

Fondements des technologies de l'information d'après la philosophie systémiste de la réalité de Bunge

Roman Lukyanenko, Veda C. Storey, Oscar Pastor¹

RÉSUMÉ — L'ontologie générale constitue un fondement théorique important pour l'analyse, la conception et le développement dans les technologies de l'information. L'ontologie est une branche de la philosophie qui étudie ce qui existe dans la réalité. Une ontologie largement utilisée dans les systèmes d'information, en particulier pour la modélisation conceptuelle, est l'ontologie BWB (Bunge-Wand-Weber), fondée sur les idées du philosophe et physicien Mario Bunge, telles que synthétisées par Wand et Weber. Cette ontologie a été élaborée à partir d'une ancienne version de la philosophie de Bunge; cependant, de nombreuses idées de Bunge ont évolué depuis lors. Une question importante est donc la suivante: les idées les plus récentes exprimées par Bunge appellent-elles une nouvelle ontologie? Dans cet article, nous analyserons des travaux récents et antérieurs de Bunge afin de répondre à cette question. Nous présentons une nouvelle ontologie basée sur les travaux plus récents de Bunge que nous nommons *ontologie systémiste de Bunge* (*Bunge's Systemist Ontology*, BSO). Nous comparons ensuite BSO aux constructions de BWB. La comparaison révèle à la fois un chevauchement considérable entre BSO et BWB, ainsi que des différences substantielles. À partir de cette comparaison et de l'exposition initiale de BSO, nous proposons des suggestions pour diverses études ontologiques et

[1] **Roman Lukyanenko** est professeur agrégé au Département des technologies de l'information aux HEC Montréal, Canada. Il a obtenu son doctorat du Memorial University of Newfoundland sous la supervision de Jeffrey Parsons. Les champs d'intérêt de Roman incluent la modélisation conceptuelle, la qualité de l'information, le *crowdsourcing*, l'apprentissage automatique, et les méthodes de recherche (validités de recherche et échantillonnage). roman.lukyanenko@mun.ca **Veda C. Storey** est Tull Professor of Computer Information Systems et professeur d'informatique au J. Mack Robinson College of Business, Georgia State University. Ses intérêts de recherche portent sur les systèmes d'information intelligents, la gestion des données et la modélisation conceptuelle. **Oscar Pastor** est professeur titulaire et directeur du Centre de recherche « Métodos de Producción de Software (PROS) » à l'Universidad Politécnica de Valencia (Espagne). Superviseur de 32 thèses de doctorat et avec un indice *h* de 49 selon Google Scholar, il a publié plus de 400 articles de recherche dans des actes de conférence, des revues et des livres.

identifions des questions qui pourraient alimenter un programme de recherche tant en modélisation conceptuelle qu'en technologie de l'information en général.

ABSTRACT — General ontology is a prominent theoretical foundation for information technology analysis, design, and development. Ontology is a branch of philosophy which studies what exists in reality. A widely used ontology in information systems, especially for conceptual modeling, is the BWW (Bunge–Wand–Weber), which is based on ideas of the philosopher and physicist Mario Bunge, as synthesized by Wand and Weber. The ontology was founded on an early subset of Bunge's philosophy; however, many of Bunge's ideas have evolved since then. An important question, therefore, is: do the more recent ideas expressed by Bunge call for a new ontology? In this paper, we conduct an analysis of Bunge's earlier and more recent works to address this question. We present a new ontology based on Bunge's later and broader works, which we refer to as *Bunge's Systemist Ontology (BSO)*. We then compare BSO to the constructs of BWW. The comparison reveals both considerable overlap between BSO and BWW, as well as substantial differences. From this comparison and the initial exposition of BSO, we provide suggestions for further ontology studies and identify research questions that could provide a fruitful agenda for future scholarship in conceptual modeling and other areas of information technology.

La société humaine ne cesse d'accroître sa dépendance à l'égard des technologies de l'information (TI). Cette dépendance ne fera que se renforcer à la suite de la pandémie de COVID-19, donnant un nouvel élan aux activités en ligne (Watson *et al.* 2020, Weinhardt *et al.* 2020). Le monde devient numérique, ce qui se produit particulièrement rapidement depuis la dernière décennie et demie (Floridi 2012, Recker *et al.* 2021, Yoo & Lyytinen 2005). Il est donc préoccupant que les projets des TI qui soutiennent cette informatisation de la société échouent (Gupta *et al.* 2019, Nelson 2007). Les TI ne sont pas toujours faciles d'utilisation (Eveleigh *et al.* 2014, Stephanidis *et al.* 2019); les données numériques continuent d'être de mauvaise qualité (Batini *et al.* 2015, Daniel *et al.* 2018). Ces problèmes ont une caractéristique commune en ce qu'ils concernent directement ou indirectement la manière dont les TI façonnent et représentent les domaines du monde réel.

