entre deux franges de même type dépend de l'angle  $\alpha$  que fait la surface libre avec le plan horizontal de la lamelle, dans nos expériences  $d \simeq 200$  à  $400$  microns.

#### OBSERVATION

Si on applique un champ magnétique  $H$  parallèle à la direction de frottement, (et aux plans cholestériques), on voit les franges noires disparaître peu à peu, indiquant ainsi que l'orientation des molécules à la surface libre change.

En tournant l'analyseur de  $45^\circ$  on fait réapparaître les franges noires et on note qu'alternativement une frange sur deux s'épaissit, et l'autre rétrécit, ce qui indique que l'application d'un champ magnétique favorise une seule orientation des molécules à la surface libre, à  $\pi/4$  par rapport à la direction du champ.

Pour une valeur de champ magnétique, que l'on appellera  $H_L$  (inférieure au champ critique  $H_c$ ),  $H_L \simeq 2$  Kg,  $H_c \simeq 5$  Kg, il y a apparition de lignes de dislocation, la frange noire fine bordée de deux franges blanches a disparu et a été remplacée par une ligne de dislocation. Celle-ci correspond à une discontinuité de rotation de  $\pi$  du vecteur polarisation, à la sortie de la préparation cholestérique; elle correspond à une discontinuité dans le pas, comme dans le coin de Grandjean-Cano elle permet un saut du nombre de demi-pas de part et d'autre de la ligne.

La photo 1a montre le réseau de lignes obtenues le long du bord de la goutte pour un champ  $H \simeq H_L$  et la photo 1b montre le réseau de faisceaux lorsque le champ  $H$  est passé en-dessous de  $H_L$ .

