

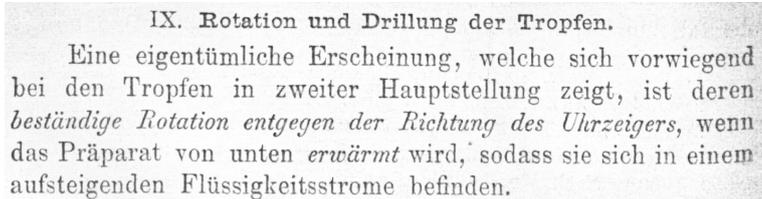
*Lo que hace problema a un problema
es contener una contradicción real.*

J. ORTEGA Y GASSET,
Meditaciones del Quijote

L'objectif de ce chapitre est d'introduire la problématique de la thèse en faisant le point sur les expériences et les avancées théoriques relatives à l'effet Lehmann depuis sa découverte, en mettant en évidence les paradoxes et les points de vue contradictoires.

1.1 Effet Lehmann thermique

1.1.1 La découverte



IX. Rotation und Drillung der Tropfen.
Eine eigentümliche Erscheinung, welche sich vorwiegend bei den Tropfen in zweiter Hauptstellung zeigt, ist deren *beständige Rotation entgegen der Richtung des Uhrzeigers*, wenn das Präparat von unten *erwärmt* wird, sodass sie sich in einem aufsteigenden Flüssigkeitsstromen befinden.

FIGURE 1.1 – Extrait de l'article de 1900 où Lehmann mentionne pour la première fois l'effet qui portera son nom.

La première mention de l'effet Lehmann dans les cristaux liquides cholestériques date de 1900 [Lehoo]. Dans cet article, Lehmann relate

que dans un échantillon chauffé par le bas, des gouttes de cristaux liquides sont en perpétuelle rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et que leur texture s'enroule. Selon lui, le phénomène pourrait être relié à un effet de tension de surface, mais d'après les sens de rotation et d'enroulement de la texture, les gouttes semblent être entraînées depuis l'intérieur et non par leur surface. Il envisage également l'existence d'un écoulement dans l'échantillon.



FIGURE 1.2 – Dessin des gouttes qui s'enroulent et tournent sous l'action du flux de chaleur [Lehoo].

En 1921, après avoir multiplié les observations grâce à son microscope à cristallisation, chauffant et polarisant, Lehmann donne des informations supplémentaires [Leh21]. En réalité, la rotation ne se produit pas avec n'importe quel cristal liquide. Il constate qu'elle ne se produit avec le para-azoxyphénétol — une molécule non chirale — qu'après avoir ajouté une « faible quantité » d'impuretés qui induisent une torsion en hélice de la texture en absence de flux de chaleur. Suivant la nature de l'impureté, colophane ou benzoate de cholestéryle, il observe une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre ou en sens inverse, correspondant au sens de la torsion de la texture. Ce point est fondamental, puisqu'il montre le rôle joué par la chiralité. En augmentant la quantité d'impuretés, la torsion augmente ainsi que la vitesse de rotation. De plus en ajoutant simultanément les deux impuretés en proportions telles que leurs effets sur la torsion de la texture se compensent, Lehmann n'observe aucune rotation, ou des oscillations. La première conclusion que l'on peut tirer de ces expériences est que le phénomène ne se manifeste que dans les cristaux liquides cholestériques, jamais dans les nématiques.

Le livre de 1921 donne une autre information importante : en effet, Lehmann est convaincu que ce n'est pas la goutte elle-même qui tourne, mais seulement sa texture, puisqu'il n'observe pas d'écoulement du cristal liquide. La rotation n'est donc qu'apparente et seulement due à une réorientation des molécules qui donne une impression de rotation de la goutte elle-même.

Malheureusement, bien qu'il apporte de nouvelles informations, le livre de 1921 manque de détails expérimentaux. Quelles étaient les concen-

trations en molécules chirales des mélanges de Lehmann, quelles vitesses de rotation a-t-il observé et quel gradient de température a-t-il utilisé? Quelles épaisseurs avaient ses échantillons? Les lames de verre étaient-elles traitées? Les gouttes étaient elles en suspension, et le cas échéant dans quoi? etc. Ce manque d'information explique probablement pourquoi, à notre connaissance, l'expérience de Lehmann n'a jamais été reproduite depuis cette époque.