Il est essentiel de construire une informatique appuyée par des bases théoriques et méthodologiques solides (Guerreiro, Kervel & Babkin 2013, Henderson-Sellers 2015, Weber 1997). Cependant, le développement informatique continue souvent d'être mené de manière *ad hoc*, les résultats étant fortement tributaires des compétences et de la formation des développeurs (Anderson *et al.* 2013, Duboue 2020, Pastor 2016). À la base, les technologies de

Page laissée intentionnellement vide

Ceci est un extrait

Procurez-vous *Metascience* aux

Éditions Matériologiques

Publications en sciences, histoire et philosophie des sciences

l'information manipulent des symboles. Il est alors important de s'assurer que les relations entre ces symboles sur lesquelles repose l'informatique soient associées de manière appropriée à leurs référents réels (Weber 1997). Par exemple, l'inventaire physique des voitures chez un concessionnaire peut être représenté symboliquement à l'aide de modèles binaires stockés sur un disque dur d'ordinateur et géré et organisé par un système de gestion de base de données. La base de données, à son tour, peut être accessible aux acheteurs potentiels sur Internet par une interface Web. Afin que les clients potentiels du concessionnaire acquièrent une connaissance précise des types de voitures réellement offertes, il est essentiel de s'assurer que la structure de bits et d'octets est correctement gérée par le système de gestion de base de données. Cette structure, à son tour, doit être correctement conçue en fonction d'un modèle adéquat du domaine d'activité du concessionnaire automobile. Par conséquent, l'objectif de construire une meilleure informatique implique des recherches sur la relation entre ce qui est stocké et manipulé dans un ordinateur et ses référents dans le monde réel.

Historiquement, l'un des fondements les plus féconds et les plus efficaces pour l'analyse, la conception et le développement informatique a été l'*ontologie*. L'ontologie est une branche de la philosophie qui étudie la nature de la réalité et ce qui existe dans la réalité (Gonzalez-Perez 2015, Guizzardi 2005). Dans la présente étude, nous nous concentrons sur une *ontologie générale*, également connue sous le nom d'ontologie fondamentale ou de niveau supérieur. Une ontologie générale peut suggérer aux TI une signification aux notions de base de ce qui existe dans la réalité qui est théoriquement fondée, cohérente, formalisée et rigoureuse².

En raison de leur potentiel à fonder les TI sur des bases méthodologiques plus solides, les résultats des recherches ontologiques sont largement utilisés par la communauté des TI. Les applications sont particulièrement prometteuses en recherche sur le Web séman-

[2] Une ontologie générale est donc différente d'une ontologie locale. Une ontologie locale est une description (souvent formelle) des construits d'un domaine particulier (McDaniel & Storey 2019). Les exemples incluent une ontologie des défauts, des erreurs et des échecs des logiciels (Duarte *et al.* 2018), la conception de bases de données (Sugumaran & Storey 2002, 2006) ou une ontologie de validité de la recherche (Lukyanenko, Larsen, *et al.* 2019), et bien d'autres dans divers domaines (McDaniel & Storey 2019, Purao & Storey 2005).

y compris les politiques sociales ou les plans architecturaux. Ici, Bunge (1985, p. 244) a suggéré qu'« une conception ou un plan est *défectueux* s'il néglige l'une des trois caractéristiques d'un système : sa composition, son environnement ou sa structure (à la fois interne et externe) » (italiques ajoutées)¹⁴. Ainsi, Bunge lui-même croyait que son ontologie devrait être utilisée pour les modèles de conception et d'action et a affirmé que ces modèles seraient *défectueux* autrement. C'est une affirmation forte qui nécessitera de futures recherches pour la corroborer ou la falsifier.

5] Conclusion

Le philosophe Mario Bunge a eu un impact profond sur les domaines de la modélisation conceptuelle, du génie logiciel, de la qualité de l'information et de la conception de bases de données. Une grande partie de cette influence provient de l'ontologie BWW, qui a contribué de façon substantielle à la théorie et à la pratique dans les TI et à la modélisation conceptuelle.

Reconnaissant qu'il existe de nombreux concepts et idées qui ont de profondes implications pour comprendre la réalité que les TI doivent modéliser, nous avons mené une analyse des écrits de Bunge, y compris des consultations personnelles avec Bunge. En conséquence, nous avons acquis une nouvelle perspective sur les idées et les croyances de Bunge. Ces idées ne constituent pas une simple extension des travaux antérieurs. Nous avons plutôt synthétisé la pensée récente de Bunge dans une nouvelle ontologie, *l'ontologie systémiste de Bunge* ou BSO. Certaines parties de BWW et BSO se chevauchent, de sorte qu'une continuité importante des travaux ontologiques basés sur Bunge dans les TI est préservée. En outre, BSO propose une nouvelle perspective aux TI, car il oriente les efforts de modélisation vers les systèmes au détriment des individus, et inaugure une prise en compte beaucoup plus grande de l'épistémologie et de l'axiologie. Par conséquent, une nouvelle ontologie est justifiée.

