



## Une phase induite par du cisaillement

*Au Laboratoire Léon Brillouin (LLB), la transition isotrope-nématique induite par cisaillement a été mise en évidence dans les fondus de polymères cristaux-liquides thermotropes.*

Sous l'action d'un champ de vitesse avec du cisaillement, certaines molécules acquièrent de nouvelles propriétés dynamiques. Ainsi, en partant d'une phase isotrope thermodynamiquement stable, le cisaillement peut parfois induire l'apparition d'une phase *nématique* (voir *lexique*). Jusqu'à présent, la mise en évidence de cette transition *isotrope-nématique* ne concernait que les solutions de micelles géantes. Le groupe du LLB a pu récemment observer et montrer la généralité de ce phénomène pour les polymères mésomorphes en peigne (Fig.1). Il s'agit de cristaux liquides qui transitent spontanément à une température  $T_{NI}$  entre une phase isotrope ( $T > T_{NI}$ ) et

une phase nématique ( $T < T_{NI}$ ). On montre qu'il est possible d'induire pour  $T > T_{NI}$ , à partir d'un taux de cisaillement critique, l'apparition d'une phase de type nématique au sein de la phase isotrope.

Les critères suivants ont permis son identification : l'apparition de *biréfringence* induite, l'existence d'un plateau de contrainte dans les mesures rhéologiques et la singularité de la conformation de la chaîne de

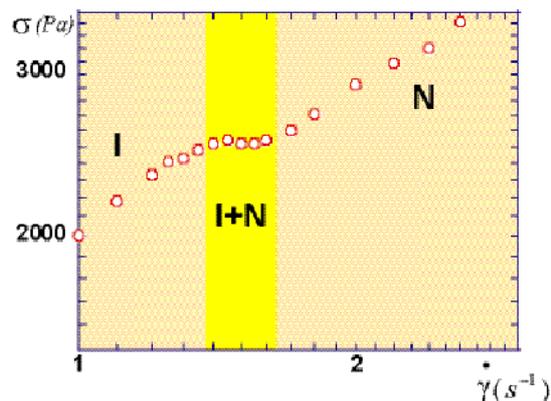


Fig.2 : Réponse d'un fondu de polymère cristal liquide sous cisaillement : Evolution de la contrainte à taux de cisaillement imposé à 5°C au dessus de la température de transition  $T_{NI}=110^{\circ}\text{C}$ . La zone jaune signale le plateau de contrainte supposé correspondre à la coexistence des phases isotrope et nématique induite.

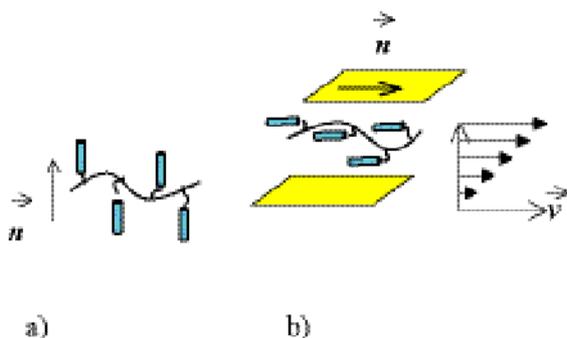


Fig.1 : Conformation d'un polymère cristal liquide : (a) en l'absence de cisaillement, les mésogènes (direction  $\mathbf{n}$ ) sont perpendiculaires à la chaîne à  $T < T_{NI}$  (phase nématique à l'équilibre). (b) Lors de l'apparition de la phase nématique induite par cisaillement à  $T > T_{NI}$ , la chaîne et les mésogènes deviennent parallèles à l'axe des vitesses  $\mathbf{v}$  (inversion de conformation).

polymère dans cette phase mesurée par diffusion de neutrons.

L'observation de la phase isotrope par microscopie optique entre polariseurs croisés montre l'émergence sous cisaillement d'une phase nématique, constituée d'un unique domaine, dont l'axe caractéristique est aligné suivant la direction du cisaillement. L'étude de l'évolution de la contrainte, c'est à dire la force mesurée par unité de surface ( $\sigma$ ), en fonction du *taux de cisaillement*  $\dot{\gamma}$  révèle l'existence d'un plateau de contrainte (Fig.2). Ceci traduit l'existence

d'un intervalle de valeurs  $\dot{g}_{c1} < \dot{g} < \dot{g}_{c2}$  pour lequel la phase nématique induite coexiste avec la phase isotrope dans des proportions relatives déterminées par le taux de cisaillement. Pour  $\dot{g} > \dot{g}_{c2}$ , la totalité de l'échantillon est nématique. En suivant l'évolution de la largeur du plateau de contrainte en fonction de la température, on peut en déduire un diagramme de phase (ayant pour variables la température et le taux de cisaillement). La disparition du plateau loin de la température de transition  $T_{NI}$  ferme le diagramme et pourrait révéler l'existence d'un point critique sous cisaillement (Fig.3). Enfin, par diffusion des neutrons aux