Pourtant, le livre de Lehmann était accompagné d'un film en noir et blanc muet qu'il avait lui-même réalisé, conscient qu'il serait plus simple de comprendre ses observations en les voyant plutôt qu'en lisant ses explications. Hélas, le film qui n'existait qu'en un, peut-être deux exemplaires, n'est plus en possession de la société de production (*UFA-Produktion*) qui existe toujours. Les grandes bibliothèques ont également perdu sa trace ainsi que la bibliothèque de l'université de Karlsruhe où Lehmann travaillait et qui a conservé bon nombre d'archives sur lui. Ni la fondation Otto Lehmann, ni ses descendants ne savent non plus ce qu'il est advenu de ce film. Il a donc très probablement été perdu ou détruit pendant la seconde guerre mondiale.

1.1.2 Théorie phénoménologique

En 1933 Oseen introduit l'idée, que dans l'expérience de Lehmann, toutes les molécules de la goutte tournent à la même vitesse autour d'axes verticaux — parallèles au gradient de température — passant par leurs centres de gravité [Ose33].

Il faut ensuite attendre 1968 et les travaux de Leslie sur l'hydrodynamique des cristaux liquides [Les68] pour que la question soit de nouveau abordée. Dans sa théorie, Leslie propose des équations constitutives reliant linéairement le flux de chaleur, les forces sur les particules fluides et les couples sur l'orientation du directeur, aux gradients de vitesse, d'orientation du directeur et de température. Ces équations montrent que dans un cholestérique plongé dans un gradient de température s'exerce *a priori* un couple sur le directeur, qui tend à le faire tourner autour de la direction du gradient et proportionnellement à ce dernier. Le coefficient de proportionnalité sera appelé *coefficient Lehmann* et noté ν dans la suite.

Des considérations simples de symétrie permettent d'affirmer que dans un système achiral, ν doit être nul. En effet, deux systèmes symétriques dans un miroir et soumis à un même gradient de température, parallèle au miroir, doivent être entraînés dans deux sens de rotation opposés, cf. figure 1.3. Autrement dit, les deux systèmes symétriques ont des ν op-

posés, ce qui fait de ν un pseudo-scalaire. Si un système est achiral, il est équivalent à son image dans le miroir. Dans ces conditions, $\nu = -\nu$, donc $\nu = 0$. C'est le cas dans un cristal liquide nématique non chiral. En revanche, ν peut être non nul dans les systèmes chiraux tels que les cholestériques.

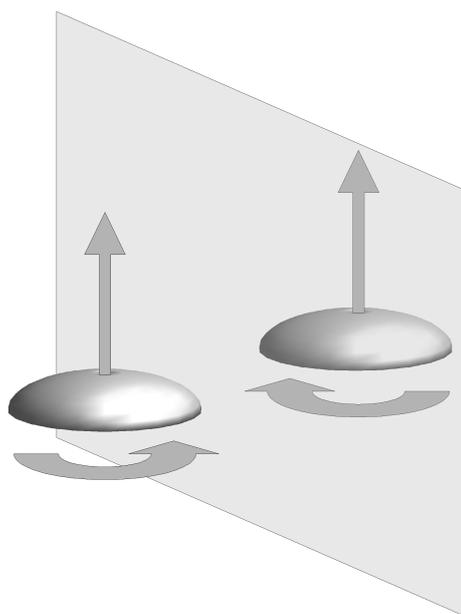


FIGURE 1.3 – Les deux systèmes symétriques sont entraînés dans deux sens de rotations opposés.

Leslie souligne également qu'il s'agit d'un coefficient phénoménologique dont le signe n'est pas donné par le second principe de la thermodynamique. Aucun ordre de grandeur du coefficient Lehmann ne peut non plus être tiré de cette théorie macroscopique.

En 1984, Akopyan et Zel'dovich poussent le développement plus loin [Ako84] et donnent une expression pour le couple thermomécanique dans un nématique déformé, introduisant douze nouveaux coefficients de couplage indépendants dont rien ne permet de prévoir ni le signe ni l'ordre de grandeur, mais qui sont de vrais scalaires. Des expériences du même groupe de chercheurs en géométrie hybride montrent que, sous l'action d'un flux de chaleur, les nématiques déformés subissent des contraintes capables de générer un écoulement, cf. par exemple [Ako01, Ako04]. Ils estiment l'ordre de grandeur de ces nouveaux coefficients à $10^{-12} \text{ N K}^{-1}$.