BSO contient des concepts qui peuvent ouvrir de nouvelles perspectives et possibilités pour les technologies de l'information, y com-

[14] On voit ici une référence au modèle CESM (composition, environnement, structure), mais le mécanisme en tant que composant du modèle n'a été développé par Bunge qu'au début des années 2000, et est donc absent de ce passage écrit en 1985.

pris pour la modélisation conceptuelle, l'ingénierie logicielle, l'ingénierie de l'ontologie et bien d'autres domaines des TI. Nous discutons en détail certaines de ces possibilités dans une série d'études qui visent à découvrir et à appliquer l'œuvre de Mario Bunge. Dans un monde qui s'appuie de plus en plus sur les TI, ces nouvelles idées de Mario Bunge pourraient s'avérer utiles pour améliorer la façon dont les TI représentent et façonnent la réalité.

Cet article est protégé par une licence Creative Commons 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>) et a été publié pour la première fois en anglais dans *Software and Systems Modeling* : <https://doi.org/10.1007/s10270-021-00862-5>.

| TABLEAU 1 | | | |
|---|--|--|---|
| Comparaison des construits fondamentaux de BWW et BSO | | | |
| <p>Notez que la comparaison est basée sur des construits de BWW exposés dans Wand & Weber (1993, p. 222-223). Certains construits de BSO (par exemple, processus, fait) se trouvent dans le <i>Treatise</i>, mais n'apparaissent pas dans la référence précédente, source originale de BWW.</p> | | | |
| Construit | Définition de BWW | Définition de BSO | Comparaison et analyse |
| Chose | « Une chose est l'unité élémentaire de notre modèle ontologique. Le monde réel est composé de choses. Une chose composite peut être constituée d'autres choses composites ou de choses simples » | s.o. | Pour BWW, la chose est la primitive ontologique fondamentale qui se suffit à elle-même. Pour BWW, un système est un type de chose – une chose dotée d'une structure. Pour BSO, nous suggérons que toutes les choses soient des systèmes (notez notre mise en garde concernant les particules élémentaires expliquées dans le texte) |
| Système | « Un ensemble de choses est un système si, pour toute bipartition de l'ensemble, un couplage existe entre les choses des deux sous-ensembles » | « objet complexe dont chaque partie ou composant est lié à d'autres parties du même objet d'une manière telle que le tout possède certaines caractéristiques que ses composants ne possèdent pas, c'est-à-dire des propriétés émergentes » (Bunge 1996, p. 20) | Pour BWW, le système est compris en termes de choses – la primitive ontologique fondamentale. Pour BSO, la chose est définie en termes de système ; une chose est un type de système |

| Construit | Définition de BWW | Définition de BSO | Comparaison et analyse |
|----------------------|--|--|---|
| Propriété | « Les choses sont connues par leurs propriétés. Une propriété associe une chose à une valeur » | La substance (matière et énergie) qui fait des systèmes concrets ce qu'ils sont ; prédicats des systèmes conceptuels (Bunge 2017, p. 175) | Ni BSO ni BWW n'ont de notions formelles de propriété. Dans ses récents écrits (par exemple, Bunge 2017, p. 175), Bunge réitère ses premières idées selon lesquelles les propriétés n'existent pas en elles-mêmes et des entités sans propriétés n'existent pas non plus. La nouvelle notion d'énergie dans BSO rend plus formel le concept de propriété, même si elle ne s'applique qu'aux systèmes concrets |
| Propriétés émergente | « Une propriété d'un objet composite qui appartient à un de ses composants est appelée une propriété héréditaire. Une propriété qui n'appartient à aucun des éléments qui la composent est appelée une propriété émergente » | « Affirmer que P est une propriété émergente de systèmes de type K revient à dire que "P est une propriété globale [ou collective ou non distributive] d'un système de type K, dont aucun des composants ou pré-curseurs ne possède P" » (Bunge 2003, p. 25) | La notion de propriété émergente a subi un changement de BWW à BSO, où cette dernière ontologie la définit comme propriété des systèmes |
| État | «Le vecteur de valeurs pour toutes les propriétés d'une chose est l'état de la chose» | « Liste des propriétés d'un [système à un instant donné] » (Bunge 2017, p. 171) | Pour BWW et BSO, l'état a la même signification |
| Histoire | «Les états chronologiquement ordonnés d'une chose dans le temps constituent l'histoire de la chose» | «Une séquence d'états [d'un système]» (Bunge 1996, p. 24) | Même notion, appliquée maintenant aux systèmes |

| Construit | Définition de BWW | Définition de BSO | Comparaison et analyse |
|------------------|--|--|--|
| Sous-système | « Un sous-système est un système dont la composition et la structure sont des sous-ensembles de la composition et de la structure d'un autre système et dont l'environnement est un sous-ensemble de l'environnement de l'autre système en union avec les choses qui sont dans la composition de l'autre système, mais pas dans la composition du sous-système » | « [un système qui est] à la fois un système et un composant d'un autre système » (Bunge 1996, p. 270) | Le construit est la même pour BWW et BSO. Notez que la variante de BWW est conforme à l'approche systémiste (c'est-à-dire que les sous-systèmes sont des systèmes) |
| Évènement | « Un évènement est un changement d'état d'une chose » | « L'évènement C associé à la chose A provoque l'évènement E associé à la chose B si et seulement si l'occurrence de C génère un transfert d'énergie de A vers B et cause l'apparition de E » (Bunge 2006, p. 91) | Le construit est la même pour BWW et BSO. Notez l'incohérence dans le cas de BSO, car l'évènement est toujours défini en termes de choses, plutôt que de systèmes |
| Classe | Un ensemble d'objets partageant « une propriété commune » | Systèmes avec « une ou plusieurs » propriétés communes (Bunge 1996, p. 111) | Changement notable dans BSO de la conceptualisation des classes en tant que systèmes (conceptuels) |

