



HAL
open science

Conception d'une syntaxe visuelle basée sur l'efficacité cognitive pour les langages de modélisation

Eloïse Zehnder, Valérie Saint-Dizier de Almeida, Jérôme Dinet, Guillaume Gronier, Nicolas Mayer

► **To cite this version:**

Eloïse Zehnder, Valérie Saint-Dizier de Almeida, Jérôme Dinet, Guillaume Gronier, Nicolas Mayer. Conception d'une syntaxe visuelle basée sur l'efficacité cognitive pour les langages de modélisation. 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM, Aug 2017, Poitiers, France. 5 p. hal-01577911

HAL Id: hal-01577911

<https://hal.science/hal-01577911>

Submitted on 28 Aug 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception d'une syntaxe visuelle basée sur l'efficacité cognitive pour les langages de modélisation

Design of visual syntax based on cognitive effectiveness for modeling language

Eloïse Zehnder
Université de Lorraine
23 bd Albert 1^{er}, F-54000 Nancy
eloise.zehnder1@etu.univ-lorraine.fr

Valérie Saint-Dizier de Almeida
Université de Lorraine
23 bd Albert 1^{er}, F-54000 Nancy
valerie.saint-dizier@univ-lorraine.fr

Jérôme Dinet
Université de Lorraine
23 bd Albert 1^{er}, F-54000 Nancy
jerome.dinet@univ-lorraine.fr

Guillaume Gronier
Luxembourg Institute of Science and Technology
5 av. des Hauts Fourneaux
F-4362 Esch-sur-Alzette
guillaume.gronier@list.lu

Nicolas Mayer
Luxembourg Institute of Science and Technology
5 av. des Hauts Fourneaux
F-4362 Esch-sur-Alzette
nicolas.mayer@list.lu

ABSTRACT

Difficulties of understanding and use are now encountered by users of diagrams derived from visual modeling languages, most often used in the IT fields. By following the work of Moody, we try to answer this thesis problem on cognitive effectiveness by bringing user-centered elements and cognitive psychology.

CCS CONCEPTS

• **H. Information systems** → **MODELS AND PRINCIPLES** → *User/Machine systems*; Human information processing

KEYWORDS

Cognitive effectiveness, visual modelling languages, visual syntax, cognitive psychology, users.

RÉSUMÉ

Des difficultés de compréhension et d'utilisation sont aujourd'hui rencontrées par les utilisateurs des diagrammes issus des langages visuels de modélisation, le plus souvent utilisés dans les domaines de l'IT. En suivant les travaux de Moody, nous tentons de répondre à cette problématique de thèse sur l'efficacité cognitive

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author.

Copyright is held by the owner/author(s).

IHM '17, August 28–September 1, 2017, Poitiers, France

en apportant des éléments issus de la psychologie cognitive et centrés sur les utilisateurs.

MOTS-CLEFS

Efficacité cognitive, langages visuels de modélisation, syntaxe visuelle, psychologie cognitive, utilisateurs.

1 INTRODUCTION

Les langages graphiques de modélisation (UML, ArchiMate, CORAS...) sont aujourd'hui largement utilisés dans des domaines tels que le computer engineering ou le software engineering. Ils visent la construction de diagrammes grâce à une sémantique et une syntaxe précises. Ils permettent de communiquer visuellement de nombreuses informations (sur des processus, des systèmes...) à des utilisateurs. Toutefois, on note que ces diagrammes peuvent être mal interprétés tant par des utilisateurs experts et novices.[1, 2, 3, 4].

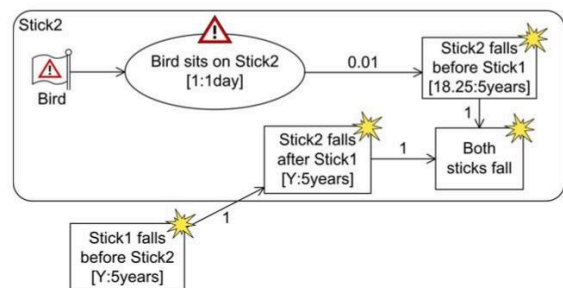


Figure 1: Exemple de diagramme des risques de CORAS.

