

Avant-propos

L'histoire des cristaux liquides est celle d'une transgression des frontières et d'une rupture avec les idées reçues.

En effet, les cristaux liquides ont été découverts par un biochimiste, Friedrich Reinitzer, qui partagea sa perplexité avec un physicien, Otto Lehmann. Par la suite, les cristallographes, les minéralogistes, les experts en optique, magnétisme, thermodynamique, les chimistes, etc. ont contribué à la reconnaissance des cristaux liquides comme nouveaux états de la matière, dénommés *mésophases* par George Friedel à cause de leurs structures intermédiaires entre celles des liquides isotropes et des cristaux.

Les mésophases sont si fragiles qu'elles peuvent être facilement perturbées par des moyens mécaniques modérés, des contraintes électriques, magnétiques ou thermiques qui génèrent divers défauts, tels que les disinclinaisons, les dislocations, les parois, les monopôles ou les multipôles. Remarquablement, il a été également observé que ces défauts apparaissaient spontanément lors de transitions de phase.

Inspirés par les découvertes expérimentales, les théoriciens et les mathématiciens ont été fascinés par les symétries des mésophases et ont reconnu ces beaux et mystérieux défauts comme étant des singularités topologiques de champs complexes, tensoriels ou vectoriels. Cela a conduit à l'introduction du concept de paramètre d'ordre résultant de ruptures de symétries. Dans ce cadre, la génération de défauts topologiques lors de certaines transitions de phase est apparue comme une conséquence naturelle et attendue. On a aussi compris que la physique des cristaux liquides et de leurs défauts avait une frontière perméable avec le mécanisme de Kibble-Zurek en cosmologie.

La découverte des cristaux liquides s'est faite à partir de substances extraites de carottes. Avant cela, Mettenheimer et Virchow ont observé des mésophases lamellaires biréfringentes dans des solutions aqueuses de myéline, une substance extraite des

tissus nerveux. Les mésophases apparaissent également dans les solutions de composés cellulosiques ou dans les suspensions de particules allongées, telles que les nanocristaux de cellulose, les virus ou les bactéries de la mosaïque du tabac. Par conséquent, depuis leur origine, les cristaux liquides partagent une frontière commune avec la matière vivante.

Dans cet ouvrage, on traversera aussi d'autres frontières. Le titre *Cristaux liquides : nouvelles perspectives* annonce que lorsque les frontières sont franchies, de nouvelles perspectives s'ouvrent.

Le premier chapitre, « Optique singulière des défauts de cristaux liquides », explore une *terra incognita* : l'interaction lumière-matière qui se produit lorsque la lumière et/ou la matière sont dotées de défauts topologiques. Il explique comment la physique des défauts topologiques dans les cristaux liquides a progressivement enrichi l'optique des cristaux liquides au cours de l'évolution de l'optique singulière. Cela repose sur quelques caractéristiques génériques : les capacités d'auto-organisation de la matière molle ainsi que sa sensibilité aux stimuli externes. Remarquablement, tous les avantages des cristaux liquides qui les rendent omniprésents dans notre vie quotidienne – les écrans à cristaux liquides en sont un exemple – offrent désormais des opportunités pour l'exploration des phénomènes optiques fondamentaux sur la base du couplage entre la polarisation et les degrés de liberté d'espace. Cela permet également d'envisager le développement de futures applications, comme par exemple en imagerie pour la mise en forme de faisceaux ou la manipulation de la matière par la lumière.

Le deuxième chapitre, « Contrôle des microparticules avec des cristaux liquides », transgresse deux frontières. D'abord, celle entre les cristaux liquides et les phénomènes électrocinétiques. Les auteurs montrent comment l'électrophorèse et l'électro-osmose, bien connues des études sur les liquides isotropes, acquièrent de nouvelles caractéristiques inattendues lorsque l'anisotropie et l'hydrodynamique non linéaire des cristaux liquides sont activées. La deuxième transgression est celle de la frontière avec la matière vivante. Le mouvement de nage quasi aléatoire des bactéries avec flagelles dans les liquides isotropes devient ordonné dans les cristaux liquides lyotropes et acquiert des propriétés encore plus fascinantes en présence de défauts topologiques – les disinclinaisons.

