StrataVis : une technique de visualisation graphique orientée modèle

David Db Bihanic, Thomas Polacsek

► To cite this version:

David Db Bihanic, Thomas Polacsek. StrataVis : une technique de visualisation graphique orientée modèle. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série TSI : Technique et Science Informatiques*, 2016, 35 (2), pp.145-174. 10.3166/tsi.35.145-174 . hal-01405784

HAL Id: hal-01405784

<https://hal.science/hal-01405784>

Submitted on 5 Dec 2016

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.

StrataVis : une technique de visualisation graphique orientée modèle

David Bihanic¹, Thomas Polacsek²

1. CALHISTE (EA 4343), Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis
Le Mont-Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France
david.bihanic@univ-valenciennes.fr

2. ONERA, Département Traitement de l'Information et Modélisation
2, avenue Edouard Belin BP74025, 31055 Toulouse Cedex 4
thomas.polacsek@onera.fr

RESUME. La maîtrise de l'ingénierie des systèmes relève, pour l'essentiel, du maniement de concepts, méthodes et outils offrant d'optimiser les interactions entre leurs multiples composants/constituants (éléments et/ou agents). En dépit de solutions et moyens dédiés (d'ordre conceptuel, méthodologique et logiciel), une telle maîtrise n'est malheureusement pas sans écueils. Au sein du présent article, nous nous polariserons sur l'un d'entre eux, soit celui relevant du manque d'expressivité visuo-graphique des modèles (en référence aux syntaxes concrètes des langages de modélisation). Prenant appui sur un cas d'étude, nous signalerons les particularités et avantages d'une nouvelle technique de visualisation graphique orientée modèle intitulée *StrataVis* laquelle ouvre, en sus d'une réelle plus-value de traitement (appréhender visuellement, visualiser et comprendre les interactions), à une 'clarification' de la complexité intrinsèque des systèmes actuels.

ABSTRACT. Mastering system engineering means dealing with concepts, methods and tools in order to optimize interactions between multiple components/agents. Despite some focused software solutions (in the conceptual and methodological field), such mastery is not without its pitfalls. In this article, we will put particular emphasis on one of those difficulties: the lack of visual-graphical expressivity of models (referring here to the concrete syntax of modeling languages). Based on a case study, we will describe the features of a new graphical visualization technique called *StrataVis* that eases model-based system engineering (towards a clarification of inherent complexity of current systems) and requires fewer cognitive efforts from users/model engineers (better visualize and understand the interactions within the systems).

MOTS-CLES : Modèle ; formalisme de graphe conceptuel ; technique de visualisation de l'information.

KEYWORDS: Model; conceptual graph formalism; visualization technique/method.

1. Introduction

La taille autant que l'hétérogénéité dorénavant conséquentes des systèmes ne sont pas sans soulever nombre de difficultés s'exprimant, en tout premier lieu, au sein de leur modélisation. Faisant face à de grands modèles structurés suivant plusieurs dimensions métiers, les concepteurs peinent dès lors à les interpréter, à les manier et ainsi à en garder la pleine maîtrise. Pour pallier à ce problème spécifique, il est un levier non encore tout à fait actionné : celui d'une réforme du *matériel visuel* (interfaçage graphique) alloué au concepteur, soit les méthodes, techniques et procédés de représentation-visualisation graphique des modèles arrimés aux langages de modélisation conceptuelle (UML, SysML, les DS, etc.). Par là, il s'agit d'engager un renouvellement de la *syntaxe concrète* des modèles (représentation-visualisation graphique) ordinairement associée à celle *abstraite* que compose leur langage de modélisation et formalisme de description. De cette première syntaxe (*syntaxe concrète*) dépend donc la manière dont les modèles seront perceptivement et cognitivement appréhendables, c'est-à-dire intelligibles pour le concepteur.

Sans en passer par une révision des modèles¹, nous montrerons au sein de cet article qu'un changement de paradigme de représentation-visualisation des modèles peut permettre des avancées déjà significatives en faveur d'une plus grande maîtrise de l'ingénierie des modèles et, plus largement, d'une meilleure gestion de leur complexité presque consubstantielle. Pour ce faire, nous ferons succinctement le point, dans un premier temps (Section 2.), sur le formalisme de représentation classiquement usité² signalant quelques carences et déficits. Puis, nous exposerons, dans un second temps (Section 3.), les choix et orientations de conception, au travers d'un cas d'étude, ayant guidé la conception de notre technique orientée modèle, *StrataVis*, laquelle rompt, pour une bonne part, avec l'existant. Reposant sur une approche donnant priorité à la « vision d'ensemble », cette technique entend permettre de visualiser d'un même tenant les instructions/règles, les objets et informations et de suivre leurs évolutions à l'échelle macro- suivant différentes instances.

¹ Entraînant conséquemment une altération de leur *syntaxe abstraite*.

² Soit le formalisme de Graphe Conceptuel (acronyme GC).

2. De la représentation graphique de modèles

2.1. Limites du formalisme de Graphe Conceptuel

La totalité, ou presque, des représentations existantes offrant de modéliser un système emprunte un formalisme de Graphe Conceptuel (GC)³ (Chein et Mugnier, 1992 ; 1997 ; Mugnier et Chein, 1996). Apparenté aux réseaux sémantiques (Quillian, 1966 ; Quillian et Collins 1966 ; Lehmann, 1992), celui-ci a connu plusieurs déclinaisons : les GCs emboîtés typés⁴ (Chein et Mugnier, 1997 ; Paquette, 2002 ; 2010), les liens de coréférence (Chein et Mugnier, 2004), les règles (Salvat, 1998) ou bien encore les contraintes (Baget et Mugnier, 2002). Ce formalisme ouvre à la composition de diagrammes comptant singulièrement deux grandes catégories d'éléments, les concepts et les relations symbolisés sous forme de « nœuds-boîtes-étiquettes » (forme géométrique primitive fermée faisant office de 'conteneur') et de « flèches » (tracé à deux points d'ancrages, possiblement uni- ou bidirectionnel). Ce vocabulaire résolument minimaliste n'est pas sans qualité, loin s'en faut (Chein et Mugnier, 2014). Il permet le développement d'organisations visuelles à la fois modulables, ajustables eu égard aux différents besoins de modélisation, aux contraintes de dimensionnement des systèmes (grande variabilité d'échelle) et demeure, du reste, relativement accessible au concepteur — on notera que cette économie de moyen tend à limiter substantiellement le risque de surcharge perceptivo-cognitive, à faciliter le repérage et suivi visuel des actions et garantit une certaine homogénéité de traitement. Toutefois, ce formalisme rencontre certaines limites qu'il revient ici de signaler ; elles sont principalement au nombre de trois.

La première touche à la propriété « nominale »⁵ de ces représentations graphiques renvoyant au caractère expressif d'éléments particuliers, singuliers (sélection, repérage et identification d'éléments au sein d'un ensemble) : de la distinction des entités, des groupes d'entités (groupes d'attributs), de leurs associations comme des propriétés, etc. Il en va là du *typage* visuel d'ensembles et sous-ensembles, tout comme de leurs relations, alors pris en charge par le formalisme de représentation. Cette limite renvoie ici à une réduction combinatoire des attributs visuo-graphiques de représentation⁶ propre au formalisme de graphe

³ Élargissement de GCs simples introduits par (Sowa, 1984).

⁴ Également les dérivés de type objets typés : MOT ; MOTplus ; G-MOT relié à l'éditeur de graphes RDF/RDFS, à l'éditeur d'ontologies OWL-DL, etc.

⁵ Relatif aux noms (à l'identification) des entités, des groupes d'entités, etc.

⁶ Parmi les attributs graphiques les plus couramment usités, on compte la forme, la figure (ou motif, symbole), la ligne, le point, le bord (pourtour d'une forme ou figure), le contour (ligne limitant l'extérieur de l'intérieur d'une forme, d'une figure), la couleur, la valeur/saturation (clarté d'une couleur), la surface/l'aplat (rapport plein/vide), la texture (propriété d'aspect d'une surface), la taille (d'une forme, d'une figure), la lumière (luminosité d'une représentation et rayonnement), le volume (quantité d'objets

conceptuel (Bihanic, 2014). En effet, outre quelques ajustements graphiques possibles, le degré de particularisation des formes planes (« nœud-étiquette ») et des tracés (« flèche ») s'avère relativement faible : disposition de géométries (formes/figures) primitives fermées (cercles, triangles, quadrilatères comme le carré, le rectangle, le losange, etc.), application de teintes distinctives (contrastes de couleurs primaires et/ou complémentaires) et variation de traitement des contours (lignes continues ou discontinues, droites ou courbes, brisées, pointillées ou 'tirées' ; épaisseur de trait [gras, maigre ou filaire]). Il en résulte des problèmes patents de discrimination perceptuelle touchant indifféremment à la reconnaissance et identification des formes et tracés, à leur différenciation à la fois précise et rapide. Nonobstant la finesse de grain (granularité formelle servant l'expression des concepts perceptifs), il est avant tout question de niveau de lecture/perception comparée ; pour exemple, suivant certaines échelles, on isolera malaisément une flèche discontinue pointillée, d'une autre 'tirée'.