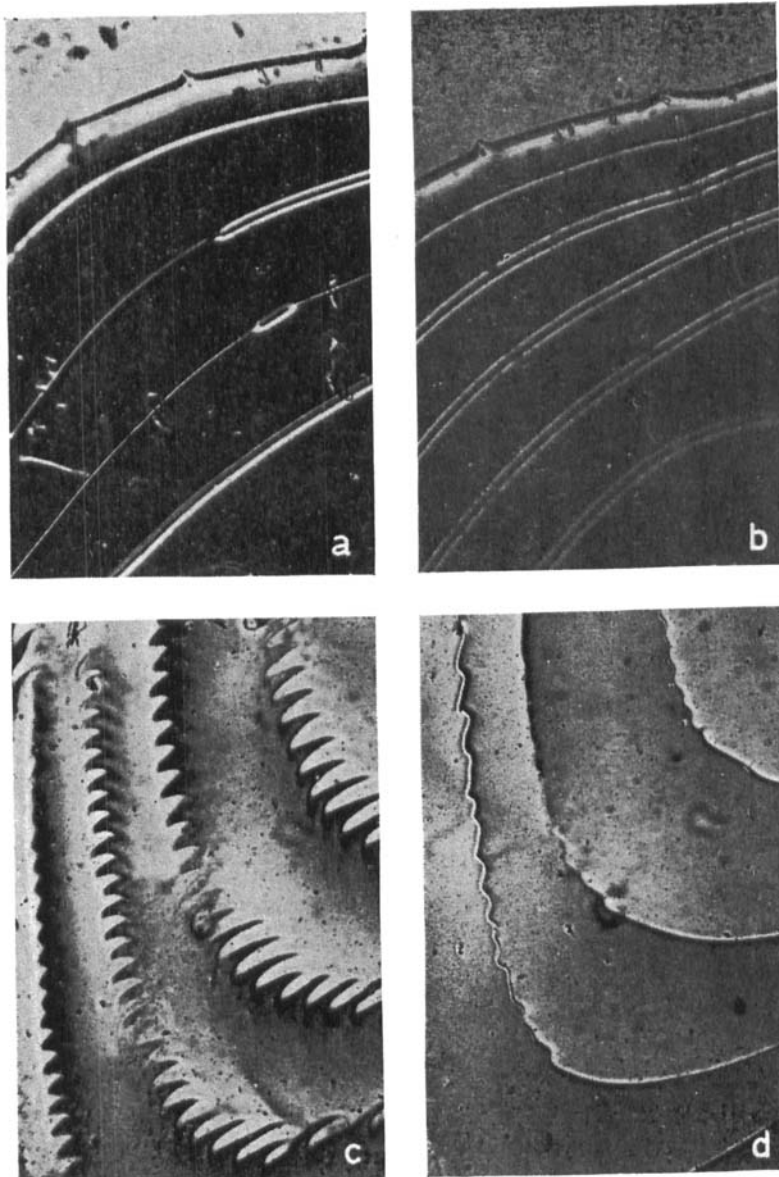


Planche 1. (a) Réseau de lignes créé par l'application d'un champ magnétique  $H$ . Les lignes disparaissent lorsque  $H < H_L$ . (b) Faisceaux d'inégale largeur obtenus lorsque les lignes ont disparu.  $H < H_L$ . (c) Réseau de "virgules de Friedel" en champ nul. (d) Réseau de lignes obtenu par l'application d'un champ magnétique de 2 Kg sur la préparation montrée en (c).

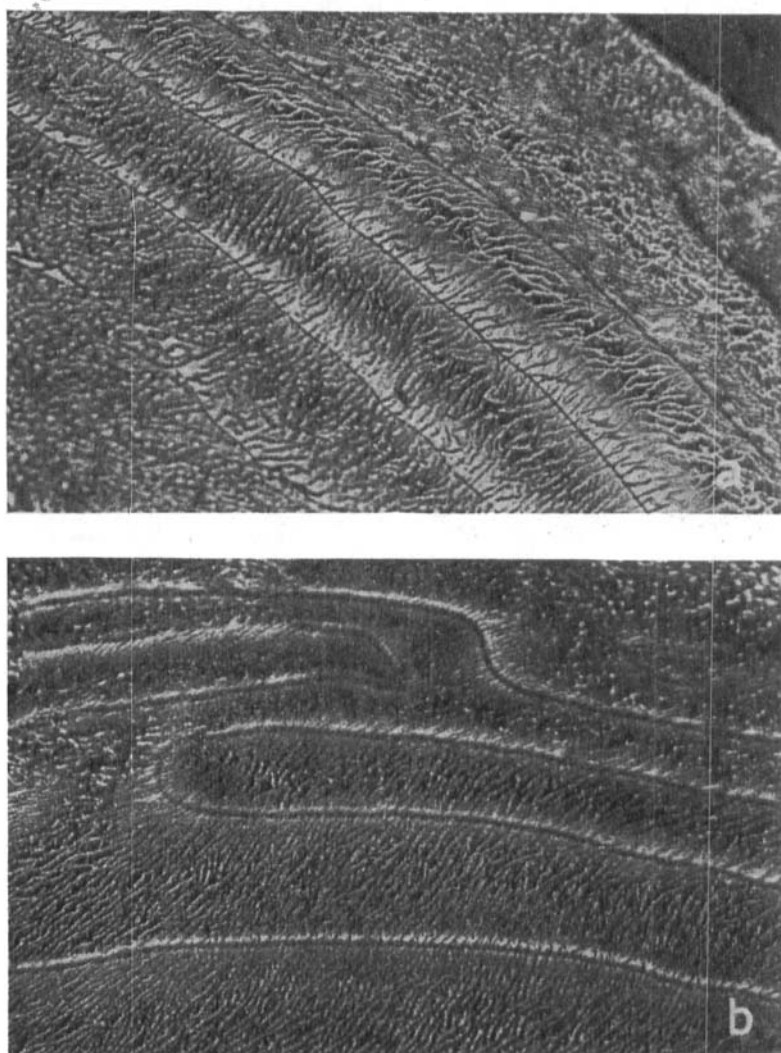


Planche 2. Mise en évidence de l'orientation des molécules sur la surface libre du cholestérique, à  $\pi/4$  par rapport à la direction du champ magnétique. (a) Paires  $p/2$  obtenues lorsque  $H \simeq H_L$ . (b) Paires  $p$  obtenues lorsque  $H < H_L$  par nucléation lente.