En vue d'améliorer la compréhension de ces langages et leur utilisation, plusieurs auteurs ont défini des cadres (*frameworks*) et des critères d'évaluation. Les plus reconnus et utilisés sont les neuf critères de Moody [6] appliqués dans de nombreux projets

[7, 14]. Ils sont basés sur le concept d'efficacité cognitive (*cognitive effectiveness*). Cependant ces critères ne sont pas suffisants pour fournir des repères concrets lors de l'emploi de ces langages. L'enjeu de cette étude est d'adapter et d'améliorer plusieurs éléments d'une syntaxe visuelle issue des travaux de Moody, en nous basant sur des modèles et théories cognitives.

2 LANGAGES DE MODELISATION ET EFFICACITE COGNITIVE

2.1 Les langages de modélisation

Les langages visuels de modélisation sont aujourd'hui exploités dans de nombreux domaines, notamment en sciences informatiques. Ces langages ont pour but de communiquer des informations précises vis-à-vis d'un système ou d'un processus, tout en ayant une « vue d'ensemble » grâce aux diagrammes qu'ils permettent de concevoir. Ils sont composés d'une syntaxe visuelle comportant le vocabulaire (lexique) et leur structuration (la grammaire visuelle), et d'une sémantique qui renvoie à la signification des composants de cette syntaxe [6]. Les langages sont généralement conçus grâce à un outil de modélisation et peuvent parfois être associés à une méthode particulière. Ils peuvent être spécifiques à un domaine ou permettre de communiquer sur différentes parties ou différentes étapes d'un système. Ces diagrammes comportent aussi un élément central qui est la notation visuelle (flèches, symboles...). Moody a déjà pu souligner [6] que de nombreux travaux ont pu être réalisés concernant la sémantique de ces langages, mais très peu concernant la syntaxe. Elle a jusque-là été entièrement sous-estimée [15, 16]. Le « design rationale », qui correspond à la justification scientifique donnée aux choix de design, est généralement absent dans les choix de notation [4]. Ces choix reposent alors sur des arguments de « bon sens » ou de « sens commun ». La représentation visuelle n'est pas pour autant moins formelle que les langages textuels [17] et elle possède un réel effet sur l'efficacité cognitive. Des changements mineurs peuvent en effet avoir des impacts notoires sur la résolution de problèmes et la performance [18, 19, 20], et ce également chez les novices [4, 21, 23]. La notation visuelle des diagrammes a donc tout intérêt à être étudiée et analysée.

2.2 L'évaluation des langages de modélisation

Connaître les critères d'évaluation des langages de modélisation constitue une première approche permettant de mieux définir des critères de conception d'un langage. Il n'existe à ce jour aucune méthode d'évaluation de la notation visuelle faisant consensus. Des critères d'évaluation n'ont cessé d'émerger au cours des cinquante dernières années. En 1979, les cinq critères de Fitter & Green [24] furent créés à partir de travaux empiriques. Ils ont inspiré plus tard la très citée théorie des *Cognitive Dimensions of Notation* [25] qui elle-même a inspiré les critères de Moody. Selon les auteurs, ces principes possèdent cependant des contradictions liées à leur nature ; et un équilibre reste à établir pour les rendre mieux applicables.

2.3 Les travaux de Moody

2.3.1. Définition de l'efficacité cognitive

Le *framework* de Moody est basé sur le principe de l'efficacité cognitive. Ce terme est apparu beaucoup plus fréquemment dans des travaux des domaines des sciences informatiques, depuis les travaux de Moody sur la notation visuelle. L'efficacité cognitive se situe entre le système humain de traitement de l'information et l'ergonomie d'un système de représentation. Moody précise [14] que l'efficacité cognitive n'est pas une propriété du signal lui-même (le diagramme, dans notre cas), ni une caractéristique de traitement du récepteur de l'information, mais résulte de l'interaction entre les deux. Le signal doit induire chez l'utilisateur un traitement adapté et efficace. L'efficacité cognitive est définie par Moody comme étant « la vitesse, l'aisance et la précision avec laquelle une représentation peut être traitée par le cerveau humain » [6], les représentations correspondant ici aux notations visuelles. L'efficacité est dite cognitive car reposant sur les théories du traitement de l'information, qui exploitent de nombreux concepts issus de la psychologie cognitive tels que la perception, les mémoires à court et long terme, l'attention ou le traitement de l'information (Fig. 2). L'aspect « efficacité » renvoie à la réussite de tâche et à un équilibre entre le coût en temps et les ressources cognitives mobilisées. Moins la tâche est coûteuse, plus l'agent (doté de sa cognition) sera efficace.