Nous retiendrons également une seconde limite concernant cette fois la propriété « numérale »⁷ de ces représentations. Si certaines possibilités combinatoires d'attributs visuo-graphiques existent, certes en nombre restreint comme nous l'évoquions plus tôt, on remarquera que la grande majorité des outils (éditeurs) et langages de notation ne permet pas de les exploiter pleinement. Quantité de diagrammes-modélisations recourant au formalisme GC combinent seulement deux ou trois géométries (« nœuds-boîtes-étiquettes »), deux variations (lignes continues ou discontinues pointillées) et n'arborent aucune couleur, aucune texture. Cela encourt des difficultés patentes dans le dénombrement en particulier des sous-ensembles d'éléments. À cela s'ajoutera une gêne, et non moins des moindres, dans l'interprétation des diagrammes due à la plurivocité des éléments de vocabulaire graphique. Aucune véritable réglementation ou codification ne contraint l'emploi, l'instanciation des formes et tracés. En pratique, il n'est pas rare de symboliser l'interface d'un système au travers d'une figure quadrangulaire, ordinairement utilisée pour une classe, affichant le mot-clé « interface » au lieu d'un simple cercle. Il en résulte une ambiguïté de lecture jouant contre l'énumération et désignation des éléments et sous-ensembles.

visuo-graphiques composant une représentation), le plan (niveau de stratification de la représentation — calque[s]), le champ (ou espace), le format (ou orientation).

⁷ Relative cette fois au nombre d'éléments/entités, de sous-ensembles/groupes d'entités, etc.

Enfin, arrêtons-nous sur une troisième et dernière limite ayant trait à la propriété « cardinale »⁸ des représentations graphiques de modèles. Il en va de la possibilité, pour le concepteur, de disposer d'une vue d'ensemble (du diagramme, en l'espèce), d'embrasser la modélisation dans sa totalité et pouvoir la dimensionner (volumétrie globale). Dans le cas qui nous occupe, plusieurs points rendent cette tâche plus que difficile. Le pendant d'un développement planaire, surfacique des diagrammes (2D), palliant au problème d'occlusion, est le phénomène de 'dispersion spatiale'. Ces représentations 'consomment', en quelque sorte, beaucoup d'espace d'affichage. La fonction « zoom » reste d'un piètre recours occasionnant d'autres écueils dans la bonne lecture des organisations visuelles à l'écran. Ce qui fait défaut à ce formalisme concerne très précisément la qualité d'*expressivité* d'ensemble des informations. Il se voit, pour ainsi dire, dépourvu ; de fonction d'agrégation (Cleveland et Devlin, 1980 ; Chambers et al., 1983 ; Cleveland, 1993), de synthèse⁹ des éléments offrant d'appréhender visuellement ce qui forme un tout.

2.2. Tentatives d'enrichissement du formalisme de GC

Fig. 1. X3D-UML, Paul McIntosh, Margaret Hamilton et Ron van Schyndel

Il peut être recensé plusieurs travaux visant un *enrichissement* du formalisme de GC. Ces derniers entendent avant tout pallier aux déficits que nous venons de mentionner tablant tantôt sur des correctifs et aménagements visuo-graphiques, tantôt sur l'ajout de fonctionnalités nouvelles occasionnant des évolutions parfois conséquentes. Citons quelques-unes de ces contributions. Tout d'abord, celle de (McIntosh et al., 2008) ayant œuvré en faveur d'une plus grande prise en compte de la propriété « nominale » de la représentation graphique. Via la création d'X3D-UML (Figure 1), ils entament une transition de l'espace surfacique 2D à la 3D. Les organisations diagrammatiques planaires ne sont pas ici formalisées en 3D, elles sont comme étagées, réparties par calque suivant différents degrés de profondeurs. Ceci offre ainsi au concepteur d'élaborer, de visualiser des diagrammes sur deux

⁸ En référence à la cardinalité en mathématiques renvoyant à la taille des ensembles et sous-ensembles.

⁹ Il en va là pourtant d'une fonction d'une utilité manifeste.

plans distincts, dès lors complémentaires : l'un, *vertical* (en 2-3D), affichant les éléments et sous-ensembles ainsi que leurs interrelations (les contraintes de format sont ici résolues par un déplacement possible au sein de la scène 3D ; la fonctionnalité de « zoom » permet d'en ajuster le point de vue), l'autre, *horizontal* (en 2-3D), faisant paraître les liens, les relations situées entre les divers calques (section diagrammatiques) — les travaux de développements menés par (von Pilgrim et al., 2009) pour Eclipse (GEF3D) empruntent une orientation voisine (Figure 2).

Fig. 2. GEF3D, Jens von Pilgrim and Kristian Duske et Paul McIntosh

Notons au passage que la communauté scientifique spécialiste de l'Ingénierie des Modèles (IdM) n'aura eu de cesse, et ce depuis plusieurs années maintenant, de signaler les divers manques, déficits et insuffisances patentés des langages et outils existants en matière précisément de visualisation de l'information. Leur formalisme, s'il répond à certaines exigences fonctionnelles, ne satisfait que bien peu les visées et attendus perceptivo-cognitives. Pour y remédier (tant bien que mal), la propension fut alors de *particulariser* la visualisation, de lui conférer certains caractéristiques visuelles propres aux domaines concernés (cf. ensembles de signes visuels, graphiques en conformité avec le champ/domaine de référence). Plusieurs se sont attelés à la définition de notations *dédiées* singularisant visuellement chacun des concepts manipulés ; citons ModX (Lepallec et al., 2005), Meta-edit++ ou Eclipse GMF. Reste qu'en dépit de la plus-value sémiotique, ces outils ne rompent pas pour

autant avec le formalisme de GC. Aussi, nombre de limitations sur le plan de la visualisation de l'information demeurent.

D'autres études, telles que celles menées initialement par (Droste et al., 2012) explorent de nouvelles voies. Soucieux, en première intention, d'instrumenter au mieux les biologistes¹⁰ en charge de l'analyse du métabolisme à l'échelle d'un système biologique (cellules, tissus, organismes), (Droste et al., 2013) (Figure 3) conçoivent un outil de modélisation, OMIX, à base de GCs incluant des fonctionnalités étendues pour l'annotation, l'association de nombreuses métadonnées, la simulation et la modélisation cinétique (cinématiques/animations des dépendances), etc.

Fig. 3. OMIX, Peter Droste, Katharina Nöh et Wolfgang Wiechert

Les travaux conduits par (DeLine et al., 2010) concourent, quant à eux, à un emploi plus large de l'attribut 'couleur', notamment en vue d'isoler visuellement les sous-systèmes d'un système global (Figure 4) ; il en va là d'une consolidation de la propriété « numérale » des représentations graphiques. Leurs recherches aboutirent également à une adaptation de la fonctionnalité de « zoom sémantique » permettant de détailler contextuellement les informations relatives aux classes et sous-systèmes. Le concepteur jouit alors d'une grande acuité visuelle (largesse de vue) et accède à l'information avec plus de facilité et d'agrément : il lui est permis de passer d'un point de vue de 'haut niveau' ouvrant à une perception d'ensemble de l'organisation d'un système à un point de vue 'bas niveau' pouvant, le cas échéant, déboucher sur l'accès au programme/code informatique.

¹⁰ Spécialistes de la biologie intégrative des organismes et micro-organismes.

Fig. 4. *Code Maps*, Robert DeLine, Gina Venolia et Kael Rowan (*Microsoft Research*)

Plusieurs chercheurs se sont attelés au soutien de la propriété « cardinale » de la représentation graphique. Traitant spécifiquement de l'analyse textuelle, (Chuang et al., 2012) ont engagé une rénovation du formalisme de GC misant plus fortement sur sa fonction heuristique (Figure 5). Ainsi, ils se sont attachés à en déployer les qualités 'spatiales' (« clusterisation » et regroupement par similarité, dissémination d'éléments, etc.). Bien d'autres expérimentations ont également tenté d'avancer dans ce sens. Signalons les produits logiciels *Neo4j* et *Keylines Neo4j*, *Linkurious* et bibliothèques *D3.js*, *three.js*, *sigma.js* et *Alchemy.js* facilitant le recours à certains attributs 'physiques'¹¹ (magnétisme, gravité, collision, etc.) ainsi qu'aux interactions qui leur sont liées, ceci dans le but d'améliorer l'appréhension visuelle de la qualité formelle d'un diagramme.

