Titre : « Expliquer les transitions de phase et leur universalité dans les systèmes finis »

Résumé long :

Le phénomène de transitions de phases, c'est-à-dire le changement soudain de propriétés physiques macroscopiques telles que la solidification de l'eau liquide ou l'aimantation de certains matériaux, fait l'objet d'intenses discussions en philosophie des sciences. Un des enjeux philosophiques majeurs est celui du *réductionnisme* : selon certains philosophes (Batterman 2011, 2017; Morrison 2012, 2015), les transitions de phase décrites par la thermodynamique ne peuvent pas être *réduites* à une théorie plus fondamentale, la physique statistique. Dans cette communication, je défends au contraire une conception réductionniste des transitions de phase en suivant et développant une proposition faite récemment par Hütteman et al. (2015).

Commençons par expliciter le problème du réductionnisme posé par les transitions de phases. En thermodynamique, les transitions de phases correspondent à des singularités de certaines quantités, c'est-à-dire des valeurs qui tendent vers l'*infini*. La physique statistique permet aussi une description des transitions de phase mais ne peut décrire ces singularités que dans la limite où le nombre de constituants tend vers l'*infini*. Dans ces conditions, selon Batterman (2011), les transitions de phases thermodynamiques « ne peuvent pas être expliquées de manière réductionniste par les théories plus fondamentales de la physique statistique. (…) La raison sous-jacente à cette thèse négative tient au fait que ces changements requièrent certaines idéalisations *infinies*. (…) Il en découle que la mécanique statistique des systèmes finis est insuffisante pour expliquer ces phénomènes » (p. 1033). Dans cet exposé, je vais me concentrer plus précisément sur l'un des arguments anti-réductionniste majeurs avancés par ces auteurs. Il s'agit du cours à la *théorie du groupe de renormalisation* (GR) pour expliquer les transitions de phases. Cette théorie permet de prédire quantitativement les transitions de phases, par exemple la température à laquelle elles se produisent (la température critique). Mais surtout, cette théorie permet d'expliquer l'*universalité* des transitions de phases, c'est-à-dire le fait que des matériaux très différents obéissent aux mêmes lois proche d'une transition de phase (voir Batterman 2017, p. 566). L'explication de cette universalité repose sur le fait que, proche de la transition de phase (plus précisément dans le régime critique), les fluctuations des grandeurs thermodynamiques deviennent très grandes, bien plus grandes que la portée des interactions locales entre les constituants. Le détail des interactions locales n'a alors plus d'influence. Pour déterminer quantitativement ces quantités thermodynamiques, le GR opère des transformations successives sur le systèmes qui éliminent à chaque fois les détails microscopiques non pertinents. Or, ces transformations successives font appel à des limites infinies pour déterminer des « points fixes », c'est-à-dire des systèmes-limites qui ne changent plus après de nouvelles transformations successives. Ainsi, selon Batterman, la théorie du GR « représente un tournant dans la conception traditionnelle des théories physiques qui (…) assigne d'habitude aux infinis mathématiques un rôle simplement pragmatique. Les infinis et le continu sont d'habitude utilisés pour simplifier les calculs » (2017, p. 573). Au contraire, avec la théorie du GR, les infinis sont des éléments *constitutifs* et indispensables à la description et l'explication des transitions de phases et de leur universalité.

Cette position anti-réductionniste a soulevé de nombreuses et différentes critiques (Callender 2001, Butterfield 2011, Norton 2012, Menon & Callender 2013). Dans cette communication, je vais m'intéresser à une nouvelle critique adressée récemment par Hütteman et al. (2015). De manière assez surprenante, ces auteurs mettent en lumière une théorie qui permet de décrire en pratique les transitions de phases et d'expliquer leur universalité pour des systèmes *finis*. Il s'agit de la théorie du *finite size scaling* (Barber 1983 et autres références dans la bibliographie). Cette théorie consiste à modifier de manière *finitiste* la théorie du GR. Ainsi, selon ces auteurs, « cette modification dans la taille finie de la transformation sous renormalisation donne naissance à la théorie du *finite size scaling* (FSS) qui décrit en détail de manière quantitative la manière dont les singularités critiques sont atténuées à cause des effets de taille finie. (…) Dans le cas de l'universalité, la théorie du finite size scaling fournit des explications réductionnistes aux similarités observées dans les macro-comportements des différents types de systèmes » (Hütteman et al. 2015,