| Construit | Définition de BWW | Définition de BSO | Comparaison et analyse |
|-----------|--|---|--|
| Genre | Un ensemble d'objets partageant « deux ou plusieurs » propriétés | Classes avec des propriétés interdépendantes (Bunge 2006, p. 13) | Un changement dans BSO qui stipule que les genres ont des propriétés interdépendantes – une notion plus cohérente avec la définition des classes naturelles [<i>natural kinds</i>] par d'autres chercheurs (Fletcher 2013, Hacking 1991) |
| Processus | s.o. | « une séquence, ordonnée dans le temps, d'événements tel que chaque membre de la séquence participe à la détermination du membre suivant » (Bunge 2017, p. 172) | Nouveau construit dans BSO |
| Phénomène | s.o. | « un événement ou un processus tel qu'il apparait à un sujet : c'est un fait perceptible » (Bunge 2017, p. 173) | Nouveau construit dans BSO |
| Fait | s.o. | « tout ce qui est le cas, c'est-à-dire tout ce qui est reconnu ou supposé – fondé sur des raisons – appartenir à la réalité » (Bunge 2017, p. 171) | Nouveau construit dans BSO |
| Objet | s.o. | « tout ce qui est ou peut devenir un sujet de pensée ou d'action » (Bunge 2017, p. 174) | Nouveau construit dans BSO |

| Construit | Définition de BWW | Définition de BSO | Comparaison et analyse |
|----------------------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| Observabilité | s.o. | « x n'est observable que s'il existe au moins un instrument d'enregistrement w, un ensemble de circonstances y et un ensemble d'outils d'observation z, tels que nous pouvons enregistrer x sous y à l'aide de z » (Bunge 2017, p. 185) | Nouveau construit dans BSO |
| Observation (directe) | s.o. | « perception délibérée et éclairée : intentionnelle ou délibérée parce qu'elle est faite dans un but déterminé ; éclairée parce qu'elle est guidée par une connaissance préalable » (Bunge 2017, p. 181) | Nouveau construit dans BSO |
| Observation (indirecte) | s.o. | « inférence hypothétique utilisant à la fois des données d'observation et des hypothèses » (Bunge 2017, p. 181) | Nouveau construit dans BSO |
| Observateur | s.o. | « sujet [de l'observation] » (Bunge 2017, p. 184) | Nouveau construit dans BSO |
| Hypothèse ou hypothèse factuelle | s.o. | proposition corrigible à propos de faits n'ayant pas fait l'objet d'une perception ou ne pouvant pas faire l'objet d'une perception (Bunge 1998, p. 254) | Nouveau construit dans BSO |
| Théorie | s.o. | « un système de propositions dont certaines sont hypothétisées et les autres sont déduites des premières » (Bunge 1996, p. 113) | Nouveau construit dans BSO |

Références

- Agazzi E. (2019), « Systemic Thinking », in M. Matthews (ed.), *Mario Bunge: A Centenary Festschrift*, Springer, p. 219-240.
- Alexander C. (1977), *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press.
- Anderson M.R., Antenucci D., Bittorf V., Burgess M., Cafarella M.J., Kumar A., Niu F., Park Y., Ré C. & Zhang C. (2013), « Brainwash: A Data System for Feature Engineering. », *Sixth Biennial Conference on Innovative Data Systems Research*.
- Batini C., Rula A., Scannapieco M. & Viscusi G. (2015), « From Data Quality to Big Data Quality », *Journal of Database Management*, 26(1), p. 60-82.
- Becker J., Bergener P., Breuker D. & Rackers M. (2010), « Evaluating the Expressiveness of Domain Specific Modeling Languages Using the Bunge-Wand-Weber Ontology », in R. H. Sprague (ed.), *43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE, p. 1-10.
- Bengio Y. (2020), « Priors for Deep Learning of Semantic Representations », *23rd Int. ACM/IEEE Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MoDELS 2020)*, Invited Keynote.
- Bera P., Burton-Jones A. & Wand Y. (2011), « Guidelines for Designing Visual Ontologies to Support Knowledge Identification », *MIS Quarterly*, 35(4), p. 883.
- Bera P., Burton-Jones A. & Wand Y. (2014), « How Semantics and Pragmatics Interact in Understanding Conceptual Models », *Information Systems Research*, 25(2), p. 401-419.
- Berners-Lee T., Hendler J. & Lassila O. (2001), « The Semantic Web », *Scientific American*, 284(5), p. 28-37.
- Bishop C. (2006), *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer-Verlag.
- Bodart F., Patel A., Sim M. & Weber R. (2001), « Should Optional Properties Be Used in Conceptual Modelling? A Theory and Three Empirical Tests », *Information Systems Research*, 12(4), p. 384-405.
- Bodart F. & Weber R. (1996), « Optional Properties Versus Subtyping in Conceptual Modeling: A Theory and Empirical Test », *International Conference on Information Systems*.
- Bonney R., Cooper C.B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V. & Shirk J. (2009), « Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy », *BioScience*, 59(11), p. 977-984.
- Bunge M. (1945), « Neutron-Proton Scattering at 8.8 and 13 MeV », *Nature*, 156(3958), p. 301.
- Bunge M. (1974), *Treatise on Basic Philosophy: Semantics I, Sense and Reference*, Reidel.
- Bunge M. (1977), *Treatise on Basic Philosophy: Ontology I, the Furniture of the World*, Reidel.
- Bunge M. (1979), *Treatise on Basic Philosophy: Ontology II, a World of Systems.*, Reidel.
- Bunge M. (1983), *Treatise on Basic Philosophy: Epistemology and Methodology II, Understanding the World*, Reidel.
- Bunge M. (1985), *Treatise on Basic Philosophy: Epistemology and Methodology III, Philosophy of Science and Technology*, Reidel.
- Bunge M. (1989), *Treatise on Basic Philosophy: Ethics, the Good and the Right*, Reidel.