1.1.3 L'expérience d'Éber et Jánossy

L'expérience d'Éber et Jánossy, réalisée pour la première fois en 1982, a pour but de mesurer le coefficient Lehmann dans un cholestérique compensé. Rappelons que dans ces cholestériques très spéciaux, l'hélice se déroule progressivement lorsqu'on approche de la température dite d'inversion ou de compensation. Elle est complètement déroulée à cette température, puis s'enroule progressivement en sens inverse lorsqu'on la dépasse.

Dans cette expérience, on mesure optiquement la déformation statique du champ de directeurs sous l'action d'un gradient de température lorsque la rotation continue des molécules est empêchée par les conditions aux limites. Cette mesure ne donne pas accès directement au coefficient Lehmann, mais fait intervenir une combinaison d'autres grandeurs physiques caractérisant le cristal liquide. Éber et Jánossy ont proposé une méthode astucieuse permettant de mesurer directement cette combinaison. Cela leur permet d'estimer ν , qu'il trouvèrent de l'ordre de $10^{-6} \text{ N m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [Ebe82]. Ils déterminèrent également son signe, positif dans leur mélange [Ebe84]. Enfin, ils confirmèrent que l'effet Lehmann n'existe pas dans les cristaux liquides nématiques en faisant la même expérience dans un matériau non chiral [Ebe82].

L'expérience d'Éber et Jánossy fut ainsi la première à donner un ordre de grandeur du coefficient Lehmann dans les cristaux liquides. Nous reviendrons plus en détail sur cette expérience dans la section 5.1.

1.1.4 Le point de vue de Pleiner et Brand

En 1987, les théoriciens Pleiner et Brand réinterprètent l'expérience d'Éber et Jánossy [Ple87]. Selon eux et en contradiction avec les résultats précédents, le coefficient Lehmann doit être nul à la température d'inversion d'un cholestérique compensé puisque la chiralité de la phase, qu'ils quantifient par sa seule torsion *spontanée*, s'annule. C'est le début d'une controverse [Ebe88, Ple88] qui oppose les deux groupes à la fois sur les plans théorique — symétries de la phase — et expérimental.

Sur ce second point Pleiner et Brand mettent en cause la précision de la mesure d'Éber et Jánossy. Ils suggèrent que ces derniers ont sous-estimé la combinaison de grandeurs qui intervient comme correction dans la mesure de ν et proposent une explication à cette sous-estimation. Selon Éber et Jánossy en revanche, la correction à prendre en compte est au contraire surestimée, ce qui conduirait à une valeur de ν plus grande, et donc bien différente de 0.

Les deux groupes sont également en désaccord profond sur les symétries d'un cholestérique compensé : la théorie de Leslie prévoit que le coefficient Lehmann doit être nul dans un milieu non chiral. Un cholestérique compensé est-il chiral ? Selon Éber et Jánossy, la présence de molécules chirales brise la symétrie miroir, quelle que soit la torsion spontanée qu'elles engendrent [Ebe88]. En revanche, pour Pleiner et Brand, « il est clair que la constante de couplage thermomécanique doit s'annuler au point de compensation, puisqu'à ce point, la symétrie est exactement celle de la phase nématique (pas d'hélice, et par conséquent, symétrie miroir de l'état thermodynamique de base) » [Ple88].

Le dernier mot dans cette polémique reviendra finalement à Pleiner et Brand, qui s'appuieront sur l'expérience de Madhusudana et Pratibha [Mad87] réalisée sous champ électrique et sur laquelle nous reviendrons plus tard (cf. 1.2.1).