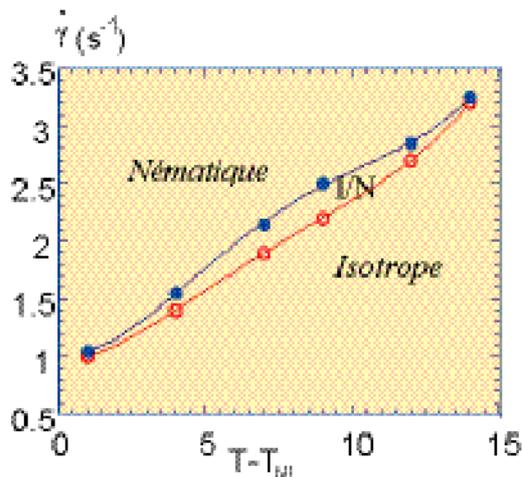


Fig.3: Diagramme de phase issu des courbes d'écoulement: taux de cisaillement en fonction de l'écart à la température de transition  $T_{NI}$ .

petits angles (Fig.4), nous avons montré que la conformation dans la phase nématique induite de la chaîne principale du polymère était étirée suivant la direction de l'écoulement (Fig.1.b). Chaîne et mésogènes sont donc orientés parallèlement à l'écoulement. Dans la phase nématique à l'équilibre ( $T < T_{NI}$ ), la conformation de la chaîne par rapport aux mésogènes est inversée (Fig.1.a). Sous cisaillement, l'orientation des mésogènes par rapport à la chaîne tourne de  $90^\circ$ , bouleversant ainsi le concept d'un couplage chaîne/mésogènes déterminé par un unique potentiel d'interaction local. Ces expériences démontrent l'impact du cisaillement à l'échelle de la réorganisation moléculaire. Les paramètres déterminant l'émergence de cette phase induite sont par contre encore inconnus. L'existence d'un plateau de contrainte dans des systèmes aussi différents que les fondus de polymères cristaux liquides et les solutions de micelles géantes (ici la variable de température joue le rôle de la concentration dans les systèmes micellaires) illustre le caractère universel des comportements induits par cisaillement.

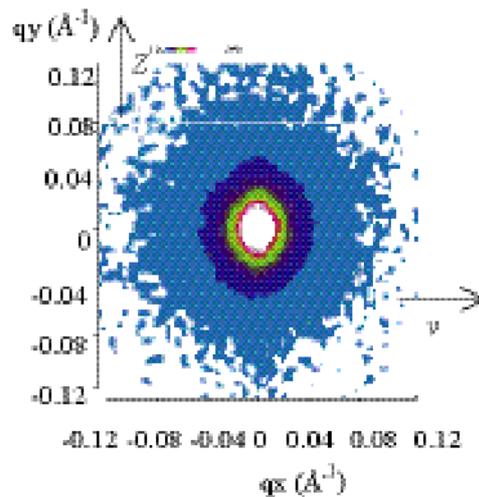


Fig.4 : Figure de diffusion des neutrons obtenue dans le plan  $(v, z)$  où  $z$  est l'axe neutre. L'asymétrie du signal observé dans l'espace réciproque révèle l'anisotropie du facteur de forme de la chaîne à  $T > T_{NI}$  dans la phase nématique induite (spectromètre PAXY-LLB  $\lambda = 8 \text{ \AA}$ ,  $d=2m$ ).

#### Lexique :

Un cristal liquide *thermotrope* est composé de molécules, dont le caractère *mésogène* peut induire une organisation à grande échelle. En baissant la température, un tel système peut transiter d'une phase *isotrope* i.e. sans ordre à grande distance, vers une phase *nématique*, pour laquelle les axes caractéristiques de ces molécules mésogènes sont alignés dans une direction particulière. L'existence de cette direction privilégiée induit l'apparition d'un deuxième indice de réfraction optique, le milieu est dit *biréfringent*. Le *taux de cisaillement* correspond au rapport de la vitesse de déplacement relative de deux lamelles parallèles par la distance qui les séparent.