- Bunge M. (1996), *Finding Philosophy in Social Science*, Yale University Press.
- Bunge M. (1998), *Philosophy of Science: From Explanation to Justification*, Transaction Publishers.
- Bunge M. (2000), « Systemism: The Alternative to Individualism and Holism », *Journal of Socio-Economics*, 2(29), p. 147-157.
- Bunge M. (2003), *Emergence and Convergence: Qualitative Novelty and the Unity of Knowledge*, University of Toronto Press.
- Bunge M. (2006), *Chasing Reality: Strife Over Realism*, University of Toronto Press.
- Bunge M. (2016), *Between Two Worlds: Memoirs of a Philosopher-Scientist*, Springer.
- Bunge M. (2017), *Philosophy of Science: From Explanation to Justification*, Routledge.
- Bunge M. (2018), « Systems Everywhere », in C. V. Negoită (ed.), *Cybernetics and Applied Systems*, CRC Press, p. 23-41.
- Bunge M. (2019), « The Dark Side of Technological Progress », in R. Sassower & N. Laor (dirs.), *The Impact of Critical Rationalism*, Springer, p. 109-113.
- Burton-Jones A., Purao S. & Storey V. (2002), « Context-Aware Query Processing on the Semantic Web », *ICIS 2002 Proceedings*, p. 1-15.
- Burton-Jones A., Recker J., Indulska M., Green P. & Weber R. (2017), « Assessing Representation Theory with a Framework for Pursuing Success and Failure », *MIS Quarterly*, 41(4), p. 1307-1333.
- Burton-Jones A. & Weber R. (2003), « Properties Do Not Have Properties: Investigating a Questionable Conceptual Modeling Practice », *Annual Symposium on Research in Systems Analysis and Design*.
- Burton-Jones A. & Weber R. (2014), « Building Conceptual Modeling on the Foundation of Ontology », in H. Topi & A. Tucker (dirs.), *Computing Handbook: Information Systems and Information Technology*, CRC Press, p. 15.1-15.24.
- Castellanos A., Tremblay M., Lukyanenko R. & Samuel B. (2020), « Basic Classes in Conceptual Modeling: Theory and Practical Guidelines », *Journal of the Association for Information Systems*, 21(4), p. 1001-1044.
- Cheng H., Lu Y.-C. & Sheu C. (2009), « An Ontology-Based Business Intelligence Application in a Financial Knowledge Management System », *Expert Systems with Applications*, 36(2), p. 3614-3622.
- Conesa J., Storey V.C. & Sugumaran V. (2010), « Usability of Upper Level Ontologies: The Case of ResearchCYC », *Data & Knowledge Engineering*, 69(4), p. 343-356.
- Daniel F., Kucherbaev P., Cappiello C., Benatallah B. & Allahbakhsh M. (2018), « Quality Control in Crowdsourcing: A Survey of Quality Attributes, Assessment Techniques, and Assurance Actions », *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(1), p. 7.
- Došilović F.K., Brčić M. & Hlupić N. (2018), « Explainable Artificial Intelligence: A Survey », *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, p. 0210-0215.
- Duarte B.B., Falbo R.A., Guizzardi G., Guizzardi R.S. & Souza V.E. (2018), « Towards an Ontology of Software Defects, Errors and Failures », *International Conference on Conceptual Modeling*, p. 349-362.
- Duboue P. (2020), *The Art of Feature Engineering: Essentials for Machine Learning*, Cambridge University Press.