1.1.5 Simulations numériques

Pour compléter le panorama sur l'effet Lehmann thermique, mentionnons finalement les simulations numériques de Sarman [Sar99, Saroo, Saro1]. Il s'agit de simulations de dynamiques moléculaires dans lesquelles les molécules sont des bâtonnets torsadés interagissant par un potentiel du type Lennard-Jones anisotrope et formant une phase cholestérique. Sarman utilise deux méthodes pour déterminer le coefficient Lehmann. La première consiste simplement à mesurer directement la vitesse de rotation dans un gradient de température (dynamique moléculaire hors d'équilibre). La seconde consiste à mesurer les corrélations des fluctuations à l'équilibre puis à utiliser une formule de Green-Kubo pour en déduire le coefficient de couplage.

Les deux méthodes sont compatibles entre elles aux incertitudes numériques près et aboutissent à un coefficient Lehmann non nul ¹. Ce résultat est intéressant car il montre qu'il n'est pas nécessaire d'inclure d'autres interactions, notamment dipolaires, pour générer l'effet Lehmann. En revanche, le mécanisme microscopique n'est pas élucidé.

Sarman donne une valeur numérique du coefficient Lehmann exprimé en unités de taille et masse moléculaires et d'amplitude du potentiel de Lennard-Jones. Il obtient $\nu \sim -0,2 \varepsilon_0 \sigma_0^{-2} K^{-1}$ où ε_0 est l'amplitude du potentiel d'interaction, égale à $k_B T$ dans ses simulations, et σ_0 la largeur d'une molécule. En prenant $\sigma_0 = 5 \text{ \AA}$ comme taille typique et $T = 300 \text{ K}$, on en déduit $\nu \sim 10^{-2} \text{ N m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, ce qui est très supérieur à la valeur

1. Notons que la seconde méthode donne une incertitude d'environ 100%.

trouvée par Éber et Jánossy. Cependant, le modèle de Sarman est assez minimaliste et la valeur calculée n'est certainement pas très réaliste.

1.1.6 Généralisation à d'autres couplages

Suite au travail de Leslie introduisant le coefficient de couplage thermomécanique ν , de Gennes a généralisé le concept en prédisant que le couple sur le directeur pouvait être produit par d'autres gradients de paramètres thermodynamiques intensifs tels que le potentiel électrique ou le potentiel chimique. Bien que la dénomination d'effet Lehmann soit réservée en toute rigueur à l'action d'un gradient de température sur le directeur, par analogie, nous parlerons également dans la suite d'effet « Lehmann électrique » et d'effet « Lehmann chimique ».

Par ailleurs les relations de réciprocité d'Onsager prévoient que les effets Lehmann inverses existent aussi, à savoir qu'une rotation continue du directeur devrait pouvoir générer un flux de chaleur, un courant électrique ou un flux de matière.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons passer en revue les principales expériences concernant les effets Lehmann électrique et chimique.

1.2 Effet Lehmann électrique

1.2.1 Rotation des gouttes sous champ électrique

La première mise en évidence expérimentale d'un analogue électrique à l'effet Lehmann thermique est l'expérience de Madhusudana et Pratibha [Mad87, Mad89] : sous champ électrique continu, la texture de gouttes de cristal liquide cholestérique en suspension dans une huile tourne de façon continue. Notons que les gouttes cholestériques et l'expérience en elle-même ressemblent fort à celles de Lehmann, cf. figure 1.4.

Le sens de rotation observé dépend du signe de la tension électrique appliquée, en accord avec la théorie de Leslie-de Gennes qui prévoit un couplage linéaire entre le champ électrique et la vitesse de rotation, proportionnelle au couple qui agit sur le directeur. Par ailleurs, le sens de rotation dépend aussi de celui de la torsion spontanée, droite ou gauche, du cristal liquide cholestérique utilisé, ce qui plaide en faveur du point de vue de Pleiner et Brand². Enfin, notons que la texture des gouttes

2. Pleiner et Brand proposent en effet que le coefficient Lehmann soit proportionnel à la torsion macroscopique spontanée de l'hélice cholestérique.

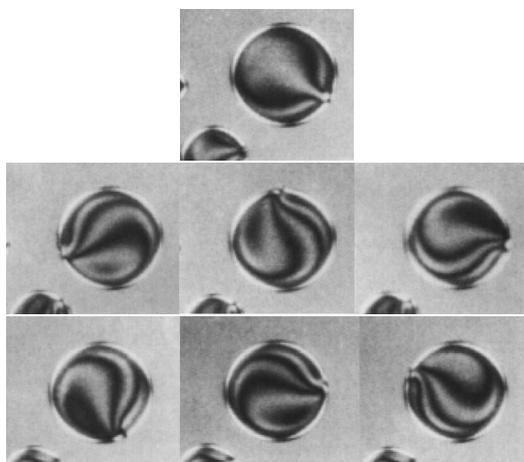


FIGURE 1.4 – EN HAUT : Goutte de cristal liquide cholestérique en suspension dans l'huile.

