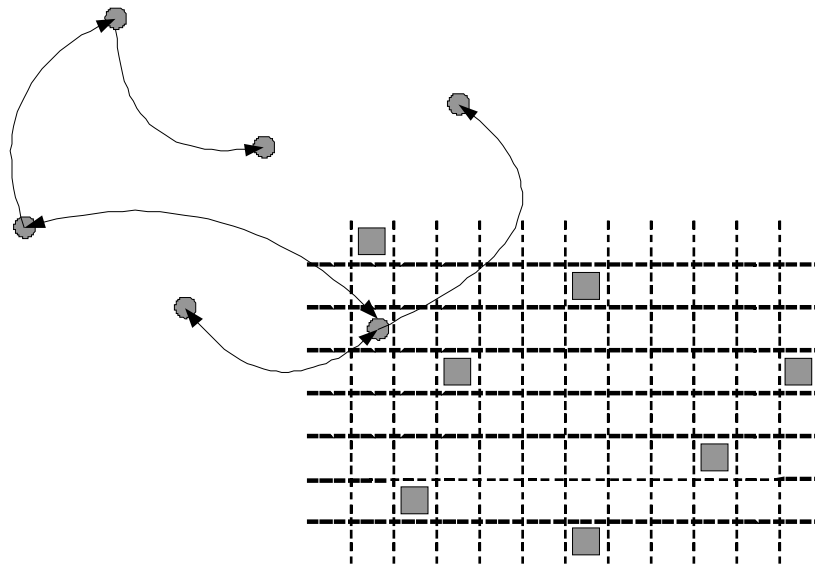


Mémoire de D.E.A.
Simulation et Modélisation des Espaces Bâtis
Université Henri Poincaré, Nancy
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, Nancy



Représentation graphique des interactions se
produisant au cours d'un projet collaboratif
dans le domaine de l'architecture

Présenté par Benoît Otjacques

Supervision : Prof. G. Halin

Promotion 2003-2004

Chapitre II Introduction.....	6
0.1. Contexte général.....	6
0.2. Résumé de la démarche suivie.....	6
Chapitre III Identification d'une problématique.....	7
1. Préambule.....	7
2. Contexte général.....	7
2.1. Le travail coopératif assisté par ordinateur.....	7
2.2. La gestion de projet.....	10
2.2.1. Le concept de projet.....	10
2.2.2. Le concept de décision.....	12
2.2.3. La composante cognitive.....	12
3. Travaux antérieurs au CRAI.....	15
3.1. Le modèle de projet architectural de Halin & Hanser.....	15
3.2. La représentation graphique dans le modèle de Halin & Hanser.....	17
4. Description de la problématique.....	19
Chapitre IIII La visualisation graphique d'informations.....	22
0.1. Les concepts.....	22
0.2. La théorie de la graphique selon Bertin.....	24
0.3. Classification des données.....	26
0.4. Classification des représentations graphiques.....	27
0.4.1. Travaux de Lhose.....	28
0.4.2. Travaux de Novick et Hurley.....	29
Chapitre IV Matérialisation de la question fondamentale.....	34
1. Cadre de réflexion.....	34
2. Méthodologie.....	35
2.1. Proposition d'une structuration des questions potentielles.....	35
3. Identification de questions concrètes.....	40
Chapitre V Travaux de recherche antérieurs associés à notre problématique.....	42
1. Représentations graphiques originales.....	42
1.0.1. DataWear.....	42
1.0.2. Bases de données temporelles.....	43
1.0.3. Travaux de ETH Zurich.....	46
1.0.4. Candytop 3D.....	49

1.0.5.Lentille mobile.....	50
1.0.6.Treemap.....	52
1.0.7.LifeLines.....	54
2.L'approche centrée sur les relations dans l'étude des projets.....	55
2.1.L'étude des interactions.....	55
2.2.La théorie de l'analyse des réseaux sociaux.....	58
2.2.1.Contexte général.....	58
2.2.2.Applications de la SNA au secteur de la construction.....	59
2.2.3.Application combinée de la SNA et d'autres techniques d'analyse.....	62
2.3.Représentation des interactions.....	63
2.3.1.Les sociogrammes.....	64
2.3.2.Représentation de conversations par e-mail.....	65
2.3.3.L'approche 'Thread Arcs'.....	66
2.3.4.VCV: Visualisation de communications virtuelles.....	68
2.3.5.Les hypergraphes.....	70
2.3.6.Environnement de travail organisé selon les contacts de l'utilisateur.....	71
2.3.7.SNF: Social Network Fragments.....	72
2.3.8.Représentation 'Chatcircles'.....	73
2.3.9.Intégration des travaux dans notre démarche.....	74
Chapitre VIElaboration de la représentation graphique.....	75
1.Réseau ou matrice ?.....	75
2.Analyse de la représentation graphique matricielle pour visualiser le temps.....	76
3.Construction d'une représentation graphique.....	85
3.1.Construction de la représentation : la représentation du temps.....	85
3.2.Construction de la représentation : la description de l'interface.....	87
3.2.1.Concepts de base.....	87
3.2.2.Visualisation des acteurs.....	90
3.2.3.Zoom sur une sous-période de temps.....	90
3.2.4.Mise en évidence d'informations particulières.....	91
3.2.5.Affichage lié aux fichiers attachés.....	93
3.2.6.Filtrage des informations.....	96
3.2.7.Commentaire final.....	97
3.3.Construction de la représentation : les technologies utilisées.....	99

Chapitre VII	Evaluation de la représentation proposée.....	102
0.1.	Expérimentation.....	102
0.1.1.	But de l'expérience proposée.....	102
0.1.2.	Protocole expérimental.....	102
0.1.3.	Description du contexte de mise en situation.....	103
0.1.4.	Exposé des concepts de base de la représentation proposée.....	104
0.1.5.	Collecte d'information sur l'évaluation de l'interface.....	105
0.2.	Résultats.....	106
0.2.1.	Profil des participants.....	106
0.2.2.	Résultats.....	106
0.2.3.	Discussion des résultats.....	109
Chapitre VIII	Conclusions.....	111
Chapitre IX	Bibliographie.....	112

Remerciements

Ce stage a été mené à bien sous la direction du Professeur Gilles Halin, qui conduit une partie de ses recherches au CRAI. Je tiens à le remercier pour ses conseils et sa supervision constructive de mon travail.

Je remercie également Mr Fernand Feltz, directeur scientifique de la Cellule de Recherche, d'Étude et de Développement en Informatique du Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, établissement au sein duquel le stage a été réalisé.

Je souhaite également associer à ces remerciements le Professeur Jean-Claude Bignon, responsable du DEA 'Modélisation et Simulation des Espaces Bâties'. Cette formation m'a permis de découvrir de nouvelles facettes de l'application des systèmes informatiques dans le secteur de l'architecture.

Enfin, le travail présenté dans ce rapport a nécessité la collaboration de divers architectes et ingénieurs qui m'ont fourni un retour d'expérience indispensable et enrichissant.

Chapitre I Introduction

0.1. Contexte général

Ce stage s'inscrit dans la continuité des travaux menés par deux unités de recherche. La première est le CRAI (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, Unité Mixte de Recherche n° 694 du CNRS), situé à Nancy, qui a développé une expertise dans le domaine des environnements coopératifs pour le secteur de l'architecture. La seconde est la cellule CREDI (Cellule de Recherche, d'Etude et de Développement en Informatique) du Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, situé à Luxembourg, qui est spécialisé dans le support informatique à la coopération.

0.2. Résumé de la démarche suivie

Le stage se situe dans le domaine des environnements coopératifs de gestion de projet pour le secteur de l'architecture. Dans ce secteur, les partenaires du projet, et en particulier les architectes, sont amenés à prendre un grand nombre de décisions. Il est établi par ailleurs qu'une décision est fortement influencée par l'environnement dans lequel elle est prise. Dès lors, la prise de conscience par l'architecte du contexte dans lequel s'opère la coopération s'avère être une problématique digne d'intérêt.

Nous pensons que l'assimilation cognitive de la complexité d'une situation de coopération peut être facilitée en mettant à disposition des architectes de nouveaux modes de représentation graphique de la coopération. Ces nouvelles méthodes de visualisation des informations associées au projet présentent un réel potentiel dans différentes situations concrètes : identification de problèmes, optimisation des processus, facilitation de la supervision du projet, réduction des litiges issus d'échanges d'information imparfaits...

Le travail réalisé au cours du stage visait donc à étudier les travaux antérieurs réalisés par le CRAI dans ce domaine, en particulier ceux réalisés par D. Hanser pendant sa thèse de doctorat. Cette approche a été complétée par une étude bibliographique de la question. Des entretiens informels avec quelques professionnels ont permis d'affiner notre connaissance de la réalité du terrain en matière de visualisation de l'état d'un projet. Sur cette base, une proposition de représentation graphique différente de celles habituellement offertes par les outils du marché a été élaborée. Son efficacité et sa pertinence a été évaluée lors de tests avec des utilisateurs pilotes. Enfin, les résultats de ces tests ont été analysés et commentés.

Chapitre II Identification d'une problématique

1. Préambule

La première étape dans la construction d'une connaissance scientifique consiste donc à préciser en détail la question à laquelle on essaye de répondre. Ceci fera l'objet du présent chapitre.

La première partie sera consacré au rappel de quelques notions de base en matière d'informatique coopérative, de gestion de projet, de décision et de cognition. Il ne s'agit évidemment pas de produire un état de l'art exhaustif de ces différents domaines mais plutôt de montrer comment s'est construite notre vision de la problématique du stage à partir de réflexions issues de disciplines scientifiques assez différentes. Ensuite, puisque le stage fait suite aux travaux menés au CRAI par D. Hanser, certains résultats de ses recherches seront rappelés. Enfin, ces différents éléments seront mis en correspondance pour définir le cadre de nos réflexions et identifier une problématique précise.

2. Contexte général

2.1. Le travail coopératif assisté par ordinateur

Notre stage s'inscrit dans la continuité des travaux du CRAI et de CREDI dans le domaine des systèmes coopératifs. Il est dès lors assez naturel de rappeler certaines notions de base de ce domaine.

Le travail coopératif assisté par ordinateur (TCAO ou *CSCW* en anglais pour *Computer Supported Cooperative Work*) rassemble les outils logiciels supportant la communication, la coordination et la collaboration entre des personnes ou des groupes de personnes (cf. modèle des 3C de Ellis). Il a aussi été considéré comme une '*tentative pour comprendre la nature et les caractéristiques du travail coopératif avec comme objectif la conception d'une technologie informatique adéquate*' [BS91]. Longchamp [Lc03, p.15.] utilise le terme générique de système coopératif pour qualifier '*tout système informatisé visant à assister un groupe d'utilisateurs qui travaillent ensemble et interagissent dans le but de réaliser une tâche commune.*'

Les différents outils utilisés dans cette discipline sont souvent classifiés selon une approche spatio-temporelle, que Johansen [Jo88] a résumée dans sa célèbre représentation matricielle (cf. Fig. 1). Il distingue ainsi quatre cas selon que les membres du groupe interagissent en étant dans le même lieu ou dans des lieux différents (axe spatial) et selon que ces interactions soient synchrones ou asynchrones (axe temporel).

	Espace	
Temps	Identique	Différent
Différent	<i>Support for shift work ...</i>	<i>E-mail...</i>
Identique	<i>Meeting support...</i>	<i>Video conferencing...</i>

Fig. 1: la matrice de Johansen

Johnson et Johnson [JJ01] ont développé l'idée à la base de la matrice de Johansen pour classer les différents types d'activités collaboratives. Ils identifient trois axes de classification : les parties en présence, la prise de conscience de la collaboration et l'aspect spatio-temporel des interactions se produisant au cours de la collaboration.

En ce qui concerne les parties en présence, ces auteurs identifient trois types d'acteurs : les personnes, les agents logiciels et les organisations.

Table 1: Classification des collaborations selon les parties en présence

Acronyme	Parties en présence	Remarque
PPC (<i>Person-Person Collab.</i>)	Personne – Personne	Peut se produire entre personnes ayant des expertises, des responsabilités différentes.
PAC (<i>Person-Agent Collab.</i>)	Personne – Agent	L'agent peut soit réduire la charge de travail associée à la tâche concernée, soit il peut ajouter de la connaissance pour améliorer l'accomplissement de la tâche.
POC (<i>Person-Org. Collab.</i>)	Personne – Organisation	La collaboration ne nécessite pas que les parties soient identifiées en tant qu'individus.
AAC (<i>Agent-Agent Collab.</i>)	Agent – Agent	-
AOC (<i>Agent-Org. Collab.</i>)	Agent – Organisation	-
OOC (<i>Org.-Org. Collab.</i>)	Organisation – Organisation	La collaboration est souvent placée dans le cadre d'une relation formellement définie.

Les activités de collaborations peuvent aussi être distinguées selon la prise de conscience qu'ont les acteurs de cette collaboration.

Table 2: Classification des collaborations selon la conscience qu'en ont les acteurs

Acronyme	Conscience de la collaboration
MGS (<i>Main Goal Sharing</i>)	Les participants sont conscients de la collaboration et travaillent consciemment ensemble vers un but commun.
DCS (<i>Distributed Contributing Goals</i>)	Des participants accomplissent ensemble des tâches dont ils ignorent qu'elles s'inscrivent dans une démarche ayant un but commun et dont ils ignorent comment elles participent à cet objectif plus large.
IGS (<i>Independent Contributing Goals</i>)	Des participants réalisent individuellement et de leur propre initiative des tâches qui ne sont pas des activités de collaboration en tant que telles mais qui contribuent à atteindre un but commun dans le cadre d'une collaboration.

Enfin, Johnson et Johnson adaptent la matrice de Johansen pour caractériser la collaboration au niveau spatial et temporel. Ils remplacent la distinction entre les activités synchrones et asynchrones par la distinction entre activités instantanées et différées.

Table 3: Classification des collaborations selon les aspects spatio-temporels

Acronyme	Aspects spatio-temporels
IPI (<i>Immediate – Proximal Interaction</i>)	Les parties concernées sont situées au même endroit et les interactions entre elles sont instantanées.
IDI (<i>Immediate – Distant Interaction</i>)	Les parties concernées sont situées dans des endroits différents et les interactions entre elles sont instantanées.
DDI (<i>Delayed – Distant Interaction</i>)	Les parties concernées sont situées dans des endroits différents et les interactions entre elles sont différées.
DPI (<i>Delayed – Proximal Interaction</i>)	Les parties concernées sont situées au même endroit et les interactions entre elles sont différées.

Ces éléments permettent de structurer la réflexion quand on vise à concevoir de nouveaux outils informatiques d'aide au travail coopératif. En effet, il est important de bien préciser dans quel(s) type(s) de travail coopératif l'outil est destiné à être utilisé.

Par ailleurs, différentes théories sous-tendent les recherches en informatique coopérative (cf. [Lc03, p. 41-95]). Deux d'entre elles nous semblent particulièrement utiles à mentionner dans ce rapport : la cognition distribuée et l'ergonomie cognitive. En effet, ces deux théories contiennent des éléments qui ont alimenté notre réflexion au cours de la phase d'élaboration de la question scientifique traitée dans le stage.

La cognition distribuée a été développée dans les années 1980 par Edwin Hutchins et ses collègues. Elle considère la cognition comme un phénomène intégré dans un cadre technologique et social. Cette théorie a été essentiellement utilisée pour comprendre des situations de travail complexes et en particulier l'ingénierie. Nous voyons donc apparaître un premier lien avec le contexte de notre stage : les projets de construction sont par essence des situations de travail complexes. La théorie de la cognition distribuée s'intéresse aux systèmes socio-techniques, décrits comme un ensemble de personnes et d'*artefacts*. Elle analyse les interactions entre ces composants dans le cadre où ils sont situés. Les questions essentielles qu'elle traite concernent la structure, le traitement et la circulation des représentations externes et internes. Nous voyons poindre ici un second élément qui a suscité notre réflexion : la reconnaissance de l'importance des interactions entre les composants du projet (ex. acteurs, documents, logiciels...).

L'ergonomie cognitive s'intéresse à l'étude de situations de travail où des individus effectuent une certaine tâche en s'aidant de différents *artefacts*. Un élément spécifique nous semble particulièrement intéressant dans cette approche : la différenciation entre tâche prescrite et activité effective. La tâche désigne généralement ce qui est à faire par l'opérateur et comment il doit le faire. Elle se caractérise par un but donné et des

conditions d'obtention déterminées par l'organisation. L'activité est la réponse individuelle à la tâche prescrite. Elle dépend des compétences de l'individu, de son intelligence, de ses capacités d'adaptation et d'autonomie, de ses stratégies cognitives, de ses mécanismes d'adaptation et d'anticipation, etc. *'Cette distinction tâche/activité permet de souligner le caractère non totalement prescriptible et informel de beaucoup d'activités de travail. En effet, face aux exigences constantes de la tâche, des variations apparaissent dans la mise en œuvre effective, liées soit aux variations interindividuelles soit aux variations de la situation de travail.'* [Lc03] Cette dichotomie 'tâche – activité' alimente elle aussi nos réflexions axées sur la gestion de projet de construction. En effet, elle préconise non seulement de s'intéresser aux tâches planifiées mais aussi aux interactions réelles. Nous nous voyons donc confortés dans notre idée de nous intéresser spécifiquement à ce qui se passe réellement dans le projet. Un autre élément renforce notre conviction. Leplat, membre de l'école des ergonomes français, ([Le91] cité dans [Lc03]) considère que les activités collectives peuvent être analysées selon deux points de vue :

- *comment la dimension collective est intégrée à l'activité individuelle,*
- *en considérant l'activité du groupe comme un tout et comme étant l'entité à étudier avec sa loi propre de fonctionnement, étude des mécanismes de régulation internes, rôle des artefacts dans la coordination du groupe.*

Nous nous centrerons sur le second point de vue : l'étude du groupe (de projet) en tant que tel. A ce niveau, les travaux de Berndtsson et Normark [BN99] illustrent bien le rôle primordial que peuvent prendre des *artefacts* dans la coordination. Ils ont étudié le travail de contrôleurs aériens et ont mis en évidence l'importance des *flight strips* (petites bandelettes de papier décrivant les vols) pour appréhender les situations en cours, et notamment pour faire ressortir les situations critiques. Ces résultats apportent un nouvel élément à intégrer dans notre démarche. Ils démontrent en effet l'importance qu'il y a à donner à une personne en face d'une situation de coordination complexe, des outils lui permettant d'appréhender correctement la situation. Parmi les différents *artefacts* possibles, ceux liés à l'informatique nous concerneront plus particulièrement.

Ce rapport de stage n'a pas pour vocation de développer un état de l'art exhaustif de la discipline du *CSCW*. Néanmoins, ce bref rappel de quelques notions de base et de certains travaux choisis dans ce domaine nous semblait utile car il nous permet de situer notre démarche dans un contexte plus global et de préciser ensuite le centre d'intérêt du stage.

2.2. La gestion de projet

2.2.1. Le concept de projet

Nous avons décidé d'axer notre travail sur la problématique de la gestion de projets architecturaux. Par conséquent, il nous faut avant tout prendre conscience de ce qu'est un projet en général. Turner (cité dans [DE04]) définit un projet comme « *an endeavour in which human, material, and financial resources are organized in a novel way, to undertake a unique scope of work, for a given specification, within constraints of cost and time, so as to achieve beneficial changes defined by quantitative and qualitative objectives.* » Desouza et Evaristo ajoutent que les projets ont évolué de phénomènes

simples vers des entités plus complexes qui reposent sur les technologies informatiques. *‘Projects have moved from being simple phenomena to manage to more complex entities spanning geographical locations, multiple occurrences, and different organizational affiliations, with IT being the key enabler for the transformation.’* [DE04] Les projets de construction s’inscrivent tout à fait dans cette évolution.

Les différentes entités qui constituent le projet entretiennent de multiples et diverses relations entre elles. Leur gestion efficace nécessite des opérations de coordination, concept défini par Malone [Ma94] comme *‘le processus de gestion des dépendances entre les activités’*. Une collaboration est également indispensable en vue d’atteindre les objectifs du projet. Bicharra Garcia et al. [Bi03], par exemple, illustrent parfaitement cette assertion en insistant sur le fait que *‘la performance d’un projet de conception n’est pas seulement fonction de l’expertise des experts individuels mais aussi de leur capacité à bien travailler ensemble.’* Enfin, une communication performante constitue le troisième élément permettant d’aboutir à une gestion de projet efficace.

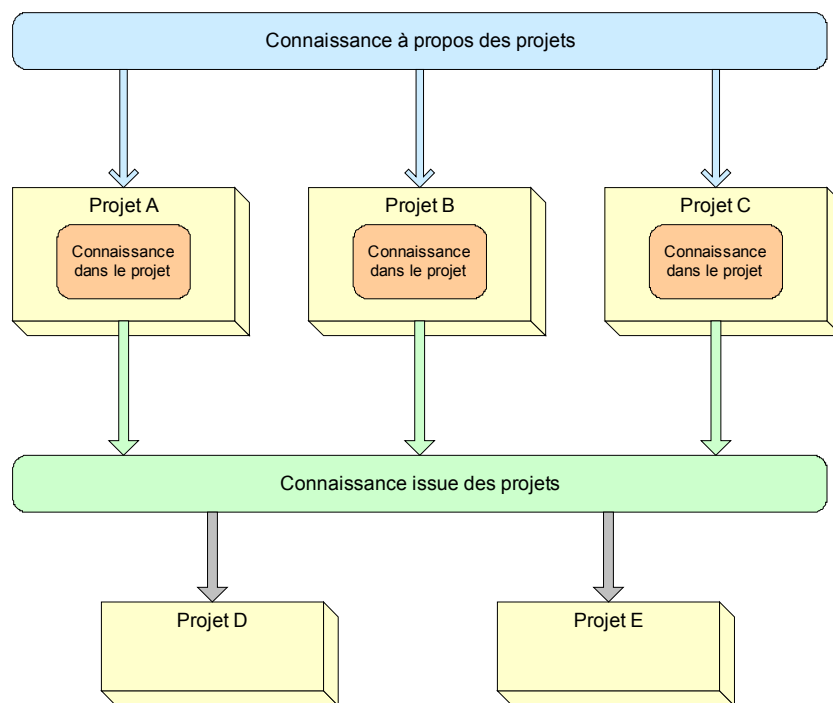


Fig. 2: Les trois types de connaissance associées à un projet

Le concept de connaissance associée au projet est un autre élément qui doit être discuté dès lors que l’on s’intéresse à la problématique de la gestion de projet. A ce niveau, Desouza et Evaristo [DE04] reprennent et illustrent de manière intéressante la classification de Damm et Schindler [DS02]. Ils distinguent trois types de connaissance (cf. Fig. 2). Premièrement, ils mentionnent la **connaissance présente dans le projet** (exemple : les agendas, le planning, les compte-rendu de réunions, les manuels de formation...). Pour accéder à ce type de connaissance, il est indispensable de s’intéresser en détail à chaque projet individuellement. Ensuite, adoptant une perspective plus macroscopique, ils identifient la **connaissance à propos des projets**. Il s’agit de la

connaissance relative aux projets du point de vue de l'organisation dans laquelle ils ont lieu (exemple : affectation des personnes aux projets, retour sur investissement, analyse coûts/bénéfices...). Finalement, le troisième type de connaissance est la **connaissance issue du projet**. Elle est issue de l'analyse du projet a posteriori et peut servir dans le cadre de projets futurs en sous-tendant l'apprentissage organisationnel.

Dès lors qu'une réflexion s'oriente vers l'étude des interactions au sein de projets, il devient nécessaire de préciser lequel des trois types d'information est pris en compte. Cette délimitation du champ d'analyse dépendra par ailleurs directement de l'usage visé pour cette information. Vise-t-on l'optimisation de la gestion d'un projet individuel ou d'un portefeuille de projets au sein d'une entreprise ? Vise-t-on plutôt à développer une mémoire organisationnelle ?

2.2.2. Le concept de décision

Nous avons choisi de nous focaliser sur le rôle de l'architecte ou de l'ingénieur en tant de gestionnaire de projet. Parmi les tâches qu'ils ont à accomplir, prendre des décisions constitue une dimension essentielle. Il s'agit du mécanisme principal qui conduit à ce que les ressources soient structurées d'une certaine manière, à un moment donné [HW96]. Andy Grove, ancien PDG de Intel, résumait ainsi l'importance de la prise de décision. *'Prendre des décisions, ou plus exactement participer au processus par lequel elles sont prises, est une partie importante et essentielle du travail de tout gestionnaire.'*

Le concept de décision a dès lors été intensivement étudié. Un large consensus a été atteint dans la littérature relative au management sur le fait qu'une décision soit essentiellement un choix. [HW96] On peut donc légitimement affirmer qu'une décision consiste en une sélection entre plusieurs alternatives. Une remarque s'impose immédiatement à ce niveau. Il est important de réaliser que le travail cognitif associé à la prise de conscience de ces différentes alternatives peut nécessiter des ressources considérables. Il a également été établi que le contexte dans lequel s'opère une décision exerce une influence décisive sur cette décision [HW96]. Un défi important réside donc dans la perception du contexte global dans lequel s'inscrit la décision. Le décideur doit donc comprendre la situation de manière globale, voire systémique. Bertin [Bt00] nous rappelle très justement un moyen d'atteindre une telle vision globale. *'Comprendre c'est intégrer toutes les données. Pour ce faire, il faut les réduire à un petit nombre de groupes d'éléments semblables. Tel est le but du « traitement des données », qu'il soit graphique ou mathématique.'*

2.2.3. La composante cognitive

Nous avons choisi de nous focaliser sur la question des interfaces 'homme-machine' dont l'intérêt n'est plus à démontrer, comme le rappellent Turban et Aronson : *'la clé du succès dans l'utilisation d'un système de support au management, c'est l'interface utilisateur.'* [TA98, p. 227.]