- Embley D.W., Liddle S.W. & Pastor O. (2011), « Conceptual-Model Programming: A Manifesto », in D. W. Embley & B. Thalheim (dirs.), *Handbook of Conceptual Modeling*, Springer, p. 3-16.
- Eveleigh A., Jennett C., Blandford A., Brohan P. & Cox A.L. (2014), « Designing for Dabblers and Deterring Drop-Outs in Citizen Science », *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 2985-2994.
- Evermann J. & Wand Y. (2006), « Ontological Modeling Rules for Uml: An Empirical Assessment », *Journal of Computer Information Systems*, 46, p. 14-29.
- Falkenberg E.D., Hesse W., Lindgreen P., Nilsson B.E., Oei J.H., Rolland C., Stamper R.K., Assche F., Verrijn-Stuart A.A. & Voss K. (1998), *A Framework of Information System Concepts: The FRISCO Report (Web Edition)*, IFIP.
- Ferrandis A.M.M., Pastor O. & Guizzardi G. (2013), « Applying the Principles of an Ontology-Based Approach to a Conceptual Schema of Human Genome », *International Conference on Conceptual Modeling*, p. 471-478.
- Fletcher G. (2013), « The Role of Natural Kinds in Science », *Atlas Summit 2013*.
- Floridi L. (2012), « The Road to the Philosophy of Information », in H. Demir (ed.), *Luciano Floridi's Philosophy of Technology: Critical Reflections*, Springer, p. 245-271.
- Gangemi A., Guarino N., Masolo C., Oltramari A. & Schneider L. (2002), « Sweetening Ontologies with DOLCE », in A. Gómez-Pérez & V. R. Benjamins (dirs.), *Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web*, Springer, p. 166-181.
- Garzotto F., Paolini P., Bolchini D. & Valenti S. (1999), « "Modeling-by-Patterns" of Web Applications », *International Conference on Conceptual Modeling*, p. 293-306.
- Gemino A. & Wand Y. (2005), « Complexity and Clarity in Conceptual Modeling: Comparison of Mandatory and Optional Properties », *Data & Knowledge Engineering*, 55(3), p. 301-326.
- Gonzalez-Perez C. (2015), « How Ontologies Can Help in Software Engineering », *International Summer School on Generative and Transformational Techniques in Software Engineering*, p. 26-44.
- Guarino N. (1995), « Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation », *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5-6), p. 625-640.
- Guerreiro S., Kervel S.J. & Babkin E. (2013), « Towards Devising an Architectural Framework for Enterprise Operating Systems. », *ICSOFT*, p. 578-585.
- Guizzardi G. (2005), *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*, Telematics Instituut.
- Guizzardi G., Wagner G., Almeida J.P.A. & Guizzardi R.S. (2015), « Towards Ontological Foundations for Conceptual Modeling: The Unified Foundational Ontology (UFO) Story », *Applied Ontology*, 10(3-4), p. 259-271.
- Gunning D. & Aha D.W. (2019), « DARPA's Explainable Artificial Intelligence Program », *AI Magazine*, 40(2), p. 44-58.
- Gupta S.K., Gunasekaran A., Antony J., Gupta S., Bag S. & Roubaud D. (2019), « Systematic Literature Review of Project Failures: Current Trends and Scope for Future Research », *Computers & Industrial Engineering*, 127, p. 274-285.

- Hacking I. (1991), « A Tradition of Natural Kinds », *Philosophical Studies*, 61(1-2), p. 109-126.
- Hempel C.G. (1966), *Philosophy of Natural Science*, Pearson.
- Henderson-Sellers B. (2015), « Why Philosophize; Why Not Just Model? », in P. Johannesson, M.L. Lee, S. W. Liddle, A. L. Opdahl & O. Pastor López (dirs.), *Conceptual Modeling*, Springer, p. 3-17.
- Herre H. (2010), « General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling », in R. Poli, M. Healy & A. Kameas (dirs.), *Theory and Applications of Ontology: Computer Applications*, Springer, p. 297-345.
- Hirst R.J. (2002), *The Problems of Perception*, Routledge.
- Itzik N., Reinhartz-Berger I. & Wand Y. (2015), « Variability Analysis of Requirements: Considering Behavioral Differences and Reflecting Stakeholders' Perspectives », *IEEE Transactions on Software Engineering*, 42(7), p. 687-706.
- Jabbari M., Lukyanenko R., Recker J., Samuel B. & Castellanos A. (2018), « Conceptual Modeling Research: Revisiting and Updating Wand and Weber's 2002 Research Agenda », *AIS SIGSAND*, p. 1-12.
- Jonsson T. & Enquist H. (2019), « Phenomenological Framework for Model Enabled Enterprise Information Systems », *European Conference on Advances in Databases and Information Systems*, p. 176-187.
- Lukyanenko R., Castellanos A., Parsons J., Chiarini Tremblay M. & Storey V.C. (2019), « Using Conceptual Modeling to Support Machine Learning », in C. Cappiello & M. Ruiz (dirs.), *Information Systems Engineering in Responsible Information Systems*, Springer, p. 170-181.
- Lukyanenko R., Castellanos A., Storey V.C., Castillo A., Tremblay M.C. & Parsons J. (2020), « Superimposition: Augmenting Machine Learning Outputs with Conceptual Models for Explainable AI », *1st International Workshop on Conceptual Modeling Meets Artificial Intelligence and Data-Driven Decision Making*, p. 1-12.
- Lukyanenko R., Larsen K.R., Parsons J., Gefen D. & Mueller R.M. (2019), « Toward Creating a General Ontology for Research Validity », *International Conference on Conceptual Modeling*, p. 133-137.
- Lukyanenko R., Parsons J. & Samuel B.M. (2019), « Representing Instances: The Case for Reengineering Conceptual Modeling Grammars », *European Journal of Information Systems*, 28(1), p. 68-90.
- Lukyanenko R., Parsons J. & Wiersma Y. (2014), « The IQ of the Crowd: Understanding and Improving Information Quality in Structured User-Generated Content », *Information Systems Research*, 25(4), p. 669-689.
- Lukyanenko R., Parsons J., Wiersma Y.F., Wachinger G., Huber B. & Meldt R. (2017), « Representing Crowd Knowledge: Guidelines for Conceptual Modeling of User-Generated Content », *Journal of the Association for Information Systems*, 18(4), p. 297-339.
- Lukyanenko R., Parsons J., Wiersma Y. & Maddah M. (2019), « Expecting the Unexpected: Effects of Data Collection Design Choices on the Quality of Crowdsourced User-Generated Content », *MIS Quarterly*, 43(2), p. 634-647.
- Lukyanenko R., Wiggins A. & Rosser H.K. (2019), « Citizen Science: An Information Quality Research Frontier », *Information Systems Frontiers*, 22(1), p. 961-983.
- March S.T. & Allen G.N. (2014), « Toward a Social Ontology for Conceptual Modeling », *Communications of the AIS*, 34.