¹¹ Il s'agit là de leur conférer un sens précis, une signification particulière ayant trait à certaines propriétés du système à concevoir/modéliser.

part d'entre eux, à l'adaptation et conversion de modèles existants, pour certains ordinairement usités en visualisation de données. Il s'agit prioritairement de modèles hiérarchiques planaires/surfaciques (arbres de type *Treemap*, par exemple) et de modèles radiaux, discoïdaux (*Coxcomb*, *Sunburst*, *Packedcircle*, *Chord Diagram* etc.). Citons l'étude réalisée par (Reniers et al., 2011) laquelle s'est conclue par le développement d'un outil d'aide à la conception de grand système intitulé *SolidSX* (Figure 6). Ce dernier facilite le travail de comparaison/corrélation visuelle d'éléments pour une saisie perceptive de la macrostructure d'un système ainsi que de ses différentes dépendances. Reliant la représentation du système à son programme (code informatique), il est d'un soutien/appui cognitif précieux pour le concepteur (en faveur de la construction d'une certaine image mentale du système). D'autres tels que (Smith et al., 2014) constatent, à leur tour, qu'une bonne lecture-compréhension de la structure¹² d'un système conduit à une meilleure efficacité de traitement (performance, soit rapidité et précision, dans l'exécution des tâches de conception).

Fig. 6. *SolidSX*, Dennie Reniers, Lucian Voinea et Alexandru Telea

¹² Joignant sa conformation ou configuration formelle et ses ensembles de liens, de relations.

Une telle rupture de paradigme s'avère, à plusieurs égards, nécessaire pour la conception, modélisation de grands systèmes. Rappelons, à ce propos, que toute représentation visuo-graphique de modèles intégrera trois paramètres essentiels. Le premier concerne l'*inextricabilité* de leurs relations. En effet, les entités composant un système sont pour ainsi dire inter-reliées, mêlées les unes aux autres ; il est d'ordinaire presque impossible de les isoler. Le second des paramètres relève de la *multiplicité d'échelle* ou *variabilité scalaire* des systèmes — la notion de *modèle inter-relié* faisant ici écho au concept de « megamodèle » étudié par (Favre et NGuyen, 2005). Quant au troisième, celui-ci touche, comme évoqué plus tôt, à leur caractère proprement *entropique*. En interaction constante, ces derniers empruntent un comportement holistique qui ne peut véritablement se résumer à celui de ses constituants. Aussi, revient-il dès lors de concevoir, d'inventer de nouvelles techniques de visualisation post-GC orientées modèle tirant partie des initiatives en faveur d'une visibilité accrue de la structure des systèmes autant que de leurs relations et mariant les trois paramètres sus-cités. Nous en signalerons, au sein de la section suivante, les possibilités et modalités générales via la présentation détaillée de notre technique de visualisation de modèle *StrataVis*.

3. Visualisation graphique orientée modèle : la technique *StrataVis*

Le développement de nouvelles techniques et méthodes de visualisation graphique de modèles constitue dorénavant un enjeu majeur pour la maîtrise des systèmes (Bartz, 2003 ; Sindiy et al., 2013 ; Bihanic et Polacsek, 2012a ; 2012b). En complément des visées précédemment indiquées, ces nouveaux procédés doivent viser simultanément une plus grande efficacité de traitement côté concepteur (plus-value pratique, ergonomique et cognitive) (Johnson-laird, 1998 ; Gottschling, 2006 ; Liu et Stasko, 2010 ; Rapp et Uttal, 2006 ; Rao et Madhavi, 2010) ainsi qu'une meilleure performance fonctionnelle et technique (vers une réduction de nombres d'objets à l'écran ~ signes et attributs formels) (Ware, 2004 ; Carpendale, 2003 ; Vygotsky, 1986 ; MacEachren et al., 2012). Aussi, ces techniques et méthodes trouveront donc à s'orienter plus favorablement vers une transcription visuo-graphique des modèles permettant de les percevoir soit isolément, soit en totalité : couplage d'une vue globale des modèles (sorte de *point de vue des points de vue*) et d'une vue détaillée de chaque modèle (point de vue focalisé) (Elmqvist et Fekete, 2010 ; Zarwin et al., 2012).

C'est précisément la direction que nous avons choisie d'emprunter dans le cadre du projet *StrataVis*. Reposant sur une expertise scientifique croisée — Ingénierie des Modèles (IdM), Interaction Homme-Machine (IHM), Sciences Cognitives (SC), et Data Design (DD) (Moere et Purchase, 2011) — nous avons engagé l'élaboration (et évaluation, *a posteriori*) d'une technique originale de représentation-visualisation dédiée à l'annotation de modèles présentant trois principaux agréments : *lisibilité*,

cohérence et maniabilité. Adaptant un formalisme graphique minimal et tablant sur des sélections contextuelles d'informations (Cleveland, 1993 ; Nersessian et Stasko, 2008 ; Brooke et al., 2007), cette technique permet une meilleure synthèse visuelle de la complexité des modèles et ouvre, par là même, à une réelle simplification de traitement. Palliant notamment les problèmes de surcharge cognitive due à une massification de signes visuels à l'écran (Simoff et al. 2008), cette technique compose les premiers éléments de vocabulaire d'un nouveau langage de modélisation graphique de modèles post-GC.

L'un des objectifs premiers du projet *StrataVis* fut de simplifier l'accès¹³ aux diverses informations et règles définies au sein des modèles. Pour ce faire, nous nous sommes attelés à la conception d'un métalangage graphique de représentation-visualisation réécrivant ces données sous forme d'objets graphiques (Nowell et al. 2002), c'est-à-dire associant à chaque variable issue des modèles, une variable visuelle (Bertin, 1967 ; 1977 ; Tufte, 1983 ; 1997 ; 2011 ; Few, 2009 ; Bihanic, 2014). L'évolution de ces objets graphiques dans le temps¹⁴, retenant ici toute l'attention perceptivo-cognitive de l'utilisateur, concourt à une meilleure maîtrise de la variabilité¹⁵ des modèles. Ce premier objectif appela également une étude approfondie en matière de conception d'interactions nouvelles sur les modèles. Aussi, avons-nous travaillé à la définition d'un accès contextuel à l'information pour une meilleure gérance du tissu informationnel complexe des modèles, ainsi que sur la définition d'actions de sélection, de manipulation directe des modèles. Requérant une mobilisation plus forte de la capacité de traitement humain par le couplage de la vision et de l'action, le défi de ce projet fut de parfaire une nouvelle technique de visualisation capable, d'une part, de satisfaire les besoins premiers en terme de visualisation de modèle (symbolisation des informations, règles, hiérarchies, classes, *packages*, relations, etc.) et, d'autre part, de concourir à une optimisation des processus de modélisation.

Ayant achevé les différentes étapes de conception de cette nouvelle technique de visualisation, nous engageons actuellement la phase finale d'évaluation¹⁶ (test utilisateur — *focus group*, panel de d'utilisateur professionnels) dont l'objectif sera d'en marquer les forces et qualités autant que d'en révéler les éventuelles faiblesses et insuffisances. Une telle étude s'avèrera cruciale eu égard au fait que l'emploi et la maîtrise de notre technique, s'il apporte nombre d'avantages au regard de l'existant,

¹³ Plus simple, donc plus rapide.

¹⁴ Un temps ici relatif à la transformation ou modification des modèles, des systèmes complexes.

¹⁵ Suivi des états successifs de chaque modèle et appréciation visuelle de leur adéquation/justesse logico-conceptuelle autant que de leur conformité fonctionnelle/opérationnelle.

¹⁶ Cette dernière phase d'évaluation donnera lieu prochainement à une nouvelle communication scientifique.

requerra toutefois de l'utilisateur un certain apprentissage au préalable. L'analyse en matière d'*utilisabilité* permettra notamment de dire si l'effort dépensé en amont s'en trouve tout à fait récompensé (cognitivement parlant) en aval.

Au sein des parties suivantes, nous décrirons les particularités de cette technique en partant de l'un de nos cas d'étude ayant trait à la formalisation visuelle des politiques d'échange d'informations.

3.1. Composants discoïdaux (disques)

Notre technique *StrataVis* repose sur un mode/motif¹⁷ (*Pattern*) de représentation graphique hiérarchique concentrique 2D appelé *Discoïd or Disc-like Pattern*¹⁸ (Elmqvist et Fekete, 2010 ; Heer et al., 2010) lequel présente de nombreux avantages pour la visualisation de grandes quantités de données relationnelles. Permettant une économie substantielle de l'espace d'affichage 'écran', ce mode facilite l'appréhension visuelle globale des ensembles/structures de données au travers d'une perception des différents niveaux de dépendance/relation/liaison entre les données — en direction d'une réduction de la dépense perceptivo-cognitive au sein du processus de traitement de l'information visuelle : identification de l'information visuelle, sélection et comparaison des données, etc. (Few, 2009 ; Ware, 2008 ; Lee et Vickers, 1998).