2.3.2. Les critères de Moody

Les critères de la « Physics of Notation » de Moody [6] (Tableau 1) s'inscrivent dans un type V de théorie (théorie prescriptive), selon la taxonomie des théories des systèmes d'information de Gregor [26], car ils reposent sur des bases scientifiques et empiriques qui ont permis de les décrire, d'asseoir leurs intérêts et de définir leurs limites. Ils sont donc, selon Moody, « utilisables pour évaluer, comparer et améliorer les notations visuelles existantes, aussi bien que pour en construire de nouvelles » (traduction des auteurs). Ils ont été élaborés spécifiquement pour répondre au manque de critères et de « design rationale » de la littérature, dans le cadre du software engineering. Cependant, les travaux de Moody ne disposent d'aucune réelle ligne de conduite propre, ni d'opérationnalisation qui permettrait de quantifier leur utilisation pratique. Ils restent informels malgré leurs appuis théoriques [27]. Quelques auteurs ont déjà essayé d'opérationnaliser les critères de Moody [27, 28], mais ils demeurent insatisfaisants car incomplets (une opérationnalisation partielle qui n'inclut pas tous les critères) ou peu utilisables du fait de leur composante trop quantitative (formules algébriques). Cités dans de nombreux travaux d'évaluation [7, 11, 13] et disposant d'appuis théoriques relativement satisfaisants, nous nous baserons sur ces critères pour les développer.

Tableau 1 : Les critères de Moody [6] et leur signification

| Critère | Signification |
|-------------------------------|---|
| Clarté Sémiotique | Il devrait y avoir autant d'éléments du langage (sémantique) que de symboles graphiques (notation) (la correspondance doit être de 1:1). |
| Discriminabilité perceptuelle | Les différents symboles (notation) doivent se distinguer entre eux grâce à la distance visuelle qui les sépare (nombre de variables visuelles...). |
| Transparence Sémantique | Les représentations visuelles doivent suggérer leur sens réel (sémantique) de façon claire, sans en induire un autre. |
| Management de la complexité | Les notations devaient inclure des mécanismes explicites pour gérer la complexité (telle que la modularisation ou la hiérarchisation des diagrammes). |
| Intégration Cognitive | La notation inclut des mécanismes explicites pour accompagner l'intégration de concepts et l'intégration perceptuelle (annotations sur l'orientation, cartes de navigation...). |
| Expressivité Visuelle | Utilisation des capacités et possibilités des variables visuelles (position, taille, luminance, texture, couleur, orientation et forme) pour la notation. |
| Double Codage | Utilisation du texte pour compléter la notation visuelle |
| Economie graphique | Le nombre des différents symboles graphiques doit être gérable cognitivement (un nombre élevé d'éléments dans le diagramme rend la compréhension plus difficile). |
| Ajustement cognitif | Utilisation de différents dialectes visuels (différentes notations) pour différentes tâches et différents publics |

3 CONTRIBUTION DE LA THESE

Le travail de recherche qui a été engagé dans le cadre de cette étude repose d'une part sur la définition d'un modèle de traitement cognitif des diagrammes, et d'autre part sur les différents apports issus des neurosciences et de la psychologie cognitive. Nous terminons par présenter la méthodologie de recherche qui sera appliqué dans le cadre de la thèse.

3.1 Traitement cognitif des diagrammes

Pour optimiser la notation visuelle en vue d'un traitement cognitif univoque, nous nous basons sur un modèle élaboré sur la base des travaux de la littérature. Ce modèle est synthétisé dans la figure 2 et décrit plus en détail dans cette partie où nous reprenons chaque élément. Il comprend une organisation des différents processus cognitifs mobilisés lors de la perception d'un signal (dans notre cas, un signal est un élément d'un langage visuel de modélisation) et reprend une boucle de rétroaction en accord avec

les travaux de Shannon et Weaver [29] donnant à ce modèle un aspect dynamique. Cette approche vise un aperçu plus précis des ressorts de la cognition pour tenter de comprendre comment adapter les diagrammes et leur notation de façon optimale.