- Matthews, M. (ed.) (2019), *Mario Bunge: A Centenary Festschrift*, Springer.
- Mayr H.C. & Thalheim B. (2021), « The Triptych of Conceptual Modeling », *Software and Systems Modeling*, 20(1), p. 7-24.
- McDaniel M. & Storey V.C. (2019), « Evaluating Domain Ontologies: Clarification, Classification, and Challenges », *ACM Computing Surveys*, 53(1), p. 1-40.
- Milton S.K. (2007), « Ontological Foundations of Representational Information Systems », *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19(1), p. 5.
- Mylopoulos J. (1998), « Information Modeling in the Time of the Revolution », *Information Systems*, 23(3-4), p. 127-155.
- Nelson R.R. (2007), « IT Project Management: Infamous Failures, Classic Mistakes, and Best Practices », *MIS Quarterly Executive*, 6(2), p. 67-78.
- Opdahl A.L. & Henderson-Sellers B. (2002), « Ontological Evaluation of the UML Using the Bunge-Wand-Weber Model », *Software and Systems Modeling*, 1(1), p. 43-67.
- Parsons J. & Wand Y. (2000), « Emancipating Instances from the Tyranny of Classes in Information Modeling », *ACM Transactions on Database Systems*, 25(2), p. 228-268.
- Pastor O. (2016), « Conceptual Modeling of Life: Beyond the Homo Sapiens », *International Conference on Conceptual Modeling*, p. 18-31.
- Pastor O., España S. & González A. (2008), « An Ontological-Based Approach to Analyze Software Production Methods », in R. Kaschek et al. (eds.), *Information Systems and e-Business Technologies*, Springer, p. 258-270.
- Pastor O. & Molina J.C. (2007), *Model-Driven Architecture in Practice: A Software Production Environment Based on Conceptual Modeling*, Springer.
- Purao S. & Storey V.C. (2005), « A Multi-Layered Ontology for Comparing Relationship Semantics in Conceptual Models of Databases », *Applied Ontology*, 1(1), p. 117-139.
- Recker J., Lukyanenko R., Jabbari M.A., Samuel B.M. & Castellanos A. (2021), « From Representation to Mediation: A New Agenda for Conceptual Modeling Research in a Digital World », *MIS Quarterly*, 45(1), p. 269-300.
- Recker J., Rosemann M., Green P. & Indulska M. (2011), « Do Ontological Deficiencies in Modeling Grammars Matter? », *MIS Quarterly*, 35(1), p. 57-79.
- Recker J., Rosemann M. & Krogstie J. (2007), « Ontology-Versus Pattern-Based Evaluation of Process Modeling Languages: A Comparison », *Communications of the Association for Information Systems*, 20(1), p. 48.
- Reinhartz-Berger I., Itzik N. & Wand Y. (2014), « Analyzing Variability of Software Product Lines Using Semantic and Ontological Considerations », *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, p. 150-164.
- Reinhartz-Berger I., Sturm A. & Wand Y. (2013), « Comparing Functionality of Software Systems: An Ontological Approach », *Data & Knowledge Engineering*, 87, p. 320-338.
- Rosemann M. & Wyssusek B. (2005), « Enhancing the Expressiveness of the Bunge-Wand-Weber Ontology », *AMCIS 2005 Proceedings*, p. 1-8.
- Saghafi A. & Wand Y. (2014), « Conceptual Models? A Meta-Analysis of Empirical Work », *Hawaii International Conference on System Sciences*, p. 1-15.
- Samuel B.M., Khatri V. & Ramesh V. (2018), « Exploring the Effects of Extensional Versus Intentional Representations on Domain Understanding », *MIS Quarterly*, 42(4), p. 1187-1209.