À noter que le recours aux modes de représentation hiérarchique concentrique 2D, de type notamment radial, discoïdal ou bien encore spiral s'avère dès lors des plus fréquents. Ces derniers, déjà multiséculaires, mis en œuvre notamment par Florence Nightingale, William Playfair ou bien encore André Michel Guerry dès 1854 se sont révélés très tôt d'une grande utilité pour la traduction graphique des écarts et disparités de données statistiques. Depuis lors, ces modes se sont vus complétés, enrichis par de nombreux chercheurs/concepteurs contemporains (Ankerst et al., 1996 ; Wang et al. 2007). Parmi les multiples qualités du mode discoïdal, il en est une qui retient tout particulièrement notre attention : il est aisé d'adapter plusieurs échelles de présentation hiérarchique supportant une comparaison d'importantes quantités de données (Figure 7) (représentation concentrique, dès lors multi-scalaire) : à l'*échelle des données* (schémas relationnels des données), à l'*échelle des groupements/ensembles de données* (organisations de données relationnelles — hiérarchies, objets, classes, etc.), à l'*échelle des structures/organisations* de données (modèles et méta-modèles).

¹⁷ Par commodité rédactionnelle, nous retiendrons l'unique emploi du terme « mode ».

¹⁸ Non apparenté aux *Circle Patterns* — cf. Circos, URL : <<http://circos.ca/>>, consulté le 05/06/2015.

Fig. 7. *The Champion Ring*, Deroy Peraza

Un tel mode à la fois compact et modulaire (multi-objets), doté d'une grande flexibilité scalaire (multi-niveau, multidimensionnelle : des données aux modèles de données), répond en de nombreux points aux besoins de représentation-visualisation de modèles (traçabilité, cohérence, modularité, modèles collaboratifs) ; rappelons qu'un modèle relève avant tout d'une abstraction, qu'il est une représentation conceptuelle d'un système permettant d'en saisir son organisation/sa structure et d'en apprécier son opérationnalité (Minsky, 1965). Ainsi, plus qu'une simple commodité, cette souplesse scalaire compose une fonction essentielle pour la visualisation graphique de modèles.

3.2. Composants circulaires (anneaux)

Afin de permettre l'exploration visuelle et l'extraction d'informations issues des modèles, nous avons alors complété ce mode d'une distribution interne multifilaire, sorte d'anneaux ou segments (Ankerst et al., 1996 ; Wang et al. 2007) symbolisant par type (couleur) les informations et/ou règles d'échanges d'informations par sujet, objet, classe, modèle, etc.¹⁹ — l'assemblage des anneaux ou segments détermine alors le diamètre du disque *parent* (sujet, objet, classe, modèle, etc.) ainsi que le

¹⁹ Si un disque symbolise un sujet ou sous-sujet (entité), les anneaux quant eux représentent leurs informations et règles d'échanges (relation).

‘poids’ que ce dernier occupe au sein de la hiérarchie. Dès 1996, (Ankerst et al., 1996) ont très clairement montré les avantages de ce complément en matière notamment d’économie de l’espace d’affichage ‘écran’ dans le cas de la représentation de grands volumes de données relationnelles. Ils sont parvenus, en outre, à illustrer ses qualités proprement expressives : l’emploi de telles sections circulaires ainsi cumulées, additionnées concourt à une lecture/perception globale des données plus ‘nette’, plus rapide que celle rapportée, par exemple, aux cellules issues de représentations matricielles ou « tabloïdales » (*pixel-per-pixel technique*, représentation choro-chromatique allant du tableau à la carte choroplèthe). À noter également que l’affichage²⁰ par anneau ou segment, se distinguant en différents points de l’affichage polaire et radial, recoupe par d’autres points celui dit *spiral* (Carlis et Konstan, 1998 ; Weber et al., 2001). Ces deux modalités d’affichage permettent, chacune différemment, une transcription graphique de la *densité* et *compacité* informationnelle du ou des modèles²¹ (corolaire de leur complexité intrinsèque).

Par conséquent, si la maîtrise de la complexité des modèles s’avère, à plus d’un titre, problématique sur le plan technique, elle trouverait ici une résolution cognitive : la complexité des modèles deviendrait *aperceptible*²² (Reuter et al., 1990 ; Shovman et al., 2009), c’est-à-dire appréhendable à la fois visuellement et intellectuellement et dès lors maîtrisable par le concepteur. L’étude de cas, détaillée ci-après, permettra d’en comprendre par quels moyens.

3.3. Étude de cas : de la politique d’échange d’informations

3.3.1. Contexte

Nombre d’organisations intègrent aujourd’hui des systèmes de gestion et prévention des risques. Qu’il s’agisse, par exemple, de surveiller la Terre, l’Espace, les fonds marins (en prévision de catastrophes naturelles) ou, plus prosaïquement, d’évaluer des risques sanitaires, ces logiciels assistent les divers collaborateurs (organisations partenaires) dans le partage de l’information et la génération d’alertes. La première des visées fonctionnelles de ces systèmes est de cibler, pour chaque alerte, les bons destinataires, c’est-à-dire ceux capables de *gérer* le péril en question ; il s’agit de leur adresser en un minimum de temps les informations jugées capitales. En outre, eu égard au caractère sensible des éléments d’information à transmettre, il importe que ces systèmes en restreignent/protègent l’accès ; une dissémination ou diffusion élargie pourrait s’avérer fortement préjudiciable.

²⁰ Le terme affichage renvoyant ici aux propriétés dispositionnelles des objets à l’écran.

²¹ Relevante, pour l’affichage par segment, de la distribution de ces sections circulaires.

²² Au sens de (Leibniz, 1765)

Il en va là d'un double objectif : diffuser l'information utile à certains, tout en l'interdisant à d'autres. Celui-ci ne concerne plus seulement les systèmes de surveillance. Pour exemple, la plateforme de micro-blogging Twitter a récemment annoncé un nouveau service de diffusion d'alertes à destination des gouvernements et de certaines organisations non gouvernementales leur offrant d'informer plus rapidement les populations. Dans un autre domaine, citons le cas de partenaires et sous-traitants collaborant au sein d'entreprises étendues²³. Là encore, il importe de maîtriser les divers échanges d'informations ainsi que d'en éviter de possibles fuites.

Aussi est-il nécessaire de définir au sein de ces systèmes des politiques d'échange de données et d'informations (Delmas et Polacsek, 2015a) réglant la diffusion, les transactions et garantissant les droits et obligations de chacun des parties prenantes. À noter que plusieurs recherches concernent dès lors la spécification formelle de ces échanges ainsi que l'analyse de leurs propriétés (Delmas et Polacsek, 2013).

Nous avons donc choisi d'adapter notre technique *StrataVis* à l'un de ces cas d'emploi démontrant, en sus des apports fonctionnels et ergonomiques, qu'un tel formalisme de visualisation contribue fermement à l'appréhension/compréhension des logiques systémiques. Le cas retenu est celui étudié préalablement par (Delmas et Polacsek, 2015) traitant de la politique d'échanges d'informations pour la prévention et gestion de catastrophes naturelles de type ici 'tsunami'²⁴. Au sein de ces modèles, il est question de partage d'informations de différentes natures entre plusieurs acteurs/organisations (appelés *Agents*) rapportées, de près ou de loin (pourrions-nous dire), au sujet (*Topic*) 'tsunami'²⁵. Un tel sujet s'avère sensible, à plusieurs égards, imposant de *canaliser* les différentes informations, qu'elles soient d'ordre politique, stratégique, technique ou encore général (à destination du grand-public). Subséquemment, ces partages s'accompagnent, dans le cas qui nous occupe, d'un typage de l'information :

Information obligatoire²⁶ (*Obligation/Mandatory/Injunctive rules*),
 Information interdite/non-permise/non-autorisée (*Ban/Prohibitive rules*),
 Information permise/autorisée (*Permission/Permissive rules*).

²³ Il en va le plus souvent d'un regroupement stratégique d'entreprises ambitionnant la conception, production et commercialisation d'un nouveau produit

²⁴ Un tsunami est une onde océanique solitaire, immense vague ayant pour origine un tremblement de terre, une éruption volcanique sous-marine ou la chute dans la mer de grands pans de falaises ou de glaciers, et provoquant de graves dégâts quand elle déferle sur une côte.

²⁵ Également relatives à certains sous-sujets (*Subtopics*).

²⁶ Dont la diffusion/communication est alors requise.