AU MILIEU : Rotation de la texture de la goutte sous l'action d'un champ électrique continu.

EN BAS : Lorsque le champ électrique est inversé, le sens de rotation s'inverse.

ne tourne que pour des tensions électriques suffisamment grandes, supérieures à quelques volts. Ce seuil est attribué à l'écrantage du champ électrique par les charges dans les couches de Debye qui se forment au voisinage des électrodes.

1.2.2 L'expérience de Padmini et Madhusudana

En 1991, Madhusudana, Pratibha et Padmini conçoivent une autre expérience pour mettre en évidence l'effet Lehmann électrique de façon différente [Mad91]. Il s'agit cette fois d'appliquer une tension électrique alternative basse fréquence à un échantillon de cristal liquide cholestérique. Un couple oscillant doit donc logiquement s'appliquer sur le directeur et le faire osciller. C'est bien ce qu'observent ces auteurs, qui détectent effectivement des oscillations à la fréquence du champ, mettant en évidence un couplage électromécanique linéaire qu'ils assimilent à un effet Lehmann électrique.

Deux ans plus tard, Padmini et Madhusudana reproduisent l'expérience en utilisant un cholestérique compensé [Pad93]. Ils montrent alors que l'amplitude des oscillations s'annule à la température d'inversion, en accord avec les prédictions de Pleiner et Brand³ [Ple88]. Notons dès maintenant l'existence d'un effet de seuil dans cette expérience sur lequel nous reviendrons longuement plus tard (cf. section 4.2) et que les auteurs attribuent à un manque de sensibilité de la détection optique des oscillations.

Les expériences d'Éber et Jánossy et de Padmini et Madhusudana conduisent donc à des conclusions opposées. Il y a là une contradiction à

3. en admettant que les effets observés soient bien dus à un couplage Lehmann.

résoudre. Nous reviendrons donc plus en détail sur ces deux expériences aux chapitres 5 et 4 respectivement.

1.2.3 Dérive des doigts cholestériques sous champ électrique

Les doigts cholestériques sont des structures de forme allongée qui se forment dans certaines conditions, lorsque le cristal liquide ne peut pas prendre sa structure naturelle en hélice à cause d'incompatibilités avec les conditions aux limites⁴. Il existe plusieurs espèces de doigts cholestériques, différant par leurs topologies et leurs symétries [Oswoo]. Nous nous intéresserons uniquement aux doigts dits de types I et II⁵.

En 1997, Gil et Thiberge montrent théoriquement que l'effet Lehmann, qu'il soit thermique ou électrique, doit conduire à une translation à vitesse constante des doigts perpendiculairement à leurs axes [Gil97]. Ils calculent aussi la vitesse de dérive et montrent qu'elle est proportionnelle au champ électrique (ou au gradient de température) et à une intégrale sur la section du doigt d'une fonction compliquée du champ de directeurs, cf. section 6.3. En pratique, on connaît mal le champ de directeurs dans un doigt cholestérique, mais on connaît ses propriétés de symétrie, ce qui permet de dire si l'intégrale dépend ou non du signe du gradient de potentiel (ou de température) appliqué.

D'un autre côté, on sait expérimentalement que les doigts de type I dérivent et forment des spirales lorsqu'on leur applique une tension continue [Hin84, Fri93, Gil94]. On ne peut néanmoins pas assurer que leur vitesse de dérive est proportionnelle au champ électrique, conformément à l'expression obtenue par Gil et Thiberge, car ces doigts cholestériques ne sont stables que dans une plage de tension très réduite. En revanche, l'expérience montre que leurs vitesses de dérive pour deux tensions opposées sont égales et en sens contraires. Par conséquent, les doigts de type I ne doivent pas dériver sous champ alternatif, puisqu'à chaque période ils vont aussi loin dans un sens que dans l'autre. C'est bien ce qui est observé expérimentalement.