Il nous semble dès lors opportun de faire une petite digression dans le monde des sciences cognitives. Dans ce domaine, représenter l'être humain comme une unité de traitement de l'information est un modèle largement utilisé. Selon cette approche (appelée *'information-processing model'*), tout ce qu'une personne perçoit, quel que soit le sens

concerné (vue, ouïe, odorat...), est considéré comme une information que le cerveau doit traiter. Ce traitement de l'information se décompose en plusieurs étapes (cf. Fig. 3).

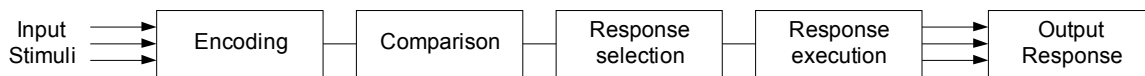


Fig. 3: 'Information-processing model' de l'être humain
Source : [Pr99]

L'information, qui est un stimulus, est encodée dans une certaine forme de représentation interne. Cette représentation interne est ensuite comparée avec d'autres représentations stockées dans la mémoire de la personne concernée. Puis, une réponse appropriée au stimulus initial est sélectionnée. Cette réponse est alors traitée pour définir des actions à effectuer en vue de son exécution [Cr03].

Ce modèle général a été réinterprété et modifié de diverses manières pour étudier le cas particulier de la perception de graphiques. Nous en retiendrons deux en particulier pour illustrer ce propos.

Bertin (cf. [Bt98], p. 140) a proposé un modèle de compréhension graphique en trois phases :

- L'identification externe. Il s'agit de répondre à la question : de quelles composantes s'agit-il ? Il faut concrétiser dans la pensée les concepts proposés à l'attention. Cette étape repose sur les habitudes acquises, sur la reconnaissance de mots, de formes ou de couleurs. Elle permet de découper dans le monde des connaissances le domaine précis traité par la figure, et l'on peut dire qu'une information n'est que la constatation de relations nouvelles entre des concepts déjà connus.
- L'identification interne. Il s'agit de reconnaître dans le dessin par quelles variables visuelles chacune des composantes est représentée. Par exemple, les quantités par la dimension verticale du plan et le temps par la dimension horizontale.
- La perception des correspondances originales. Il s'agit de percevoir les correspondances originales que le dessin dégage de toutes les correspondances possibles. Cela revient en fait à formuler des questions précises auxquelles le dessin permet de répondre. Par exemple, 'à telle date, quel est le cours de l'action X ?'

Pinker [Pi90] a élaboré un modèle plus complexe qui intègre les composants du système mnésique de l'homme.

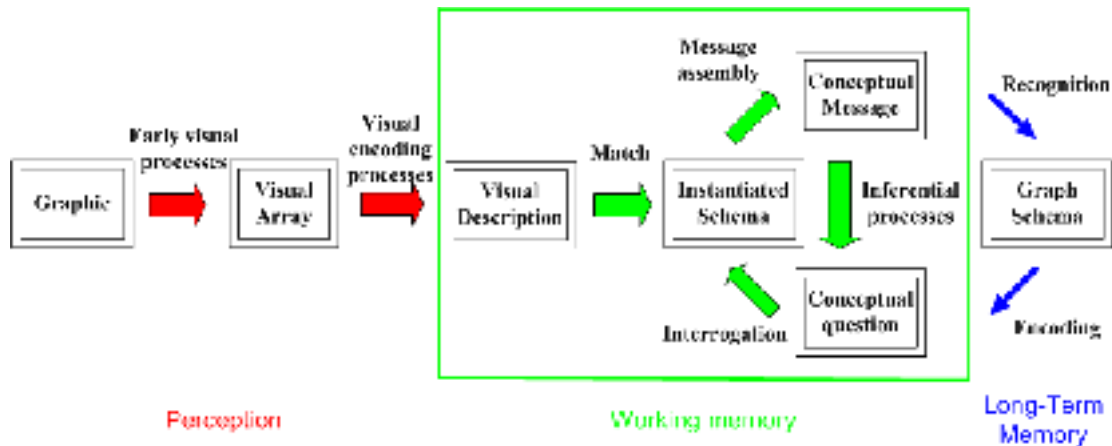


Fig. 4: Modèle de la perception de graphiques de Pinker.
Source : [Pi90]

Dans un premier temps, les «processus visuels précoces¹» permettent de détecter et d’encoder les primitives visuelles, comme les formes, les positions, les couleurs, les longueurs. Certaines études sur la question démontrent que des éléments, comme la couleur [KH81] et la texture [Ju81] sont détectés et organisés en parallèle alors que d’autres, comme les formes, l’orientation ou les surfaces sont appréhendées par l’être humain de façon sérielle [Lo97]. La Fig. 5 illustre cette différence dans la détection des primitives visuelles.

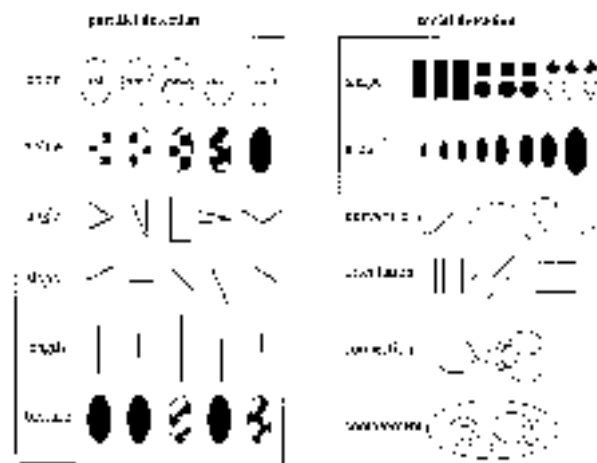


Fig. 5: Mécanisme de détection des objets graphiques.
Source : [Lo97]

Les «processus d’encodage visuel²» permettent de stocker les primitives visuelles relatives à la représentation graphique en mémoire de travail. Puis, cette dernière analyse les informations recueillies sur un mode itératif. Elle permet d’instancier des schémas successifs jusqu’à la reconnaissance par la mémoire à long terme.

¹ Early visual processes

² Visual encoding Processes

Pinker explique qu'un bon graphique implique un faible niveau d'interrogation et d'inférence. Un tel graphique peut ainsi être directement appréhendé par les processus pré attentifs et ne requiert pas un stockage en mémoire de travail.

Une fois encore, ce court détour dans le domaine des sciences cognitives nous semblait particulièrement instructif dans le sens où des travaux y ont solidement établi le principe d'un différentiel de qualité dans les différentes représentations graphiques d'une réalité donnée. Ce concept de qualité de la représentation repose sur des données objectives et non sur une appréciation subjective ou esthétique.

3. Travaux antérieurs au CRAI

Ce stage s'inscrit dans le cadre des travaux du CRAI en ce qui concerne les environnements informatiques collaboratifs dans le secteur de la construction. Il s'intéresse en particulier à la question de la représentation de la coopération et à sa visualisation.

3.1. Le modèle de projet architectural de Halin & Hanser

Le travail réalisé au cours du stage se basera notamment sur la thèse de D. Hanser présentée en 2003 et supervisée par G. Halin [Ha03]. Nous en rappelons ici les éléments les plus significatifs dans le cadre de nos travaux.

Halin & Hanser ont proposé un modèle du projet de construction au niveau de la phase de conception architecturale. La phase de réalisation sur chantier n'est donc pas directement concernée. Ce choix délibéré a naturellement influencé la modélisation proposée.

Le modèle se base sur une agrégation successive d'éléments, qui sont en relation en eux. Il constitue une instantiation du patron décrit par la Fig. 6.

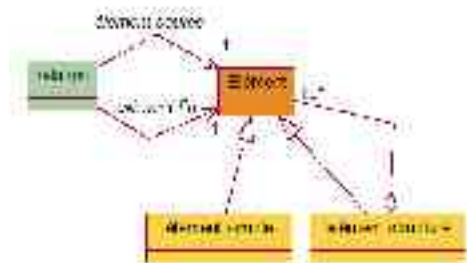


Fig. 6: Patron composite utilisé pour la conception du méta-modèle de Hanser.
Source : [Ha03], p. 85.

Le métamodèle de projet est illustré par la Fig. 7.

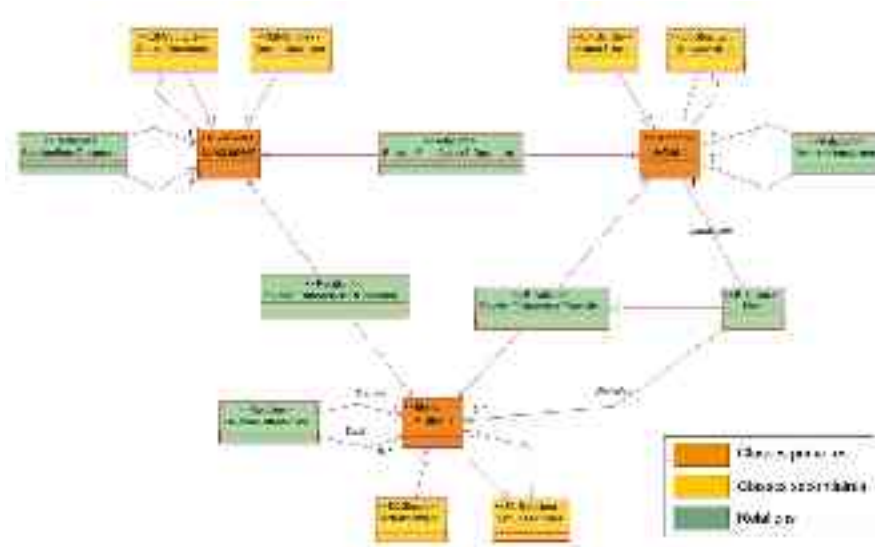


Fig. 7: Méta-modèle de coopération orienté ‘relations’
 Source : [Ha03], p. 86.

Le modèle inclut 3 entités de base : les acteurs, les activités et les documents (cf. Hanser, 2003, p. 144). Chacune de ces entités de base peut se matérialiser sous différents types (voir Table 4).

Table 4: Les entités de base et leurs types

Activités	Acteurs	Documents
<i>Projet</i>	<i>Groupe de projet</i>	<i>Dossier</i>
<i>Phase</i>	<i>Collectif d’acteurs</i>	<i>Fichier</i>
<i>Tâche</i>	<i>Acteur</i>	
<i>Activité de coordination</i>		

Pour chacun de ces types d’entités, quatre états possibles ont été identifiés : ‘*inactif*’, ‘*en cours de réalisation normale*’, ‘*terminé*’ et ‘*problème en cours*’.

Le modèle repose sur le concept de relations. Il a donc identifié les relations possibles entre les différents types d’entités et en a dénombré 64 (cf. Hanser, 2003, pp. 146-147).

Exemple : Acteur – Acteur : relation ‘*dirige*’

Projet – Fichier : relation ‘*utilise*’

Tâche – Collectif d’acteur : relation ‘*a pour participant*’

Ces différentes relations ont été regroupées en trois catégories : les relations structurelles montrant l’inclusion (entre tâches, entre acteurs, entre documents), les relations fonctionnelles (i.e. les relations d’utilisation et la hiérarchie) et les relations de flux concernant la logique d’enchaînement des tâches, les dépendances entre documents, ...

3.2. La représentation graphique dans le modèle de Halin & Hanser

Après avoir construit un modèle du projet de conception, Hanser en a proposé une visualisation sous la forme d'hypergraphes.

L'idée sous-jacente consiste à représenter le contexte dans lequel est situé un élément du projet. On entend par là la visualisation combinée des 3 entités de base : activité, acteur, document. Une icône spécifique a été associée à chaque type d'entités de base (cf. Fig. 8).

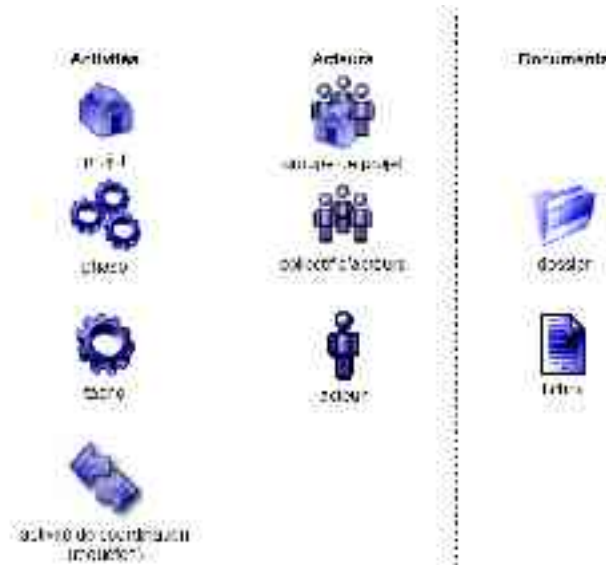


Fig. 8: Icônes associées aux types d'entités de base
Source : [Ha03], p. 145

Le codage de l'état des types d'entités par le biais de couleurs distinctes a également été intégré dans l'interface proposée (cf. Table 5).

Table 5: Codage graphique de l'état des types d'élément

Etat du type d'élément	Codage couleur associé
<i>Inactif</i>	<i>Gris</i>
<i>En cours de réalisation normale</i>	<i>Bleu</i>
<i>Terminé</i>	<i>Vert</i>
<i>Problème en cours</i>	<i>Rouge</i>

Deux types génériques de relations entre les types d'entités de base ont été retenues : la relation d'ordre ($A > B$) et la relation simple $R(A,B)$. Une représentation graphique spécifique a été associée à chacun de ces deux types de relation (cf. Fig. 9).

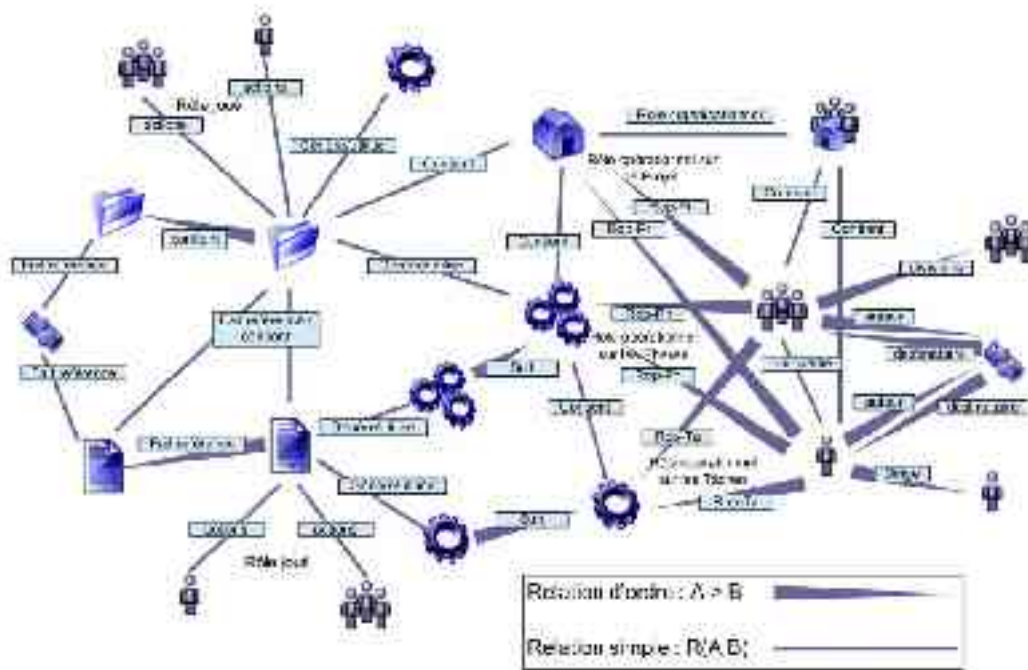


Fig. 9: Représentation graphique des relations
Source : [Ha03], p. 149

Ces travaux relatifs à la manière optimale de représenter les relations par le biais d'un hypergraphe ont ouvert la voie vers de nouveaux développements. Néanmoins, malgré leur caractère original, les interfaces graphiques imaginées nécessitent encore des évolutions complémentaires. En effet, les tests pratiques réalisés ont montré certaines limitations de l'interface du prototype. Elles concernent notamment la problématique associée à la dynamique de l'hypergraphe. Ce point sera discuté avec plus de détails dans un chapitre ultérieur (cf. p. 70).

Par ailleurs, plusieurs questions restent ouvertes. Certaines doivent être considérées comme des évolutions de la représentation de Hanser, sans remise en cause fondamentale.

- Serait-il judicieux de représenter plus finement la sémantique des relations ? Par exemple, le graphisme utilisé pour les liens dans l'hypergraphe devrait-il changer si le lien représente la relation 'auteur de', 'destinataire de', ou 'partie de'... ?
- La représentation graphique simultanée des différents types d'éléments est-elle optimale ? Si oui, dans quels contextes ? Pour réaliser quels types d'interaction avec le logiciel ?
- Est-il judicieux d'offrir des filtres relatifs à des contextes spécifiques qui extraient des instances particulières de triplets (acteurs-activités-documents) ? Par exemple, filtre sur le gros œuvre, sur la toiture, sur la facturation, sur tous les problèmes en cours ...

D'autres, par contre, abordent des problématiques plus fondamentales qui pourraient conduire à des représentations complètement différentes de celle proposée par Hanser.

- Comment représenter la temporalité de manière intuitive dans un hypergraphe ? Il s'agit ici de mettre en évidence la séquence des événements liés au projet. (ex. Mr X est devenu

responsable du projet après la phase N du projet ; le fichier Z a été validé par Mr X après l'avoir été par Mr Y.)

- Comment représenter l'évolution de l'hypergraphe modélisant le projet ? Il s'agit ici de visualiser les éléments qui ont été modifiés, ajoutés, désactivés dans l'hypergraphe au cours d'une période donnée. La question sous-jacente concerne la représentation de la différence entre deux hypergraphes.
- Comment rendre possible la visualisation d'un nombre d'informations comparable à celui réellement observé au cours d'un projet réel (c.-à-d. plusieurs centaines) par le biais d'un hypergraphe ?
- Est-il possible et judicieux d'adopter une autre métaphore associée au monde de la construction pour rendre l'hypergraphe plus intuitif ?

4. Description de la problématique

Dans cette section, nous reprenons différents éléments issus de diverses théories et travaux antérieurs et nous les mettons en relation pour aboutir à la formulation d'une question scientifique précise.

Tout d'abord, rappelons que nous nous situons dans le domaine spécifique de projets d'architecture. Ces projets sont fondamentalement des projets collaboratifs. Parmi les multiples approches possibles du travail collaboratif, nous nous focaliserons sur les interactions au sein du groupe constitué par l'équipe du projet. Cet aspect est reconnu comme un élément important par différentes théories (exemple : cognition distribuée). De plus, en accord avec l'école de l'ergonomie cognitive, nous distinguerons les concepts de tâche prescrite et d'activité pour nous intéresser en priorité aux activités. Nous ne viserons donc pas tant d'aboutir à une modélisation théorique du déroulement du projet mais plutôt à une représentation de son cours réel. Dans ce cadre, nous étudierons comment l'interface graphique d'un outil informatique peut constituer un *artefact* favorisant la gestion de la coordination au sein de l'équipe du projet.

En rapport à la classification des informations relatives à un projet (cf. p. 10), le travail réalisé au cours du stage se limitera à la prise en compte des connaissances présentes dans le projet. L'intégration des connaissances à propos de projets et des connaissances issues de projets n'est pas visée dans le stage. Elle pourrait néanmoins constituer une piste intéressante pour des travaux complémentaires futurs.

Notre travail a pour but de réfléchir à la diminution du travail cognitif nécessité par la prise de conscience de l'état courant du projet architectural afin d'aider l'architecte ou l'ingénieur à prendre les meilleures décisions possibles. Les projets architecturaux possèdent dans ce cadre une valeur d'exemple certaine. En effet, ils sont extrêmement spécifiques (cf. p. 55), au sens où chaque projet constitue un contexte unique et non renouvelable de collaboration (nouveau bâtiment, nouveaux partenaires, nouveau planning...). Le travail cognitif exigé pour se remémorer l'état du projet est donc particulièrement important.

Nous nous focaliserons sur les décisions opérationnelles et administratives et nous n'accorderons qu'une importance secondaire aux décisions stratégiques qui concernent l'entreprise dans son ensemble. Ce choix s'avère cohérent avec le niveau de connaissance lié au projet qui est considéré.

La réduction du travail cognitif associé à la perception de l'état courant du projet situe notre action au début du processus de décision par l'être humain, dans le domaine de l'ergonomie des interfaces homme-machine. Notre étude s'intéressera en particulier aux modes de représentation graphique des interactions produites au cours d'un projet.

Nous avons vu que la structuration des outils de TCAO (cf. p. 7) pouvait opérer comme un filtre permettant d'exclure certains types de coopération lors de la conception d'outils informatiques. Dans notre cas, cependant, une telle sélection n'est pas souhaitable. En effet, notre approche vise à donner au gestionnaire d'un projet la vision la plus globale possible des interactions entre les types d'entités associés à ce projet, qu'elles soient synchrones ou asynchrones, distantes ou proches,...

Enfin, il est utile de mentionner que nous ne nous intéressons pas au support des activités collaboratives proprement dites mais plutôt à l'aide à la gestion ou à la supervision d'activités collaboratives dans lesquelles un petit nombre d'acteurs occupent une place centrale. Cet aspect limite la portée de notre travail à un sous-ensemble des activités collaboratives, qui nous semble pertinent dans le cas du projet de conception architecturale mais qui exclut tout un ensemble d'autres configurations de collaboration.

Nous pensons à présent être en mesure d'explicitier avec plus de détails la thématique de notre stage. Comme il constitue une évolution du travail entamé par Hanser, le stage se focalisera sur la phase de conception qui concerne un groupe limité d'acteurs. La problématique générale dans laquelle il s'inscrit est celle de la visualisation de l'information. Cette thématique est particularisée dans le domaine des environnements informatiques collaboratifs. La question précise à laquelle le stage essaiera de proposer une réponse est celle de la représentation graphique du réseau de relations entre les 3 types d'éléments de base (activités – acteurs - documents) en vue d'optimiser la perception rapide de l'état courant du projet, d'un sous-ensemble de celui-ci, ou du contexte associé à un élément précis. Cette réflexion se situe donc dans le cadre de l'aide à la gestion générale du projet. Un accent particulier pourra être mis sur l'aide à l'identification de problèmes. La problématique de l'anticipation des problèmes, bien que présentant un intérêt majeur, dépasse le cadre du stage. Elle pourrait faire l'objet de travaux ultérieurs. Le stage se concentrera sur la perception de l'état courant du projet ou de certaines de ces composantes par l'architecte ou l'ingénieur en charge du projet. Il ne visera pas à atteindre une représentation optimale pour tous les acteurs du projet. Compte tenu de la diversité des profils de ces acteurs, notamment en terme de formation, de qualifications, de connaissance de l'informatique, d'attitude vis-à-vis des outils informatiques, obtenir une représentation globalement optimale semble assez difficile et dépasse les ressources disponibles dans le cadre d'un stage de quelques mois. Nous considérerons cependant que l'architecte ou l'ingénieur en charge du projet disposent d'une connaissance de base des outils bureautiques.

D'un point de vue général, la question fondamentale à laquelle le stage essayera de répondre est donc la suivante :

Comment adapter la représentation par hypergraphes proposée par Hanser pour optimiser la perception rapide de l'état courant d'un projet de conception architecturale ou d'une de ses composantes par le gestionnaire du projet ?

Notre analyse se rapproche donc plutôt de la conception de représentations telles que des tableaux de bord du projet. Elle diffère en cela de la philosophie de base sous-jacente à la thèse de Hanser qui visait à proposer un outil à destination de tous les participants du projet.

Au niveau de l'interaction entre l'utilisateur et la représentation graphique, nous distinguerons l'édition et la navigation. Dans le cadre du stage, seule la navigation sera étudiée. La question de l'édition des éléments et des relations ne sera pas abordée.