Veillant à rester le plus simple possible²⁷, nous nous sommes arrêtés sur trois instances normatives, soit trois règles (Delmas et Polacsek, 2015b) :

- * La première (*r1*) indique que toute information relative au sujet ‘tsunami’ doit être adressée à l’agent TWC (*the Tsunami Warning Center*)²⁸. La transcription en logique de cette règle est : $\forall a, \forall i, \text{Topic}(i, \text{tsunami}) \wedge \text{Know}(a, i) \rightarrow \text{OSend}(a, \text{TWC}, i)$ — il va sans dire que pour les non-mathématiciens, une telle formule n’apparaît pas des plus limpides (c’est là un euphémisme).
- * La seconde (*r2*) pose une interdiction, celle de ne jamais divulguer d’éléments d’information à caractère sensible. En voici la transcription logique : $\forall a, b:A, \forall i:I, \text{Topic}(i, \text{sensitive}) \wedge \text{Know}(a, i) \rightarrow \text{Osend}(a, b, i)$.
- * À ces deux premières règles, il convient d’en ajouter une troisième permettant, d’une part, d’adresser l’ensemble des cas possibles et, d’autre part, d’éviter d’éventuels conflits. Car, en effet, outre la visualisation de politiques d’échange d’informations, il nous importe d’en visualiser également les éventuels erreurs et conflits (renvoyant notamment à des contradictions et aberrations réglementaires). Fort de l’emploi d’outils d’analyse automatique de politiques (Delmas et Polacsek, 2015b), il est dorénavant possible d’identifier divers problèmes (construction réglementaire conflictuelle), d’amender ou bien encore d’adjoindre à une politique certaines règles complémentaires. Dans le cas qui nous occupe ici, nous avons jugé bon de nous en tenir à un exemple simple ne contraignant pas les échanges tenus entre agents au cas où une information relevant du sujet ‘tsunami’ se verrait disponible. Aussi, proposons-nous d’écrire ici une règle permissive indiquant, en substance, qu’il est autorisé aux différents agents concernés d’échanger des informations relatives au sujet ‘tsunami’. Ci-après sa transcription logique : $\forall a, b:A, \forall i:I, \text{Topic}(i, \text{tsunami}) \wedge \text{Know}(a, i) \rightarrow \text{Psend}(a, b, i)$.

3.3.2. Limitations d’UML

(Hofrichter et al., 2013) proposent d’utiliser la notation UML pour modéliser un système de droit d’accès et de notification pour la gestion d’un comité de programme. Ils soutiennent, en substance, qu’UML est une notation simple et

²⁷ Veillant ainsi à nous focaliser sur la plus-value apportée par notre technique *StrataVis*.

²⁸ Ou CPT (Centre de Prévention des Tsunami).

répandue tant au sein des milieux académiques, universitaires que privés, industriels ; ils indiquent qu’une modélisation UML permet aisément de vérifier, de constater si un modèle est conforme à l’*intuition* de son concepteur. Hors, si nous convenons pleinement qu’une notation attelée sur une formalisation visuelle concentre nombre d’avantages au regard d’une notation mathématique, force est de constater (comme nous l’indiquons plus tôt) que le langage UML n’est pas la solution recherchée. Nous avons établi (Figure 8) un diagramme de classes d’une grande simplicité exprimant la politique de diffusion de l’information ainsi qu’un diagramme d’objets sur la base de l’exemple ici cité.

Fig. 8. Diagramme de classes et diagramme d’objets (Éclipse – Papyrus)

À l’évidence, la schématisation ne se lit pas très clairement. La sémantique visuelle d’UML, pourtant d’une grande simplicité, s’accompagne de nombreux défauts du point de vue de l’efficacité cognitive (Moody, 2009). En effet, on remarquera ici qu’il n’existe pas de véritable caractérisation visuelle des « nœuds-boîtes-étiquettes » ainsi que des « flèches »²⁹ ; il ne se trouve pas non plus de différenciation visuo-graphique entre les informations dites *obligatoires* et *interdites* ; de plus, il paraît rigoureusement impossible de retirer une telle distinction des « flèches » (laquelle reposerait donc sur l’aptitude mémorielle du concepteur). C’est à cela, notamment, que vient palier notre technique.

Dans le même ordre d’idée, notons l’extension du langage SysML, SysML-Sec (Apvrille et Roudier, 2013) qui offre aux spécialistes en sécurité de collaborer avec les concepteurs de systèmes côté « modèles » dans le cadre de la conception et du développement de systèmes embarqués. Les aspects *sécurité* sont alors modélisés au travers de diagrammes SysML étendus. À nouveau, si cette approche est assurément

²⁹ UML ne variant sensiblement pas les *formes*, la différenciation entre les éléments représentés appelle donc une dépense cognitive significative ainsi qu’un effort constant. Remarquons, à titre d’exemple, que le lien d’héritage ne se différencie de la relation d’association que par l’extrémité de la flèche : triangle ouvert, fermé ou plein. A cette difficulté s’ajoute le non-recours aux autres variables perceptives que sont la couleur, la taille et l’emplacement.

utile en vue d'introduire des vérifications formelles de certaines propriétés liées à la sécurité, il est nécessaire d'y introduire une *strate visuelle* ne venant pas se substituer au travail existant mais permettant au contraire de l'enrichir et ainsi de remédier aux obstacles cognitifs rencontrés avec le formalisme GC.

3.4. Disque = entité (Topic, Subtopic, Agent)

Fig. 9. Composant discoïdal (disque)³⁰

Au sein de notre représentation-visualisation *StrataVis*, chaque disque renvoie, soit à une *complétion graphique*³¹ de règles (autorisation, interdiction, obligation de transmission d'informations) relatives à un sujet et/ou sous-sujet, soit à une *instanciation graphique*³² de règles correspondantes à un sujet ou sous-sujet et/ou, soit encore à une *occurrence graphique*³³ des règles s'imposant à un ou plusieurs agent(s). En d'autres mots, la souplesse de la technique *StrataVis* réside notamment dans le fait que chaque disque revêt les traits d'un *Container* (Figure 9) que l'utilisateur pourra charger graphiquement d'informations qu'il jugera utiles, nécessaires de visualiser (à l'échelle macro- et/ou micro) eu égard aux tâches qui l'incombe (besoins en visualisation) — à noter que chaque disque peut être dupliqué

³⁰ À noter que le signe # sera utilisé au sein des différentes figures pour évoquer une généralité (ex : #Agent, soit un disque de type 'agent') ; Le signe *, également usité, désignera quant à lui un identifiant précis.

³¹ Présentation de l'ensemble des règles définissant une politique d'échanges d'informations.

³² Sélection et présentation de règles pouvant, le cas échéant, se voir dupliquées/clonées sur plusieurs disques.

³³ Présentation de(s) règles (sélection ou totalité) relatives à un ou plusieurs agents.

ou cloné sans limitation, et ce à la seule convenance de l'utilisateur (paramétrage utilisateur).

L'ensemble de ces réglages et paramétrages, touchant ici à la personnalisation des éléments constitutifs de la représentation-visualisation, implique le maniement d'une instrumentation graphique (*Graphical Toolbar*) donnant accès à un large panel de fonctionnalités : sélection d'un(e) ou plusieurs disques/anneaux/informations ; zoom ; multifenêtrage écran ; filtrage ; expansion d'un ou plusieurs disques ; clonage ou copie d'un ou plusieurs disques ; personnalisation du typage coloré des disques, des segments, etc. En complément de cet outillage graphique, diverses actions se voient également réalisables de manière contextuelle en opérant directement sur les objets graphiques présents à l'écran.

3.5. *Segment = action/règle (Permission, Ban, Obligation)*

Fig. 10. Trois règles (*Permission, Ban, Obligation*)

Les trois règles que nous indiquions précédemment renvoient chacune à un marquage coloré d'ordre signalétique : rouge = interdiction (règles prohibitives) ; jaune = obligation (règles injonctives) ; bleu = permission (règles permissives). Chaque règle contribuant à définir la politique d'échange d'informations est alors

symbolisée au travers d'un anneau, d'un segment circulaire ; les règles s'ajoutant, les segments s'accroissent, se scellent alors les uns aux autres et varient en saturation de sorte à rester visuellement identifiables ; il en va là de la traçabilité des règles éditées ou de ce que nous nommons la « généalogie réglementaire » : de la règle la plus récente de couleur vive, à la règle la plus ancienne à la couleur la plus saturée de noir. L'emplacement des cerclages par type peut varier selon les préférences de lecture de l'utilisateur (Figure 10).

Fig. 11. Distribution graphique des trois règles

À mesure que les règles s'additionnent, le disque se charge, se densifie visuellement. Ainsi, à la modularité des objets (disques, segments) qui composent la représentation-visualisation graphique (*complétion* et/ou *instanciation graphique* de sujets/sous-sujets, *occurrences graphiques* d'agents/d'acteurs) s'ajoute ainsi la possibilité de visualiser leur *autorité*, leur *poids* relativement les uns par rapport aux autres : un sujet au regard d'un autre sujet, un agent en comparaison à un autre agent, etc. ; dans le cas présent, il s'agit du nombre d'autorisations, d'interdictions, d'obligations par sujet/sous-sujet ou relatives à un ou plusieurs agents. Cette information est capitale afin d'identifier, de repérer les concentrations informationnelles/réglementaires, dès lors sources de complication. A la (Figure 11) le sujet 'tsunami' (à gauche) se voit chargé de trois règles de type *permission* auxquelles s'ajoutent une règle de type *interdiction* et une autre de type *obligation*, tandis que l'autre disque #Overall (à droite) affiche la somme réglementaire, tous sujets et/ou sous-sujets confondus (soit, par exemple, plusieurs sujets relatifs à des risques géologiques : tsunamis, volcans, glissements de terrain, séismes, etc.).