Les photos 2a et 2b ont été prises après une recristallisation en surface d'impuretés rajoutées dans la préparation cholestérique.<sup>(7)</sup> L'orientation des molécules à la surface libre peut être ainsi visualisée directement.

#### REMARQUE

Dans le cas précédemment décrit, l'axe hélicoïdal est vertical dans toute la préparation, l'échantillon est monocristallin, et il le reste lorsque le champ magnétique atteint  $H_{cL}$ . Dans le cas où l'axe hélicoïdal tourne de manière continue et périodique, on obtient un réseau de faisceaux présentant des " virgules de Friedel " <sup>(3,4)</sup> comme sur la photo 1c, l'application d'un champ magnétique (photo 1d) fait disparaître peu à peu ces " virgules " et on obtient une préparation cholestérique monocristalline, et possédant comme précédemment un réseau de lignes de dislocation.

## 2. Nucléation des Lignes

La nucléation peut se faire de plusieurs manières :

(1) Dans le cas de la Figure 1a la nucléation se fait de manière continue, il semble bien que les lignes naissent à l'intérieur même du cholestérique. Si la nucléation se faisait à la surface libre sur des impuretés par exemple, on verrait croître les boucles de dislocation, pour former le réseau de lignes, ce genre de nucléation donnerait des champs critiques  $H_L$  très variables, et les différentes lignes n'apparaîtraient pas, pour la même valeur de ce champ.

Par contre la disparition se fait de manière discontinue lorsque l'on pass en-dessous de  $H_L$ , le réseau semble être métastable, pour une certaine valeur du champ  $2 \text{ Kg} < H < 1 \text{ Kg}$ , il y a rupture de la ligne à un endroit, comme on le montre sur la photo 1a, les deux bouts de la ligne viennent vraisemblablement à la surface, et l'éloignent très vite l'un de l'autre pour laisser apparaître le réseau de faisceaux initial.

(2) La nucléation de la ligne peut se faire également par des défauts déjà existant dans la préparation: défauts ponctuels ou lignes de disclinaison. Dans les préparations cholestériques à grand pas (20 à 100  $\mu$ ), les lignes de dislocation d'ordre ( $\mp \frac{1}{2}$ ) n'existent quasiment pas. Lorsque l'on applique le champ magnétique, les paires,  $p$ , ou les dislocations  $\chi(\mp 1)$  se déforment et viennent suivre