Les réflexions préalables justifient le titre du stage :

Représentation graphique des interactions se produisant au cours d'un projet collaboratif dans le domaine de l'architecture

Nous terminerons cette mise en perspective de la thématique du stage, en faisant référence à une position exprimée par St Ger et Engeli, chercheurs à l'ETH Zurich dans le domaine 'informatique pour l'architecture', qui confirment l'intérêt de cette problématique. *'Une enquête précédant le projet de recherche actuel a montré que les outils disponibles sont rarement utilisés à leur plein potentiel, beaucoup de leurs caractéristiques sont souvent ignorées à cause de la difficulté d'utilisation croissante et d'un manque de transparence concernant leurs effets. L'enquête conduisit à la conclusion que la réduction des barrières associées aux technologies de l'information et le développement de nouveaux outils pour accéder d'une manière visuelle des structures de données complexes sont deux aspects sur lesquels la recherche devrait se focaliser. Finalement, la plate-forme IT doit permettre un accès efficace et rapide aux données et fournir des vues d'ensemble des processus de travail et du progrès du projet.'* [GE98]

Chapitre III La visualisation graphique d'informations

0.1. Les concepts

L'idée de visualiser des données par le biais de graphiques est relativement récente. Elle date en fait de la fin du 18^{ème} siècle avec les travaux précurseurs de William Playfair dans le domaine des sciences économiques (cf. [Tu01], [Ho97]). Depuis, l'utilisation de représentations graphiques des informations a percolé dans la quasi totalité des disciplines scientifiques : biologie, physique, histoire, informatique...

Avant tout, il est indispensable de préciser la nature du concept de 'visualisation graphique d'information'. Les travaux fondamentaux de Jacques Bertin constituent une référence incontournable à ce niveau. Bertin [Bt67] définit la représentation graphique comme étant '*la transcription, dans le système graphique de signes, d'une pensée, d'une « information » connue par l'intermédiaire d'un système de signes quelconques.*' (cf. [Ch02], p. 5.) Il insiste également sur la nécessité de distinguer la graphique et le graphisme [Bt00]. '*La graphique utilise les propriétés de l'image visuelle pour faire apparaître les relations de ressemblance et d'ordre entre les données. [...] Elle s'applique à un ensemble préalablement défini : le tableau des données et constitue ainsi la partie rationnelle du monde des images dans le classement logique des systèmes de signes fondamentaux. [...] Il faut éviter la confusion entre la graphique, outil de travail, qui ne traite que d'ensembles définis par avance (le tableau des données) [...] et le graphisme – figuratif ou non – qui, au contraire, cherche à définir un ensemble dans l'esprit de l'observateur. Le graphisme est un art, libre mais toujours discutable.*' En d'autres termes et pour préciser encore la portée de la graphique, Bertin ajoute : '*La graphique poursuit deux objectifs :*

- *traiter les données pour comprendre et en tirer l'information ;*
- *communiquer s'il y a lieu cette information ou un inventaire de données élémentaires.*'

Tufte [Tu01, p.13], dans l'introduction de son ouvrage de référence : '*The Visual Display of Quantitative Information*' exprime lui aussi une idée similaire : '*L'excellence en matière de graphes statistiques consiste à communiquer des idées complexes avec clarté, précision et efficacité.*' Schneiderman, un autre auteur important de ce domaine, définit la discipline de la visualisation d'information comme '*l'utilisation de représentations visuelles interactives de données abstraites destinée à amplifier la cognition*' [SP05].

Une représentation graphique peut donc être assimilée à un modèle d'une réalité plus ou moins complexe qui permet de mettre en évidence de manière visuelle certaines propriétés des données sous-jacentes. Différents auteurs rejoignent cette position.

- '*La visualisation de l'information s'attache à donner une représentation graphique à des entités ne possédant pas nécessairement une transcription visuelle directe.*' [Br99]
- '*La visualisation offre une méthode pour voir l'invisible.*' [Sh98]

- *‘Les interfaces graphiques peuvent fournir un moyen de voir de l’information qui est cachée ou inaccessible dans une représentation textuelle.’ [Do99]*
- *‘La visualisation d’informations abstraites a la puissance de révéler des motifs, des grappes, des fossés ou des observations atypiques dans des données statistiques, des cours sur les marchés financiers, des répertoires d’ordinateurs ou des collections de documents.’ [Sh98]*
- *‘Une des propriétés de la représentation visuelle est d’offrir à l’utilisateur une vue d’ensemble de l’espace informationnel.’ [Ch02]*

Bertin (cité dans [NH01]) complète ce point de vue en notant qu’une représentation graphique adéquate de données fournit de l’information à la fois sur l’organisation globale de celles-ci et sur les éléments individuels.

Par ailleurs, de multiples travaux de recherche ont établi que le mode de représentation graphique constitue un outil de travail très puissant.

- Les graphiques permettent de mieux comprendre l’état d’une situation et facilitent la résolution de problème. [LS87]
- Les graphiques sont particulièrement adaptés quand les utilisateurs doivent analyser et comparer un ensemble de données. [SM86]
- Les graphiques sont très utiles à la visualisation et la recherche d’information. [Ro93]
- La présentation d’une information visuelle augmente la compréhension et la rétention des données. [US88]
- Les graphiques aident à la reconnaissance et réduisent les traitements en mémoire de travail [Lo95].

Etant acquis que les représentations graphiques peuvent être d’une grande utilité, il est naturel de s’intéresser à ce qui influence la qualité de celles-ci. Trois auteurs reconnus nous offrent leur vision de cette problématique.

Selon Bertin [Bt98, p.12], l’efficacité d’une construction graphique est définie par la proposition suivante. *‘Si, pour obtenir une réponse correcte et complète à une question donnée et toutes choses égales, une construction requiert un temps de perception plus court qu’un autre construction, on dira qu’elle est plus efficace pour cette question.’*

Lohse [Lo97] affirme qu’une visualisation d’information efficace transforme la structure de coût de l’information, par exemple en remplaçant un travail cognitif d’inférence sur les données par une perception directe.

Tufte [Tu01, p. 92] plaide en faveur de représentations graphiques simples, qui minimisent l’utilisation de l’encre destinée à dessiner tout autre élément que les données. Son principe de base est le suivant : *‘Avant tout autre chose, montrez les données’*.

Nous voyons donc poindre ici une idée essentielle dans le domaine de la visualisation de l’information : toutes les représentations graphiques ne sont pas équivalentes pour illustrer un jeu de données. En fait, choisir la représentation graphique la plus adéquate pour illustrer une propriété d’un ensemble de données constitue une des tâches les plus

déliçates de la discipline de la visualisation d'information. Comme le fait remarquer Lohse [Lo97], '*bien que les ordinateurs ait automatisé le mécanisme de production d'un graphe, ils n'ont pas automatisé la tâche de choisir le bon type de graphe qui illustre le mieux l'information*'. Il insiste en affirmant : '*alors qu'il est facile d'inventer un nouveau type de graphe, il est difficile d'en inventer un qui marche bien*'. Hollan et al. [Ho97] rejoignent cette position en affirmant : '*des visualisations bien conçues peuvent être énormément utiles mais les créer reste un véritable défi*'.

0.2. La théorie de la graphique selon Bertin

La théorie de la graphique de Bertin [Be98] offre un cadre de réflexion qui peut nous aider pour le choix et la conception de représentations graphiques. Nous allons donc en préciser les éléments qui nous paraissent les plus utiles dans le cadre de notre travail.

Bertin fonde sa démarche sur l'étude du système graphique, c.-à-d. sur les variables visuelles disponibles³ pour représenter de l'information. Il met en évidence le fait que huit variables différentes permettent de caractériser ce qu'il appelle une 'image', définie comme '*la forme visuelle significative perceptible dans l'instant minimum de vision*' [Be98, p. 13]. La Fig. 10 illustre ces variables.

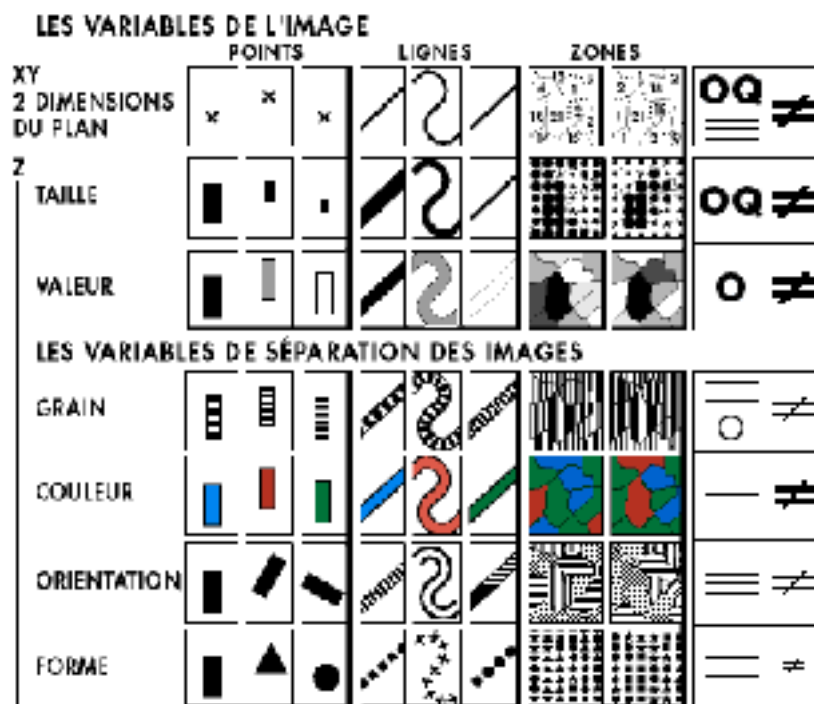


Fig. 10: Les 8 variables associées aux représentations graphiques
Source : [Bt00]

³ Notons que Bertin ne s'intéresse qu'à ce qui est représentable sur une feuille de papier plane et exclut explicitement les représentations graphiques incluant du mouvement. Il exclut également les représentations tridimensionnelles.

Les deux premières concernent la position dans le plan (x,y) . Elles font référence aux coordonnées où les objets graphiques sont localisés. Ces variables sont par exemple utilisées pour faire apparaître la croissance des valeurs de données au cours du temps dans la Fig. 11.

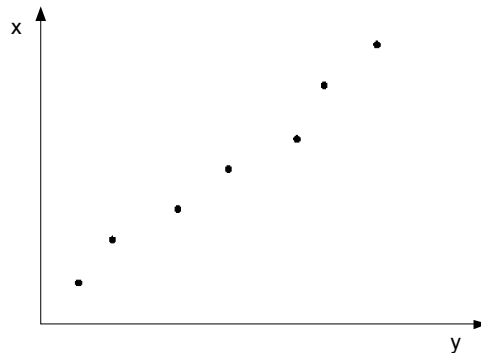
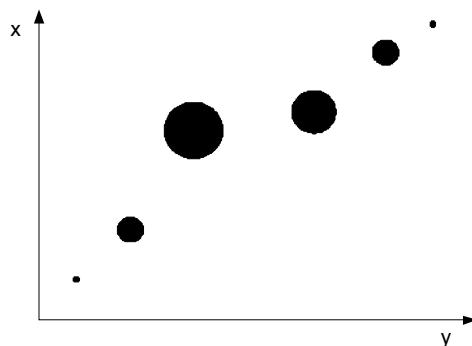


Fig. 11: Illustration de l'utilisation des variables (x,y)

Les six autres variables, que Bertin appelle variables d'élévation ou variables rétinienne s'appliquent pour caractériser l'aspect d'un élément graphique positionné à un endroit donné du plan. Il s'agit de :

- la taille ;
- la valeur⁴ ;
- le grain ;
- la couleur ;
- l'orientation ;
- la forme.

Par exemple, la Fig. 12 illustre l'utilisation de la variable 'taille' pour visualiser la modification de valeur d'un paramètre associé aux données.



⁴ Par le terme 'valeur', Bertin fait référence à l'utilisation du blanc, du noir et des niveaux de gris intermédiaires.

Fig. 12: Illustration de l'utilisation de la variable rétinienne 'taille'

Les huit variables ne sont pas équivalentes en ce qui concerne leur capacité à supporter les différentes opérations cognitives possibles sur un graphique que sont :

- l'ordre, associé à la lettre 'O' ('*ceci est avant cela*')
- la proportion, associée à la lettre 'Q' ('*ceci est n fois cela*')
- l'association, renseignée par le symbole '≡' ('*ceci peut être vu semblable à cela*')
- la sélection, renseignée par le symbole '≠' ('*ceci est différent de cela*')

La Fig. 10 indique dans quelle mesure chaque variable supporte les quatre opérations. Par exemple, la taille permet de très bien visualiser la proportion entre des données (Q), ce qui n'est pas le cas de la forme.

Cette théorie nous fournit donc un cadre pour l'analyse ou la conception de graphiques que nous pourrions utiliser pour la suite de notre travail.

Nous pourrions aussi confronter différentes propositions avec la grille d'évaluation très simple proposée par Bertin [Bt00]. '*Le rôle majeur d'un graphique est d'apporter une réponse aux trois questions suivantes :*

1. *Quelles sont les composantes XYZ du tableau de données ? (de quoi s'agit-il ?)*

Il s'agit d'identifier les données qui sont visualisées au moyen des variables x,y (c.-à-d. positionnement dans le plan) et z (c.-à-d. variables rétinienne).

2. *Quels sont les groupes en X, en Y que Z construit ? (quelle est l'information d'ensemble ?)*

Il s'agit d'identifier les groupes de données que les variables rétinienne (ex. couleur, forme) font apparaître dans le plan x,y.

3. *Quelles sont les exceptions ?*

Il s'agit d'identifier les données qui sont 'anormales' ou exceptionnelles.'

0.3. Classification des données

La théorie de la graphique nous a permis de mettre en évidence l'importance des données à représenter lors de la conception d'une représentation graphique. Dans ce cadre, une classification des types de données peut donc s'avérer très utile.

Nous ferons référence aux travaux de Ben Schneiderman, qui est un auteur incontournable dans le domaine de l'interaction entre l'homme et l'ordinateur (*HCI – Human Computer Interaction*). Dans son ouvrage de référence '*Designing the User Interface*', il a identifié 7 types de données différents.

Table 6: Types de données. Source : [SP05]

Type de données	Propriété(s) principale(s)	Exemples divers
Linéaires, unidimensionnelles (1-D Linear)	Organisation sous forme séquentielle	<i>Document Lens, SeeSoft, Information Mural, TextArc</i>
Cartes, bidimensionnelles (2-D Map)	Représentation sous forme de surfaces	<i>GIS, Arcinfo, ThemeMap, LyberWorld, InfoCrystal</i>
Tridimensionnelles (3-D World)	Référence à des objets du monde réel	<i>Desktops, WebBooks, VRML, CAD, Medical, Molecules</i>
Temporelles (Temporal)	Référence au temps	<i>Perspective Wall, ESDA, MSPProject, LifeLines</i>
Multidimensionnelles (Multi-Dimensional)	Données avec n propriétés à visualiser (n>3)	<i>Parallel Coordinates, Starfield, Visage, Influence Explorer, TableLens</i>
Arbres (Tree)	Relation 'parent-enfant'	<i>Outliners, Superbook, FileManager, Cone/Cam/Hyperbolic, TreeBrowser, Treemaps</i>
Réseau (Network)	Éléments liés à un nombre indéterminé d'autres éléments	<i>Netmap, Semnet, SeeNet, Butterfly</i>

Cette classification permet de délimiter la portée d'outils ou de travaux de recherche dans le domaine de la visualisation d'information.

0.4. Classification des représentations graphiques

Comme nous venons de le voir, Bertin a théorisé le problème de la visualisation d'informations en identifiant les variables disponibles dans le système graphique. Schneiderman a proposé une classification des types de données. D'autres auteurs se sont concentrés sur la question de la classification des représentations graphiques. Un de leurs buts principaux était d'essayer de déterminer la pertinence de certaines représentations graphiques pour représenter efficacement certains types de données ou certains types de relations entre les données.

Deux approches coexistent pour classifier les représentations graphiques : la classification structurale et la classification fonctionnelle. La première se base sur les propriétés graphiques intrinsèques de la représentation indépendamment de son utilisation (ex. distinguer les graphes, les cartes, les icônes...). La seconde se base sur la fonction, le but de la représentation graphique (ex. distinguer les représentations selon qu'elles représentent la structure spatiale, l'espace des états d'un problème, l'assemblage de composants physiques...). Contrairement aux classifications fonctionnelles, les classifications structurales sont susceptibles de correspondre à une représentation sous-

jacente dans la mémoire humaine [Lo94]. Elles présentent donc la capacité potentielle d'être mises en correspondance avec les propriétés cognitives de l'esprit humain. Dans ce rapport, nous avons choisi de nous limiter à la description de travaux appartenant à la classification structurale.

Dans cette section, nous détaillerons en particulier les travaux de Lhose [Lo94] et ceux de Novick et Hurley [NH01]. Ils nous permettront, dans la suite de notre travail, de fonder nos choix en matière de représentations graphiques aptes à illustrer certaines problématiques.

0.4.1. Travaux de Lhose

Lohse [Lo94] a étudié de manière expérimentale différents types de graphiques pour déterminer leur champ d'application optimal. Nous présentons ci-dessous les 11 catégories de représentations visuelles qu'il a identifiées ainsi que la capacité que des sujets d'expérience leur ont attribuées pour visualiser certains types d'information :

- les graphes (*graphs*⁵)
'Les graphes encodent de l'information quantitative en utilisant la position et la grandeur d'objets géométriques. Des données numériques à une, deux ou trois dimensions sont tracées dans un système de coordonnées cartésiennes ou polaires. [...] Les graphes font ressortir la vue globale, en comparaison avec les données tabulaires qui accentuent plutôt des parties.'
- les tables (*tables*) et les tables graphiques (*graphical tables*)
'Les tables sont un arrangement de mots, de nombres, de signes ou de combinaisons de ceux-ci pour montrer un ensemble de faits ou de relations dans un format compact. Les tables ont moins de notations symboliques abstraites que les graphes. Deux groupes de tables apparaissent dans la classification : les tables graphiques et numériques. La distinction primaire dépend de comment l'information numérique est codée dans la table. Les tables graphiques utilisent des nuances de couleurs ou des ombrages [...] alors que les tables numériques n'utilisent que des nombres. Les tables numériques accentuent des parties de la représentation complète.' L'expérience montre que les sujets *'croient que les tables numériques transmettent beaucoup d'information dans un format non attractif mais que les tables graphiques transmettent beaucoup d'information dans un format attractif.'*
- les graphiques temporels (*time charts*)
'Les graphiques temporels montrent des données temporelles.' Ils diffèrent des tables par leur accent sur la composante temporelle.
- les réseaux (*networks*)
'Les réseaux représentent les relations entre les composants. Des symboles indiquent la présence ou l'absence de composants. Les correspondances entre les composants sont montrées par des lignes, des flèches, la proximité, la similarité, ou la contention. Le système de coordonnées planaires des réseaux n'a en général

⁵ Pour éviter d'induire lecteur en erreur par une traduction imparfaite, les termes anglais originaux sont mentionnés entre parenthèses.

pas de signification. La signification résulte d'un arrangement spatial efficace des données.' Les sujets de l'expérience '*croient que les réseaux transmettent beaucoup d'information.*'

- les diagrammes de structure (*structure diagrams*)
'*Les diagrammes de structure sont une description statique d'un objet physique. Les données spatiales expriment les coordonnées dimensionnelles exactes de l'objet. [...] Les diagrammes de structure transmettent beaucoup d'information spatiale, non-numérique et concrète.*'
- des diagrammes de processus (*process diagrams*)
'*Les diagrammes de processus décrivent les interrelations et les processus associés aux objets physiques. Les données spatiales expriment des relations dynamiques, continues ou temporelles entre les objets.*'
- les cartes (*maps*)
'*Les cartes sont des représentations symboliques de la géographie physique. Les cartes dépeignent les localisations géographiques de caractéristiques particulières en utilisant des symboles ou des caractères.*'
- les cartogrammes (*cartograms*)
'*Les cartogrammes sont des cartes spatiales qui montrent des données quantitatives.*' 'Les sujets de l'expérience pensent '*que les cartogrammes sont plus difficiles à comprendre que les cartes réelles.*'
- les icônes (*icons*)
'*Les icônes donnent une seule interprétation ou signification à une image. Chaque icône fournit une étiquette unique à une représentation visuelle. Les icônes sont utilisées quand leur signification est évidente pour l'audience ciblée.*' Les sujets de l'expérience pensent que '*les icônes sont attractives mais transmettent très peu d'information.*'
- les images (*pictures*)
Les images réalistes sont jugées comme des représentations '*spatiales, attractives et non-numériques*' Les sujets pensent '*qu'elles transmettent très peu d'information. En fait, ils pensent que les icônes transmettent plus d'information que les images réalistes*'⁶.

0.4.2. Travaux de Novick et Hurley

Novick et Hurley [NH01] ont également conduit des travaux basés sur une classification structurale des représentations graphiques. Leur but n'était pas d'en construire une

⁶ Il nous semble important de commenter ce résultat. Certains considèrent en effet qu'une image transporte une grande masse d'information. Nous pensons qu'il serait intéressant d'approfondir dans ce contexte la nature des informations qu'une image est censée illustrer. Cela pourrait mettre en évidence la capacité des images à véhiculer avec une grande efficacité certains types d'information et leur inaptitude à le faire pour d'autres types. Il est également intéressant de rappeler que la discipline de la visualisation d'information a pour but de représenter des données abstraites.

typologie mais d'évaluer le potentiel que présentent trois d'entre elles pour représenter différents types de données.

Ils ont donc comparé la structure de trois types majeurs de représentations graphiques : les matrices, les réseaux et les hiérarchies (ou arbres). Leur méthodologie a consisté à identifier 10 propriétés et à assigner une valeur pour chacune d'entre elles à chacun des trois types de graphiques. Les valeurs des propriétés constituent les conditions d'applicabilité des représentations. Il faut noter que les propriétés sont inter-reliées plutôt qu'orthogonales. Elles se focalisent néanmoins sur des aspects différents de la structure représentationnelle. Les propriétés sont regroupées en trois groupes : celles reliées à la structure générale (cf. Table 7), celles associées aux éléments et aux liens (cf. Table 8) et celles associées au potentiel de mouvement d'information dans les représentations (cf. Table 9).

Table 7: Propriétés associées à la structure générale, source: [NH01]

Propriétés associées à la structure générale des diagrammes	
<i>1. Structure globale (Global)</i>	
Matrice	Toutes les valeurs d'une variable ont les valeurs d'une autre variable en commun. La représentation exprime une combinaison factorielle de possibilités.
Réseau	La représentation n'a aucune structure formelle prédéfinie, elle n'a pas nécessairement un unique nœud d'entrée ou de sortie.
Hiérarchie	La représentation est organisée en niveaux, commençant avec un seul nœud racine qui donne naissance à différents nœuds enfants. L'identité des nœuds à un niveau donné dépend de l'identité des nœuds aux niveaux précédents.
<i>2. Blocs constitutifs (BBlocks)</i>	
Matrice	Une cellule qui dénote l'intersection ou la combinaison de la valeur i d'une variable et de la valeur j d'une autre variable.
Réseau	Deux nœuds et un lien (directionnel ou non-directionnel) entre eux.
Hiérarchie	Un seul nœud qui donne naissance à au moins deux autres nœuds ou au moins deux nœuds qui conduisent à un seul nœud.
<i>3. Nombre d'ensembles (NSet)</i>	
Matrice	Les lignes et les colonnes spécifient des valeurs selon deux variables distinctes.
Réseau	Les nœuds spécifient les valeurs d'une seule variable.
Hiérarchie	Cette représentation ne suggère pas naturellement que les nœuds sont arrangés dans un certain nombre ou une certaine configuration de groupes.
<i>4. Contraintes sur les éléments et les liens (ILCon)</i>	
Matrice	Les valeurs de la même dimension (ex. même ligne) ne peuvent pas être reliées.
Réseau	Chaque nœud peut être relié à chacun des autres nœuds.
Hiérarchie	Il ne peut pas y avoir de liens (directs) entre les nœuds au même niveau ou entre des nœuds dans des niveaux non adjacents.

Table 8: Propriétés associées aux éléments et aux liens, source: [NH01]

Propriétés fournissant de l'information détaillée sur les éléments et les liens	
<i>5. Distinguabilité des éléments (ItemD)</i>	
Matrice	Toutes les lignes ont le même statut, ainsi que toutes les colonnes. Elle sont indistinguables hormis par le nom.
Réseau	Tous les nœuds ont le même statut. Ils sont indistinguables hormis par le nom.
Hiérarchie	Tous les nœuds à un niveau donné ont le même statut, mais les nœuds à des niveaux différents ont des statuts différents.