Au contraire, la symétrie des doigts de type II leur confère des vitesses de dérive inégales en valeur absolue pour deux tensions opposées. C'est la raison pour laquelle, expérimentalement, ces doigts dérivent perpendi-

4. notamment lorsque les lames de verre qui limitent l'échantillon sont traitées en ancrage homéotrope, c'est-à-dire perpendiculaire aux lames de verre.

5. Les premiers sont topologiquement continus alors que les seconds possèdent deux défauts ponctuels localisés dans leurs extrémités.

culairement à leurs axes sous l'action d'une tension alternative [Rib94]. Ce comportement est donc bien expliqué par le modèle de Gil et Thiberge. En revanche, il apparaît que la dérive des doigts de type II cesse lorsque la fréquence de la tension appliquée dépasse la fréquence de relaxation des charges [Bau99]. Ce comportement inattendu n'est pas expliqué par le modèle précédent basé sur le seul effet Lehmann et suggère que les charges libres jouent un rôle important dans la dérive des doigts.

1.2.4 Théorie de Tarasov et collaborateurs

Sur la base de ces observations, Tarasov, Krekhov et Kramer ont proposé en 2003 une explication alternative à la dérive des doigts cholestériques sous champ électrique ne faisant pas intervenir l'effet Lehmann [Tar03b]. Leur modèle électro-hydrodynamique rend compte de la dérive des deux types de doigts. Dans le cas des doigts de type I dérivant sous champ continu, un écoulement induit par la génération de charges flexo-électrique (cf. section 2.4) peut décrire la dérive, mais sans comparaison quantitative possible avec les expériences. En ce qui concerne les doigts de type II, la séparation des charges due à l'anisotropie de conductivité électrique ajoute une composante horizontale au champ électrique suivant un mécanisme du type Carr-Helfrich bien connu dans les cristaux liquides, qui peut entraîner la dérive sous champ alternatif. L'accord avec les expériences est quantitatif dans ce cas.

Par ailleurs, les mêmes auteurs expliquent avec le même modèle la rotation des gouttes observée dans l'expérience de Madhusudana et Pratihha [Tar03b, Tar03a, Tar03c]. La vitesse de rotation obtenue dans le cadre de ce modèle varie linéairement avec le champ électrique appliqué et change de signe quand la torsion de l'hélice est inversée, en accord avec l'expérience. Il prédit également que la vitesse de rotation dépend de la taille de la goutte, ce qui reste à vérifier expérimentalement. Enfin, ces auteurs suggèrent — sans le prouver — que la flexo-électricité pourrait aussi expliquer les expériences de Padmini et Madhusudana.

En résumé, un couplage électromécanique de type Lehmann a été invoqué pour expliquer plusieurs expériences, mais dans la plupart des cas une explication alternative a été proposée, basée sur d'autres propriétés bien connues des cristaux liquides.

Aucune expérience à ce jour ne démontre donc de façon certaine l'existence de l'effet Lehmann électrique.

1.3 Effet Lehmann chimique

Le premier exemple de couplage diffusomécanique est dû à Jánossy et date de 1981 [Jan81]. Cependant, il s'agit de la diffusion de particules colloïdales, dont la taille est voisine du pas cholestérique, provoquée par un cisaillement et non par une rotation du directeur. De plus, de nombreuses disinclinaisons rendent complexes l'interprétation.

L'expérience de Tabe et Yokoyama, en 2003, met en évidence de façon beaucoup plus directe un effet Lehmann chimique [Tabo3] : une couche monomoléculaire de cristal liquide chiral est déposée à la surface libre d'un bain de glycérol. Les molécules s'alignent avec leurs voisines et forment un angle avec la verticale. Lorsqu'un flux de molécules d'eau passe à travers la monocouche, il provoque la rotation du directeur autour d'un axe vertical.

Les auteurs ont vérifié que le sens de rotation s'inverse si l'on remplace le cristal liquide par son énantiomère — la molécule image dans un miroir — ou si l'on inverse le sens du flux d'eau. Ils ont également trouvé, en effectuant des mesures sur 14 composés différents, que la vitesse de rotation des molécules est proportionnelle à la torsion spontanée du cristal liquide en échantillon massif.