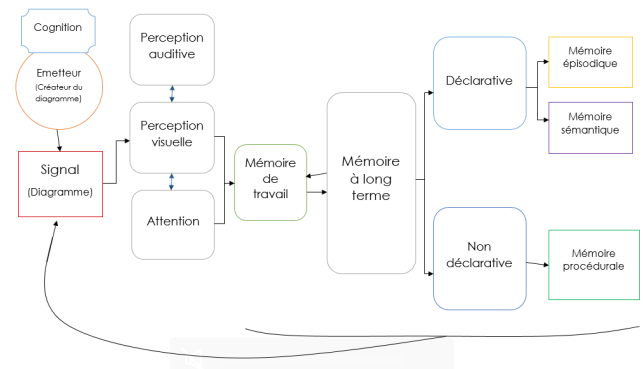


Figure 2 : Modèle cognitif proposé.

3.1.1. Communication et signal

Comme indiqué précédemment, les diagrammes sont conçus pour communiquer visuellement de nombreuses informations. Moody [6] avait déjà adapté le schéma de communication de Shannon et Weaver [29] dans ses travaux, le diagramme étant ici l'élément à communiquer qui est encodé par l'émetteur et décodé par le receveur, tout en pouvant être altéré par un "bruit" (*noise*). Ici, le créateur du diagramme génère bien un signal qui sera doté d'une signification (et donc devient un signe) [30] suite à un traitement cognitif exploitant différents composants cognitifs (imagerie mentale, connaissances, représentations de sa cognition...). L'objectif est qu'un récepteur affecte une signification au signal, identique à celle intentionnée par le concepteur.

3.1.2. Perception

Afin d'être décodé, le signal est perçu par le récepteur, via des processus complexes. Binder et al. [31] posent que la reconnaissance d'un objet engage un flux perceptuel complexe, hiérarchique qui encode progressivement des représentations plus abstraites des objets et de leurs relations spatiales. Les travaux de Bertin [17] en particulier ont mis en évidence l'existence de huit variables visuelles discriminables par la vision humaine (rétinienne et plane) telles que la couleur, la forme, la luminosité, la taille, la position, l'orientation et la texture.

3.1.3. Attention

L'attention intervient en parallèle à la perception visuelle [32]–[34]. En référence à la "Feature integration theory" [34], l'attention permet de procéder à une recherche visuelle visant l'analyse de la composition du diagramme. La rapidité de la recherche visuelle est prédite par le niveau d'information de la vision périphérique qui traite les notations et la composition générale du diagramme [33]. Attention auditive et perception visuelle peuvent aussi interagir. En effet lors de la lecture visuelle de mots pouvant constituer les diagrammes (qui sont à ce moment

des graphèmes), le cerveau les traite implicitement comme des informations phonologiques (phonèmes) [35].

3.1.4. Mémoire de travail

La mémoire de travail permet au récepteur de l'information de prendre connaissance des différents éléments visuels qui constituent son analyse et d'y inférer des liens. L'un des enjeux de celle-ci est sa capacité de traitement qui fut explorée dès 1956 par Miller [36]. La surcharge cognitive peut intervenir lorsque la mémoire de travail est contrainte de traiter environ sept, plus ou moins deux éléments perceptuellement distinctifs. Cependant, des groupements d'éléments (*chunks*) peuvent être réalisés par la mémoire de travail, ceci pouvant augmenter le nombre d'éléments à 49. Enfin, de récents travaux [37] remettent en question ces limites en questionnant l'impact de biais tels que le "bruit" ou la qualité des informations à retenir. Il semblerait donc qu'une certaine flexibilité soit laissée au concepteur quant à l'intégration d'éléments dans les diagrammes face aux capacités d'analyse des récepteurs. C'est aussi dans la mémoire de travail que l'utilisateur traitera la syntaxe du diagramme [38, 39, 40].

3.1.5. Mémoire à long terme

La mémoire à long terme interagit avec la mémoire de travail pour la récupération, la reconnaissance et le traitement d'informations [41, 42]. La mémoire déclarative [43] intervient avec la mémoire épisodique [44] lorsqu'il s'agit par exemple de récupérer des informations concernant les raisons d'être du diagramme, son contexte d'utilisation et de création. La mémoire sémantique (déclarative) [45] a un rôle important puisqu'elle permet principalement à l'utilisateur du diagramme (receveur du signal) d'aller rechercher des connaissances sur la signification de la notation et du diagramme en général [46]. La mémoire procédurale (non déclarative) capitalise l'expertise du concepteur/récepteur. L'expertise mobilisée a une incidence sur la facilité de conception et de compréhension des diagrammes. La réussite d'un traitement et plus généralement, la compréhension univoque d'un diagramme mobilisant les différents composants mentionnés, est altérée si des conditions ne sont pas satisfaites au cours du traitement cognitif des diagrammes, et ce, amenant à ces problèmes de compréhension des diagrammes. Un traitement erroné s'il est perçu par le récepteur peut le conduire à revenir au signal et à sa potentielle signification, à la relecture du diagramme et son analyse et peut-être aussi à l'interrogation du concepteur du diagramme si cela est possible. Nous ajouterons que l'ensemble de ce modèle demeure améliorable.

