

# L'épistémologie de Mario Bunge et l'enseignement des modèles et de la modélisation en science : le cas des modèles de l'atome

Juliana Machado

**RÉSUMÉ** — Les conceptions que les étudiants en sciences ont de la nature des modèles scientifiques conduisent à une image inexacte de ceux-ci, notamment lorsque les modèles sont vus comme de simples copies de la réalité. Outre le fait qu'elle entretient une conception fautive de la nature de la science, cette façon de se figurer les modèles peut constituer un obstacle pédagogique à l'apprentissage. *Objectifs* : nous évaluons l'épistémologie de Mario Bunge afin de déterminer si elle peut contribuer à résoudre les problèmes liés à la nature des modèles dans un contexte d'enseignement des sciences. *Approche* : après avoir identifié les principales catégories des modèles chez Bunge, nous les employons pour examiner divers aspects du développement historique des modèles atomiques, puis nous appliquons le cadre théorique ainsi obtenu aux problèmes liés aux diverses conceptions des modèles en enseignement des sciences. *Participants* : en raison de la nature théorique de cette recherche, cette étude ne fait pas appel à des participants autres que les chercheurs des recherches mentionnées. *Collecte et analyse des données* : nous avons effectué une analyse comparative constante afin d'identifier les schémas de signification communs au cas historique et au cadre théorique. *Résultats* : les caractéristiques attribuées aux modèles par Bunge ont été identifiées dans le cas des modèles atomiques. Ces caractéristiques forment un point de vue cohérent et permettent d'aborder, dans le contexte de l'enseignement des sciences, plusieurs questions liées aux diverses conceptions des modèles.

**ABSTRACT** — Conceptions about the nature of scientific models held by science students frequently involve distorted views, with a tendency to consider them as mere copies of reality. Besides encompassing an untenable view about the nature of science itself, this misconstruction can effectively be a pedagogical impediment to learning. *Objectives*: We evaluate whether Mario Bunge's epistemology might contribute to tackling issues related to the nature of models in science education contexts. *Design*: After identifying Bunge's main model categories, we employ them to examine aspects of the historical development of atomic models and contrast the resulting framework with issues about model conceptions in science education, as pointed out in the literature. *Setting and participants*: Due to this research's theoretical nature, this study did not include human participants other than authors from the

literature and the theoretical framework. *Data collection and analysis:* We performed a constant comparative analysis to identify patterns of meanings shared between the historical case and the theoretical framework. *Results:* Features of models pointed out by Bunge were identified in the development of atomic models and could provide consistent and explanatory viewpoints about key issues related to model conceptions in science education. *Conclusions:* Bunge's framework might help to clarify aspects of the nature of models relevant to science education contexts.

**L**a valeur des modèles et de la modélisation pour l'enseignement des sciences est reconnue depuis longtemps. Malgré une utilisation répandue des modèles et de la modélisation en science, les chercheurs soutiennent divers points de vue sur la nature des modèles. Cet article ne traite pas de ces diverses façons de concevoir les modèles. Nous exposerons qu'une seule approche sur les modèles et la modélisation, potentiellement utile pour traiter des problèmes que ces notions soulèvent en enseignement des sciences, telles que la nature de l'idéalisation et de l'abstraction. Puis nous appliquerons cette approche au cas des modèles atomiques.

Pour atteindre cet objectif, nous présentons d'abord le contexte dans lequel s'inscrivent les questions mentionnées ci-dessus, puis nous décrivons l'approche de Mario Bunge pour l'analyse des modèles et de la modélisation, qui accorde une attention particulière à la relation entre la connaissance scientifique et la réalité. Par la suite, nous approfondissons la discussion sur les notions d'abstraction et d'idéalisation, qui sont au cœur de cette relation. Ensuite, nous utilisons ces résultats pour interpréter divers aspects du développement des modèles atomiques, de Joseph J. Thompson à Arnold Sommerfeld. Enfin, nous discutons des implications pédagogiques en montrant comment l'approche de Bunge aide à clarifier la nature des modèles dans un contexte d'enseignement des sciences.