#### Pour en savoir plus :

- V. Schmitt, F. Lequeux, A. Pousse, D. Roux, *Langmuir* 10 (1994) 955.
- J.F. Berret, D.C. Roux, G. Porte, P. Linder, *Europhys. Letters* 25 (1994) 521.
- C. Pujolle-Robic, L. Noirez, *Nature* 409 (2001) 167.
- C. Pujolle-Robic, P.D. Olmsted, L. Noirez, *Europhys. Lett.* 59 (2002) 364.

#### Contact :

Laurence Noirez et Hakima Mendil  
DRECAM - Tél. : 01 69 08 63 00/82 50

# Quand le spin des électrons perd le nord

*Une équipe du Service de Physique de l'Etat Condensé (SPEC) a mesuré la magnétorésistance associée à une paroi magnétique individuelle.*

Le développement extraordinaire des technologies multimédia et leur besoin de plus de miniaturisation poussent les composants vers des dimensions largement sub-microniques. A ces tailles, les matériaux semiconducteurs atteignent les limites de leur applicabilité. Leur principe de fonctionnement repose sur la distinction entre les porteurs de charges électrons et trous. Mais leur densité est trop faible pour assurer un fonctionnement fiable à des tailles nanométriques. Les métaux, en revanche, gardent leurs propriétés électroniques jusqu'à des tailles beaucoup plus petites, par contre ils ne possèdent pas la dualité électron-trou permettant de réaliser des transistors. Pour pallier ce manque, il est possible d'utiliser le spin de l'électron dans les matériaux magnétiques puisque leur mobilité dépend de la direction de leur moment magnétique. Il est donc possible de transformer le changement de configuration d'aimantation d'une couche magnétique en signal électrique. Cette nouvelle science, l'"électronique de spin" est passée, en quelques années, du concept de laboratoire à la réalisation des très lucratives têtes de lecture pour disques durs. La rapidité de ce passage à l'industrie et la taille des marchés potentiels ont provoqué une croissance forte des recherches sur les nanostructures magnétiques. Celles-ci soulèvent des problèmes autant technologiques que fondamentaux qui rendent nécessaire une compréhension de l'influence respective du magnétisme et du transport à l'échelle microscopique.

Dans les matériaux ferromagnétiques non saturés par un champ extérieur, des domaines de directions d'aimantation différentes coexistent (Fig1). Ceux-ci sont séparés par des parois magnétiques, qui constituent des régions de tailles nanométriques bien particulières, où la direction de l'aimantation évolue continûment (Fig1c). Ces petits volumes constituent des défauts magnétiques intrinsèques dans lesquels la résistivité électrique doit changer. La controverse sur la résistance électrique de ces hétérogénéités magnétiques existe depuis le début des années 1970.

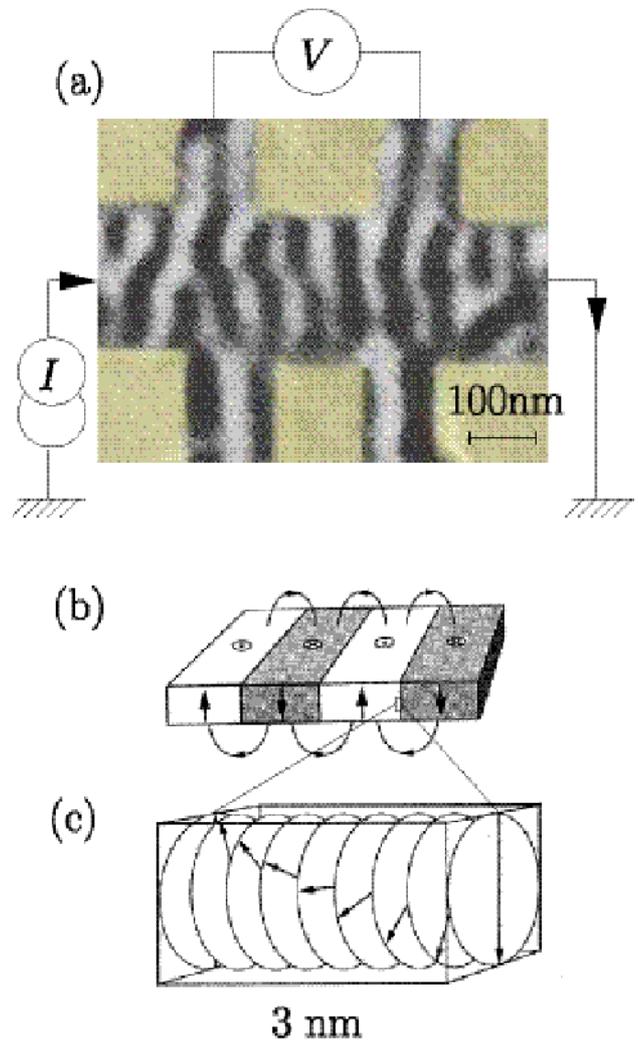


Figure 1 :  
 (a) Image de microscopie à force magnétique du contraste magnétique de la nanostructure de FePd.  
 (b) Les bandes blanches et noires correspondent aux domaines magnétiques pointant respectivement vers le haut et vers le bas.  
 (c) La paroi est non résolue. Elle est située à l'interface des contrastes noirs et blancs et elle fait 3nm de large.