- Searle J.R. (1995), *The Construction of Social Reality*, Simon and Schuster.
- Seiden A. (2005), *Particle Physics: A Comprehensive Introduction*, Addison-Wesley.
- Soffer P., Golany B., Dori D. & Wand Y. (2001), « Modelling Off-the-Shelf Information Systems Requirements: An Ontological Approach », *Requirements Engineering*, 6(3), p. 183-199.
- Soffer P. & Wand Y. (2005), « On the Notion of Soft-Goals in Business Process Modeling », *Business Process Management Journal*, 11(6), p. 663-679.
- Spreeuwenberg S. (2019), *AIX: Artificial Intelligence Needs Explanation: Why and How Transparency Increases the Success of AI Solutions*, CB Editor.
- Stephanidis C., Salvendy G., Antona M., Chen J.Y., Dong J., Duffy V.G., Fang X., Fidopiastis C., Fragomeni G. & Fu L.P. (2019), « Seven HCI Grand Challenges », *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(14), p. 1229-1269.
- Storey V.C., Goldstein R.C. & Ullrich H. (2002), « Naive Semantics to Support Automated Database Design », *IEEE Transactions on Knowledge and data engineering*, 14(1), p. 1-12.
- Sugumaran V. & Storey V.C. (2002), « Ontologies for Conceptual Modeling: Their Creation, Use, and Management », *Data & Knowledge Engineering*, 42(3), p. 251-271.
- Sugumaran V. & Storey V.C. (2006), « The Role of Domain Ontologies in Database Design: An Ontology Management and Conceptual Modeling Environment », *ACM Transactions on Database Systems*, 31(3), p. 1064-1094.
- Verdonck M., Gailly F., Pergl R., Guizzardi G., Martins B. & Pastor O. (2019), « Comparing Traditional Conceptual Modeling with Ontology-Driven Conceptual Modeling: An Empirical Study », *Information Systems*, 81, p. 92-103.
- Veres C. & Mansson G. (2004), « Psychological Foundations for Concept Modeling », *International Conference on Theory and Application of Diagrams*, p. 26-28.
- Vessey I. (2004), « On the Applicability of the Bunge-Wand-Weber Ontology to Enterprise Systems Requirements », *ACIS 2004 Proceedings*, p. 78.
- Wand Y., Monarchi D.E., Parsons J. & Woo C.C. (1995), « Theoretical Foundations for Conceptual Modelling in Information Systems Development », *Decision Support Systems*, 15(4), p. 285-304.
- Wand Y., Storey V.C. & Weber R. (1999), « An Ontological Analysis of the Relationship Construct in Conceptual Modeling », *ACM Transactions on Database Systems*, 24(4), p. 494-528.
- Wand Y. & Wang R.Y. (1996), « Anchoring Data Quality Dimensions in Ontological Foundations », *Communications of the ACM*, 39(11), p. 86-95.
- Wand Y. & Weber R. (1988), « An Ontological Analysis of Some Fundamental Information Systems Concepts », *Proceedings of the Ninth International Conference on Information Systems*, p. 213-226.
- Wand Y. & Weber R. (1990a), « Mario Bunge's Ontology as a Formal Foundation for Information Systems Concepts », in P. Weingartner & G. Dorn (ed.), *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Rodopi, p. 123-150.
- Wand Y. & Weber R. (1990b), « An Ontological Model of an Information-System », *IEEE Transactions on Software Engineering*, 16(11), p. 1282-1292.
- Wand Y. & Weber R. (1993), « On the Ontological Expressiveness of Information Systems Analysis and Design Grammars », *Information Systems Journal*, 3(4), p. 217-237.

- Wand Y. & Weber R. (1995), « On the Deep-Structure of Information-Systems », *Information Systems Journal*, 5(3), p. 203-223.
- Wand Y. & Weber R. (2017), « Thirty Years Later: Some Reflections on Ontological Analysis in Conceptual Modeling », *Journal of Database Management*, 28(1), p. 1-17.
- Watson R., Corbett J., Galletta D.F., Ives B., Mandviwalla M. & Tremblay M. (2020), « COVID-19 and IS: Challenges and Opportunities for People, Careers, and Institutions », *AMCIS 2020 Proceedings*.
- Weber R. (1997), *Ontological Foundations of Information Systems*, Coopers & Lybrand.
- Weber R. (2003), « Conceptual Modelling and Ontology: Possibilities and Pitfalls », *Journal of Database Management*, 14(3), p. 1-20.
- Weber R. (2021), « Constructs and Indicators: An Ontological Analysis », *MIS Quarterly*, 45(4), p.1645-1678.
- Weinhardt C., Kloker S., Hinz O. & Aalst W.M. (2020), « Citizen Science in Information Systems Research », *Business & Information Systems Engineering*, 62, p. 273-277.
- Wyssusek B. (2006), « On Ontological Foundations of Conceptual Modelling. », *Scandinavian Journal of Information Systems*, 18(1), p. 63-80.
- Yoo Y. & Lyytinen K. (2005), « Social Impacts of Ubiquitous Computing: Exploring Critical Interactions Between Mobility, Context and Technology: A Special Issue for Information and Organization », *Information and Organization*, 15(2), p. 91-94.