## **1] Contexte**

Dans sa critique du projet Nuffield, alors récemment publiée, Gebert (1969) ne fait appel qu'à sa propre expérience d'enseignement pour affirmer qu'en général les élèves du secondaire ne sont pas capables de comprendre et de manipuler correctement les modèles, principalement parce qu'ils les considèrent comme des «réalités physiques». En attribuant ce fait à l'immaturation des élèves et en



craignant qu'une exposition précoce à la modélisation ait des effets néfastes sur l'apprentissage, Gebert (1969) propose d'éviter complètement le sujet jusqu'à ce que les élèves atteignent un âge où ils peuvent le comprendre correctement, ce qui se produirait, selon l'auteur, vers l'âge de 17 ou 18 ans.

Le diagnostic de Gebert (1969) a été continuellement confirmé par la recherche en enseignement des sciences : il semble que les étudiants aient tendance à comprendre les modèles davantage comme des copies de la réalité que comme des représentations conceptuelles, partielles et approximatives. Cependant, les solutions proposées pour résoudre ce problème divergent des suggestions de Gebert (1969). Grosslight et ses collègues (1991), par exemple, ont interrogé des élèves de septième et onzième années de l'enseignement obligatoire aux États-Unis pour étudier leurs conceptions des modèles et ont mis en évidence – tout comme Gebert (1969) – la difficulté pour les deux groupes à distinguer les modèles scientifiques et les réalités qu'ils sont censés représenter. Plutôt que de proposer d'abandonner l'enseignement des modèles, les auteurs avancent trois suggestions : (1) présenter aux étudiants des problèmes qui nécessitent l'utilisation de modèles ; (2) explorer plusieurs modèles d'un même phénomène par leurs révisions et leurs modifications ; et (3) faire un effort didactique de réflexion métaconceptuelle sur la nature des modèles.

En ce qui concerne les causes possibles des symptômes mis en évidence par Gebert (1969) et plusieurs autres chercheurs, Harrison et Treagust (2000) ont indiqué les raisons pour lesquelles les élèves ne comprennent pas la nature de la science et le contenu scientifique lui-même. Un point souligné par les auteurs est l'absence de discussions dans les manuels du caractère représentationnel des modèles scientifiques, ce qui vaut aussi pour les pratiques éducatives en classe : habituellement, les discussions sur la nature des modèles, de leur utilisation, de la possibilité de développer des modèles provisoires et de les évaluer, restent absentes de l'enseignement des sciences (Gilbert & Osborne 1980). Cela peut s'expliquer en partie par les difficultés de l'enseignant à distinguer le modèle scientifique de l'objet ou de l'évènement modélisé (Coll *et al.* 2005). Ainsi, le cursus scolaire néglige traditionnellement le caractère approximatif des modèles, tendant à les présenter comme de simples copies de la réalité (Lefkadtou, Korfiatis & Hovardas 2014).

dans d'autres situations afin de contribuer à la formation de nouveaux modèles théoriques. Le point à souligner ici est la flexibilité des éléments d'une modélisation afin d'amener l'élève à reconnaître et à mobiliser ces éléments de modélisation dans de nouvelles situations. Cela est possible parce que des éléments tels que les modèles-objets (p. ex., les masses ponctuelles) et les théories générales (p. ex., la loi de Newton) peuvent être articulés de différentes manières afin de construire un grand nombre de modèles théoriques dans un domaine conceptuel donné (comme la mécanique).

## **8] Conclusion**

Portides soutient que la compréhension de «la façon dont les théories scientifiques se rapportent à l'expérience» est un élément métascientifique clé pour améliorer la capacité de penser scientifiquement (Portides 2007, p. 700). Dans le présent article, nous avons également affirmé qu'il s'agissait d'une question pertinente en enseignement des sciences, en particulier pour permettre aux étudiants d'attribuer une signification aux concepts et théorisations scientifiques. En outre, nous avons élargi la question de «comment les théories scientifiques se rapportent-elles à l'expérience» à «comment les théories scientifiques se rapportent-elles à la réalité», puisque la réalité est en fin de compte le référent de la connaissance scientifique. Comme nous l'avons souligné, les étudiants ont tendance à confondre les objets réels avec les connaissances de ces objets. Comme pour Portides (2007), nous avons également soutenu que les modèles servent de liens entre la réalité et les connaissances scientifiques.