6. Type de liens (LType)	
Matrice	En général, les liens entre les valeurs des lignes et des colonnes sont purement associatifs (c.-à-d. non directionnels).
Réseau	Les liens entre les nœuds peuvent être associatifs, unidirectionnels ou bidirectionnels.
Hiérarchie	Les liens entre les nœuds sont directionnels, de manière à traiter des flux qui s'écoulent d'une extrémité à l'autre de la représentation.
7. Absence d'une relation (AbsRel)	
Matrice	L'absence de lien entre la valeur d'une ligne et d'une colonne est indiquée typiquement de manière explicite dans la représentation en plaçant un signe spécial (ex. 'X') dans la cellule correspondante.
Réseau	L'absence de lien entre deux nœuds doit être calculée dans tous les cas parce-qu'il n'y a pas de contrainte sur quels nœuds peuvent être reliés.
Hiérarchie	L'absence de liens entre deux nœuds est en général indiquée implicitement à cause des contraintes sur quels nœuds peuvent être reliés, mais elle doit être calculée pour les nœuds non reliés situés dans des niveaux adjacents.

Table 9: Propriétés associées au potentiel de mouvement d'information, source: [NH01]

Propriétés associées au potentiel de mouvement d'information	
8. Les relations reliant (LRel) – fait référence au liens qui entrent ou sortent d'un nœud.	
Matrice	Les liens associés à la valeur de chaque ligne ou chaque colonne dépeignent à la fois des relations 'un-à-plusieurs' et 'plusieurs-à-un' dans le monde représenté mais l'existence de ces relations 'plusieurs-à-plusieurs' doit être inférée.
Réseau	Un nombre quelconque de liens peuvent entrer ou sortir de chaque nœud. Donc, des relations 'un-à-plusieurs' et 'plusieurs-à-un' (c.-à-d. 'plusieurs-à-plusieurs') peuvent être représentées simultanément.
Hiérarchie	Ou bien une seule ligne entre et plusieurs lignes quittent chaque nœud (c.-à-d. toutes les relations sont du type 'un-à-plusieurs') ou bien plusieurs lignes entrent et une seule ligne quitte chaque nœud (c.-à-d. toutes les relations sont du type 'plusieurs-à-un') mais pas les deux en même temps.
9. Existence de chemins (Path)	
Matrice	Cette représentation ne montre pas de chemins qui connectent des sous-ensembles de (plus de deux) éléments.
Réseau	Cette représentation montre des chemins qui connectent des sous-ensembles de (plus de deux) nœuds.
Hiérarchie	Cette représentation montre des chemins qui connectent des sous-ensembles de (plus de deux) nœuds.
10. Traverser la représentation (TravR)	
Matrice	Cela ne donne pas de sens de traverser cette représentation.
Réseau	Plusieurs chemins d'un nœud à un autre sont possibles parce-que des boucles fermées sont possibles dans cette représentation.
Hiérarchie	Pour chaque paire de nœuds, A et B, il n'existe qu'un seul chemin pour aller de l'un à l'autre. Les boucles fermées ne sont pas possibles.

Les résultats de leur étude expérimentale sont résumés par la Fig. 13. Tout d'abord, la classification structurale des trois représentations est validée empiriquement.

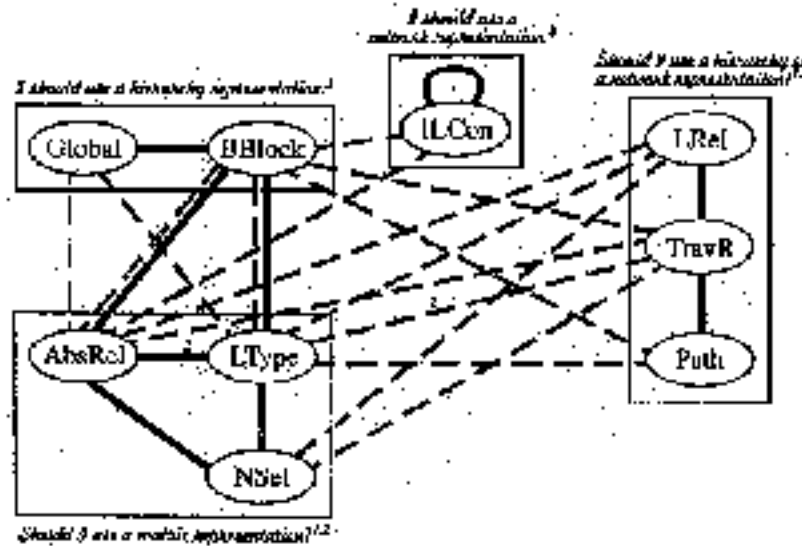


Fig. 13: Relations entre les propriétés structurelles des trois types de graphes.

Source : [NH01].

Ensuite, certaines propriétés voient confirmer leur rôle dans le processus de choix d'une représentation graphique.

- Les propriétés {AbsRel, LType, NSet} constituent un groupe qui permet d'évaluer si la représentation matricielle est indiquée.
- Les propriétés {Global, BBlock} forment un groupe qui est important pour déterminer si la représentation hiérarchique est la plus appropriée.
- La propriété {ILCon} joue un rôle dans la justification d'utiliser un représentation 'réseau'.
- Les propriétés {LRel, TravR, Path} forment un groupe qui joue un rôle important pour distinguer les représentation 'hiérarchique' et 'réseau'.

En conclusion, ces résultats peuvent aider à choisir une des trois représentations graphiques selon les propriétés des données et les relations entre elles que l'on veut mettre en évidence.

- La représentation matricielle semble indiquée si on veut représenter les relations entre deux variables.
- La représentation matricielle semble indiquée si on veut offrir à l'utilisateur une perception facile de la présence ou l'absence de relation entre les valeurs données de deux variables.
- La représentation matricielle semble indiquée si les liens entre les valeurs des deux variables sont non directionnels.
- La représentation hiérarchique semble indiquée si on veut mettre en évidence la structure globale des données.

- La représentation hiérarchique semble indiquée si les données sont reliées par des relations du type ‘parent-enfant’.
- La représentation en réseau semble indiquée s’il n’y a pas de contraintes structurelles générales entre les données. On ne peut pas identifier de manière générale des types de relations interdites.

De plus, pour choisir les représentations hiérarchique et réseau, les propriétés associées au mouvement dans la représentation graphique semblent jouer un rôle important. Ces propriétés sont la capacité de la représentation à visualiser différents types de liens (cf. {LRel}), les possibilités de passage d’un nœud à l’autre de la représentation (cf. {TravR}) et les types de chemins disponibles pour parcourir la représentation (cf. {Path}).

Ces résultats constitueront une seconde source de référence pour choisir un type de représentation graphique permettant de répondre à une question précise.

Nous discuterons dans un chapitre ultérieur comment nous avons intégré ces résultats dans notre proposition de représentation d’information (cf. p. 97).

Chapitre IV Matérialisation de la question fondamentale

1. Cadre de réflexion

Il s'agit maintenant de construire des instanciations de la question fondamentale (cf. p. 21) permettant d'orienter la réflexion théorique en vue de l'élaboration de nouvelles représentations graphiques. Nous visons donc à construire une liste de questions concrètes et réalistes que l'architecte ou l'ingénieur en charge d'un projet peut se poser, telles que :

- Quels acteurs sont liés à des documents étant dans l'état '*problème en cours*' ?
- Comment identifier les personnes qui valident les documents avec retard ?
- Ai-je transmis le plan du premier étage à Mr X ?
- Quel est le contexte du document qui doit être discuté dans la prochaine réunion ?
- Qui m'avait envoyé le plan corrigé du sous-sol ?
- ...

Cette réflexion était déjà en germe dans le travail de DEA d'Hélène Chasseur [Ch02]. En effet, elle mentionne dans l'introduction de son rapport de stage : '*Il n'est pas question ici de remettre en cause les fonctionnalités des collecticiels existants mais de trouver un formalisme adapté à la représentation des informations du modèle relationnel d'échanges. Cette visualisation doit permettre aux utilisateurs de voir globalement l'état d'avancement du projet et de répondre aux questions telles que : Que dois-je faire ? Qu'est-ce qui est terminé ? Qui fait quoi ? ...*' Néanmoins, il apparaît clairement que cette problématique mérite encore d'être approfondie.

Notre étude bibliographique a mis en évidence deux principes essentiels de la représentation graphique d'informations.

1. Une représentation graphique est associée à des données et a pour but de permettre de répondre à des questions bien précises sur ces données.

2. Les différents types de représentation graphique ne possèdent pas toutes la même efficacité pour visualiser des données de manière pertinente dans le cadre d'une interrogation donnée.

Une démarche rigoureuse exige donc de définir avec précision les données que l'on souhaite visualiser ainsi que les questions précises que l'on souhaite poser sur ces données, avant de proposer des représentations graphiques.

2. Méthodologie

Dans cette partie du rapport, nous décrivons la méthodologie suivie pour construire le jeu de questions concrètes auxquelles les représentations graphiques proposées seront censées pouvoir répondre.

2.1. Proposition d'une structuration des questions potentielles

Les questions que peut se poser un gestionnaire de projet sont multiples. Nous avons donc jugé utile d'élaborer une structuration de celles-ci.

Pour orienter notre réflexion, nous avons repris et adapté le modèle du projet architectural proposé par Hanser [Ha03] présenté précédemment (cf. p. 15).

Pour rappel, ce modèle inclut 3 entités de base : les acteurs, les activités et les documents. Chacune de ces entités de base peut se matérialiser sous différents types (voir Table 10).

Table 10: Les entités de base et leurs types selon Hanser

Activités	Acteurs	Documents
<i>Projet</i>	<i>Groupe de projet</i>	<i>Dossier</i>
<i>Phase</i>	<i>Collectif d'acteurs</i>	<i>Fichier</i>
<i>Tâche</i>	<i>Acteur</i>	
<i>Activité de coordination</i>		

Au point de vue des documents, le type d'entité 'Fichier' nous semble trop lié à l'informatique. Nous lui préférons le concept plus générique de 'Document'.

Nous proposons donc la structure suivante pour les entités de base⁷.

Table 11: Les entités de base et leurs types : adaptation.

Table 12

Activités	Acteurs	Documents
<i>Projet</i>	<i>Groupe de projet</i>	<i>Dossier</i>
<i>Phase</i>	<i>Collectif d'acteurs</i>	<i>Document</i>
<i>Tâche</i>	<i>Acteur</i>	
<i>Activité de coordination</i>		

Cette modélisation des éléments constitutifs d'un projet architectural est destinée à servir de point d'entrée à la structuration des questions qu'un architecte ou un ingénieur peut être amené à se poser dans sa tâche de supervision d'un projet.

Nous proposons une typologie des questions possibles en deux niveaux.

⁷ Nous pensons que ce modèle recèle encore un certain potentiel d'amélioration mais cette question dépasse le cadre de notre stage.

Au niveau 1, on distingue les questions qui portent uniquement sur les entités de base. Cette structuration peut être représentée par une matrice carrée symétrique (3x3) (cf. Table 13). Les cellules appartenant à la diagonale de la matrice (cellules grisées) contiennent les questions relatives aux mêmes entités de base (ex. questions sur les activités). Les autres cellules contiennent les questions portant sur des entités de base différentes (ex. questions sur les acteurs et les documents). La Table 13 fournit une liste d'exemples de questions structurée selon la typologie de niveau 1.

La typologie de niveau 2 augmente la granularité de la classification. Chaque cellule de la matrice de niveau 1 peut être elle-même représentée par une matrice (n x m) dont les lignes et les colonnes seront associées aux types d'éléments de base (cf. Table 14).

Table 13: Questions possibles : typologie de niveau 1

	Activités	Acteurs	Documents
Activités	Quelles tâches sont prévues dans cette phase ?	Qui est responsable de cette activité ?	Quel est le rapport de cette activité ?
Acteurs		Qui est le chef de Mr X ?	Qui est l'auteur du document X ?
Documents			Combien de versions existe-t-il du document X ?

Table 14: Questions possibles : exemple de typologie de niveau 2

Documents\Activités	Projet	Phase	Tâche	Activité de coordination
Dossier	Que contient le dossier X du projet Y ?	Quel est le dossier relatif à la phase d'avant-projet ?	Existe-t-il un dossier pour la tâche X ?	Existe-t-il un dossier pour l'activité de coordination X ?
Document	Le document X est-il relatif au projet Y ?	Les documents X et Y sont-ils relatifs à la même phase ?	La tâche X est-elle décrite dans un document ?	Quels documents ont été échangés lors de l'activité de coordination X ?

A ce stade de la réflexion, une remarque s'impose. Nous n'avons considéré que les questions qui portent au maximum sur deux éléments de base ou deux types d'éléments de base. Il est cependant possible d'être confronté à des questions plus complexes, mettant en jeu un plus grand nombre d'éléments de base ou de types d'éléments de base. Par exemple, on peut chercher à savoir quelles personnes ont modifié les documents associés à la phase X du projet.

On peut calculer le nombre de types de questions possibles à chaque niveau de typologie.

Table 15: Calcul du nombre de types de questions possibles au niveau 1

	Activités	Acteurs	Documents
Activités	1	1	1
Acteurs		1	1
Documents			1

Il y a donc $3+2+1=6$ types de questions possibles au niveau 1.

Table 16: Calcul du nombre de types de questions possibles au niveau 2

	Activités (4)	Acteurs (3)	Documents (2)
Activités (4)	10	12	8
Acteurs (3)		6	6
Documents (2)			3

Il y a donc $10+12+8+6+6+3 = 45$ types de questions possibles au niveau 2.

A première vue, on peut observer un parallèle entre les 64 cas possibles de relations proposées par Hanser et les 45 types de questions possibles. Une différence essentielle les distingue néanmoins : le point de vue selon lequel la problématique est abordée.

Les relations constituent le point central de la réflexion de Hanser. Au niveau de leur représentation graphique, les questions essentielles sont de savoir s'il est judicieux de les représenter toutes (Q1) et de le faire avec des formalismes graphiques différents (Q2). Il faut donc choisir entre augmenter la complexité en associant une représentation graphique différente à chaque type de relation et limiter la précision en utilisant une même représentation graphique pour plusieurs types de relations. Dans ce dernier cas, la problématique du regroupement des types de relations pour former une classe plus large pose également question. Hanser a résolu le premier problème (Q1) au moyen de filtres et le second (Q2) en ne représentant que deux types de relations : l'ordre et la relation simple.

Si on aborde, comme nous le faisons, la problématique avec le point de vue de la structuration des questions, le défi consiste à déterminer quelles représentations graphiques sont adaptées pour répondre à chaque type de question. Rien n'empêche qu'une même représentation permette de répondre à plusieurs types de questions différents.

Pour conclure, pour Hanser, la représentation graphique permet un choix de questions alors que, dans notre approche, une question offre un choix de représentations graphiques.

La typologie à deux niveaux présentée précédemment permet de classer selon leur objet les questions potentielles que l'architecte ou l'ingénieur peut se poser. Elle n'est cependant pas suffisante si on a pour but de construire des représentations graphiques permettant de répondre à ces questions. En effet, nous pensons qu'elle doit être complétée par une classification des questions selon leur fonction.

Nous étendrons donc la réflexion de Bertin sur les opérations cognitives possibles sur un graphique (cf. p. 26). La première opération consiste à identifier une donnée via l'opération de sélection. Nous y ajoutons une opération annexe, permettant de connaître l'état courant de cette donnée. Les autres opérations concernent les relations entre plusieurs données. Nous conserverons telles quelles les opérations relatives à l'ordre et à la proportion. Par contre, nous distinguerons l'inclusion de l'association, bien que la première puisse être considérée comme un cas particulier de la seconde. Notre proposition est donc que les questions relatives à un projet peuvent être associées à six

fonctions différentes : la sélection, la connaissance de l'état, l'ordre, la proportion, l'inclusion, et l'association.

Table 17: Classification fonctionnelles des questions

Fonction	Exemples
<i>Sélection</i>	<i>Le document X est-il différent du document Y ?</i>
<i>Etat</i>	<i>Quel est l'état courant du document X ? Quel est l'état courant de la tâche X ?</i>
<i>Ordre temporel</i>	<i>Quel document est le plus récent ? Quelle tâche suit la tâche en cours ? Qui a remplacé Mr X sur le projet ? Donner la liste des plans classés selon leur dernière date de modification.</i>
<i>Proportion</i>	<i>Quel est le dossier le plus volumineux ? Quelle est la phase du projet la plus longue ? Donner la liste des tâches classées selon le nombre de personnes concernées.</i>
<i>Inclusion</i>	<i>Quels sont les acteurs participant au projet ? Quels sont les tâches comprises dans le paquet de travail X ?</i>
<i>Association</i>	<i>Quelles sont les personnes ayant rédigé le document X ? Quels sont les acteurs concernés par la phase X ? Quelles sont les versions du document X ?</i>

La fonction associée à la question posée déterminera le choix des types de graphes pertinents ainsi que le choix des valeurs des variables visuelles (cf. p. 24), alors que les éléments et les types d'éléments concernés permettent de déterminer quels objets de la réalité doivent être présents sur les représentations graphiques. Nous mettons donc bien en évidence le fait que le choix de la représentation graphique doit être distingué du choix des éléments de la réalité à représenter.

Ceci peut être illustré par l'exemple suivant. On souhaite connaître les documents relatifs à la tâche X et leurs auteurs, classés en ordre décroissant de date de dernière modification.

- Deux fonctions doivent être représentées : l'association et l'ordre temporel. On pourrait être amené à les hiérarchiser, pour donner de l'importance à l'une des deux fonctions.
- Les objets concernés permettent de limiter l'affichage à des documents et à des acteurs.

Sur cette base, on peut alors choisir une représentation graphique adéquate. Si on souhaite mettre l'accent sur la temporalité, on pourrait choisir le graphe temporel représenté à la Fig. 14. On y retrouve les objets à représenter : les documents et les acteurs.

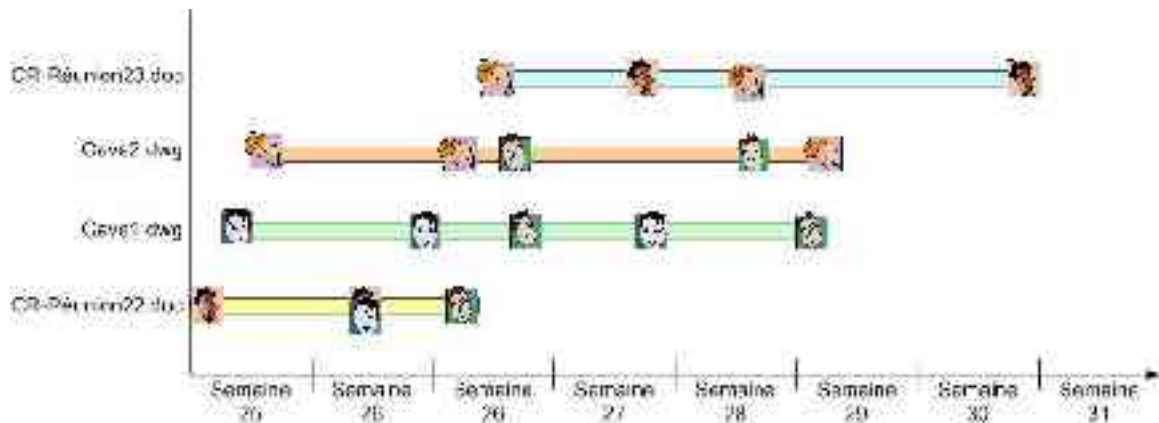


Fig. 14: Exemple de représentation graphique combinant les acteurs et les documents

L'originalité de notre approche par rapport à celle de Hanser apparaît à présent plus clairement. Alors que celui-ci utilise la liste des relations possibles pour définir des filtres sur une représentation graphique prédéfinie (hypergraphe), nous utilisons notre structuration des questions possibles pour choisir une représentation graphique. Cette différence est cohérente avec le fait que les buts poursuivis ne sont pas identiques.

Hanser a proposé une représentation du projet architectural destinée à être utilisée de manière interactive par les acteurs du projet alors que nous visons à construire un tableau de bord du projet et donc d'étudier des questions auxquelles l'architecte ou l'ingénieur peut être amené à répondre. Hanser avait pour but de concevoir un outil de gestion de projet alors que nous visons à concevoir un outil de visualisation d'informations sur le projet (dans l'idée d'un tableau de bord).

La Fig. 15 résume globalement notre approche. Sur base d'un modèle de projet architectural, des instances d'objets peuvent être identifiées. Le gestionnaire de projet est amené à se poser différentes questions sur ces objets. Selon la fonction associée aux questions, certains types de représentation graphique seront plus adéquats car ils permettront une réponse plus facile ou plus pertinente.

Notre démarche nous conduit donc à nous intéresser à la fois à un modèle de projet et aux types de visualisations disponibles.

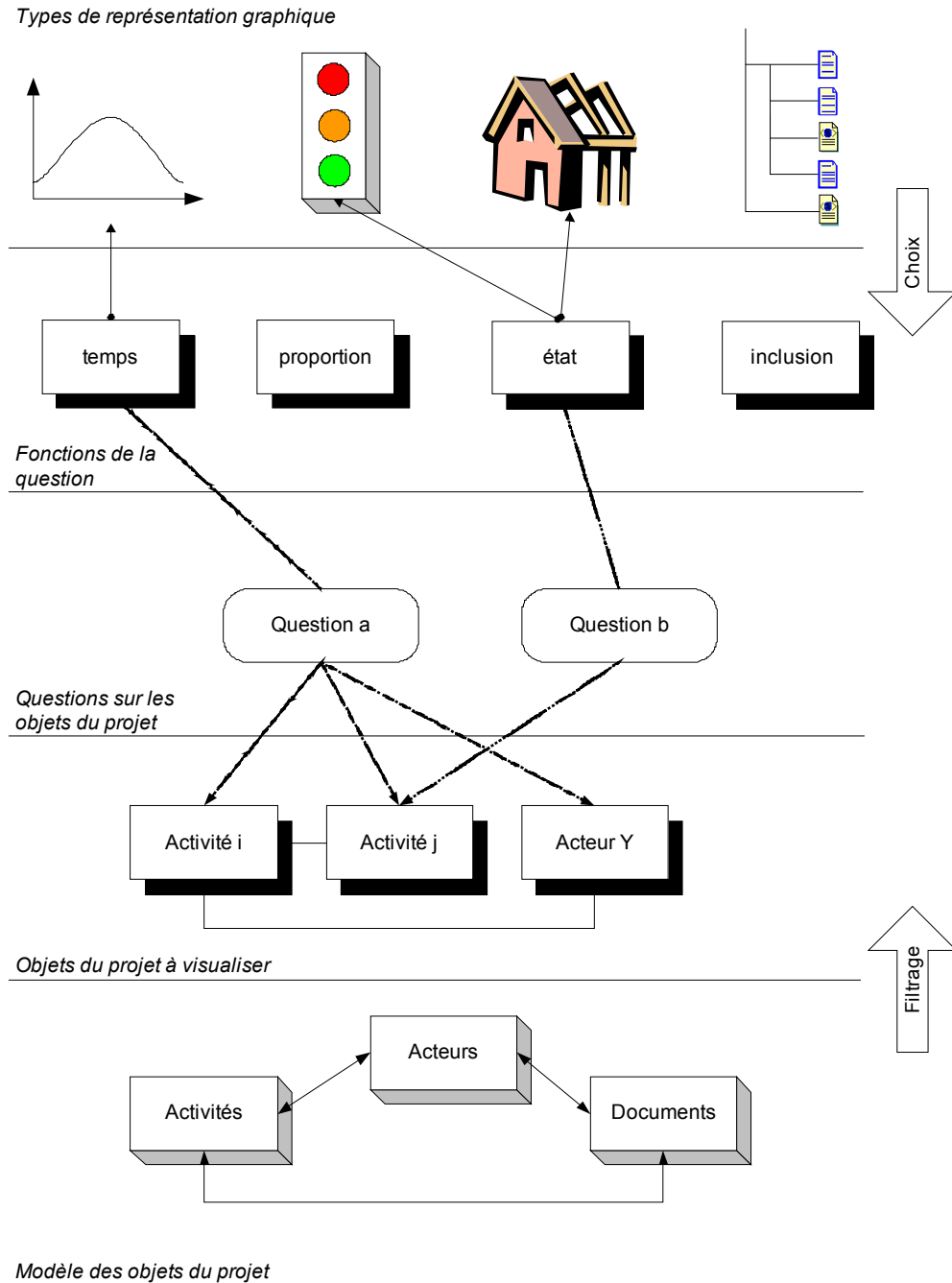


Fig. 15: Démarche globale

3. Identification de questions concrètes

Les questions étudiées se localiseront dans un contexte bien délimité d'utilisation, à savoir la phase de conception d'un projet architectural.

De plus, elles ne viseront à être représentées de manière optimale que pour le(s) gestionnaire(s) du projet.

Nous nous focaliserons sur l'étude des questions relatives au temps et plus précisément encore, à l'ordre temporel, c.-à-d. à la chronologie d'une suite d'événements.

Nous pouvons mettre en correspondance le modèle des entités de base proposé précédemment avec cette problématique. Il apparaît qu'un nombre important de types de questions sont encore possibles. Nous devons donc opter pour quelques cas représentatifs ayant valeur d'exemples. Compte tenu de son importance, nous avons choisi de nous focaliser sur les interactions entre les acteurs. Naturellement, cela peut éventuellement impliquer de faire intervenir d'autres entités de base.