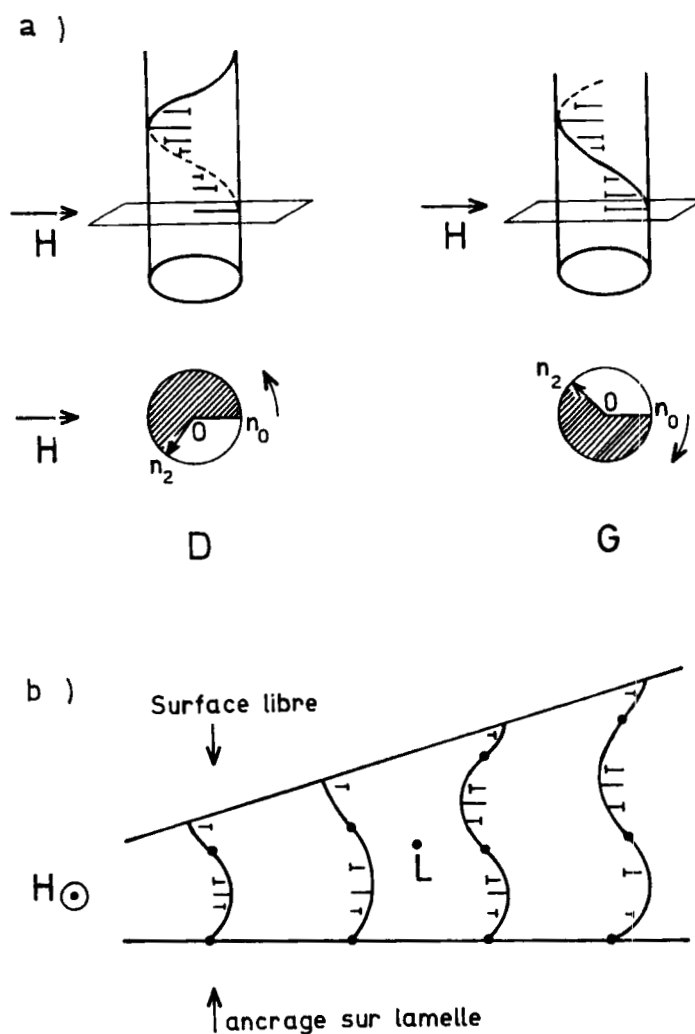


Figure 1. (a) Cholestérique droit et gauche, d'énergie minimum en présence d'un champ magnétique parallèle à l'orientation des molécules ancrées sur la lamelle. (b) Apparition d'une ligne de dislocation ( $p/2$ ) lorsque l'orientation des molécules à la surface libre est à  $\pi/4$  par rapport au champ.

le bord de la préparation. Au bout d'un certain temps, on obtient un réseau de lignes de dislocation (paires  $p$ ) deux fois plus espacées que si c'étaient des lignes simples<sup>(4)</sup> (paires  $p/2$ ).

Dans ce cas, la nucléation se fait lentement, mais elle est accélérée en augmentant le champ magnétique, on ne peut cependant augmenter considérablement le champ car alors on atteint le champ  $H_c/2$  d'instabilité des paires  $p$ .<sup>(4,5)</sup>

Les différentes lignes n'apparaissent pas forcément en même temps. Sur la photo 2b on voit le réseau de lignes  $p$  pendant la nucléation, on peut remarquer que l'orientation des molécules à gauche de la boucle tourne pour venir à  $\pi/4$  par rapport au champ, lorsque la boucle a avancé vers la gauche.

Le champ magnétique pour lequel cette nucléation se fait est inférieur au champ  $H_L$ . Il est difficilement mesurable à cause de la lenteur de la nucléation.

### 3. Interpretation

Nous nous limiterons au cas où l'échantillon est monocristallin et nous décrivons tout d'abord le comportement d'une lame mince cholestérique ayant une surface libre, en présence d'un champ magnétique.

Soit une pellicule cholestérique de pas  $p_0$  et de hauteur  $z$ . Pour  $p_0 \simeq 30 \mu$ ,  $q_0 \simeq 2.10^3 \text{ cm}^{-1}$ , le champ critique<sup>(6)</sup>  $H_c \simeq \pi/2 \cdot q_0 \sqrt{K_2/\chi_a}$  est de l'ordre de 5 Kg, ce qui correspond à un rapport  $K/\chi_a$  de l'ordre de 2,5.

#### CALCUL SIMPLIFIÉ

Considérons des champs  $H \lesssim 0,5 H_c$  dans ce domaine, en milieu infini, on sait que l'hélice cholestérique n'est pratiquement pas distordue. Supposons donc que l'arrangement moléculaire est de la forme  $\theta = qz$ ,  $\theta$  étant l'angle des molécules avec le champ  $H$ ; l'énergie magnétique vaut :

$$E_{cm} = -\frac{1}{2} \chi_a H^2 \frac{\int_0^z \cos^2 \theta(z) dz}{\int_0^z dz}$$

$$E_{cm} = -\frac{1}{4} \chi_a H^2 - \frac{1}{8} \chi_a H^2 \frac{\sin 2qz}{qz}$$



Si cette énergie intervenait seule, la minimisation par rapport à  $q$  donne la valeur de l'angle  $\theta = qz$ , des molécules en surface avec la direction du champ magnétique (parallèle à la direction des molécules à la surface inférieure de la lamelle).

$$\theta = qz \simeq \frac{\pi}{4} + k\pi \quad \text{avec} \quad k \geq 1$$

Sur la Figure (1) sont dessinés deux cholestériques droit et gauche de hauteur  $z$  telle que l'énergie par unité de volume soit minimum. Ces deux systèmes avec le champ magnétique sont l'image l'un de l'autre dans un miroir.