Pour traiter le problème de la relation entre les connaissances scientifiques et la réalité, il est nécessaire d'avoir comme fondement un cadre permettant de comprendre cette relation, ainsi que les rôles de la théorie, des modèles et de tous les autres éléments qui participent au processus de modélisation. Dans la mesure où la théorie bungeenne des modèles offre un cadre cohérent et bien articulé pour ces relations, la transposition des idées de Bunge dans un contexte éducatif peut constituer un tel fondement et contribuer potentiellement à résoudre ce problème pédagogique. L'enseignement de l'histoire des sciences, les activités expérimentales et le développement des compétences mathématiques peuvent également constituer des méthodes alternatives qui favorisent les

pratiques de modélisation en classe. En particulier, nous avons soutenu que les idées de Bunge sur les modèles et la modélisation peuvent offrir un cadre potentiellement fécond pour aider à surmonter la difficulté à établir les liens entre les théories scientifiques et la réalité en enseignement des sciences.

Enfin, il faut noter que toute proposition, qu'elle soit pédagogique ou épistémologique, a ses limites. En ce sens, nous tenons à souligner que la défense du cadre théorique présenté ici ne doit pas être interprétée comme un refus d'examiner d'autres cadres possibles pour l'enseignement de la modélisation. Le cadre présenté vise à aborder spécifiquement la problématique de l'enseignement des modèles exposée au début de cet article. Comme Bunge lui-même l'enseigne, il est toujours possible, du moins a priori, d'aborder un problème sous différents angles théoriques sans que cela conduise à une incohérence ou à une exclusion mutuelle. Par conséquent, l'adoption d'autres cadres pour résoudre le problème est possible et peut compléter les contributions que nous cherchons à développer ici. Par ailleurs, le rôle que jouent les modèles pour relier la théorie à la réalité, sur lequel nous nous sommes penchés dans cet article, n'est pas le seul rôle des modèles, comme l'ont déjà remarqué Morgan & Morrison (1999). Ainsi, d'autres aspects de la modélisation peuvent être étudiés et explorés, peut-être même de manière plus appropriée, à l'aide de lunettes conceptuelles différentes de celle de Bunge. Cela signifie que nous considérons chaque lunette comme un modèle de modèles.

## Références

- Bohr N. (1913), «On the Constitution of Atoms and Molecules», *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26(153), p. 476-502.
- Bunge M. (1973a), *Method, Model and Matter*, Reidel.
- Bunge M. (1973b), *Philosophy of Physics*, Reidel.
- Bunge M. (1977), *Treatise on Basic Philosophy: Ontology I, the Furniture of the World*, Reidel.
- Bunge M. (1985), *Treatise on Basic Philosophy: Epistemology and Methodology III, Philosophy of Science and Technology*. Reidel.
- Bunge M. (1991), «Una Caricatura de la Ciencia: La Novísima Sociología de la Ciencia», *Interciencia*, 16(2), 69-77.
- Bunge M. (2020), *Dictionnaire philosophique*, Éditions Matériologiques.
- Cartwright N. (1989), *Nature's Capacities and Their Measurement*, Clarendon.
- Coll R.K., France B. & Taylor I. (2005), «The Role of Models and Analogies in