Svenšek, Pleiner et Brand voient dans ce dernier résultat une preuve supplémentaire que l'effet Lehmann est un phénomène spécifique aux systèmes « macroscopiquement chiraux » [Sve06]. Cependant, il nous semble difficile d'attribuer une chiralité macroscopique à une couche monomoléculaire uniformément orientée dans sa configuration d'équilibre sans prendre en compte la chiralité moléculaire.

1.4 Problématique de la thèse

À la lumière de ces résultats, nous pouvons faire les constats suivants :

- L'expérience initiale de Lehmann n'a jamais été reproduite, sans doute, faute de détails expérimentaux.
- Le coefficient Lehmann thermique n'a jamais été mesuré, hormis par Éber et Jánossy dont l'expérience est controversée tant sur le fondement théorique que sur la méthode de mesure (manque de précision expérimentale).
- L'expérience de Padmini et Madhusudana en champ électrique alternatif semble contredire celle d'Éber et Jánossy, mais il pourrait exister une autre interprétation basée notamment sur la flexo-électricité comme le suggèrent Tarasov et ses collaborateurs.

- Les arguments de Pleiner et Brand sur la symétrie macroscopique d'un cholestérique compensé ne sont pas très convaincants : en effet, dans un tel système, la chiralité reste présente à l'échelle microscopique, au niveau moléculaire, ce qui pourrait avoir des conséquences à l'échelle macroscopique. Notons d'ailleurs que ni Leslie, ni de Gennes n'a pris parti dans cette controverse sur les symétries.
- Le mécanisme microscopique responsable de l'effet Lehmann n'est pas connu.

Le premier objectif de cette thèse sera donc d'estimer l'ordre de grandeur du coefficient Lehmann dans les cristaux liquides cholestériques si cela est possible.

Le deuxième sera de résoudre la question suivante :

Parmi les différentes expressions possibles de la chiralité, lesquelles sont pertinentes pour déterminer les symétries d'un matériau à l'échelle macroscopique, notamment dans le cas d'un cholestérique compensé ? Autrement dit, un cholestérique compensé a-t-il les mêmes symétries qu'un nématique ? Dans le cadre de la théorie de Leslie de l'effet Lehmann, cette question revient à se demander de quelle quantité dépend le pseudoscalaire ν ? On peut en effet formuler trois hypothèses :

1. Le coefficient Lehmann est proportionnel à la *torsion spontanée* du cristal liquide cholestérique. Cela revient à supposer qu'un cholestérique compensé à la température d'inversion n'est pas chiral à l'échelle macroscopique, ses symétries étant les mêmes que celles d'un nématique. C'est le point de vue défendu par Pleiner et Brand et adopté par la majorité des auteurs [Mad91, Gil97, Tab03]. L'expérience de Padmini et Madhusudana semble d'ailleurs en faveur de cette hypothèse.
2. L'effet Lehmann, qui est fondamentalement dû la *chiralité moléculaire*, est lié de façon non triviale à la torsion. C'est le point de vue d'Éber et Jánossy, conforté par leur expérience montrant que le coefficient ν ne s'annule pas au point de compensation. Si cette hypothèse est correcte, les symétries de la phase à l'échelle macroscopique sont différentes dans un nématique et dans un cholestérique compensé à la température d'inversion.
3. Le coefficient Lehmann est seulement proportionnel à la *torsion réelle* du cristal liquide. Il n'est alors plus une grandeur intrinsèque. Cette hypothèse est compatible avec la théorie et les expériences d'Akopyan et ses collaborateurs, qui montrent l'existence d'un couplage

thermomécanique dans un nématique mécaniquement déformé.

Remarquons que les différentes hypothèses envisagées ne s'excluent pas nécessairement. En effet, le coefficient Lehmann pourrait avoir une composante constante — hypothèse 1 ou 2 — à laquelle s'ajouterait une composante dépendant de la torsion réelle — hypothèse 3. Seules les hypothèses 1 et 2 ne sont pas compatibles entre elles.

Finalement, notons que Tarasov et ses collaborateurs suggèrent que l'effet Lehmann thermique puisse s'expliquer par des effets de convection ou de tension de surface, sans nécessiter de recourir à la théorie phénoménologique de Leslie [[Tar03b](#)].