3.2 Apports présents et futurs des neurosciences

Les neurosciences cognitives s'intéressent à la problématique du traitement cognitif des diagrammes, qui demeure un processus complexe. Des travaux [39] proposent des *designs* de recherche utilisant l'électroencéphalographie et les potentiels évoqués visuels afin d'étudier la syntaxe visuelle dans l'utilisation et l'analyse des diagrammes et leur notation. D'autres recherches [47] proposent d'utiliser l'*eye-tracking* dans la même optique [48]. Dans une perspective visant à mieux définir des critères

d'évaluation et de conception des diagrammes, Cheng, Lin, King et Lee [49] proposent une étude sur la distance sémantique des icônes (dans le contexte de design d'interface). D'autres travaux [50] montrent que dans un contexte simple de lecture (et non pas dans un diagramme), lire un mot (textuel) est moins coûteux cognitivement qu'une icône. Cette étude s'appuie sur les travaux de Larkin et Simon [18] qui montrent que la compréhension d'une information n'est pas forcément facilitée par sa représentation graphique, en comparaison à sa représentation textuelle.

3.3 Premiers travaux

Des premiers travaux sur l'évaluation de la syntaxe ont déjà été réalisés et sont toujours en cours, avec pour cas d'application le système d'analyse des risques de sécurité CORAS. Le but est de tenter d'établir une opérationnalisation des critères de Moody afin de permettre leur application simple, de façon quantitative dans les évaluations des langages de modélisation. Cette application doit permettre d'obtenir une méthode d'application plus simple des critères de Moody dans l'évaluation des langages ainsi que des comparaisons plus simplifiées entre les notations des langages (grâce, par exemple, aux scores issus de cette évaluation quantitative).

3.4 Perspective de recherche future

Afin d'élaborer un langage et une syntaxe qui induisent des interprétations univoques, la première étape est de concevoir un langage uniformisé à partir de modèles et de notations déjà existants. Des tâches test seront définies avec ce langage en respectant au mieux les critères de Moody. Des recherches supplémentaires dans la littérature ainsi que des focus-group filmés pourront également permettre d'obtenir des indications visant l'optimisation de la notation.

Dans un deuxième temps les tâches reposant sur l'utilisation des diagrammes conçus lors de la première étape, seront soumises à des professionnels experts et non-experts (par groupes de 15). L'utilisation d'un *eye-tracker* et d'une mesure des temps de réaction nous permettra d'évaluer la façon dont le diagramme est parcouru et de noter les éventuelles difficultés de lecture rencontrées par les utilisateurs. L'ajout d'un enregistrement vidéo permettra de capter le langage non-verbal (gestes auto-centrés...) qui fournit des informations supplémentaires, notamment sur les moments de réflexion, d'incertitude etc.

Dans un troisième temps, l'auto-confrontation des utilisateurs suite à la réalisation de la tâche permettra d'obtenir une verbalisation, une explication concrète de la manière dont la tâche a été réalisée du point de vue du professionnel.

A partir de toutes ces données il s'agira de construire une ou plusieurs syntaxes propices à l'efficacité cognitive. La syntaxe sera optimisée via un processus itératif, sur la base des problèmes de compréhension observés.

4 CONCLUSION

Les problèmes de compréhension résident dans l'utilisation des langages de modélisation dans les domaines de l'IT. A ce jour des auteurs tentent de répondre à ce problème général en définissant

des critères d'évaluation des langages. Dans le cadre de cette étude, des apports issus de la psychologie cognitive et des neurosciences cognitives sont exploités afin de mieux comprendre le traitement cognitif de ces diagrammes. L'enjeu est d'optimiser ces langages pour que leur syntaxe induise un traitement cognitif aboutissant à une interprétation univoque. La singularité de l'approche réside dans l'emploi de méthodologies centrées sur l'utilisateur.