Fig. 12. Disque 'sujet : tsunami' sélectionné, soit une règle de type 'obligation' (à droite)

Fig. 13. Disque 'sujet : tsunami' sélectionné, soit une règle de type 'interdiction' (à droite)

3.6. Instanciation de disques

Fig. 14. *Disque 'sujet : tsunami' (à gauche) et disque 'sujet : tsunami' filtré par 'agent : TWC' (à droite)*

L'instanciation de disques par sujet ou sous-sujet ou la définition d'occurrences par agent ou ensemble d'agents peut entraîner l'affichage de disques *liés* (liaisons entre deux ou plusieurs disques), *indépendants* (instances coupées des autres disques) ou bien encore *filtrés* (filtrage par sous-sujet au sein d'un disque 'sujet', filtrage par agent au sein d'un disque 'sujet' ou 'sous-sujet', filtrage par agent au sein d'un disque qui en réunit plusieurs, etc.). Ces trois fonctionnalités d'affichage permettent ainsi de passer aisément d'une *vue globale* à une *vue focalisée* : cette transition/gradation scalaire s'effectue grâce à la molette de la souris après sélection de l'action). Au sein de la (Figure 14), le disque 'sujet : tsunami' a été filtré par l'agent 'TWC'. À la (figure 15), deux disques 'sujet' ont été liés, 'tsunami' et 'earthquake' eu égard à leur rapport de cause à effet³⁴.

³⁴ Les séismes d'amplitude élevée (magnitude 9, notamment) peuvent être l'origine de tsunamis.

Fig. 15. Disque 'sujet : tsunami' (à gauche) et disque 'sujet : earthquake' (à droite) ici liés

3.7. Contextualisation et interaction

Toute information relative à l'un des segments (règles), à l'un des disques (sujet, sous-sujet) se voit spécifiée contextuellement. Diverses métadonnées environnent ainsi la représentation et indiquent la nature des objets graphiques manipulés par le concepteur. Ainsi, l'espace de la représentation s'en trouve nettement "allégé", conférant ainsi toute priorité à l'information visuelle à traiter. Il en résulte une économie radicale de l'espace d'affichage 'écran' ainsi qu'une amélioration réelle des conditions de traitement de l'information, au bénéfice premier du concepteur.

L'un des avantages concurrentiels majeurs, s'il en est, de notre technique *StrataVis* n'est autre que sa vaste palette d'interactions contextuelles. En effet, outre les qualités de la visualisation (formalisme) gagnant en clarté, radicalité et performance, *StratVis* adapte des interactions nouvelles touchant directement à la manipulation des objets visuels à l'écran : notamment, au *clic souris* sur l'un des différents segments (règle) s'affichent, en superposition, les informations contenues (Figures 12 et 13) ; un calque assombri les autres segments (conservant un quartier visible et accessible par le concepteur) et sont indiqués de part et d'autre du noyau les identifiants des deux agents concernés (à gauche celui de l'agent détenteur de l'information et possiblement 'émetteur', à droite le 'destinataire' ou 'non-

destinataire' identifié) — À noter que le seuil de saturation se voit conservé offrant de situer visuellement l'emplacement de la règle sélectionnée au sein de la 'généalogie réglementaire'.

Fig. 16. Expansion du disque 'sujet : tsunami' filtré par 'agent : TWC'

Afin de disposer d'une vue d'ensemble sur les informations réglementaires contenues au sein même d'un disque (sujet/sous-sujet concernant un ou plusieurs agents), il convient de procéder à son *expansion visuo-graphique* provoquant un écartement, un décollement des segments, ce qui libère de l'espace utile à l'affichage des relations comprises entre agents (#id). Pour ce faire, il suffit d'exercer un *clic souris 'long'* sur le disque retenu. Deux modes d'affichage existent renvoyant tantôt à la dilatation d'un disque 'sujet' non-filtré, tantôt à celle d'un disque filtré par 'sous-sujet' ou 'agent' (Figure 16) ; en sus de l'action située sur le disque (*clic souris 'long'*) s'ajoute une fonctionnalité globale (*Toolbar*) permettant de développer plusieurs disques à la fois.

Une telle interaction confère à l'utilisateur la possibilité de passer, en une fraction de secondes, d'une vue compactée, synthétique donnant à voir la répartition des règles par type et leur densité, à une vue déployée, étendue offrant d'explorer visuellement les échanges réglementaires (Pike et al., 2009 ; Yi et al., 2007 ; Heer et Perer, 2011). En ceci, cette interaction se révèle d'une utilité de premier ordre (Dix et Ellis, 1998). Elle concourt, d'une part, à une meilleure saisie perceptive et

mémorisation des informations visuelles présentes à l'écran (Viégas et Wattenberg, 2007) et favorise, d'autre part (dans le cas qui nous concerne ici), une large appréhension cognitive des distributions réglementaires par sujet ainsi qu'une bonne représentation mentale du ou des modèles déterminant la politique d'échange d'informations. Il s'ensuit alors une nette diminution de la *complexité perçue* des modèles par le concepteur (gain cognitif). Car si la complexité se voit ici inhérente aux systèmes (et modèles qui les définissent), reste qu'elle compose un obstacle de poids tant technique que cognitif qu'il revient aujourd'hui de savoir distancer. A cette difficulté, embarras d'ordre cognitif, *StrataVis* formule une piste de *réduction* de la *complexité perçue* touchant en premier lieu à la visualisation et, en second lieu, aux outils de modélisation graphique des systèmes — cette seconde visée composant l'étape prochaine du travail engagé.

3.8. Cœur/noyau = alertes/conflits (*alternance noir & blanc*)

Une fonctionnalité de signalisation des conflits réglementaires fut également développée : *incohérence*, *contradiction* entre les règles éditées au sein d'un même disque (c'est-à-dire en rapport avec un sujet, un sous-sujet ou concernant un ou plusieurs agents). Cette signalisation renvoie à un clignotement graphique 'Noir-Blanc' du noyau du disque alertant le concepteur de la survenue d'un conflit (Figures 17 et 18).

Un simple *clic souris* sur ce noyau permet d'isoler visuellement le conflit à traiter ; des informations additionnelles, disponibles au sein d'un panneau d'information latéral, (*Contextual Information Panel*) offrent de préciser la nature du conflit en question. À tout moment, l'utilisateur peut activer par *double-clic souris* sur ce même noyau un changement de face du disque (*Flip*) développant ainsi l'*historique des conflits* consignés/mémorisés en son sein : chaque conflit se voit représenté au travers d'un mini-disque activable par *clic souris* — les informations relatives à leur résolution se voient disponibles sous forme de fichier *_log*.

Fig. 17. Composant 'noyau' (*Conflict*)

Fig.18. Historique des conflits (*Conflict layers*)

4. Conclusion

Considérant certaines limites du formalisme de GC pour la représentation-visualisation de systèmes (section 2), nous avons précisé en quoi le recours à d'autres langages visuo-graphiques, à d'autres procédés, modes ou motifs de

représentation graphique pourrait s'avérer d'une réelle utilité. Aussi, avons-nous introduit la technique *StrataVis* inaugurant de nouvelles possibilités de représentation-visualisation et modalités de traitement de l'information concourant à une bien meilleure maîtrise de l'ingénierie de systèmes à base de modèles.

En effet, il y aurait plus largement fort à attendre de la visualisation graphique de l'information (entendue ici comme domaine/champ) en matière de conception, manipulation et traitement de modèles. Non qu'il s'agisse d'atténuer, d'amoindrir³⁵ visuellement (ou de quelconque autre façon que ce soit) cette complexité propre aux modèles/systèmes mais davantage d'essarter des voies/pistes nouvelles permettant de composer avec elle, d'en retirer la plus grande richesse (Sweller, 2006). C'est à cet objectif ambitieux que la visualisation graphique de l'information peut permettre de répondre. Elle peut offrir une *clarification* perceptivo-cognitive des propriétés complexes intrinsèques aux modèles et systèmes, les rendant alors plus accessibles à l'œil comme à l'esprit (pour paraphraser Merleau-Ponty, 1964). Outre l'accès visuel aux propriétés des modèles (saisie perceptive, lecture), de nouveaux développements experts en visualisation graphique de l'information sont en mesure de faciliter les actions et pratiques d'annotation des modèles (de l'efficacité de la visualisation à l'efficacité de la modélisation).