En résumé, nous pouvons donc à présent cibler précisément notre travail de conception des représentations graphiques.

L'objectif essentiel consiste à concevoir des représentations graphiques qui mettent en évidence la chronologie de certaines interactions entre des acteurs du projet.

Nous devons donc réfléchir aux différents types d'interaction entre les acteurs du projet. Différents cas de figure peuvent apparaître. Les acteurs peuvent interagir entre eux directement, par exemple, en participant à une réunion ou en échangeant des messages électroniques. Ils peuvent aussi interagir ensemble sur des documents (ex. rédaction collaborative) ou utiliser conjointement des outils (ex. partage de stations de travail).

Nous pouvons donc maintenant proposer des instanciations concrètes de cette problématique théorique.

Les questions retenues seront celles qui portent sur les interactions entre les acteurs dans leur composante temporelle. La concrétisation de notre approche se basera sur les échanges entre acteurs utilisant le courrier électronique.

Ce choix repose sur le fait que cette technologie est actuellement la plus employée pour échanger des informations sous forme numérique dans le secteur de la construction.

A titre illustratif, on peut citer quelques exemples de telles questions.

- Quels sont les messages électroniques échangés entre l'acteur A et l'acteur B pendant cette semaine ?
- Selon quelle chronologie ces documents du dossier X ont-ils été envoyés par courrier électronique à l'acteur A ?
- Le plan X reçu par courrier électronique de Mr A a-t-il été transmis par courrier électronique à Mr B ?

Chapitre V Travaux de recherche antérieurs associés à notre problématique

1. Représentations graphiques originales

Cette section recense différents travaux récents en matière de visualisation d'information. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive mais d'une sélection que nous avons opérée. Les travaux décrits nous ont semblé apporter des idées originales qui pourraient potentiellement s'avérer utiles dans le contexte de notre problématique.

1.0.1. DataWear

La représentation de données 'Datawear' est issue de travaux réalisés à l'université 'Virginia Tech' aux Etats-Unis [No01]. Le but était de montrer comment les données ont évolué au cours du temps tout en offrant une visualisation de l'état courant des données, le tout au sein de la même représentation graphique.

L'approche retenue repose sur le paradigme de l'usure. *Datawear* introduit le concept de représenter le temps dans des données dynamiques au moyen de la métaphore de l'usure dans la visualisation. La métaphore sous-jacente est celle d'un chemin au milieu d'un champ qui s'imprime de plus en plus dans l'herbe suite à son utilisation croissante. On peut considérer qu'il y a une usure de plus en plus marquée du sol à cet endroit. Par contre, si son utilisation décroît, la végétation reprend ses droits et efface progressivement les marques du passage.

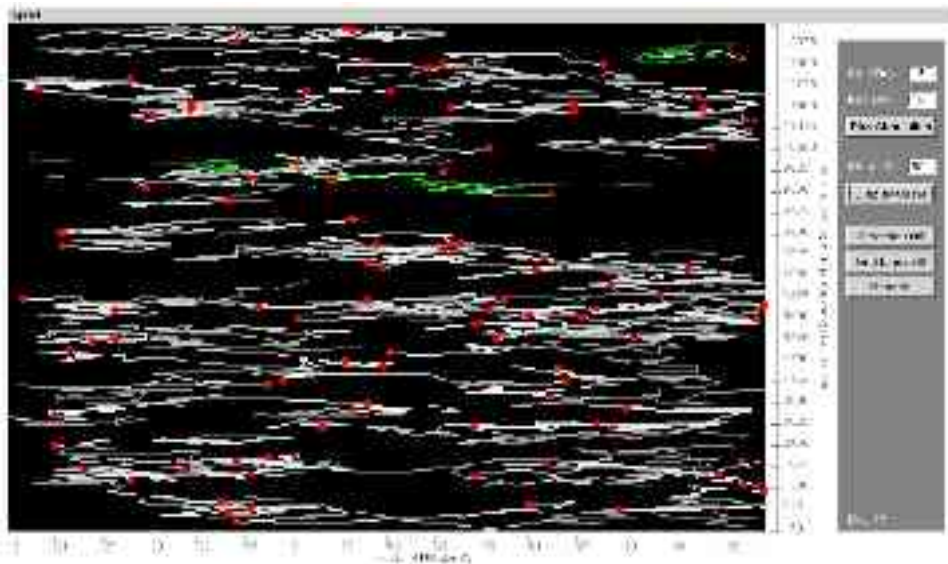


Fig. 16: Représentation par *Datawear* de la cotation d'actions sur un marché financier
Source : [No01]

Cette métaphore est implémentée de la manière suivante dans le système *Datawear*. A mesure que le temps progresse, les modifications dans les données entraînent leur déplacement dans la visualisation. Ces mouvements tracent des chemins qui vont

progressivement se renforcer par le phénomène d'usure. Des niveaux de gris permettent de visualiser l'ancienneté ou la nouveauté des données. Plus une donnée est récente, plus la couleur associée sera intense et donc visible. Les motifs construits par ces chemins révèlent la tendance de la dynamique des données. En particulier, la représentation '*Datawear*' montre deux composantes majeures de cette dynamique : la nouveauté des données et la fréquence ou plus exactement l'accumulation.

La représentation '*Datawear*' a été notamment utilisée pour illustrer les variations de cours sur les marchés financiers (cf. Fig. 16).

L'approche '*Datawear*' nous semble intéressante dans le cadre de notre problématique car elle constitue une approche originale pour traiter le problème de la visualisation simultanée des données courantes et d'un certain historique. L'idée de la disparition progressive des données les plus anciennes est originale comme moyen de résoudre la problématique de l'accumulation des données historiques. On pourrait penser à l'appliquer pour visualiser l'historique des interactions entre les éléments constitutifs du projet.

1.0.2. Bases de données temporelles

Daassi et al. [Da00] se sont intéressés à la visualisation de bases de données temporelles, c.-à-d. de bases de données dont le schéma inclut des classes dont les valeurs de certaines propriétés représentent l'évolution de caractéristiques d'un objet au cours du temps. Dans une telle base, le temps est orthogonal aux autres composants de l'objet.

Les outils de visualisation des données doivent dès lors supporter des types de navigations dépendantes du temps. Daassi et al. en mentionnent deux en particulier :

- l'exploration d'une vue instantanée (*snapshot*) d'un ensemble d'objets temporels à un moment donné du temps,
- l'analyse d'historiques quantitatifs (c.-à-d. des historiques de nombres) dans le but de détecter des régularités et des tendances dans leur évolution. Il faut noter que ces historiques peuvent ou bien correspondre à la valeur d'une propriété temporelle (ex. la production journalière d'une chaîne de production) ou bien au résultat d'une question ayant un caractère temporel (ex. production journalière de toutes les chaînes de production, production mensuelle d'une chaîne de production).

Nous nous attarderons plus spécifiquement sur la problématique de la visualisation d'historiques quantitatifs. Elle peut être abordée avec deux catégories de techniques.

Dans la première, les données sont mises en correspondance avec des objets graphiques de taille variable (ex. polygones, cercles...) dessinées dans des espaces à 2, 2 ½ ou 3 dimensions. Les valeurs des données peuvent être facilement distinguées les unes des autres, ce qui permet à l'utilisateur de les comparer facilement. Malheureusement, cette approche atteint ses limites quand il faut afficher un grand nombre de données. Il faut alors utiliser des techniques comme des barres de défilement ou des déformations de l'espace des données pour visualiser l'entièreté des celles-ci.

La seconde catégorie de techniques repose sur l'utilisation de pixels, auxquels sont associées des données dont la valeur conditionne l'intensité de la couleur. Une grande quantité de données peut alors être représentée dans un espace limité. Par contre, le

désavantage réside dans le fait que l'utilisateur peut difficilement comparer deux éléments. Il dispose plutôt d'une vue globale de l'espace des données.

Il est temps à présent de décrire deux des approches proposées par ces auteurs pour visualiser des historiques quantitatifs : la représentation par agenda et celle utilisant des cercles concentriques.

1. La représentation par cercles concentriques

La représentation par cercles concentriques appartient à la première catégorie de visualisations d'historiques. Elle consiste en un ensemble de cercles ayant un même centre et des rayons différents. Chaque cercle représente une période spécifique de l'historique visualisé. Cette technique est conçue pour visualiser un ou deux historique(s) quantitatif(s). Les données sont représentées via des objets graphiques dont la taille renseigne la valeur (cf. Fig. 17). Dans l'exemple, la hauteur de chaque rectangle et l'intensité de sa couleur est proportionnelle à la quantité qu'il représente. Notons par ailleurs que les cercles sont arrangés de manière à refléter l'ordre tempore des données (propriété d'honnêteté de la représentation).

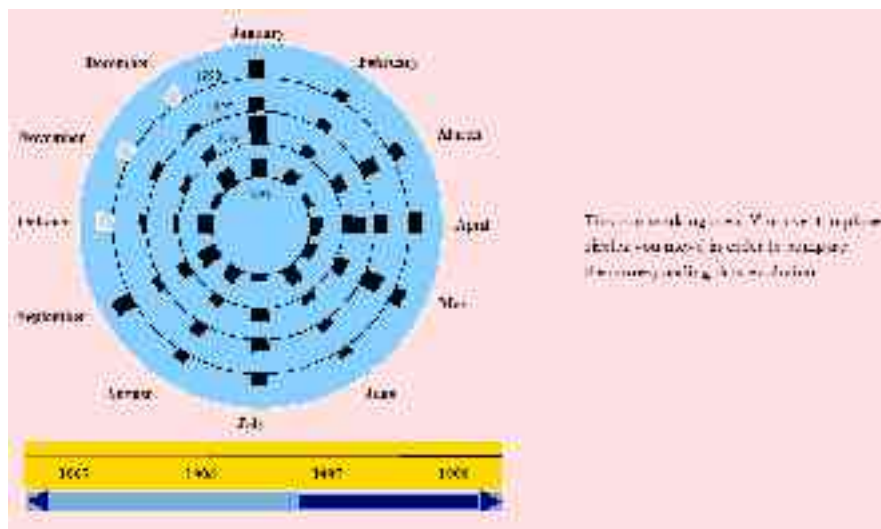


Fig. 17: Représentation par cercles concentriques
Source : [Da00]

2. La représentation 'Agenda'

La représentation 'Agenda' appartient à la catégorie de représentations utilisant des pixels. Elle consiste en une matrice de cellules colorées. Toutes les cellules ont la même couleur (gris dans l'exemple de la Fig. 18) mais différentes intensités pour satisfaire à la propriété d'observabilité. L'intensité de la couleur d'une cellule reflète la valeur de la donnée historique à un moment donné. La propriété ergonomique d'honnêteté est satisfaite par le fait qu'une plus grande intensité correspond à une plus grande valeur. La valeur exacte d'une cellule peut être affichée en y plaçant le curseur de la souris.

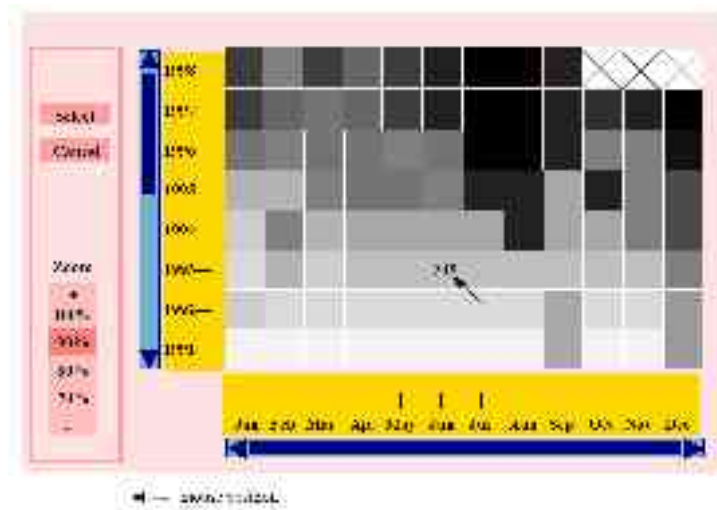
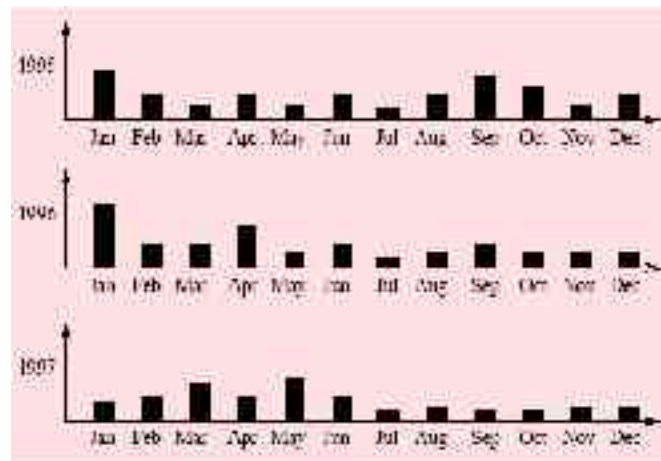


Fig. 18: Visualisation des volumes de production mensuels d'une chaîne de production par la technique de l'agenda. Source : [Da00].

Daasi et al. font remarquer que dans la représentation 'Agenda' l'utilisateur perçoit les données comme un espace continu. En effet, les espaces entre les cellules ont tous la même taille et ne servent que de limites aux cellules. Cette technique évite de créer le sentiment d'un espace discontinu, comme avec des histogrammes superposés (cf. Fig. 19). Cette propriété rend la sélection d'un sous-espace de données plus facile et plus intuitive.



**Fig. 19: Histogrammes superposés
Source : [Da00]**

Ces travaux sont intéressants par le fait qu'ils proposent l'utilisation d'une représentation matricielle pour visualiser l'évolution temporelle de données qu'il est d'usage de représenter par d'autres techniques, comme des histogrammes. Cette approche suggère de s'intéresser au potentiel offert par les représentations matricielles pour représenter des données habituellement visualisées par d'autres techniques.

1.0.3. Travaux de ETH Zurich

A l'université ETH de Zurich, St Ger et Engeli [GE98] ont développé des nouvelles interfaces visuelles visant à supporter les activités au sein de projets conduits par des entreprises virtuelles. Ce type de collaboration associe les compétences spécifiques et complémentaires de différentes entreprises. Il constitue l'organisation de base des projets de construction et tend à prendre de l'ampleur dans différents autres secteurs économiques. Le but de leur projet de recherche était *'de développer des outils qui supportent l'échange d'information, la communication et la collaboration'*. Pour ce faire, ils ont proposé des outils qui incluent des vues holistiques du projet permettant la visualisation du temps et des processus et qui révèlent les relations entre les documents et les participants.

Ces auteurs ont notamment basé leur réflexion sur le constat que les systèmes actuels de gestion de documents structurent habituellement les données sous forme hiérarchique. Les données étant accédées en naviguant parmi des sections et sous-sections. Une limitation de ces systèmes réside dans le fait qu'ils offrent rarement des vues d'ensemble des données et des processus de travail. Dès lors, ils ont conçu différentes interfaces pour ajouter cette fonctionnalité à un système de gestion de documents existant (*'SiteScope'*).

Une de leurs idées clés consiste à créer des méta-vues sur les données. Une méta-vue est une *'représentation qui montre en premier lieu la structure des relations entre les documents plutôt que leur contenu.'* Les méta-vues servent également de portails d'accès au contenu du système de gestion de documents. Quatre méta-vues furent développées : *'TimeBand'*, *'DocumentDisk'*, *'KeywordDisk'* et *'UserDisk'*. Il est important de noter que ces quatre interfaces sont complètement intégrées. On peut passer de l'une à l'autre sans difficulté.

1. La méta-vue *'TimeBand'*

Compte tenu de l'importance du facteur temporel dans les projets de construction, St Ger et Engeli ont conçu la méta-vue *'TimeBand'* basée sur une représentation linéaire du temps (cf. Fig. 20).

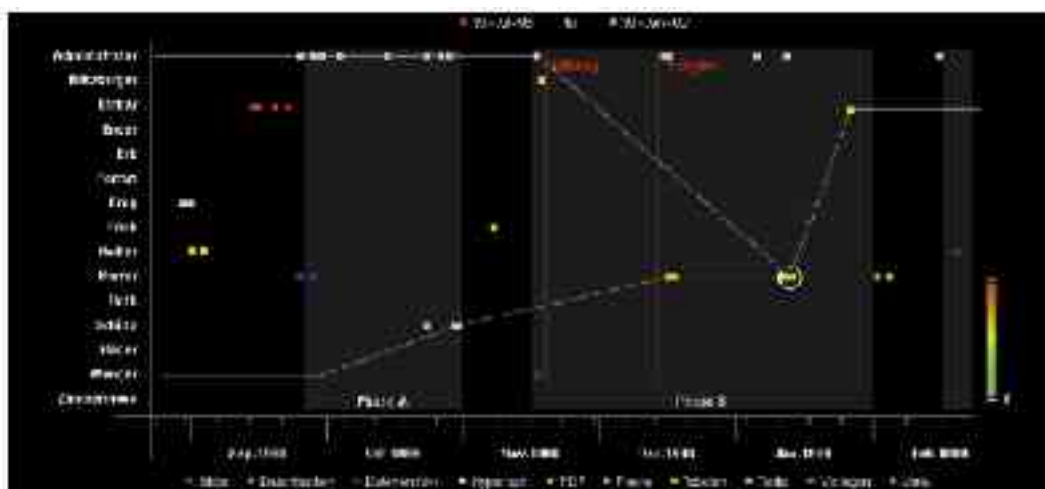


Fig. 20: TimeBand, l'information est affichée selon un axe du temps (abscisse) et permet différents tris selon l'axe des ordonnées. Source : [GE98]

Elle permet de visualiser les documents et les acteurs du projet et fournit une bonne vue d'ensemble du travail en cours. Selon ces chercheurs, *'l'organisation des documents sur base temporelle est très utile pour la tâche de recherche de documents spécifiques car les utilisateurs peuvent souvent se souvenir de quand un document a été écrit ou accédé ou à tout le moins ils peuvent reconnaître la séquence des documents.'* Outre la vue globale des documents, il est possible d'accéder à certaines méta-données y relatives (ex. titre, auteur, mots-clés...), en pointant sur le carré représentant un document spécifique. Des couleurs différentes peuvent être associées aux carrés représentant les documents selon différents axes de différenciation : type de document, statut du document...

2. La méta-vue 'DocumentDisk'

La méta-vue 'DocumentDisk' est une mise en correspondance (*mapping*) de la structure hiérarchique utilisée dans le système de gestion de document avec une hiérarchie circulaire plane. L'interface dispose de fonctionnalités de zoom et de filtres. Il est également possible de paramétrer la forme et la couleur de l'objet graphique représentant les documents selon la valeur de différentes méta-données.

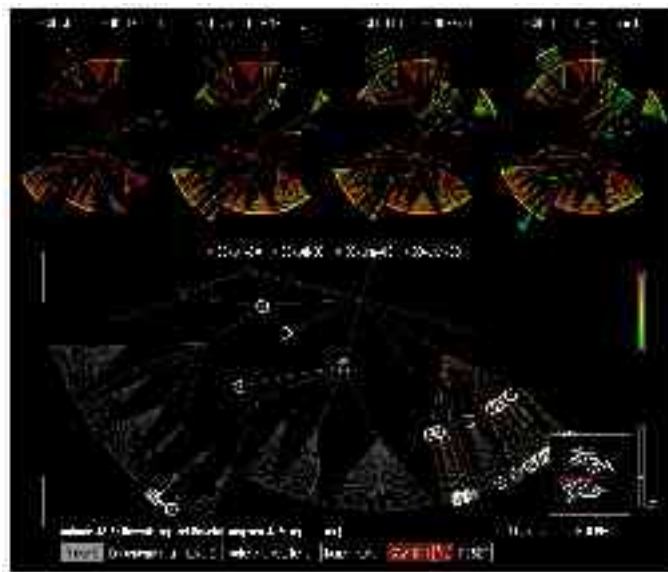


Fig. 21: DocumentDisk, une représentation reflétant la structure du système de gestion de documents

Selon St Ger et Engeli, la représentation 'DocumentDisk' offre deux avantages principaux.

- Les processus de planning et de construction habituels conduisent à créer un nombre croissant de ramifications à mesure que le projet avance. La représentation circulaire peut mieux gérer cette caractéristique que la représentation hiérarchique classique.
- La représentation circulaire donne à chaque ramification une direction distincte, ce qui augmente les qualités mnémoniques de la représentation.

3. La méta-vue 'KeywordDisk'

La méta-vue 'KeywordDisk' s'attache à fournir à l'utilisateur une vue de l'espace d'information orientée 'contenu'. Elle utilise une représentation circulaire plane qui repose sur une hiérarchie de mots clés bien établie, spécifique au secteur de la construction. Le centre du cercle correspond au niveau le plus général et chaque nœud introduit un nouveau mot-clés plus précis. Les documents sont attachés aux nœuds, conformément aux mots-clés qui qualifient leur contenu. Cette méta-vue permet à l'utilisateur de se focaliser facilement sur certains aspects particuliers du projet, comme par exemple, les fondations ou la toiture.

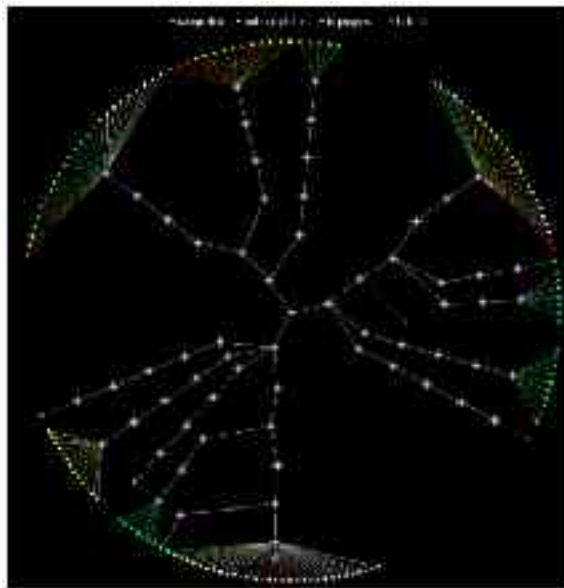


Fig. 22: KeywordDisk, création d'un DiskTree selon une structure de mots-clés donnée et attachement des documents au 'DiskTree'

Source : [GE98]

4. La métavue 'UserDisk'

La méta-vue 'UserDisk' montre un diagramme de l'organisation, qui révèle la structure des firmes participantes, les employés et les responsabilités sur un projet particulier. Elle fournit également les informations de contact des membres du projet. Cette représentation est utile pour obtenir une vue globale des équipes et des participants au projet.

5. Vue d'ensemble

Une caractéristique importante de l'approche développée dans cette section est l'interconnexion des quatre méta-vues. Elles peuvent être affichées simultanément, peuvent communiquer entre elles et échanger de l'information en temps réel. Il est donc possible naviguer dans les données en utilisant les différentes représentations. Cette

possibilité visualise les données dans des contextes différents, ce qui permet une analyse plus riche de la situation en cours.

Par exemple, en mettant en valeur tous les documents d'une personne, on peut révéler son expertise dans un domaine particulier via la méta-vue 'KeywordDisk', les processus dans lesquels elle est impliquée avec la méta-vue 'DocumentDisk' ou 'TimeBand', ainsi que sa position dans l'organisation virtuelle avec la méta-vue 'UserDisk'.

1.0.4. Candytop 3D

La représentation 'Candytop 3D' a été proposée par des chercheurs japonais : Wakita, Yoshida, Miyazaki et Chiyokura [Wa03] qui ont travaillé en collaboration avec la société Fuji Xerox. Ils ont observé que '*les interfaces 3D sont souvent utilisées pour visualiser les relations logiques entre des documents*' et ils confirment l'intérêt de cette approche car elle permet de visualiser les structures complexes qui contiennent de multiples variables.

Ils proposent une autre utilisation des interfaces 3D : la visualisation de la croissance de documents multimédia. Leur but était d'aboutir à une représentation qui permet de faciliter la compréhension du contexte associé aux documents. Ils ont utilisé à cette fin la métaphore du tube de friandises ('candytop').

Les périodes de temps sont assimilées à des bonbons dans un tube. Ces bonbons sont découpés en tranches. Chaque tranche est translucide et contient des grains. Les tranches sont associées aux périodes de temps tandis que les grains sont associés aux documents multimédia (cf. Fig. 23).

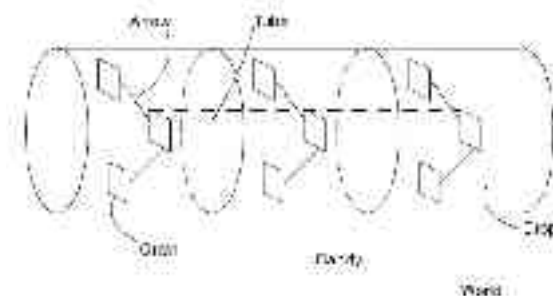


Fig. 23: Modèle de base du *Candytop*

Il est donc possible de connaître l'évolution des documents en parcourant le tube des bonbons (cf. Fig. 24).