Le troisième chapitre, « Les effets thermomécaniques dans les cristaux liquides », franchit la frontière entre les cristaux liquides et la thermodynamique hors équilibre. L'anisotropie et l'hydrodynamique non linéaire des cristaux liquides modifient radicalement les phénomènes induits par les gradients thermiques. Par exemple, on sait que le seuil de l'instabilité de Rayleigh-Bénard en phase nématique est réduit d'un facteur 1 000 par rapport aux liquides isotropes. Les effets thermomécaniques et thermohydrodynamiques discutés dans ce chapitre sont d'autant plus originaux qu'ils n'existent pas dans les fluides isotropes. Une fois de plus, ils deviennent fascinants en présence de défauts topologiques. Ce chapitre brise l'idée reçue d'une explication unique, dans

le cadre de la théorie de Leslie, de l'effet Lehmann, à savoir la rotation de gouttelettes cholestériques sous l'action d'un gradient thermique.

Le quatrième chapitre, « La physique de la texture furcelle », transgresse l'idée reçue sur le caractère éphémère d'une texture nématique déformée, connue auparavant sous plusieurs noms : *splay-bend state*, *H state*, *inversion wall*, *quasi-planar texture* ou *flow-aligned texture*. Surnommée *la texture furcelle* (en anglais *the dowser texture*) en raison de sa ressemblance avec l'outil en bois des sourciers (*dowser*), cette texture n'est en fait pas instable, mais seulement métastable, et dans certaines conditions peut être conservée indéfiniment. Étant donné que son paramètre d'ordre complexe $e^{i\varphi}$ est dégénéré par rapport à la phase φ , la texture furcelle est sensible aux champs vectoriels et, par conséquent, elle est dotée de propriétés inédites appelées *cunéitropisme*, *rhéotropisme* et *électrotropisme*. La texture furcelle apparaît également comme un univers naturel pour les monopôles et les antimonopôles nématiques. Ces derniers peuvent être mis en mouvement et peuvent entrer en collision, ce qui peut conduire à leur annihilation par analogie avec les paires électron-positron dans les collisionneurs de hadrons.

Le cinquième chapitre, « L'émergence spontanée de la chiralité », aborde l'apparition des textures chirales dans les nématiques constitués de molécules achirales. Il commence par un tour historique très détaillé menant à la naissance du concept de *chiralité*. Il débute par la découverte de la *double réfraction* dans les cristaux de spath d'Islande par Erasmus Bartolinus en 1669, suivie par les contributions cruciales de Huygens, Malus, Arago, Brewster, Biot, Fresnel et Faraday qui ont conduit à la découverte de la *chiralité moléculaire* par Louis Pasteur. Les travaux de Pasteur ont donné naissance à l'idée reçue selon laquelle l'activité optique des matériaux résulte uniquement de la chiralité moléculaire. Les observations de textures chirales dans les nématiques lyotropes discutées dans ce cinquième chapitre rompent avec cette idée reçue et ouvrent de nouvelles perspectives.

Sur la page internet « Cristaux liquides : nouvelles perspectives, Vidéos » (<https://sites.google.com/view/cl-pn-videos/home>) dédiée à ce livre, les auteurs de l'ouvrage ont mis à la disposition des lecteurs les résumés vidéos des chapitres ainsi que des vidéos supplémentaires. Les lecteurs sont invités à s'y reporter lorsque la mention « vidéo disponible » apparaît dans le texte ou auprès d'une figure.

Nous tenons à remercier madame Françoise Brochard-Wyart pour son invitation à écrire cet ouvrage dont les contours ont été fixés grâce à Tigran Galstian, qui a invité six des auteurs à la 18^e *Conférence sur l'optique des cristaux liquides*, au Québec. L'écriture de cet ouvrage a duré environ un an. Une fois le travail terminé, nous avons été tentés de dire, à la suite de l'éloge de Leonhard Euler par le marquis de Condorcet : « On dit que pour les hommes d'un grand talent, le plaisir du travail en était une récompense plus douce encore que la gloire... »

Au nom de tous les auteurs