De tels apports passent, comme nous l'avons rappelé, par une vision de la macrostructure d'un système et de ses diverses dépendances (il en va de l'intelligibilité du système) : de l'amplitude granulaire d'accès aux informations du système (cf. *the Data-Level, the Clustering Data-Level* ou *Datasets Level, the Model Level, the Clustering Model-Level, the System Level*). Ils réclament également une contextualisation de l'information et de l'action (à tous niveaux) participant d'une régulation de la charge cognitive³⁶ (ainsi que de l'effort mémoriel) mobilisée par le concepteur en exercice (Jourdan et Theureau, 2002).

5. Remerciements

Nous souhaitons, en premier lieu, remercier le comité INFORSID nous ayant permis financièrement de conduire cette étude à son terme (action spécifique). Nous adressons également nos vifs remerciements aux collègues nous ayant apporté leur concours, conseils et 'éclairages' scientifiques, à savoir Arnaud Banos, Max Chevalier, Sophie Dupuy-Chessa, Xavier Le Pallec, Thierry Morineau et Patrice Terrier.

³⁵ En direction de mesures réductrices, simplificatrices.

³⁶ D'une réduction du *coût* cognitif.

6. Bibliographie

- Ankerst M., Keim D. A., Kriegel H. P. (1996). Circle segments: A technique for visually exploring large multidimensional data sets. In *Proceedings of Visualization'96 (Hot Topic Session)*.
- Apvrille L., Roudier Y. (2013) SysML-Sec: A model-driven environment for developing secure embedded systems. Actes de la 8^{ème} conférence sur la Sécurité des Architectures Réseaux et des Systèmes d'Information (SAR-SSI 2013), 16-18 septembre 2013.
- Baget J. F., Mugnier M. L. (2002). Extensions of Simple Conceptual Graphs: the Complexity of Rules and Constraints. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16(12):425–465.
- Bartz D. (2003). Large model visualization: Techniques and applications. Technical report, Ph.D. Thesis. Universitt Tbingen, Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik, Arbeitsbereich Graphisch-Interaktive Systeme.
- Bertin J. (1977). *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris, Flammarion.
- Bertin J. (1967). *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris, La Haye, Mouton, Gauthier-Villars (rééd. 2013, Paris, EHESS).
- Bihanic D. (2014). Design de grands flux de données Cadre conceptuel d'analyse esthétique cognitive des modèles 'non conventionnels' de représentation-visualisation de données. *Technique et Science Informatiques*, 33(5-6):499–539.
- Bihanic D., Chevalier M., Dupuy-Chessa S., Pallec X. L., Morineau T., Polacsek T. (2013) Modélisation graphique des SI. Du traitement visuel de modèles complexes. Actes du XXXI^{ème} Congrès INFORSID, Paris, France, 29–31 Mai 2013, pages 99–114.
- Bihanic D., Polacsek T. (2012a). Models for Visualisation of Complex Information Systems. In *Proceedings of Information Visualisation'12*, pages 130–135. IEEE Symposium.
- Bihanic D., Polacsek T. (2012b). Visualisation de Systèmes d'Information Complexes Une approche par 'points de vue étendus'. *Studia Informatica Universalis*, 10(1):235–262.
- Brooke J. M., Marsh J., Pettifer S., Sastry L. S. (2007). The importance of locality in the visualization of large datasets, *Concurrency and computation: practice and experience*, 19(2):195-205.
- Carlis J. V., Konstan J. A. (1998). Interactive visualization of serial periodic data. In *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST'98*, pages 29–38, New York, NY, USA, ACM.
- Carpendale M. S. T. (2003). Considering Visual Variables as a Basis for Information Visualisation. Technical report, University of Calgary, Calgary, AB.
- Chambers J. M., Cleveland W. S., Kleiner B., Tukey, P. A. (1983). *Graphical Methods for Data Analysis*. Belmont, CA, Wadsworth.
- Chein M., Mugnier M.-L. (2014). Conceptual Graphs Are Also Graphs. In *Proceedings of the International Conference on Conceptual Structures'14*, pages 1–18.
- Chein M., Mugnier M.-L. (2004). Types and Coreference in Simple Conceptual Graphs. In *Proceedings of the International Conference on Conceptual Structures'04*, LNAI 3127, pages 303–318. Hunstville, USA, Springer, Hunstville.

- Chein M., Mugnier M.-L. (1997). Positive Nested Conceptual Graphs. In Lukose D., Delugach H., Keeler M., Searle L., Sowa J. F. (Eds). *Conceptual Structures: Fulfilling Peirce's Dream*, proceedings of the fifth International Conference on Conceptual Structure'97, Seattle, USA, volume 1257 de Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 95–109. Springer.
- Chein M., Mugnier M. L. (1992). Conceptual Graphs: Fundamental Notions. *Revue d'intelligence artificielle*, 6(4):365–406.
- Chi E. H. (2002). Expressiveness of the data flow and data state models in visualization systems. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI'02*, pages 375-378, New York, NY, USA. ACM.
- Chuang J., Ramage D., Manning C. D., Heer J. (2012). Interpretation and Trust: Designing Model-Driven Visualizations for Text Analysis. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems'12 (CHI)*, pages 443-452.
- Cleveland W. S. (1993). *Visualizing Data*. West Hobart (Australia), Hobart Press.
- Cleveland W. S., Devlin S. J. (1980). Calendar Effects in Monthly Time Series: Detection by Spectrum Analysis and Graphical Methods. *Journal of the American Statistical Association*, 75(371):487–496.
- Collins A. M., Quillian M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 8(2):240–247.
- DeLine R., Venolia G., Rowan K. (2010). Software Development with Code Maps, *Commun.* 53(8):48–54. ACM.
- Delmas R., Thomas Polacsek T. (2015a). Critical Information Diffusion Systems. Workshop on Information Systems for AlaRm Diffusion, (WISARD'2015).
- Delmas R., Thomas Polacsek T. (2015b). Need-to-share & non-diffusion requirements verification in exchange policies. In 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'15).
- Delmas R., Polacsek T. (2013). Formal methods for exchange policy specification. In Salinesi C., Norrie M. C., Pastor O. (Eds). *CAiSE*, volume 7908 of Lecture Notes in Computer Science, pages 288–303. Springer.
- Dix A. J., Ellis G. (1998). Starting simple: adding value to static visualisation through simple interaction. In Catarci T., Costabile M. F., Santucci G., Tarantino L. (Eds). *AVI*, pages 124–134. ACM Press.
- Droste P., Nöh K., Wiechert W. (2013). Omix – A Visualization Tool for Metabolic Networks with Highest Usability and Customizability in Focus. *Chemie Ingenieur Technik*, 85(6):849–862.
- Droste P., Wiechert W., Nöh K. (2012). Semi-automatic drawing of metabolic networks. *Information Visualization*, 11(3):171–187.
- Elmqvist N., J.-D. Fekete J.-D. (2010). Hierarchical aggregation for information visualization: Overview, techniques, and design guidelines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3):439–454.

- Favre J.-M., Nguyen T. (2005). Towards a Megamodel to Model Software Evolution Through Transformations, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science (ENTCS)*, 127 (3), pages 59–74.
- Few S. (2009). *Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis*. Analytics Press, USA, 1st edition.
- Gershenson C., Aerts D., Edmonds B. (2007). *Philosophy and Complexity. Worldviews, Science and Us*. World Scientific, Singapore.
- Gottschling V. (2006). Visual imagery, mental models, and reasoning. In Carsten Held M. K. Vosgerau G. (Eds). *Mental Models and the Mind Current Developments in Cognitive Psychology, Neuroscience, and Philosophy of Mind*, volume 138 of *Advances in Psychology*, pages 211–235. North-Holland.
- Gronback R. C. (2009). *Eclipse Modeling Project: A Domain-Specific Language (DSL) Toolkit*. Addison-Wesley Professional, 1st edition.
- Heer J., Perer A. (2011). Orion: A system for modeling, transformation and visualization of multidimensional heterogeneous networks. *Visual Analytics Science & Technology*, page 51–60. IEEE Computer Society.
- Heer J., Bostock M., Ogievetsky V. (2010). A Tour through the Visualization Zoo, *Communications*, 53(6):59–67. ACM.
- Hofrichter O., Gogolla M., Sohr K. (2013). Uml/ocl based design and analysis of role-based access control policies. In Combemale B., DeAntoni J., France R. B., Barn B., Clark T., Frank U., Kulkarni V., Turk D. (Eds). *GEMOC+AMINO@MoDELS*, volume 1102 of *CEUR Workshop Proceedings*, pages 33–42.
- Horgan J. (1995). From complexity to perplexity. *Scientific American*, 272:74–79.
- Johnson-laird P. N. (1998). Imagery, visualization, and thinking. In Hochberg J. (Ed.). *Perception and Cognition at Century's End*, pages 441–467. Academic Press.
- Jourdan M., Theureau J. (2002). *Charge mentale : notion floue et vrai problème*. Toulouse, Octarès.
- Le Pallec X., Dupuy-Chessa X. (2013). Support for quality metrics in metamodeling. In *Proceedings of the Second Workshop on Graphical Modeling Language Development, GMLD'13*, pages 23–31. New York, NY, USA, ACM.
- Le Pallec X., Renaux E., Olavo Moura C. (2005). *ModX: To create metamodels and to use, ECMDA-FA'2005 – European Conference on Model Driven Architecture –Foundations and Applications – (Tools Exhibition ECMDA-FA Open Source and Academic Tools)*, Nuremberg, Deutschland, November 2005.
- Lee M. D., Vickers D. (1998) *Psychological approaches to data visualisation*. DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory.
- Lehmann F. (1992). *Semantic Networks in Artificial Intelligence*. Oxford, Pergamon Press.
- Leibniz G.-W. (1765) *Nouveaux essais sur l'entendement humain*. Paris, Garnier Flammarion, Préface (rééd.1993).