Fig. 24: Implémentation du CandyTop

1.0.5. Lentille mobile

La technique de ‘lentille mobile’ (*movable lens*) consiste à appliquer un opérateur spécifique sur une zone limitée de la représentation graphique pour mettre en évidence certaines propriétés. Cet opérateur est matérialisé par un cadre que l’on peut déplacer sur la représentation graphique. Dans l’exemple de la Fig. 25, la lentille change la couleur de l’objet sur lequel elle se trouve.

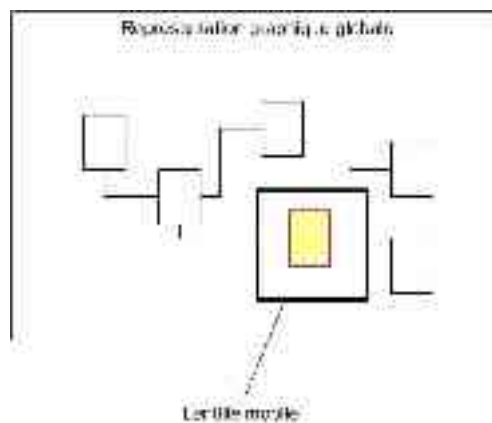


Fig. 25: Principe de la lentille mobile

Ce principe a été appliqué dans différents contextes, comme l’illustrent les exemples de la Table 18.

Table 18: Exemples d’application des lentilles mobiles
Source : [Ho97]

Représentation globale	Opérateur
Carte géographique	Afficher des détails de la carte à une échelle plus grande.
Texte	Afficher les polices de caractères
Texte	Afficher la signification d’un mot

On peut penser à d'autres utilisations telle que celle que nous avons imaginée dans le domaine des cartes routières. La lentille est employée pour afficher des informations associées aux risques de ralentissement du trafic (cf. Fig. 26).

Il est important de remarquer que les opérateurs applicables aux objets de la zone couverte par la lentille ne se limitent pas à des opérateurs graphiques tels que le zoom ou le changement de couleur. De plus, un outil informatique peut offrir plusieurs lentilles associées à des opérateurs différents, éventuellement activables de manière simultanée.

Par principe, la technique des lentilles mobiles a un caractère interactif puisque l'utilisateur doit déplacer la lentille pour se focaliser sur une zone particulière de ce qui est affiché. Cette approche constitue un bel exemple d'implémentation du principe 'contexte+zoom' qui vise à conserver le contexte global de l'objet dont on veut connaître certains détails.

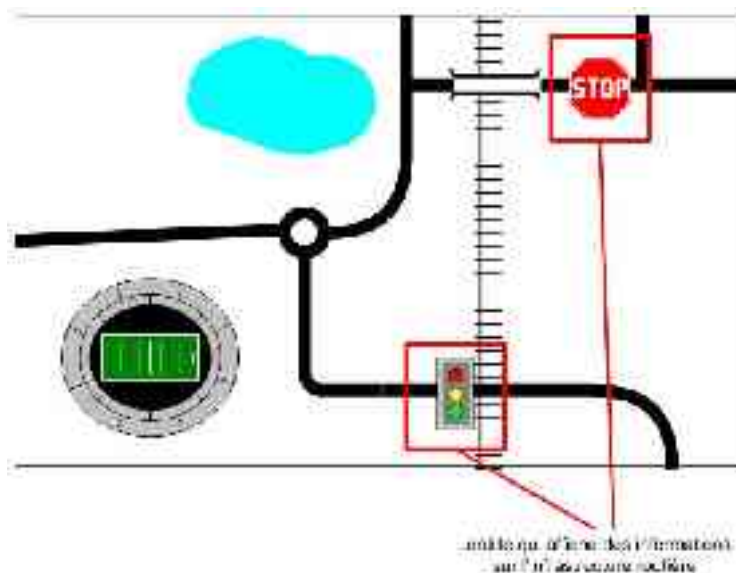


Fig. 26: Exemple de lentille mobile appliqué sur une carte routière.

Cette technique présente un potentiel intéressant pour améliorer la représentation par hypergraphe de Hanser, raison pour laquelle nous avons jugé utile de la mentionner. La question fondamentale sous-jacente à une telle application serait de déterminer l'opérateur le plus pertinent à associer à la lentille. Nous rappelons ici les travaux de Bertin (cf. p. 22) qui a insisté sur le fait qu'une bonne représentation graphique doit répondre à une question précise sur les données sous-jacentes.

Si on s'intéresse en particulier à la représentation du temps, l'opérateur associé à la lentille mobile pourrait avoir pour effet de représenter le passé de l'objet inclus dans la lentille (problème de l'historique) ou son futur (problème de la planification). Dans le cadre de la visualisation des interactions entre éléments constitutifs du projet, la

technique de la lentille mobile pourrait être utilisée pour afficher des informations plus détaillées sur ces interactions (exemple : état de la relation, date de création...)

1.0.6. Treemap

La représentation par *'treemap'* fut conçue par Ben Shneiderman en 1990 [Sh04] pour résoudre un problème de visualisation du contenu d'un espace de stockage d'un système informatique. D'un point de vue conceptuel, il se fixa comme cadre de réflexion de représenter graphiquement une structure arborescente dans un espace dont la dimension était contrainte. Ainsi naquit l'idée de représenter un arbre comme une succession de rectangles orientés alternativement dans la direction verticale et horizontale à l'intérieur d'une surface elle aussi rectangulaire (cf. Fig. 27).

Cette approche présente plusieurs avantages. Elle permet de visualiser en une seule fois arbre hiérarchique possédant un grand nombre de branches ainsi qu'un grand nombre de nœuds. De plus, Shneiderman a établi que des utilisateurs novices apprenait rapidement (10-15 minutes) à comprendre la représentation.

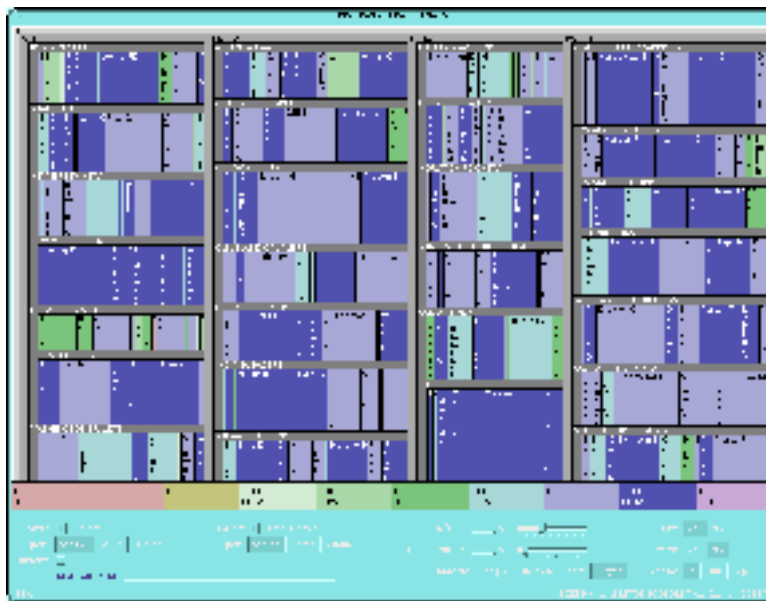


Fig. 27: Visualisation par *Treemap* des équipes de basket de la NBA
Source : [Sh04]

Parmi les nombreuses utilisations de la représentation *'treemap'*, il nous semble utile dans le contexte de notre stage de mentionner celle visant à visualiser le cyberspace Usenet.



Fig. 28: Visualisation de Usenet au moyen d'un *Treemap*
Source : [Sh04]

Depuis sa création, la représentation '*Treemap*' a fait l'objet de multiples améliorations visant, par exemple à y ajouter un caractère interactif, à améliorer les propriétés visuelles des rectangles (ex. '*cluster and squarified treemap*') ou à imposer que les noeuds soient représentés par des carrés pour permettre de visualiser des photos (cf. '*quantum treemap*', Fig. 29).

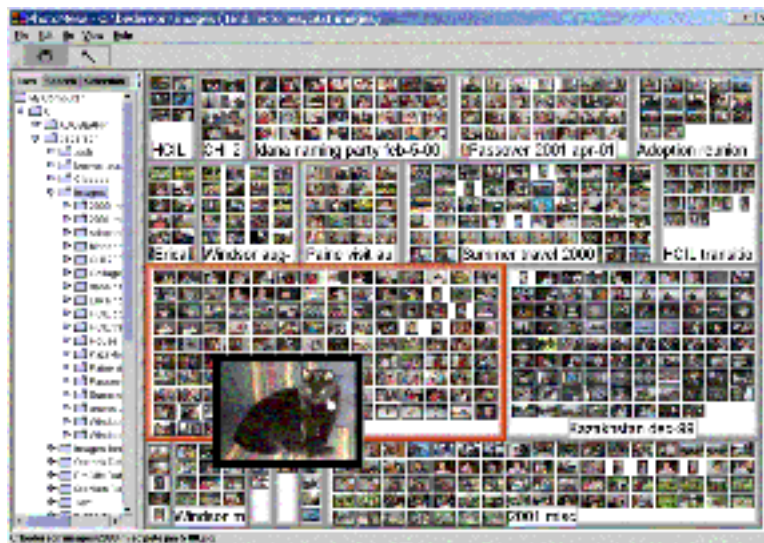


Fig. 29: Représentation '*Quantum treemap*'
Source : [Sh04]

La représentation par *treemap* présente du potentiel pour visualiser l'état courant d'un projet de construction pour autant que l'information associée soit structurée sous forme arborescente. A ce niveau, il est utile de mentionner les travaux de W. Prinz et son équipe. Prinz et al. [PP04] ont utilisé, sous le nom de '*smartmaps*', des *treemaps* dans le contexte d'environnements collaboratifs. Ces représentations graphiques ont notamment

été intégrés à la plate-forme de coopération BSCW pour visualiser les documents sur lesquels certaines opérations ont été réalisées (cf. Fig. 30).

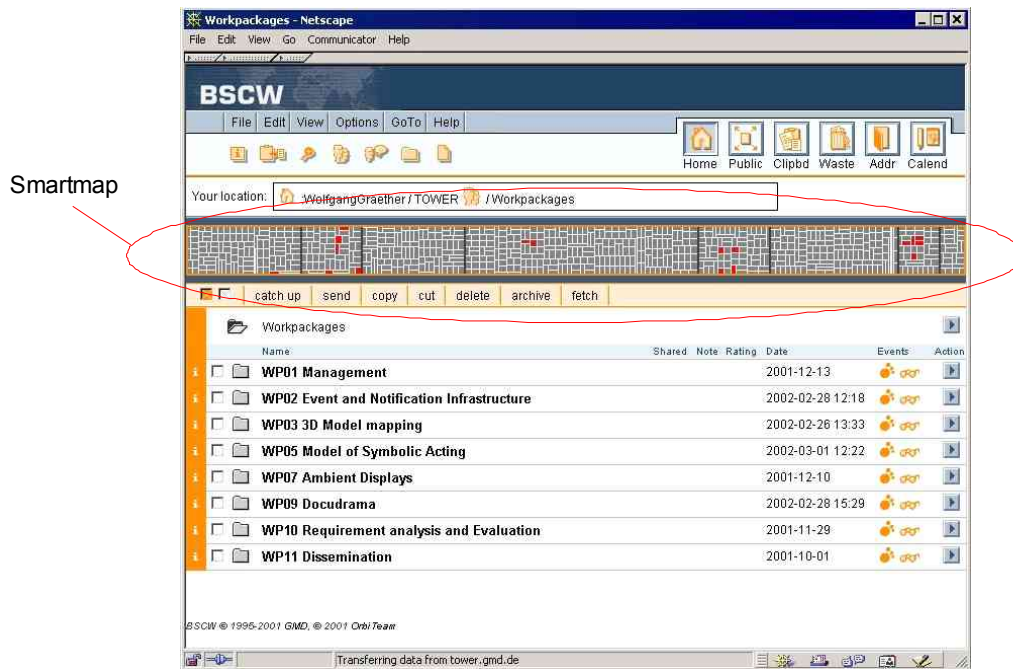


Fig. 30: Utilisation de *treemaps* dans le cadre d'un environnement coopératif

La technique des *treemaps* pourrait être utilisée pour visualiser un grand nombre d'interactions entre des éléments du projet, dans l'esprit des *smartmaps* de Prinz.

1.0.7. LifeLines

La représentation 'LifeLine' a été conçue par une équipe du laboratoire HCIL de l'Université du Maryland [HC98]. Elle a pour but de visualiser certains événements de la vie d'une personne dans le cadre de son suivi médical (cf. Fig. 31).

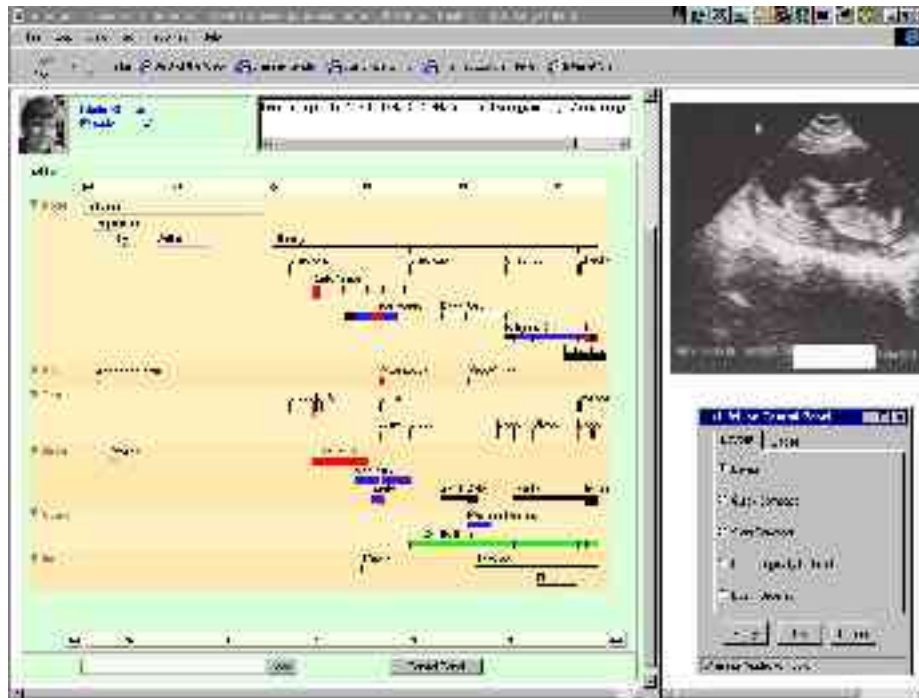


Fig. 31: Représentation des événements de la vie d'un patient (*LifeLine*)

Les différents événements sont placés sur une ligne du temps. Selon leur importance, ils seront associés à des lignes d'épaisseurs et de couleurs différentes.

Un aspect nous semble intéressant à relever. La visualisation combine des événements conceptuellement différents et les présente en les regroupant par thème : p.ex. prescriptions de médicaments, périodes d'hospitalisation, périodes pendant lesquelles une vaccination est active... Cette approche pourrait être adaptée dans le domaine de la conception architecturale en classifiant les différents événements qui se produisent au cours d'un projet (p.ex. réunions avec le client, actions sur des documents, procédures de demande de divers permis auprès des administrations...) et en les visualisant simultanément. Ce type de visualisation met particulièrement en évidence la séquence des événements et facilite de plus une compréhension globale d'une situation donnée. Enfin, on peut noter que la représentation utilise une structure fondamentale matricielle ('temps' en abscisse, 'thème médical' en ordonnée).

2. L'approche centrée sur les relations dans l'étude des projets

2.1. L'étude des interactions

La structure des interactions entre les participants d'un projet et leur évolution au cours du temps est une problématique encore peu discutée dans la littérature relative aux systèmes d'information utilisés dans le secteur de l'architecture et de la construction. Cet élément constitue néanmoins un facteur important de bonne conduite d'un projet, en particulier dans le domaine de la construction. En effet, dans ce secteur, les projets se

caractérisent par plusieurs facteurs spécifiques qui nécessitent un important travail de gestion de ces interactions.

- Il existe une grande variabilité entre les projets, ce que Koskela and Vrijhoef [KV00] appellent '*one-of-a-kindness*'. Les opérations sont non répétitives [BR93]. Cette caractéristique est aussi identifiée par Schwegler et al. [Sc01]: '*le contrôle de la conception, de l'approvisionnement et des opérations sont typiquement organisées d'une manière ad-hoc, appropriée aux besoins spécifiques du projet*'.
- Les projets de construction sont complexes non seulement à cause de la complexité de l'environnement bâti lui-même, mais aussi à cause de leur nature multi-culturelle, spatialement distribuée, multidisciplinaire et multi-organisationnelle. [Sc01].
- Les étapes du processus de production sont hautement inter-reliées ([BR93]; [KV00]), ce qui conduit à une forte dépendance entre les sociétés engagées sur un projet.
- Les fournisseurs contribuent habituellement à hauteur de 75-80% de la valeur d'un contrat de construction, ce qui rend une gestion et une coordination efficace essentielle pour atteindre les objectifs de coût, de qualité et de délai. [C199].
- Il y a un grand décalage entre les tâches de conception et celles d'exécution. [St00].

De manière générale, l'idée d'étudier les communications interpersonnelles pour déterminer la manière dont un réseau d'intervenants construit et entretient des relations n'est pas neuve en soi. Outre la théorie de l'analyse de réseaux sociaux à laquelle une section ultérieure de cette étude bibliographique sera consacrée, d'autres approches méritent d'être citées, à titre d'exemples.

Voici une dizaine d'années, Schwartz et Wood [SW93] ont analysé des communications par *e-mail* pour découvrir des groupes de personnes ayant des intérêts communs. Quelques années plus tard, Wiesenfeld et al. [Wi98] ont réalisé des recherches relatives à l'impact de l'utilisation des nouvelles technologies de communication sur le sentiment d'appartenance à une organisation virtuelle. Plus récemment, une équipe de l'Université de Stanford [Fy02] a essayé d'identifier un invariant comparable au nombre de Reynolds en mécanique des fluides pour prédire la transition, d'un état stable à turbulent, des flux d'information au sein d'un projet.

Il est aussi utile de mentionner les travaux de Perry [Pe97] sur l'étude de projets de construction au moyen de la théorie de la cognition distribuée. Mark Perry a analysé en particulier les activités de conception. Son approche s'est focalisée sur les *artefacts* utilisés et sur les processus interactionnels associés. Il a montré que ces processus interactionnels sont de deux ordres : organisationnels (officiels, explicites, documentés) et sociaux (implicites). Ce résultat rappelle à certains égards la position défendue par l'ergonomie cognitive qui distingue 'tâche prescrite' et 'activité réelle'.

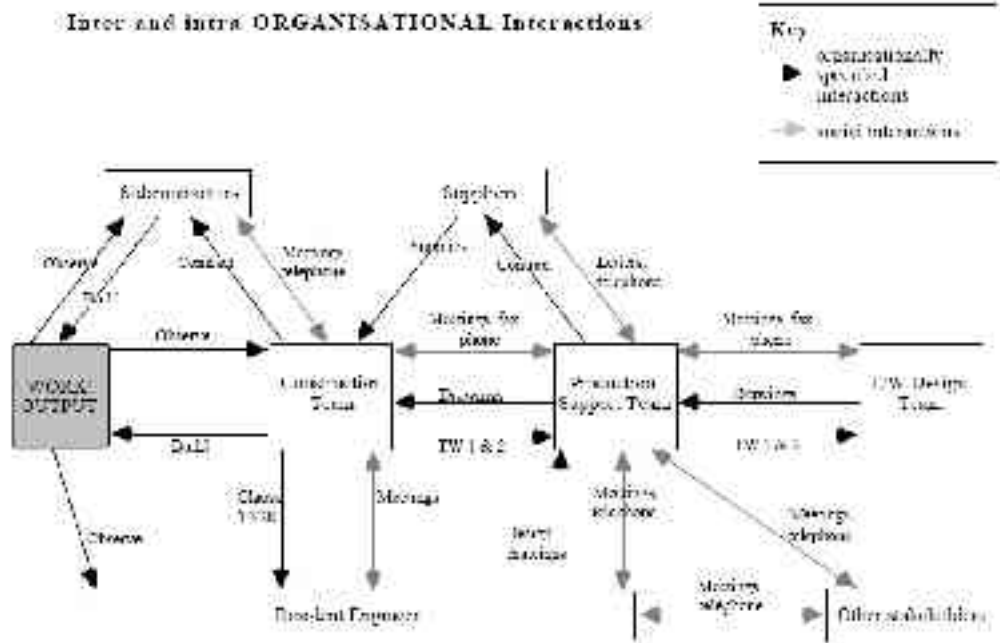


Fig. 32: Interactions dans un projet de construction
Source : [Pe97]

Dans ce domaine, le caractère essentiellement tacite des connaissances associées à la gestion sur le terrain des interactions et des flux d'information représente sans doute un défi particulièrement difficile à relever. La construction de connaissances sur ce thème vise à transformer cette connaissance essentiellement tacite en une connaissance explicite, phénomène décrit par Nonaka et Takeuchi [NT97] comme une 'extériorisation' (cf. Fig. 33).

	Connaissance tacite	Connaissance explicite
Connaissance tacite	Socialisation	Extériorisation
Connaissance explicite	Intériorisation	Combinaison

Fig. 33: Les quatre modes de conversion de connaissances
Source : [NT97], p. 83.

Lonchamp [Lc03, p. 239-240] aborde cette problématique de l'explicitation des connaissances dans le contexte de la mémoire organisationnelle d'activités de conception. Il mentionne que cette explicitation peut se concrétiser en '*recueillant directement et dynamiquement la connaissance au fil des activités (direct knowledge extraction). L'activité du concepteur utilisant des outils est observée, par traçage de l'utilisation des fonctions, traçage des informations produites et échangées, etc. afin d'en extraire des connaissances de plus haut niveau [...]*'. Bien qu'elle ne vise pas explicitement la construction d'une mémoire organisationnelle, notre approche s'inscrit cependant dans le courant de l'observation directe et dynamique des activités. Lonchamps cite également les travaux de Vapillon qui '*met en exergue l'importance des processus interactionnels dans le cadre de la conception coopérative et postule qu'une mémoire des échanges, fondée sur le modèle de la conversation et capturant l'organisation et la dynamique des*

conversations, pourrait permettre une compréhension en profondeur du processus de conception suivi.

2.2. La théorie de l'analyse des réseaux sociaux

2.2.1. Contexte général

Parmi les méthodes d'analyse des réseaux humains, l'analyse des réseaux sociaux (*Social Network Analysis* ou SNA) nous semble particulièrement intéressante pour éclairer la problématique de notre stage avec une vision moins informatique. Cette approche se fonde sur l'hypothèse que la structure des relations (au sens mathématique du terme) entre les membres d'un ensemble (personnes, services, entreprises...) peut être un indicateur de la réalité sociale sous-jacente. Fondamentalement, la SNA vise donc l'étude de données de réseau (*network data*), c.-à-d. des données relatives aux relations entre des entités [WF99].

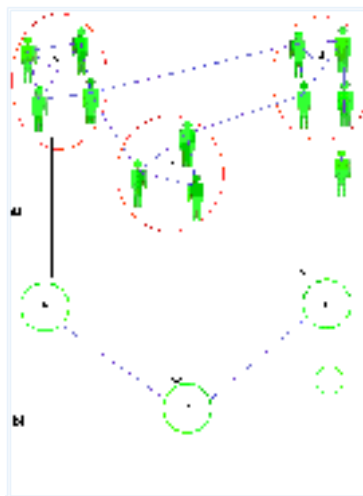


Fig. 34: Illustration des liens entre individus et entre groupes
Source : [Ga97]

La SNA est née dans les années 1950-60 dans le domaine de la sociologie, de la psychologie sociale (cf. Moreno, Cartwright, Newcomb, Bavelas) et de l'anthropologie (cf. Barnes, Mitchell). Elle est donc clairement issue d'un courant multidisciplinaire. *‘Les concepts de l'analyse des réseaux sociaux se sont développés sur base de la rencontre propice entre la théorie sociale et ses applications et une méthodologie formelle, mathématique, statistique et informatisée.’* [WF99]. Depuis cette époque initiale, son champ d'application s'est élargi pour englober des problématiques telles que la diffusion et l'adoption des innovations [Ro79], l'étude des marchés [Be88] ou encore l'impact de l'urbanisation sur le bien-être individuel [Fi82].