REFERENCES

- [1] J. C. Nordbotten and M. E. Crosby, "The effect of graphic style on data model interpretation," *Inf. Syst. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 139–155, 1999.
- [2] D. L. Moody, N. Genon, P. Heymans, and P. Caire, "Visual Notation Design 2.0: Designing User-Comprehensible Diagramming Notations," pp. 115–124, 2013.
- [3] D. L. Moody and G. G. Shanks, "Improving the quality of data models: Empirical validation of a quality management framework," *Inf. Syst.*, vol. 28, no. 6, pp. 619–650, 2003.
- [4] S. Hitchman, "The details of conceptual modelling notations are important—a comparison of relationship normative language," *Commun. Assoc. Inf. Syst.*, vol. 9, no. 1, p. 10, 2002.
- [5] H. C. Purchase, D. Carrington, and J. A. Alder, "Empirical evaluation of aesthetics-based graph layout," *Empir. Softw. Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 233–255, 2002.
- [6] D. L. Moody, "The 'Physics' of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 35, no. 6, pp. 756–779, 2009.
- [7] D. Moody and J. Van Hillegerberg, "Evaluating the Visual Syntax of UML: An Analysis of the Cognitive Effectiveness of the UML Family of Diagrams," in *Software Language Engineering*, no. Figure 1, 2008, pp. 16–34.
- [8] D. L. Moody, P. Heymans, and R. Matulevičius, "Visual syntax does matter: Improving the cognitive effectiveness of the i* visual notation," *Requir. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 141–175, 2010.
- [9] G. Popescu and A. Wegmann, "Using the physics of notations theory to evaluate the visual notation of SEAM," *Proc. - 16th IEEE Conf. Bus. Informatics, CBI 2014*, vol. 2, pp. 166–173, 2014.
- [10] Z. Dobesova, "Using the 'Physics' of notation to analyse ModelBuilder diagrams," *Int. Multidiscip. Sci. GeoConference Surv. Geol. Min. Ecol. Manag. SGM*, vol. 1, 2013.
- [11] F. Saleh and M. El-Attar, "A scientific evaluation of the misuse case diagrams visual syntax," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 66, pp. 73–96, 2015.
- [12] N. Genon, P. Heymans, and D. Amyot, "Analysing the Cognitive Effectiveness of the BPMN 2.0 Visual Notation," *Sle 2010*, pp. 377–396, 2010.
- [13] D. Granada, J. M. Vara, M. Brambilla, V. Bollati, and E. Marcos, "Analysing the cognitive effectiveness of the WebML visual notation," *Softw. Syst. Model.*, vol. 16, no. 1, pp. 195–227, 2017.
- [14] D. L. Moody, "Review of archimate: The road to international standardisation," *Tech. report, Rep. Comm. by Arch. Found. BiZZDesign B.V. Enschede, Netherlands*, 2007.
- [15] A. L. Opdahl and B. Henderson-Sellers, "Ontological Evaluation of the UML Using the Bunge-Wand-Weber Model," *Softw. Syst. Model.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–67, 2002.
- [16] K. S. and Q. Cao, "Unified Modeling Language: A Complexity Analysis," *Database Manag.*, vol. 12(1), pp. 26–34, 2001.
- [17] J. Bertin, *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. 1983.
- [18] J. H. Larkin and A. Simon, "Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words," *Cogn. Sci.*, vol. 99, pp. 65–99, 1987.
- [19] P. C. H. Cheng, "Why Diagrams Are (Sometimes) Six Times Easier than Words: Benefits beyond Locational Indexing," *Proc. Diagrammatic Represent. Inference Third Int. Conf. Diagrams 2004, Cambridge, UK, March 22-24, 2004*, vol. 2980 / 200, pp. 242–260, 2004.
- [20] M. Petre, "Why looking isn't always seeing: readership skills and graphical programming," *Commun. ACM*, vol. 38, no. 6, pp. 33–44, 1995.
- [21] P. I. and C. Ware, "Diagramming Information Structures Using 3D Perceptual Primitives," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 10(1), pp. 1–19, 2003.
- [22] and M. T. P. Irani, C. Ware, "Using Perceptual Syntax to Enhance Semantic Content in Diagrams," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 21(5), pp. 76–85.
- [23] and A. G. K. Masri, D. Parker, "Using Iconic Graphics in Entity Relationship Diagrams: The Impact on Understanding," *J. Database Manag.*, vol. 19(3), pp. 22–41, 2008.