De fait, l'effet attendu est très faible, et est resté longtemps hors de portée de la mesure. Afin de le quantifier, nous avons choisi de faire les mesures sur une couche mince de fer-palladium (\*), pour laquelle l'aimantation perpendiculaire conduit à la stabilisation de très petits domaines magnétiques, de 60 nm de large. En préparant une nanostructure par lithographie (Fig.1a), on a réalisé un système dans lequel 8 parois magnétiques sont piégées entre des contacts destinés à la mesure de la chute de tension, lorsqu'un courant est injecté dans la ligne. Un champ magnétique est alors appliqué, qui entraîne la disparition, un à un, des domaines magnétiques. La variation de résistance obtenue est présentée en figure 2. Les sauts discrets ont pu être interprétés en termes de disparition des parois dans les contacts dans un premier temps (sauts simples) suivie à champ plus fort d'une disparition des domaines minoritaires entre les contacts (sauts doubles).

Ces mesures apportent une quantification claire de la résistance induite par les parois de domaines magnétiques. L'effet mesuré ramené au volume des parois correspond à une augmentation d'environ 10% de la résistance au sein de ces hétérogénéités magnétiques. L'effet est dû à l'inertie des spins électroniques qui ont du mal à suivre l'aimantation locale. La composante du spin non alignée provoque un accroissement de leur probabilité de diffusion qui se traduit par une augmentation locale de la résistance. Outre l'intérêt lié à la compréhension des propriétés de transport électronique dépendant du spin, cet effet permet de suivre le processus de retournement de l'aimantation par un champ extérieur. La résistance des parois est, pour l'heure, trop petite pour être appliquée à la réalisation d'un capteur de champ. Cependant, il est prédit que cet effet résistif doit grandir quand les dimensions latérales des structures sont réduites à l'échelle atomique. Ainsi, l'avenir des capteurs basés sur la résistance des parois de domaines magnétiques semble prometteur puisque la miniaturisation va augmenter inexorablement le poids des effets observés.

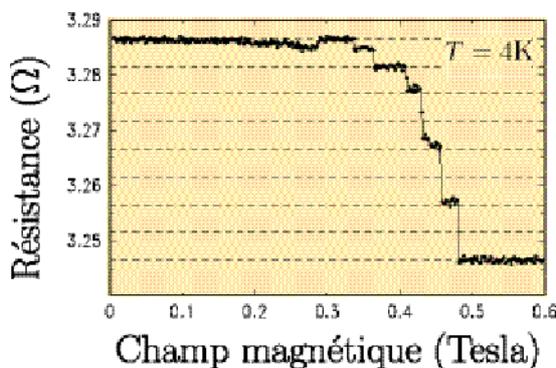


Figure 2 : Variation de résistivité de la nanostructure en FePd en fonction du champ magnétique appliqué. La disparition des parois magnétiques se traduit par des sauts discrets : les sauts simples à champ faible correspondent à des parois expulsées une par une de la structure et les sauts doubles sont dûs à la disparition de deux parois lors l'élimination de domaines entiers.

(\*) Préparée au Service de Physique des Matériaux et Microstructure à Grenoble

**Pour en savoir plus :**

R. Danneau et al., Phys. Rev. Lett. 88, 157201 (2002)

**Contacts :**

Michel Viret (DRECAM/SPEC)

01 69 08 74 43

Mviret@cea.fr

Olivier Klein (DRECAM/SPEC)

01 69 08 75 40

Oklein@cea.fr

**Phases magazine**

La lettre du DRECAM et du SPHT

**Directeur de la Publication :** L. Laurent

**Comité B de Rédaction :**

S. Ayrault (LPS), N. Betz (LSI), O. Klein (SPEC),

N. Herlin Boine (SPAM), Y. Sidis (LLB),

H. Desvaux (SCM), H. Rothard (CIRIL),

O. Golinelli (SPHT)

**Réalisation :** B. Pigeaud, C. Verneyre

**Impression :** Impact Graphic

ISSN N°1276-8650 Dépôt légal 4ème trimestre 1997.