Progressivement, des chercheurs ont réalisé l'utilité que l'approche SNA pouvait présenter dans l'informatique de gestion. Garton et al. [Ga97] notent ainsi que : *‘Quand un réseau d'ordinateurs connecte des personnes ou des organisations, c'est un réseau social. Juste comme un réseau informatique est un ensemble de machines connectées par un ensemble de câbles, un réseau social est un ensemble de personnes (ou*

d'organisations ou d'autres entités sociales) connectées par un ensemble de relations sociales'. A titre d'exemple, ces chercheurs ont récemment utilisé la SNA pour étudier l'influence de l'introduction d'un système de vidéo-conférence comme moyen de communication entre des groupes de travail répartis sur des sites géographiques différents.

D'un point de vue technique, la SNA utilise différentes théories mathématiques telles que la théorie des graphes, le '*multidimensional scaling*' (MDA) ou l'analyse des composants principaux (*Principal Component Analysis* ou PCA) pour modéliser et/ou représenter les interactions. Elle essaye ensuite d'établir ou d'infirmer l'existence d'une signification sociale, organisationnelle, voire managériale de ces propriétés mathématiques (exemple : la centralité d'un point dans un graphe est mise en relation avec l'importance d'une personne dans une communauté).

2.2.2. Applications de la SNA au secteur de la construction

Les problèmes liés à la transmission des informations ont été reconnus comme un des facteurs d'inefficacité importants dans le secteur de la construction. Selon O'Connor et Tucker (1999), 22,1% des problèmes rencontrés sur un site de construction sont liés à la communication d'informations de conception. L'IAI (International Alliance for Interoperability, 2001), une organisation qui vise à unifier les formats d'échange de données dans le secteur de la construction, mentionne que les ruptures dans les processus et dans les communications peuvent représenter jusqu'à 30% des coûts d'un projet de construction. L'étude de cette question présente donc un intérêt économique évident. Thorpe et Mead (2001) notent par ailleurs que : '*la surcharge informationnelle est un grand problème dans le secteur de la construction*'.

Alors qu'Internet est fondamentalement une technologie permettant la communication, les flux d'informations qui se produisent au cours d'un projet de construction sont mal connus, tant au point de vue quantitatif qu'au niveau qualitatif et contextuel. Or, plusieurs chercheurs ont démontré l'importance que la structure des communications pouvait présenter dans différents contextes ([Wi98] ; [Ga97] ; [TM01] ; [HP01] ; [Na02]).

Très récemment, quelques applications de la SNA dans le secteur de la construction sont apparues.

Une première expérience fut réalisée au Danemark en 2001 par Howard et Petersen [HP01]. Cette étude empirique s'est focalisée sur la répartition quantitative des flux entre les différents média de communication (réunions, poste, téléphone, fax, e-mail, projet géré via web, bases de données, autres). Howard et Petersen ont utilisé la théorie SNA pour construire des sociogrammes (cf. Fig. 35) permettant de comparer l'utilisation des modes de communication traditionnels (réunions, téléphone, poste et fax) et ceux basés sur les NTIC (e-mail avec ou sans fichiers attachés) au sein de quatre projets de construction. Malgré certaines limitations (durée d'observation limitée, qualité variable des données collectées, données relatives à des phases de projet différentes), une des conclusions de cette étude nous paraît particulièrement intéressante : les moyens de communications électroniques semblent peu utilisés pour la résolution de problèmes. Les média classiques (fax, téléphone, poste) s'avèrent être les outils de prédilection pour régler les litiges. Plus encore que par son résultat empirique (qui demande à être confirmé

par une étude à plus grande échelle), c'est comme exemple d'une ouverture vers de nouvelles techniques d'analyse du déroulement des projets que cette expérience nous semble prometteuse.

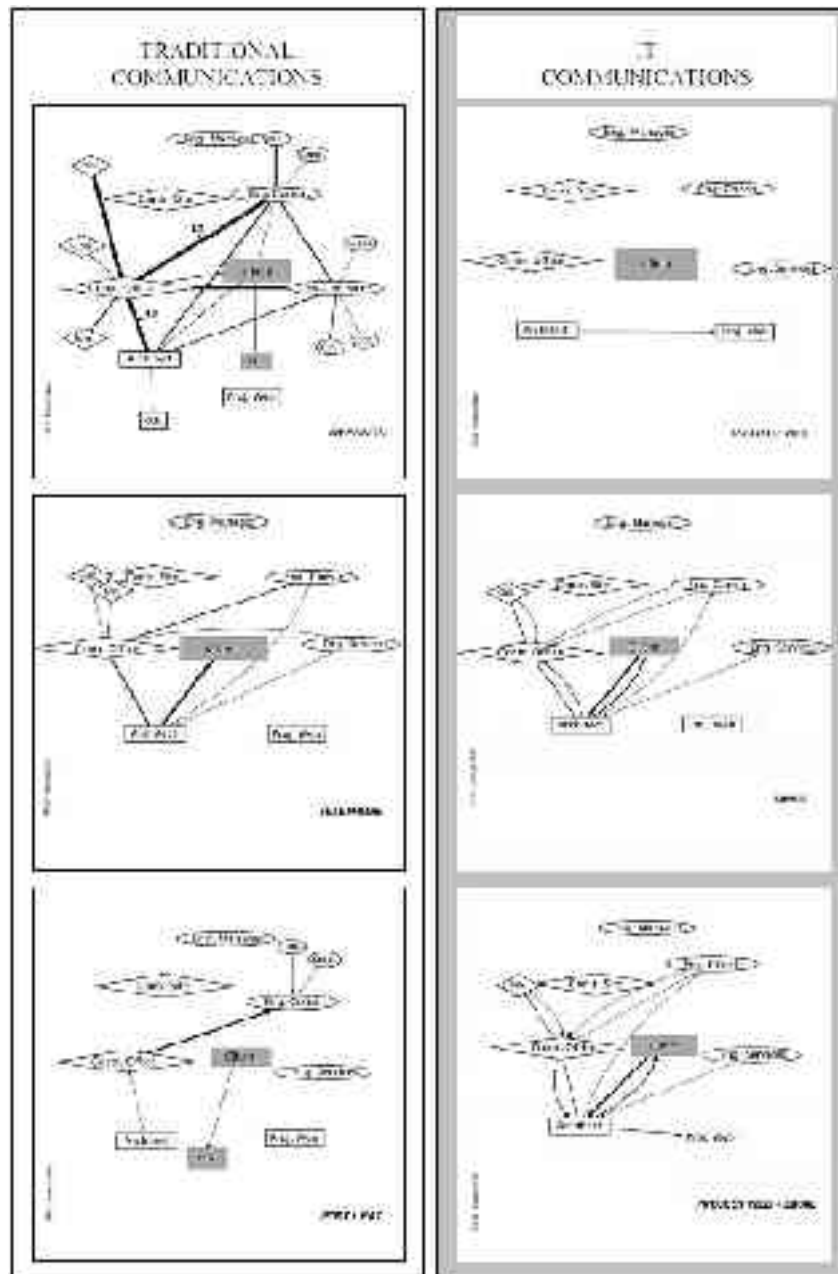


Fig. 35: Représentation des communications au cours d'un projet de construction
Source : [HP01]

Les travaux de Thorpe et Mead [TM01] constituent un second exemple d'application de la théorie SNA. Ces auteurs ont appliqué la SNA à l'étude de sites web de gestion de projets (PSWS – *Project Specific Web Site*). Leur recherche a montré que les PSWS peuvent accélérer les flux d'information mais que, dans certains cas, ils sont également

susceptibles de générer une surcharge informationnelle. De plus, l'étude a démontré que la réussite de l'architecture PSWS est fortement liée à l'implication active de l'ensemble des participants clés. L'intérêt de telles recherches repose notamment sur l'observation sur le terrain de l'utilisation réelle de solutions informatiques. Ce qui peut conduire à des conclusions plus nuancées que celles déduites de la seule réflexion théorique. La meilleure solution, d'un point de vue technologique ou informatique pur, ne constitue pas systématiquement celle qui apporte le plus lors de son implémentation.

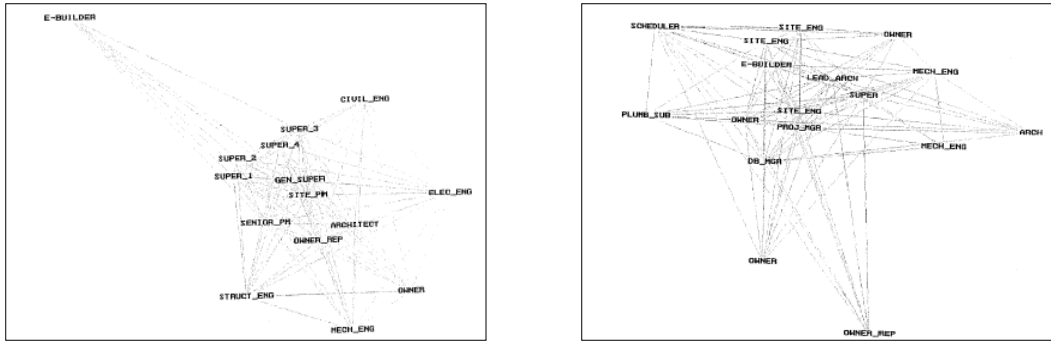


Fig. 36: Comparaison de la structure des communications entre deux projets gérés par site web
Source : [TM01]

Par ailleurs, il faut mentionner que l'étude de Thorpe et Mead s'est fixée comme critère de sélection des projets étudiés une durée minimale de 20 mois et un budget supérieur à 5.000.000 \$. Ceci met en évidence une seconde constatation. Lorsque la SNA a été utilisée pour étudier les projets de construction, elle s'est généralement focalisée sur de grandes entreprises ou des projets de grande taille.

Shaaban et al. [Sh02] ont également utilisé la théorie SNA mais pour étudier la manière dont était consulté un site web contenant des documents techniques relatifs au domaine de la construction. Plus précisément, les différentes opérations réalisées par les utilisateurs au cours d'une session furent modélisées sous la forme d'un réseau (cf. Fig. 37).

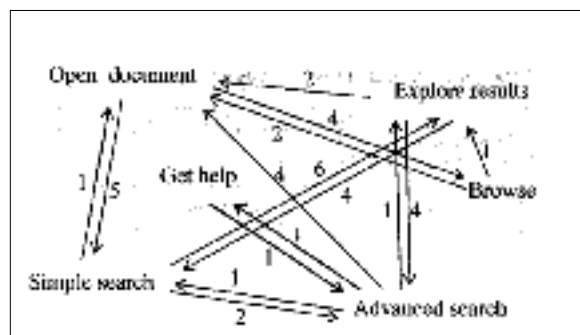


Fig. 37: Représentation des interactions au cours d'une session de consultation d'un site web
Source : [Sh02]

Quant à Larsen [La03], il a étudié les réseaux de communication informels dans le secteur de la construction en Grande-Bretagne en vue de mieux comprendre la diffusion des

innovations. Il s'est basé sur la théorie SNA pour modéliser les rôles des différents intervenants.

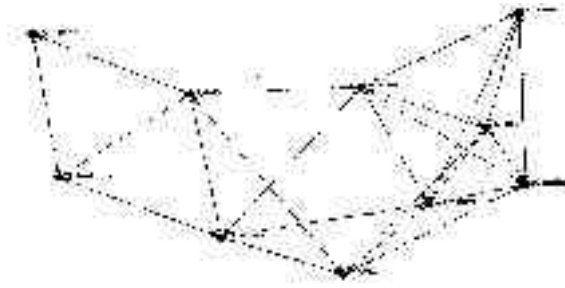


Fig. 38: Représentation du réseau informel étudié
Source : [La03]

En conclusion, la théorie SNA se présente comme une piste intéressante pour étudier la manière dont les interactions se construisent et évoluent au sein d'un projet architectural. De manière plus générale, ces travaux confirment l'intérêt à conduire des recherches spécifiques sur les interactions entre les personnes, entre les personnes et les documents, ou encore entre les personnes et les outils qui servent de support aux activités communes.

2.2.3. Application combinée de la SNA et d'autres techniques d'analyse

Certains chercheurs ont combiné l'approche SNA avec d'autres techniques. Parmi ces stratégies, il nous semble particulièrement intéressant de décrire sommairement celle élaborée par Coffman, Greenblatt et Marcus [Co04]. Ces chercheurs travaillent dans le secteur de la défense aux Etats-Unis. Le but de leur démarche est de parvenir à déceler la présence d'activités potentiellement dangereuses sur base de l'observation d'une situation.

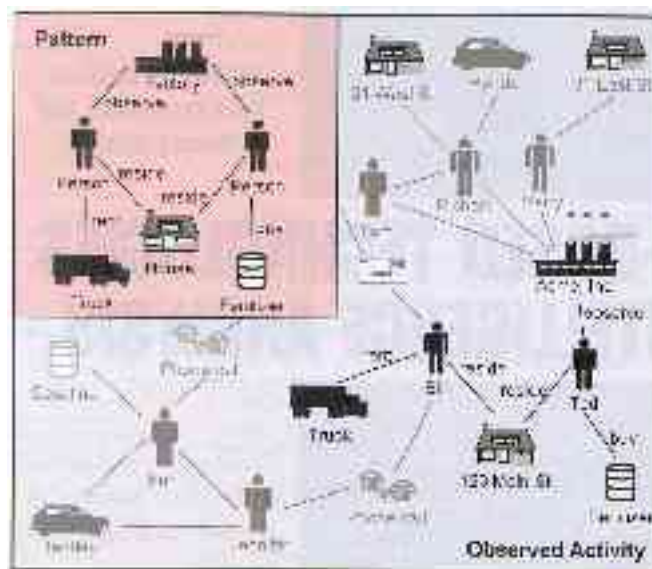


Fig. 39: Identification de sous-graphes dans un graphe d'interactions

Ils proposent tout d'abord de construire un graphe de la situation, dans lequel les différents objets de la vie réelle sont représentés, de même que leurs interactions

mutuelles (cf. Fig. 39). Ils définissent ces diagrammes comme des graphes relationnels avec attributs. *‘Les diagrammes sont des graphes relationnels avec attributs (ARG – Attributed Relational Graphs), une extension des graphes orientés abstraits des mathématiques. Dans ces ARG, les nœuds représentent des personnes, des organisations, des objets ou des événements. Les arcs représentent les relations comme l’interaction, la possession ou la confiance.’*

Ces graphes ‘ARG’ fonctionnent comme des aides externes à la mémoire, en face de situations complexes. De plus, la représentation sous forme de graphe met l’accent sur les relations entre les entités. *‘Au contraire des bases de données et des tableurs, qui tendent à faciliter le raisonnement sur les caractéristiques d’acteurs individuels, les représentations par graphe facilitent le raisonnement sur les relations entre acteurs.’*

Ils appliquent alors deux techniques complémentaires.

D’une part, ils ont mis au point des algorithmes permettant de déceler les isomorphismes entre des parties du graphe (sous-graphes) et un patron de sous-graphe de référence (*pattern graph*). L’idée sous-jacente consiste à poser comme hypothèse que les activités potentiellement problématiques conduisent à certaines structures particulières de relations entre les entités de la vie réelle. *‘Les algorithmes d’isomorphisme de sous-graphes cherchent au sein de grands graphes des régions qui sont des instances d’un patron de sous-graphe spécifique’*. La portée de ces algorithmes est cependant limitée dans la vie réelle car les graphes construits à partir des observations de terrain sont, le plus souvent, incomplets et partiellement inexacts. Les personnes en charge de l’analyse de la situation opèrent dans un environnement à observabilité limitée. Pour résoudre ce problème, ces chercheurs ont développé des algorithmes qui permettent d’identifier des sous-graphes partiellement ou incomplètement isomorphiques avec les sous-graphes de référence.

D’autre part, ils utilisent la théorie SNA pour étudier les structures sociales entre les personnes observées.

Les résultats des deux techniques sont ensuite confrontés pour en tirer des conclusions.

Si on déplace cette problématique dans le cadre qui nous préoccupe, on réalise aisément le potentiel de ces résultats en termes d’identification de conflits ou de problèmes au sein de projets de construction. A cet effet, il nous semble particulièrement prometteur d’identifier les structures d’interactions qui sont des indicateurs de dysfonctionnement au sein du projet et de tenter de les identifier de manière semi-automatique via des techniques similaires à celles décrites dans cette section.

2.3. Représentation des interactions

Selon Herman et al. [He00], un moyen simple de déterminer l’applicabilité d’une visualisation par graphe est de considérer la question suivante : y-a-t-il une relation entre les données à visualiser ? Si la réponse est ‘oui’, alors les données peuvent être représentées par les nœuds d’un graphe et les relations par des arcs. Dans le cas qui nous préoccupe, on pourrait donc penser que la représentation sous la forme un graphe s’applique assez naturellement. Par contre, comme nous l’avons vu précédemment, le choix définitif de cette forme de représentation ne peut méthodologiquement précéder la formulation explicite de questions sur les données.

Deux approches fondamentalement différentes sont possibles pour insérer des interfaces graphiques dans un contexte de représentation d'interactions [Do99]. D'une part, on peut intégrer les éléments graphiques dans l'interface utilisée pour l'interaction elle-même. D'autre part, on peut représenter graphiquement l'historique des interactions. Ces deux points de vue sont complémentaires et répondent à des questions différentes.

Dans le premier cas, la représentation doit offrir des propriétés comme l'interactivité, la prise de conscience de la collaboration (*awareness*), la dynamique de la représentation, ... Dans le second cas, d'autres éléments prennent plus d'importance, comme la mise en évidence des structures significatives, le volume des données, la représentation d'une longue période de temps, le filtrage des données...

Si on s'intéresse à la visualisation d'interactions sociales, un autre élément important réside dans le fait que l'être humain est très sensible à ces questions et qu'il est dès lors très facile d'introduire des impressions trompeuses si des interactions sociales sont visualisées avec des représentations graphiques mal choisies [Do99].

De nombreux chercheurs ont réalisé des travaux dans le domaine de la représentation graphique d'interactions sociales. Nous proposons d'en mentionner certains d'entre eux, sur base de la proximité de leurs préoccupations avec notre problématique.

2.3.1. Les sociogrammes

Nous présenterons ici sommairement la représentation graphique des interactions la plus couramment utilisée : les sociogrammes. Un sociogramme est une manière de représenter les propriétés formelles d'une configuration sociale. *'Un sociogramme est une figure dans laquelle les personnes (ou de manière plus générale, n'importe quelle entité sociale) sont représentées par des points dans un espace bi-dimensionnel, et les relations entre les paires de personnes sont représentées par des lignes qui relient les points correspondants.'* [WF99].

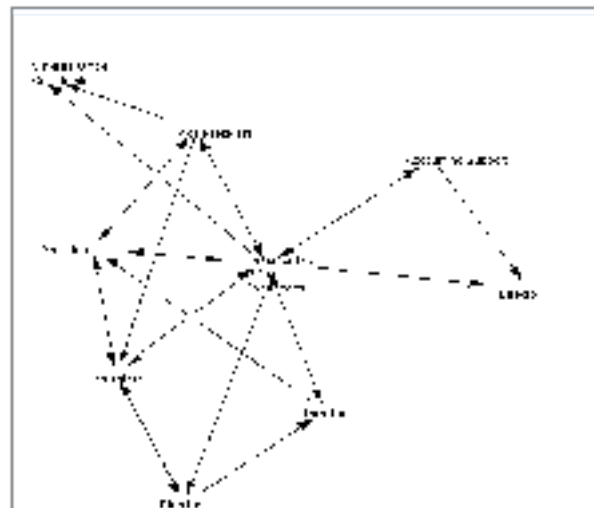


Fig. 40: Représentation des communications dans une entreprise distribuée géographiquement. Source : [Ga97].

L'idée fondamentale consiste à représenter les individus par des points et leurs relations sociales par les lignes (cf. Fig. 40 pour exemple). Cette idée qui semble tellement évidente de nos jours n'est pas si ancienne. Elle fut imaginée par Moreno en 1933 [Sc00].

Cette représentation illustre de manière claire le lien que plusieurs chercheurs ont vu assez rapidement avec la théorie des graphes en mathématique.

Dans un certain nombre de cas, la simple représentation de la présence ou de l'absence d'arcs (modélisant un certain type de relations) n'est pas suffisante. Une seconde étape a consisté à représenter sur ces graphes l'intensité d'une propriété de la relation. A titre d'exemple, la fréquence des occurrences des échanges est une propriété très souvent visée dans ce cadre (cf. Fig. 41).

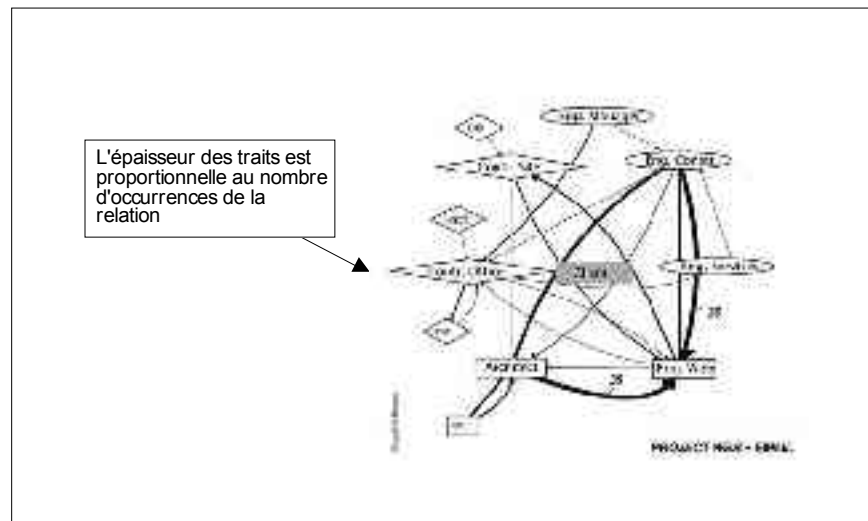


Fig. 41: Représentation de la fréquence des réunions au cours d'un projet de construction
Source : Howard et Petersen, 2001.

2.3.2. Représentation de conversations par e-mail

Rohall et al. [Ro01] ont constaté que la messagerie électronique était devenue l'application la plus utilisée dans les entreprises. Cependant, alors qu'il s'agit essentiellement d'un outil de communication, il est de plus en plus utilisé comme outil de gestion. Il en découle une frustration croissante envers ce type de logiciels. Ces chercheurs ont donc conçu de nouvelles applications 'client' pour messagerie électronique qui intègre différentes techniques de visualisation. Leur but était de mettre en évidence graphiquement les relations entre les messages et entre les personnes qui échangent des *e-mails*.

Rohall et al. attirent l'attention sur le fait qu'un message électronique a plusieurs attributs numériques (ex. taille du message, nombre de fichiers attachés...) qu'il est facile, mais peu utile, de visualiser. Ils ont donc étudié en profondeur la structure des communications électroniques pour déterminer quelles propriétés il était pertinent de visualiser. Ils en ont identifié trois en particulier : la chaîne des messages, le temps et le contenu des documents.

En ce qui concerne la chaîne des messages, ils ont observé qu'elles se présentaient sous la forme de structures arborescentes qui sont à la fois peu larges et peu profondes. Ceci leur a permis de proposer une représentation graphique assez simple des interactions entre les personnes impliquées dans la conversation (cf. Fig. 42). A chaque nœud est associée une personne par le biais d'une couleur spécifique.

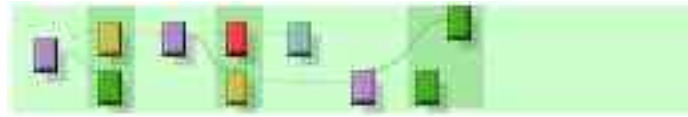


Fig. 42: Structure arborescente d'une conversation par e-mail

Ils ont ensuite combiné la structure arborescente avec une ligne du temps. La représentation d'une conversation sur une ligne du temps pose un problème spécifique : il existe de grandes périodes pendant lesquelles il n'existe pas de messages. Pour résoudre cette question, ces chercheurs ont choisi d'adopter une ligne du temps non linéaire qui comprime les périodes avec peu d'activité (cf. Fig. 43).



Fig. 43: Représentation d'une conversation sur une ligne du temps non linéaire

L'approche proposée par ces auteurs est intéressante dans notre contexte car elle confirme deux aspects importants de notre problématique. Il est nécessaire de s'interroger sur le but de la représentation graphique et il est souvent peu utile de visualiser toutes les informations disponibles.

2.3.3. L'approche 'Thread Arcs'

L'approche 'Thread Arcs' a été développée par Kerr (cf. [Ke03]) dans le cadre d'un projet de recherche d'IBM intitulé 'ReMail'. Ce projet vise à concevoir de nouveaux clients de messageries électroniques qui répondent aux lacunes observées dans les clients actuels.

L'origine de l'approche 'Thread Arcs' repose sur l'observation de l'importance que la représentation des chaînes de conversation peuvent présenter dans les outils de messagerie électronique. Une chaîne de messages est définie comme une collection de messages individuels reliés l'un à l'autre par la fonction 'reply'.