- [24] M. Fitter and T. R. G. Green, "When do diagrams make good computer languages?," *Int. J. Man. Mach. Stud.*, vol. 11, no. 2, pp. 235–261, 1979.
- [25] T. R. Green, "Cognitive dimensions of notations," *People Comput.*, vol. V, pp. 443–460, 1989.
- [26] S. Gregor, "The nature of theory in information systems," *MIS Q.*, pp. 611–642, 2006.
- [27] D. Van Der Linden, A. Zamansky, and I. Hadar, "How Cognitively Effective is a Visual Notation? On the Inherent Difficulty of Operationalizing the Physics of Notations."
- [28] H. Storrle and A. Fish, "Towards an operationalization of the 'Physics of Notations' for the analysis of visual languages," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8107 LNCS, pp. 104–120, 2013.
- [29] C. E. S. and W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*. 1963.
- [30] F. De Saussure, *Cours de linguistique générale : Édition critique (Vol. I)*. 1989.
- [31] L. L. Binder, J. R. Desai, R. H. Graves, W. W., & Conant, "Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies," *Cereb. Cortex*, vol. 19(12), pp. 2767–2796, 2009.
- [32] K. A. Rosenholtz, R., Huang, J., & Ehinger, "Rethinking the role of top-down attention in vision: Effects attributable to a lossy representation in peripheral vision," *Front. Psychol.*, vol. 3, p. 13, 2012.
- [33] L. Rosenholtz, R., Huang, J., Raj, A., Balas, B. J., & Ilie, "A summary statistic representation in peripheral vision explains visual search," *J. Vis.*, vol. 12(4), pp. 14–14, 2012.
- [34] A. M. Treisman and G. Gelade, "A feature-integration theory of attention," *Cogn. Psychol.*, vol. 12, no. 1, pp. 97–136, 1980.
- [35] L. B. Wilson, J. R. Tregellas, E. Slason, B. E. Pasko, and D. C. Rojas, "Implicit phonological priming during visual word recognition," *Neuroimage*, vol. 55, no. 2, pp. 724–731, 2011.
- [36] G. A. Miller, "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," *Psychol. Rev.*, vol. 63, pp. 81–97, 1956.
- [37] "Changing concepts of working memory," *Nat. Neurosci.*, vol. 17(3), p. 347, 2014.
- [38] C. J. Davis and A. R. Hevner, "Information Systems and Neuroscience," vol. 10, pp. 99–105, 2015.
- [39] A. R. Davis, C. J., & Hevner, "Neurophysiological analysis of visual syntax in design," *Inf. Syst. Neurosci.*, pp. 99–105, 2015.
- [40] H. J. Batterink, L., & Neville, "The human brain processes syntax in the absence of conscious awareness," *J. Neurosci.*, vol. 33(19), pp. 8528–8533, 2013.
- [41] J. Pearson, T. Naselaris, E. A. Holmes, and S. M. Kosslyn, "Mental Imagery: Functional Mechanisms and Clinical Applications," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 19, no. 10, pp. 590–602, 2015.
- [42] S. M. Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, "Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study," *Cogn. Brain Res.*, vol. 20(2), pp. 226–241, 2004.
- [43] W. Tulving, E., & Donaldson, "Organization of memory," 1972.
- [44] A. Lieury, *Episodic memory: Is it embedded within semantic memory? L'Année Psychologique*, 1979.
- [45] M. R. Collins, A. M., & Quillian, "Retrieval time from semantic memory," *J. Verbal Learning Verbal Behav.*, vol. 8(2), pp. 240–247, 1969.
- [46] G. Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Ganis, *The case for mental imagery*. 2006.
- [47] K. Siau, Y. Zhao, and L. Huang, "a Neuroscience Analysis of Information Modeling Constructs," *PACIS Proc.*, 2014.
- [48] J. Vom Brocke, R. Riedl, and P.-M. Léger, "Application Strategies for Neuroscience in Information Systems Design Science Research," *J. Comput. Inf. Syst.*, vol. 53, no. 3, pp. 1–13, 2013.
- [49] F.-Y. Cherng, W.-C. Lin, J.-T. King, and Y.-C. Lee, "An EEG-based Approach for Evaluating Graphic Icons from the Perspective of Semantic Distance," *Proc. 2016 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '16*, pp. 4378–4389, 2016.
- [50] B. and S. Huang, "How Are Icons Processed by the Brain? Neuroimaging Measures of Four Types of Visual Stimuli Used in Information Systems," *Int. Rev. Res. Open Distance Learn.*, vol. 14, no. 4, pp. 90–103, 2015.