- Science Education: Implications from Research», *International Journal of Science Education*, 27(2), p. 183-198.
- Davis E.A. & Falconer I.J. (1997), *J. J. Thomson and the Discovery of the Electron*, Taylor & Francis.
- Eckert M. (2014), «How Sommerfeld Extended Bohr's Model of the Atom (1913-1916)», *The European Physical Journal H*, 39(2), p. 141-156.
- Gebert H. (1969), «Physical Models», *Physics Education*, 4(2), p. 117-118.
- Gilbert J.K. & Osborne R.J. (1980), «The Use of Models in Science and Science Teaching», *European Journal of Science Education*, 2(1), p. 3-13.
- Gilbert J.K., Pietrocola M., Zylbersztajn A. & Franco C. (2000), «Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model», in J.K. Gilbert & C.J. Boulter (dir.), *Developing Models in Science Education*, Springer.
- Gilbert J.K. & Justi R. (2016), *Modelling-Based Teaching in Science Education*, Springer.
- Glaser B.G. (1965), «The Constant Comparative Method of Qualitative Analysis», *Social Problems*, 12(4), p. 436-445
- Glaser B.G. & Strauss A. (1967), *The Discovery of Grounded Theory*, Aldine.
- Grosslight L., Unger C., Jay E. & Smith C.L. (1991), «Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts», *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), p. 799-822.
- Harrison A. G. & Treagust D. F. (2000), «A Typology of School Science Models», *International Journal of Science Education*, 22(9), p. 1011-1026.
- Hessen J. (1997), *Teoría del Conocimiento*, Panamericana.
- Hodson D. (2014), «Learning Science, Learning About Science, Doing Science: Different Goals Demand Different Learning Methods», *International Journal of Science Education*, 36(15), p. 2534-2553.
- Justi R. & Gilbert J. (2000), «History and Philosophy of Science Through Models: Some Challenges in the Case of "The Atom"», *International Journal of Science Education*, 22(9), p. 993-1009.
- Krapas S., Queiroz G., Colinviaux D. & Franco C. (1997), «Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de Ciências», *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), p. 185-205.
- Lefkaditou A., Korfiatis K. & Hovardas T. (2014), «Contextualising the Teaching and Learning of Ecology: Historical and Philosophical Considerations», in M.R. Matthews (dir.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, p. 523-550.
- Lombardi O., Cordero A. & Pérez Ransanz A.R. (2020), «Philosophy of Science in Latin America», *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (édition printemps 2020).
- Machado J. & Braga M. (2016), «Can the History of Science Contribute to Modelling in Physics Teaching? The Case of Galilean Studies and Mario Bunge's Epistemology», *Science & Education*, 25(7), p. 823-836.
- Machado J. & Fernandes B.L.P. (2021), «Model Conceptions in Science Education Research: Features and Trends», *Ciência & Educação*, 27.
- Matthews M.R. (2007), «Models in Science and in Science Education: An Introduction», *Science & Education*, 16(7-8), p. 647-652.
- McMullin E. (1985), «Galilean Idealization», *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 16(3), p. 247-273.

- Morgan M. & Morrison M. (1999), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge University Press.
- Morrison M. (2007), «Where Have All the Theories Gone?», *Philosophy of Science*, 74(20), p. 195-228.
- Niiniluoto I. (2002), *Critical Scientific Realism*, Oxford University Press.
- Palmieri P. (2003), «Mental Models in Galileo's Early Mathematization of Nature», *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 34(2), p. 229-264.
- Pawluch D. (2005), «Qualitative Analysis: Sociology». in K. Leonard (dir.), *Encyclopedia of Social Measurement*, Elsevier, p. 231-236.
- Portides D. (2007), «The Relation Between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction», *Science & Education*, 16(8), p. 699-724.
- Portides D. (2013), «Idealization in Physics Modelling», in V. Vassilios & D. Dieks, *Proceedings of EPSA11 Perspectives and Foundational Problems in Philosophy of Science*, Springer, p. 103-113.
- Quine W. (1985), *The Time of My Life: An Autobiography*, MIT Press.
- Rutherford E. (1911), «The Scattering of Particles by Matter and the Structure of the Atom», *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(125), p. 669-688.
- Schwarz C.V., Passmore C. & Reiser B. J. (2017), *Helping Students Make Sense of the World Using Next Generation Science and Engineering Practices*, NSTA Press.
- Suppe F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, University of Illinois Press.
- Taber K.S. (2012), «The Natures of Scientific Thinking: Creativity as the Handmaiden to Logic in the Development of Public and Personal Knowledge», in M.S. Khine (dir.), *Advances in Nature of Science Research*, Springer, p. 51-74.
- Taber K.S. (2013), «The Centrality of Models for Knowledge Claims in Science Education», in *Modelling Learners and Learning in Science Education*. Springer, p. 3-24.

Cet article est protégé par une licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>) et a été publié pour la première fois en anglais dans Acta Scientiae : [https://www.researchgate.net/publication/364940169\\_Making\\_Sense\\_of\\_Models\\_and\\_Modelling\\_in\\_Science\\_Education\\_Atomic\\_Models\\_and\\_Contributions\\_from\\_Mario\\_Bunge%27s\\_Epistemology](https://www.researchgate.net/publication/364940169_Making_Sense_of_Models_and_Modelling_in_Science_Education_Atomic_Models_and_Contributions_from_Mario_Bunge%27s_Epistemology).