#### INCLUSION DE L'ÉNERGIE DE TORSION

L'énergie totale est :

$$E = \frac{1}{8} \frac{\chi_a H^2}{qz} \sin 2qz + K_2(q - q_0)^2$$

en minimisant par rapport à  $q$  :

$$\frac{q - q_0}{q_0} = \frac{1}{16} \frac{Z}{\xi^2 q_0} \frac{2x \cos 2x - \sin 2x}{x^2}$$

où  $\xi$  est la longueur de cohérence  $\xi = (1/H) \sqrt{(K_2/\chi_a)}$  et  $x = qz$ . Pour  $x$  voisin de  $(\pi/4) + n\pi$  ceci donne :

$$\frac{q - q_0}{q_0} = \frac{1}{16} \frac{1}{(q_0 \xi)^2} \frac{1}{q_0 Z} = \frac{\pi^2}{56} \left( \frac{H}{H_c} \right)^2 \frac{1}{q_0 Z}$$

On voit que pour  $q_0 Z > 1$  et  $H < 0,5 H_c$ ,  $q - q_0$  est négligeable devant  $q_0$ .

En conclusion, l'application d'un champ magnétique ( $0,5 H_c$ ) à une lame à faces parallèles, impose à la surface libre une orientation uniforme des molécules.

#### ESTIMATION DE L'ÉNERGIE DE MUR

Dans le coin cholestérique, lorsque le champ  $H$  croît, les domaines pour lesquels les molécules en surface sont à  $\pi/4$  par rapport au champ croissent, entre deux domaines heureux il y a une zone étroite où les molécules tournent de  $\pi$ .

