

# Skyrmions and topological defects

André Thiaville<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique des Solides, UMR CNRS 8502, Université Paris-Sud, Bâtiment 510, 91405 Orsay, France

**Abstract.** The lecture will start by introducing the topological theory of defects in condensed matter. The first work in this direction concerned magnetism, and the general theory has been developed by Maurice Kléman and coworkers [1,2], with an important application to liquid crystals. A second generalization, sketched by Louis Michel and developed by Hans-Rainer Trebin [3], applied topology to define topologically stable structures, also called topological solitons. Skyrmions are one instance of these [4]. Two ways of experimentally “measuring topology” via physical quantities will be then introduced, namely the gyrotropic deflection of moving topological solitons [5], and the topological Hall effect. The dynamics of topological solitons will be shown to reveal that topology alone does not describe all the physics, as for example the chirality of the textures can play a big role. Furthermore, ways to “weigh topology” will be described, through the estimation of the energetic cost to violate it (skyrmions creation and annihilation). The lecture will be based on experiments using skyrmions, both recent and older.

## Suggested introductory readings

1. G. Toulouse, M. Kléman, Principles of a classification of defects in ordered media, *J. Physique Lett.* **37**, L149-151 (1976).
2. N.D. Mermin, The topological theory of defects in ordered media, *Rev. Mod. Phys.* **51**, 591-648 (1979); M. Kléman, *Points, lines and walls* (Wiley, New York, 1983).
3. L. Michel, Symmetry defects and broken symmetry. Configurations hidden symmetry, *Rev. Mod. Phys.* **52**, 617-651 (1980); H.-R. Trebin, The topology of non-uniform media in condensed matter physics, *Adv. Phys.* **31**, 195-254 (1982).
4. T.H.R. Skyrme, A non-linear theory of strong interactions, *Proc. Roy. Soc. A* **247**, 260-278 (1958); A unified field theory of mesons and baryons, *Nucl. Phys.* **31**, 556-569 (1962).
5. A.A. Thiele, Steady-state motion of magnetic domains, *Phys. Rev. Lett.* **30**, 230-233 (1973); Application of the gyrocoupling vector and dissipation dyadic in the dynamics of magnetic domains, *J. Appl. Phys.* **45**, 377-393 (1974).

# Skyrmions et défauts topologiques

André Thiaville<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique des Solides, UMR CNRS 8502, Université Paris-Sud, Bâtiment 510, 91405 Orsay, France

**Résumé.** Ce cours commencera par une présentation de la théorie topologique des défauts en matière condensée. Les premiers travaux en ce sens se situent dans le domaine du magnétisme, la théorie générale ayant été ultérieurement développée par Maurice Kléman et collaborateurs [1,2], avec une application importante aux cristaux liquides. Une seconde généralisation, esquissée par Louis Michel et développée par Hans-Reiner Trebin [3], utilise la topologie pour définir les structures stables topologiquement, appelées aussi solitons topologiques. Les skyrmions sont un cas particulier de telles structures [4]. On introduira ensuite deux manières de « mesurer expérimentalement la topologie », via des quantités physiques qui font intervenir le nombre topologique associé, à savoir la déflexion gyrotropique dans la dynamique de solitons topologiques [5], ainsi que l'effet Hall topologique. En étudiant la dynamique des solitons topologiques, on montrera que la classification topologique n'épuise pas la physique, car elle laisse de côté la chiralité qui joue aussi un grand rôle. On passera enfin aux manières de « peser la topologie », via l'estimation du coût énergétique à violer la topologie (création, annihilation de skyrmions). Le cours s'appuiera en partie sur des expériences récentes sur les skyrmions, ainsi que sur d'autres expériences plus anciennes.

## Suggestions de lecture

6. G. Toulouse, M. Kléman, Principles of a classification of defects in ordered media, *J. Physique Lett.* **37**, L149-151 (1976).
7. N.D. Mermin, The topological theory of defects in ordered media, *Rev. Mod. Phys.* **51**, 591-648 (1979); M. Kléman, *Points. Lignes. Parois* (Éditions de Physique, Orsay, 1977).
8. L. Michel, Symmetry defects and broken symmetry. Configurations hidden symmetry, *Rev. Mod. Phys.* **52**, 617-651 (1980); H.-R. Trebin, The topology of non-uniform media in condensed matter physics, *Adv. Phys.* **31**, 195-254 (1982).
9. T.H.R. Skyrme, A non-linear theory of strong interactions, *Proc. Roy. Soc. A* **247**, 260-278 (1958); A unified field theory of mesons and baryons, *Nucl. Phys.* **31**, 556-569 (1962).
10. A.A. Thiele, Steady-state motion of magnetic domains, *Phys. Rev. Lett.* **30**, 230-233 (1973); Application of the gyrocoupling vector and dissipation dyadic in the dynamics of magnetic domains, *J. Appl. Phys.* **45**, 377-393 (1974).