p. 188). Cette proposition fondée sur l'analyse de la théorie du FSS n'a pas encore été discutée en philosophie des sciences (excepté par Morrison (2015), p. 110). Le but de cette communication est d'examiner en quel sens cette théorie permet d'*expliquer*, dans le cadre de la mécanique statistique, les transitions de phase et leur universalité pour des systèmes *finis*.

Pour cela, je commencerai par présenter brièvement les principes de la théorie du FSS ainsi que certaines applications contemporaines. Il s'agira d'une présentation synthétique à partir des travaux notamment de Barber (1983) et Privman, V. (1990). J'examinerai ensuite en quel sens cette théorie permet d'*expliquer les transitions de phases et leur universalité pour des systèmes finis*. Je répondrai en particulier à l'objection soulevée par Morrison (2015) qui soutient que la théorie du FSS fait quand même appel à des résultats utilisant les limites infinies pour dériver les températures critiques et les exposants critiques dans les systèmes *finis*. Pour cela, je défendrai que les limites infinies, *dans le cadre de la FSS*, doivent être interprétées comme des *outils mathématiques*. Elles ne peuvent pas être considérées comme des obstacles à un explication réductionniste. Je m'appuierai notamment sur l'analyse proposée par Palacios (2017) du GR dont la théorie du FSS est, selon moi, un cas pratique de sa proposition pour résoudre le problème du réductionniste dans les transitions de phase. Enfin, je montrerai que l'élément explicatif de l'universalité au sein de la FSS est le même que dans le cas de la GR : les transformations successives font que les interactions à courte portée deviennent non pertinentes lorsque l'on s'approche du régime critique.

Références

Batterman, R. W. (2011). Emergence, singularities, and symmetry breaking, *Foundations of physics*, 41: 1031-1050.

Batterman, R. W. (2017). Philosophical Implications of Kadanoff's Work on the Renormalization Group, *Journal of Statistical Physics*, 167: 559–574.

Barber, M.N (1983). Finite-size scaling. In: Domb, C., Lebowitz, J.L. (eds.) *Phase Transitions and Critical Phenomena*, vol. 8, pp. 146–266. Academic Press, London.

Butterfield, J. (2011). Less is different: Emergence and reduction reconciled. *Foundations of Physics*, 41, 1065–1135.

Callender, C. (2001). Taking thermodynamics too seriously. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 32, 539–553.

Hüttemann, A., R. Kühn, O. Terzidis (2015). Stability, Emergence and Part-Whole-Reduction in: *Why More is Different*, B. Falkenburg, M. Morrison (eds), Springer, Heidelberg, pp 169-299.

Menon, T. et Callender, C. (2013). Turn and face the strange. Ch-ch-changes: Philosophical questions raised by phase transitions. In R. W. Batterman (Ed.), *The Oxford handbook for the philosophy of physics*. New York: Oxford University Press.

Morrison, M. (2012). Emergent physics and micro-ontology. *Philosophy of Science*, 79, 141-166.

Morrison, M. (2015). Why Is More Different?, in: *Why More is Different?*, B. Falkenburg, M. Morrison (eds), Springer, Heidelberg, pp 91-114.

Norton, J. (2012). Approximation and idealization: Why the difference matters. *Philosophy of Science*, 79(2), 207–232.

Palacios, P. (2017). Phase Transitions: A Challenge for Reductionism? preprint: http://philsci-archive.pitt.edu/13522/

Privman, V. (1990), *Finite-Size Scaling and Numerical Simulations of Statistical Systems*, World Scientific, Singapore, 1990.