- Liu Z., Nersessian N., Stasko J. (2008). Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization. *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6):1173–1180. IEEE Computer Society Press.
- Liu Z., Stasko J. T. (2010). Mental models, visual reasoning and interaction in information visualization: A top-down perspective. *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(6):999–1008. IEEE Computer Society Press.
- MacEachren A. M., Roth R. E., O'Brien J., Li B., Swingley D., Gahegan M. (2012). Visual semiotics & uncertainty visualization: An empirical study. *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12):2496–2505. IEEE Computer Society.
- McIntosh P., Hamilton M., van Schyndel R. (2008). X3D-UML: 3D UML state machine diagrams. In Czarnecki K. (Ed). *MoDELS 2008*, LNCS 5301, Germany, 28 September–3 October, 2008, pages 264–279.
- Merleau-Ponty M. (1964). *L'œil et l'esprit*. Paris, Gallimard.
- Minsky M. (1965). Matter, mind, and models. In *Proceedings of IFIP Congress 65*, pages 45–49.
- Moere A. V., Purchase H. C. (2011). On the role of design in information visualization. *Information Visualization*, 10(4):356–371.
- Moody D. L. (2009). The “physics” of notations: Toward a scientific basis for constructing visual notations in software engineering. *Transactions on Software Engineering*, 35(6):756–779. IEEE Computer Society Press.
- Morin E. (1992). From the concept of system to the paradigm of complexity. *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 15(4):371–385.
- Morin E. (2008). *On complexity*. New York, Hampton Press, 2008.
- Mugnier M.-L., Chein M. (1996). Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 10(1):7–56.
- Nastov B., Pfister F. (2014). Experimentation of a Graphical Concrete Syntax Generator for Domain Specific Modeling Languages. *Actes du XXXII^{ème} Congrès INFORSID*, Lyon, France, 20–23 Mai 2014, pages 197–213.
- Nowell L., Schulman R., Hix D. (2002). Graphical encoding for information visualization: an empirical study. In *Proceedings of Information Visualization'02*, pages 43–50. IEEE Symposium.
- Orosco R., Campo M. (1999). Mamp: A design model for object-oriented visualization systems. In Chatty S., Dewan P. (Eds). *Engineering for Human-Computer Interaction*, volume 22 of *IFIP The International Federation for Information Processing*, pages 243–260. Springer US.
- Paquette G. (2010). *Visual Knowledge and Competency Modeling – From Informal Learning Models to Semantic Web Ontologies*. Hershey, PA, IGI Global.
- Paquette G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences : un langage graphique pour concevoir et apprendre*. Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec.

- Pike W. A., Stasko J., Chang R., O'Connell T. A. (2009). The science of interaction. *Information Visualization*, 8(4):263–274.
- Quillian M. R. (1966). Semantic memory. Technical report, DTIC Document, 1966.
- Rao A. A., Madhavi K. (2010). Framework for visualizing model-driven software evolution and its application. *CoRR*, abs/1002.1188.
- Rapp D. N., Uttal D. H. (2006). Understanding and enhancing visualizations: Two models of collaboration between earth science and cognitive science, pages 121–127. Geological Society of America Press, Boulder, CO.
- Reniers D., Voinea L., Telea A. (2011). Visual exploration of program structure, dependencies and metrics with SolidSX. In *Proceedings the Conference on Software Visualization'11*, pages 1–4.
- Reuter L. H., Tukey P., Maloney L. T., Pani J. R., Smith S. (1990). Human perception and visualization. In *Proceedings of the 1st Conference on Visualization'90*, pages 401–406. IEEE Computer Society Press.
- Salvat E. (1998). Theorem Proving Using Graph Operations in the Conceptual Graph Formalism. In *Proceedings of the 13th European Conference on Artificial Intelligence'98*, pages 356–360.
- Shovman M. M., Szymkowiak A., Bown J. L., Scott-Brown K. C. (2009). Changing the view: Towards the theory of visualisation comprehension. In Banissi E., Stuart L. J., Wyeld T. G., Jern M., Andrienko G. L., Memon N., Alhajj R., Burkhard R. A., Grinstein G. G., Groth D. P., Ursyn A., Johansson J., Forsell C., Cvek U., Trutschl M., Marchese F. T., Maple C., Cowell A. J., Moere A. V. (Eds.), IV, pages 135–138. IEEE Computer Society.
- Simoff S., Böhlen M., Mazeika A. (2008). *Visual Data Mining: Theory, Techniques and Tools for Visual Analytics*. LNCS sublibrary: Information systems and applications, incl. Internet/Web, and HCI. Springer.
- Sindi O., Litomisky K., Dekens F. (2013). Introduction to information visualization (infovis) techniques for model-based systems engineering. In *Proceedings of Conference on Systems Engineering Research'13*, pages 49–58.
- Smith A., Hawes T., Myers M. (2014). Hiérarchie: Interactive Visualization for Hierarchical Topic Models. In *proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces'14*, pages 71–78.
- Sottet J. S., Calvary G., Favre J. M., J Coutaz J. (2009). Megamodeling and metamodel-driven engineering for plastic user interfaces: MEGA-UI. In *Human-Centered Software Engineering*, Seffah A., Vanderdonck J. and Desmarais M. C. (Eds.), pages 173–200. Springer, Human-Computer Interaction Series.
- Sowa J. F. (1984). *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Boston, Addison-Wesley.
- Sweller J. (2006). How the human system deals with complexity. In Elen J., Clark R. E. (Eds.), *Handling complexity in learning environments*, pages 13–25. Amsterdam, Elsevier.
- Tufte E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT, Graphics Press, 1983.

- Tufte E. R. (1997). *Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative*. Cheshire, CT, Graphics Press.
- Tufte E. R. (2011). *Envisioning information*. Cheshire, CT, Graphics Press, 4th printing edition.
- Viégas F. B., Wattenberg (2007). M. Artistic data visualization: Beyond visual analytics. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Online Communities and Social Computing'07*, pages 182–191. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- von Pilgrim J., Duske K., McIntosh P. (2009). Eclipse GEF3D: Bringing 3D to Existing 2D Editors. *Information Visualization*, 8(2):107–119.
- Vygotsky L. (1986). *Thought and Language*. MIT Press, preface de Kozulin A.
- Wahsheh L. A., de Leon D. C., Alves-Foss J. (2008). Formal Verification and Visualization of Security Policies. *Journal of Computer*, 3(6):22–31.
- Wang S. L., Loy C. C., Lim C. P., Lai W.-K., Tan K. S. (2007). Use of circle segments as a data visualization technique for feature selection in pattern classification. In Ishikawa M., Doya K., Miyamoto H., Yamakawa T. (Eds). *ICONIP (1)*, volume 4984 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 625–634. Springer.
- Ware C. (2008) *Visual Thinking: For Design*. San Francisco, CA, Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Ware C. (2004). *Information Visualization: Perception for Design*. San Francisco, CA, Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Ware C., Neufeld E., Bartram L. (1999). Visualizing Causal Relations, In *proceedings of Information Visualization'99*, pages 39–42.
- Weber M., Alexa M., Müller W. (2001). Visualizing time-series on spirals. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization'01*, pages 7–13, Washington, DC, USA, 2001. IEEE Computer Society.
- Yi J. S., Kang Y. A., Stasko J., Jacko J. (2007). Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6):1224–1231. IEEE Computer Society.
- Yost B., North C. (2006). The Perceptual Scalability of Visualization, *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12(5):837–844. IEEE Computer Society.
- Zarwin Z., Sottet J.-S., Favre J.-M. (2012). Natural modeling: Retrospective and perspectives an anthropological point of view. In *Proceedings of the 2012 Extreme Modeling Workshop, XM'12*, pages 3–8. New York, NY, USA, 2012. ACM.