Des zones d'inversion de l'alignement, ou mur, dans un nématique

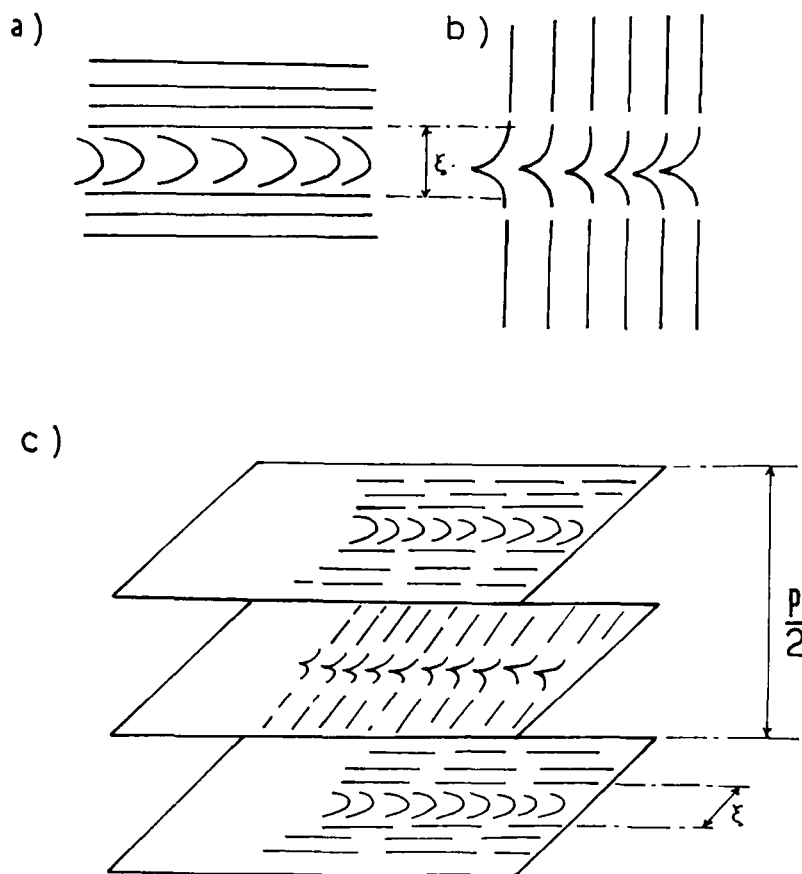


Figure 2. (a, b) Mur dans un nématique analogue aux parois de Néel. (c) Mur dans un cholestérique.

en présence d'un champ magnétique ont été décrites par Helfrich<sup>(10)</sup>

Des murs séparant nématique et cholestérique ont été aussi observés.<sup>(11)</sup> Les Figures 2a et 2b montrent de tel mur dans un nématique, analogue aux parois de Néel dans un ferromagnétique, et ne faisant intervenir que la flexion et la divergence des molécules. Dans le cholestérique (Fig. 2c) on passe de manière continue du schéma 2a au schéma 2b distant de  $P/4$ . Dans le cas isotrope ( $K_2 = K_3$ ) et où  $\xi(H) < P/2$  ( $\xi_{H=2K_2} \simeq 5\mu$ ,  $P = 60\mu$ ) l'énergie d'un tel mur serait du même ordre que celle calculée par Helfrich<sup>(10)</sup> dans le cas d'un nématique.

Pour le premier mur de hauteur  $P$  l'énergie par unité de longueur serait :

$$E_M \simeq \frac{K}{\xi^2} \cdot \xi \cdot P = (K\chi_a)^{1/2} H \cdot P$$

A la transition, l'énergie de torsion varie peu et le mur est remplacé par une ligne de dislocation (paire  $P/2$ ), donc

$$E_l = (K\chi_a)^{1/2} H_L \cdot P$$

ce qui donne pour

$$\begin{cases} K = 10^{-6} \text{ cgs} \\ \chi_a = 10^{-6} \text{ cgs} \\ H_L = 2 \cdot 10^3 \text{ gauss} \\ E_l \simeq 10^{-5} \text{ ergs/cm} \end{cases}$$

Cette énergie est 10 fois plus forte que l'énergie estimée par Friedel et Kleman,<sup>(5,8)</sup> en assimilant la paire à un dipôle à la distance  $P/2$ , soit  $E_0 = K_2/8 \log P/a \simeq K_2$ ,

### Conclusion

La nucléation de lignes en présence d'un champ magnétique permet de déterminer expérimentalement l'ordre de grandeur de l'énergie de ligne. Cette nucléation peut se faire à partir de défauts déjà existants, ou de manière continue ; dans ce cas le remplacement progressif d'un mur par une dislocation pose des problèmes d'ordre topologique qu'il serait intéressant d'étudier.

### Remerciements

Je remercie P. G. de Gennes pour de stimulantes discussions.

### BIBLIOGRAPHIE

1. Grandjean, F., *C. R. Acad. Sci. Paris*, **172**, 71 (1921).
2. Friedel, G., *Ann. Phys.*, **18**, 273 (1922); Mauguin, Ch., *Ann. Phys.*, 71.
3. Cano, R., *Bull. Soc. Franc. Mineral.*, **91**, 20 (1968).
4. Orsay Liquid Crystal Group, *Journ. Phys.*, **20**, C4, 43 (1969).
5. Kleman, M., Friedel, J., *Journ. Phys.*, **30**, C4, 43 (1979).
6. De Gennes, P. G., *Sol. State Comm.*, **6**, 163 (1968).
7. Rault, J., à publier.
8. Friedel, J., *Dislocation* (Pergamon Press), 40.
9. Williams, R., *Phys. Rev. Letters*, **21**, 342 (1968).
10. Helfrich, W., *Phys. Rev. Letters*, **21**, 1518 (1968).
11. Meyer, R. B., Thèse Harvard 1969.