'Les plus grands avantages sont :

- *permettre aux utilisateurs de voir un plus grand contexte des messages qu'ils sont en train de lire ;*
- *rappeler aux utilisateurs qu'une conversation est en cours ;*
- *enregistrer l'état d'une discussion ;*

- *assembler automatiquement les messages qui sont reliés entre eux ;*
- *réduire les messages affichés dans les boîtes aux lettres d'entrée ;*
- *permettre aux utilisateurs de réaliser des actions telles que lire ou effacer un groupe de message.' [Ke03]*

Kerr a recensé sept qualités essentielles pour visualiser efficacement les chaînes de messages électroniques.

1. *Chronologie: On doit montrer la séquence d'arrivée des messages qui créent une chaîne.*
2. *Relations: On devrait rendre visibles toutes les relations 'reply to' en une seule fois. Ces relations fournissent le contexte de chaque message dans une chaîne.*
3. *Stabilité : A mesure que la chaîne croît, il est essentiel que chaque message apparaisse à la même place.*
4. *Concision : Comme la visualisation est en concurrence avec les autres fonctionnalités du client de messagerie au point de vue de l'espace d'affichage, il est impératif que chaque visualisation soit petite en taille sans compromettre la clarté.*
5. *Mise en valeur d'attributs : On doit être capable de mettre en valeur des attributs spécifiques des messages composant une chaîne.*
6. *Echelle : Une visualisation devrait fonctionner à la fois pour de petites chaînes de messages ainsi que pour de plus grandes.*
7. *Interprétation/Sens : Une visualisation doit donner un sens au type de conversation présente dans une chaîne, c.-à-d. si une chaîne consiste en des allers-retours entre deux personnes, ou une requête pour de l'information et des réponses issues d'un groupe.*

Sur cette base, il propose la représentation graphique suivante présentée à la Fig. 44.

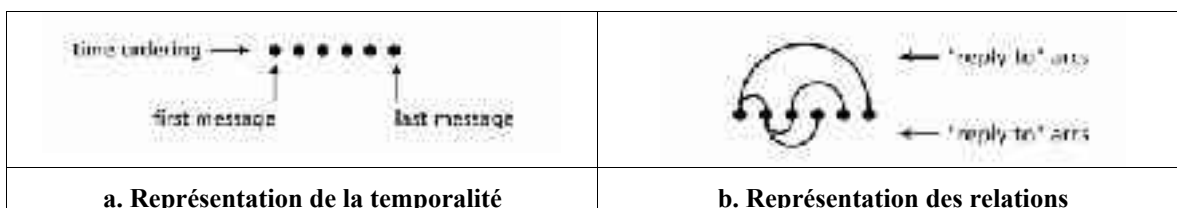


Fig. 44: Éléments de base de la représentation 'Thread Arcs'

La représentation intègre aussi de l'interactivité qui permet de mettre en valeur des propriétés de la chaîne ou de messages. Il est ainsi possible, par exemple, de montrer l'importance d'un message particulier de la chaîne.

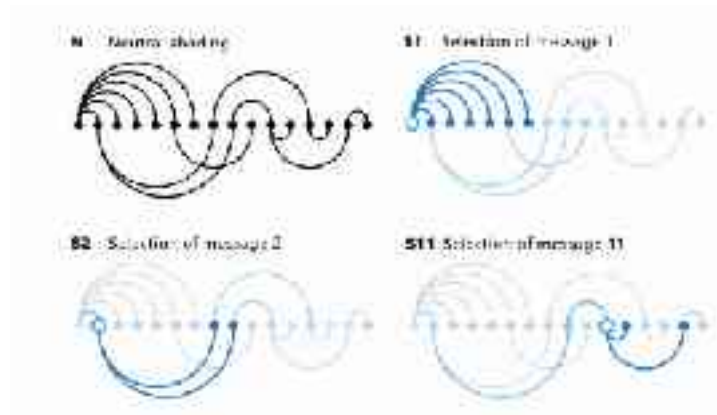


Fig. 45: Interactivité dans la représentation 'Thread Arcs'

On peut également mettre en évidence la contribution de chaque personne, la temporalité... (cf. Fig. 46)

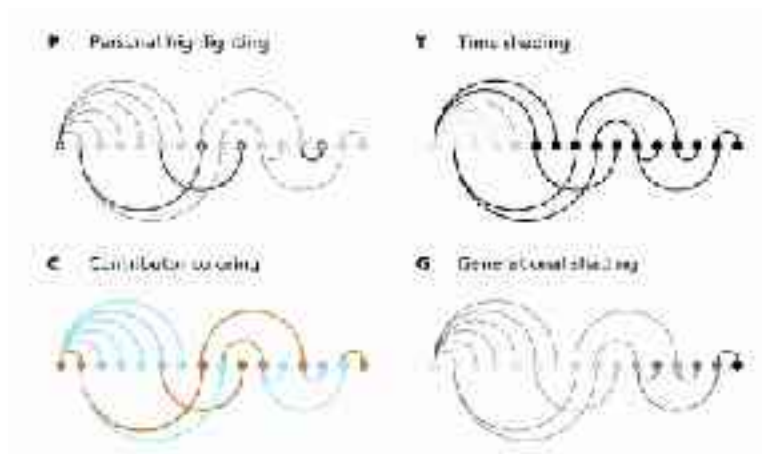


Fig. 46: Visualisation selective de propriétés du 'thread'

2.3.4. VCV: Visualisation de communications virtuelles

Beale et al. [Be01] ont proposé un outil de visualisation de conversations (appelé VCV – *Virtual Communications Visualization*) dans le but d'aider des collaborateurs et des superviseurs à avoir un aperçu de l'efficacité des communications au sein d'un groupe (cf. Fig. 47).

Une des idées sous-jacente à cette approche est qu'en montrant aux participants de la communication comment elle se développe, on espère qu'ils pourront tirer plus d'utilité de l'information et qu'ils pourront comprendre plus facilement le contexte de la communication.

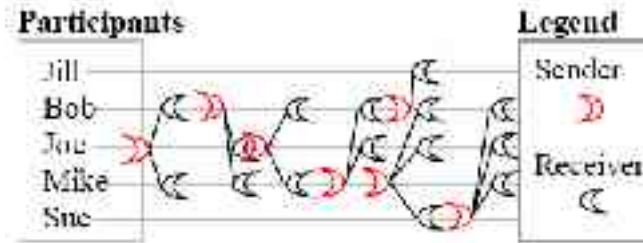


Fig. 47: Représentation de communications par la technique VCV

Une des originalités de leur approche est que le système VCV est capable de représenter des conversations menées par le biais de différents médias électroniques: *chat*, vidéoconférence, *e-mail*... (cf. Fig. 48) Une conversation est modélisée comme un ensemble de quatre éléments de base: un expéditeur, un ou plusieurs destinataire(s), le temps (celui de l'expédition et éventuellement celui/ceux de la réception) et le contenu du message. Le système VCV est capable d'importer des données comportant ces attributs minimaux.

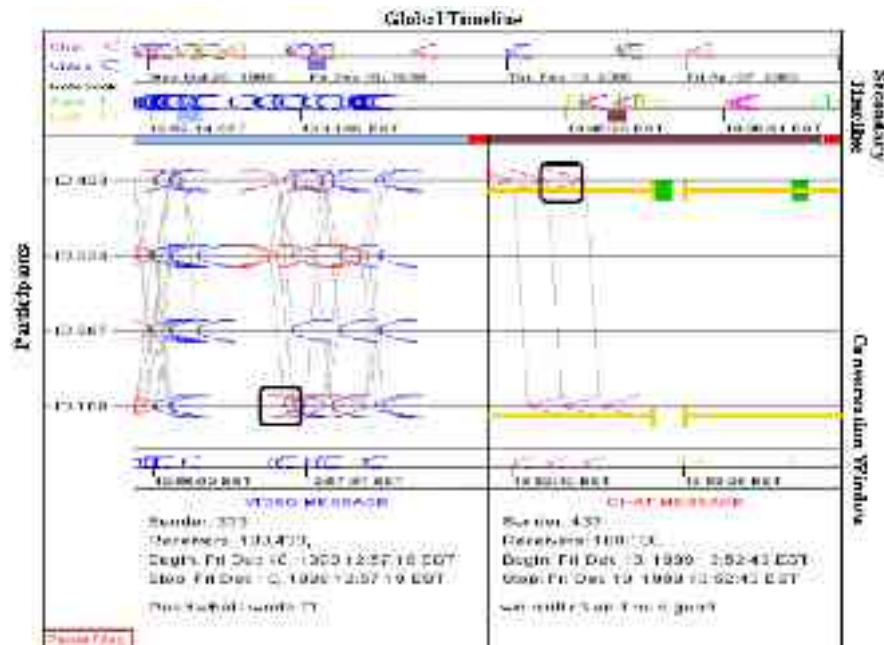


Fig. 48: Représentation VCV combinant plusieurs médias.

Dans l'exemple de la Fig. 48, une vidéoconférence est suivie de l'édition collaborative d'un bloc notes. Dans la partie supérieure de la représentation graphique, une ligne du temps globale (*Global Timeline*) est affichée. Elle couvre une période de plusieurs mois. Une seconde ligne du temps (*Secondary Timeline*) est également présentée pour permettre de visualiser les détails associés à une période plus courte (quelques heures). La fenêtre de conversation (*Conversation Window*) visualise la conversation proprement dite avec ses intervenants.

Un élément est particulièrement digne d'être remarqué dans la représentation VCV de la Fig. 48. Les symboles graphiques présents sont associés à des événements appartenant à

des niveaux conceptuellement différents. On peut en effet distinguer d'une part l'utilisation de médias de communication (*chat*, vidéoconférence) et d'autre part des opérations associées à des documents dans le contexte de l'utilisation du *notebook* (*save*, *lock*). Cette approche mériterait d'être étudiée sur des cas pratiques. Il s'agirait d'évaluer la pertinence, l'utilité et l'efficacité d'une représentation d'ensemble qui combine au même niveau des symboles faisant référence à des concepts différents. Dans le cadre de la conception d'un tableau de bord du projet, cette question mérite d'être posée en termes généraux.

2.3.5. Les hypergraphes

La technique de l'hypergraphe est celle qui a été retenue par Hanser [HH03]. Elle repose sur la constatation qu'*'un projet de conception est une activité professionnelle et sociale à l'intérieur d'un groupe d'acteurs qui appartiennent à une même organisation ou à des organisations différentes.'* L'idée de base consiste à visualiser le projet sous la forme d'un graphe explicitant le contexte de la coopération.

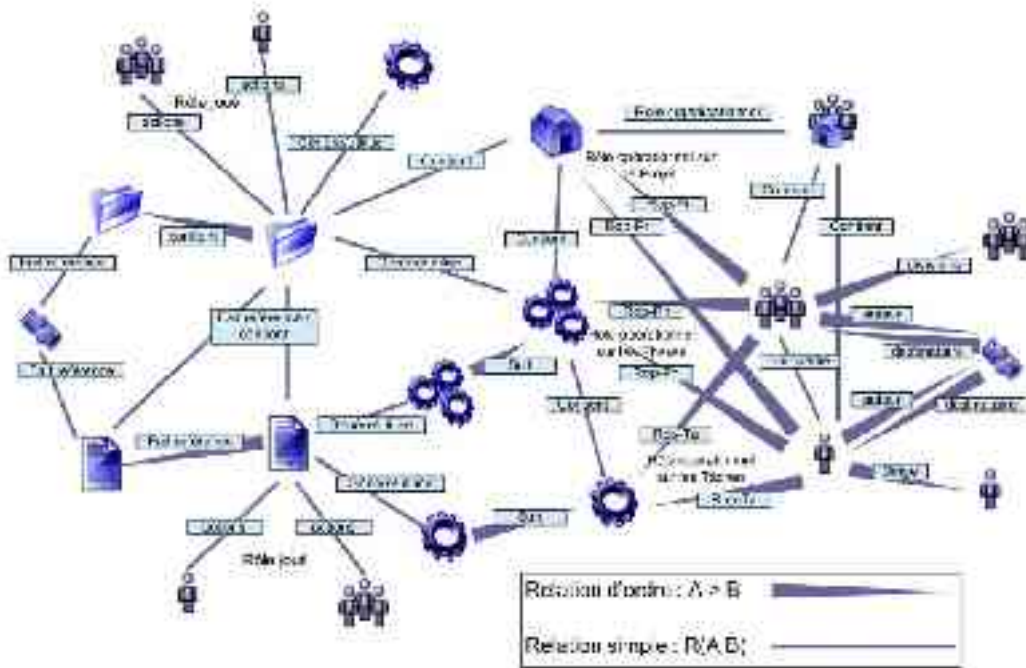


Fig. 49: Représentation par hypergraphe
Source : [Ha03], p. 149

D'un point de vue méthodologique, Hanser défend l'idée selon laquelle la représentation graphique est conditionnée par son usage. Il se positionne donc dans la continuité des travaux de Bertin. *'La visualisation d'une masse d'information ne dépend pas simplement de la structure de données qui la représente, mais également des activités que l'utilisateur peut souhaiter réaliser dessus. Ce sont donc l'usage des informations et le type de données qui conditionnent la représentation graphique.'*

La représentation de Hanser repose sur un modèle du projet de construction à base de relations. La représentation par hypergraphe apparaît dès lors comme une suite logique du

modèle. *‘Cette représentation nous permet de visualiser le contexte d’un projet sous la forme d’un hyperdocument et ainsi de mettre en évidence les interconnexions qui existent entre les acteurs, les documents et les activités.’*

Il faut noter cependant que le but principal de Hanser n’était pas d’offrir un outil d’analyse du projet mais plutôt de concevoir un outil de gestion de projet interactif.

Si on se limite purement au volet de la visualisation de l’information, la représentation par hypergraphe présente des inconvénients en terme de stabilité de la représentation. Cette lacune se manifeste notamment par le fait que la représentation peut changer fortement si les données évoluent légèrement, ou par le fait que l’utilisateur peut être confronté à des graphes très différents associés aux mêmes données. La représentation par hypergraphe, comme la plupart des représentations de type ‘graphe’, pose également question au point de vue de sa capacité à supporter une croissance du volume des données à représenter. Enfin, la représentation par graphe ne permet pas une appréhension aisée de la temporalité des relations.

2.3.6. Environnement de travail organisé selon les contacts de l’utilisateur

D’autres chercheurs se sont concentrés sur la manière de mettre en évidence les relations entre personnes. A titre d’exemple, nous pouvons citer les recherches de Nardi et al. [Na02]. Après avoir identifié les limites des métaphores actuelles de ‘fichier’ et de ‘dossier’ pour l’organisation des documents, les auteurs ont conçu un nouveau type d’interface graphique qui organise l’environnement de travail de l’utilisateur sur base de ses contacts avec d’autres personnes. Cette approche repose sur la constatation que les réseaux de relations personnelles jouent un rôle fondamental dans l’accomplissement des tâches professionnelles. *‘Les organisations hiérarchiques sont encore importantes dans l’économie globale mais, de plus en plus souvent, elles fournissent une part moindre des ressources dont les travailleurs ont besoin. Les gens franchissent les limites [des organisations] pour que leurs tâches soient réalisées.’* [Na02].

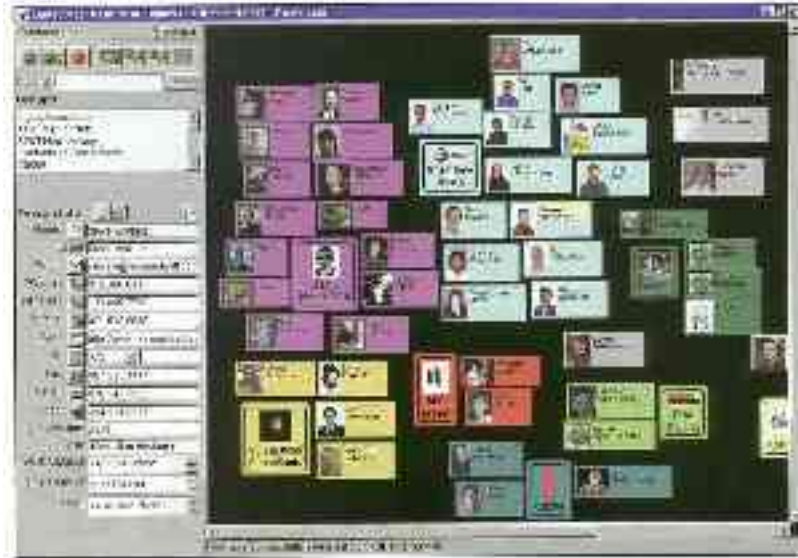


Fig. 50: Environnement de travail organisé selon les contacts entre personnes
Source : [Na02]

Cette approche est notamment intéressante par le fait qu'elle permet l'identification des intervenants sur base d'une photo ou d'un logo pour les entreprises. Compte tenu de la capacité de l'esprit humain à traiter la reconnaissance de visages de manière très performante, il s'agit sans conteste d'une idée digne d'intérêt.

2.3.7. SNF: Social Network Fragments

Issus de travaux conduits dans le groupe '*Sociable Media Group*' du MIT ([BP03], [Bo02]), cette approche a pour but de permettre à l'utilisateur de naviguer dans les structures de réseaux sociaux qui émergent au cours de conversation par *e-mail*. Sur base de l'analyse des expéditeurs et des destinataires, l'outil présente le graphe des connections interpersonnelles (cf. Fig. 51). La composante dynamique est aussi intégrée par le biais d'animations qui montrent comment les relations émergent au cours du temps.



Fig. 51: Social Network Fragment, représentation de conversations
Source: [Bo02, p. 88]

L'interactivité est offerte via différentes fonctions. L'utilisateur peut choisir l'intervalle de temps au cours de laquelle il souhaite visualiser le réseau social. Il peut aussi choisir de mettre en évidence ses relations avec une personne donnée (ex : relations entre l'utilisateur et Charles sur la Fig. 52).



Fig. 52: Mise en évidence de la personne 'Charles'
Source : [Bo02, p. 90]

La visualisation SNF permet aussi de rendre visible à l'utilisateur des grappes (*clusters*) d'interactions.

Boyd reconnaît certaines limitations à l'approche SNF. Parmi celles-ci, elle estime que *'la plus grande faiblesse de systèmes tels que SNF vient de notre tentative de communiquer des données qualitatives d'une manière qui donne des impressions retentissantes. En utilisant des évaluations informatiques pour produire des idées qualitatives, nous sommes confrontés avec les deux problèmes de l'évaluation des données et de la communication d'impressions.'* [Bo02, p. 93] Nous retrouvons ici la préoccupation de Donath et al. (cf. p. 64) sur la difficulté de représenter graphiquement des données à caractère social.

2.3.8. Représentation 'Chatcircles'

La représentation '*chatcircle*' (cf. [Do99]) a été développée pour améliorer les utilitaires de '*chat*'. Le principe en est assez simple. Chaque personne qui est connecté au serveur de '*chat*' apparaît comme un cercle de couleur différente. Quand un utilisateur poste un message, un cercle contenant le message apparaît en croissant progressivement à l'écran. Les cercles restent affichés pendant quelques secondes puis ils disparaissent à l'arrière plan.

L'approche imite une conversation réelle où à chaque moment l'intérêt est porté sur les mots prononcés par la personne qui a parlé en dernier lieu. Au cours du temps, ces mots disparaissent et sont remplacés par de nouveaux. La représentation '*chatcircle*' crée ainsi un rythme qui reflète celui d'une conversation réelle.

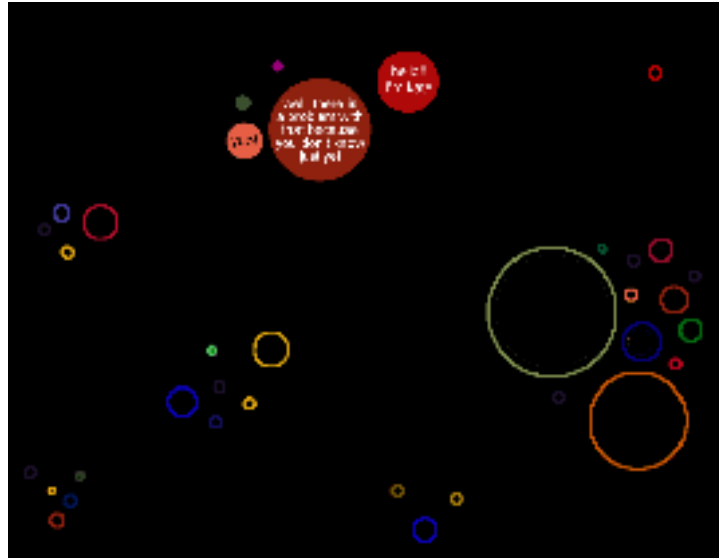


Fig. 53: Visualisation interactive des conversations chat
Source: [Do99]

L'identité des personnes est indiquée par la couleur du cercle, la position sur l'écran et par leur nom indiqué sur le cercle.

La temporalité de la conversation n'est pas seulement représentée par l'apparition et la disparition des cercles mais aussi par la brillance du cercle, qui s'atténue avec le temps.

Le système '*chatcircle*' possède aussi une autre fonctionnalité intéressante. Toutes les personnes connectées au serveur '*chat*' apparaissent sous la forme d'un cercle mais seuls les cercles situés dans une zone autour du cercle correspondant à l'utilisateur courant contiennent le texte des messages (cf. Fig. 53). Si celui-ci veut participer à une autre conversation, il doit se déplacer dans un autre endroit de l'écran.

Ce système constitue un bel exemple de visualisation graphique originale intégrée dans un outil de communication.

2.3.9. Intégration des travaux dans notre démarche

Nous discuterons dans une section ultérieure (cf. p. 97) de la manière dont ces différents travaux ont été intégrés dans notre réflexion. En effet, il nous apparaît plus pertinent de conduire cette discussion après avoir présenté notre interface graphique.

Chapitre VI Elaboration de la représentation graphique

1. Réseau ou matrice ?

Pour sa représentation des interactions entre les éléments constitutifs d'un projet d'architecture, Hanser a choisi la représentation en réseau, instanciée sous la forme d'un hypergraphe. Pour notre part, nous avons choisi de nous focaliser en particulier sur la représentation de la chronologie de certaines interactions spécifiques, celles basées sur des échanges de messages électroniques. La question qui se pose est donc celle de la pertinence de la représentation par hypergraphes pour traiter la question qui nous concerne.

Bertin [Bt00] peut nous aider dans notre réflexion (cf. Fig. 54). *‘Une donnée est une relation entre deux éléments. En face le plan nous offre des points et des lignes. On peut donc représenter les éléments par des points et les relations par des lignes (4). On construit un RÉSEAU. Les dimensions X et Y de l'image ne sont pas significatives. On peut aussi représenter les éléments par des lignes et les relations par des points (5). On construit une MATRICE. Les dimensions X et Y ont chacune une signification.*

Si le RÉSEAU transcrit parfaitement l'ordre topographique, il est très limité devant les tableaux ordonnables : peut-on par exemple découvrir la relation aberrante en (6) ? Elle apparaît immédiatement dans la matrice (7). La MATRICE construit le support inconscient de la réflexion, souligné par l'universalité du « tableau à double entrée » et des procédures de reclassement.

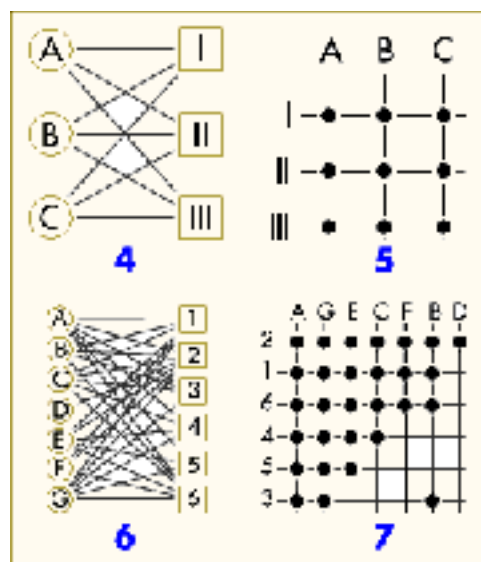


Fig. 54: Comparaison de la représentation matricielle et par réseau
Source : [Bt00]

Notre intérêt pour la problématique du temps et de la chronologie des interactions nous met en présence de données éminemment ordonnables. Nous sommes donc conduits à opter pour une représentation de type matricielle.

Outre cette justification de nature théorique, des considérations très pragmatiques confirment cette décision. En effet, la représentation par hypergraphe ne permet pas de répondre facilement aux questions qui nous intéressent, telles que :

- Le message X a-t-il été envoyé avant le message Y ?
- Quand le plan Y attaché au message X a-t-il été transmis à l'acteur A ?
- Quels sont les messages échangés la semaine dernière avec l'acteur A ?
- Ai-je envoyé des documents à l'acteur A ?

Nous avons donc opté définitivement pour une représentation des interactions au moyen d'une matrice.

2. Analyse de la représentation graphique matricielle pour visualiser le temps

Nous allons donc réfléchir plus en détail sur les variantes possibles de la représentation matricielle en ce qui concerne la représentation de données ayant un caractère temporel. Notre but est d'élaborer un canevas de référence à partir duquel nous concevons une proposition d'interface logicielle.

Comme nous nous concentrons sur la problématique de la chronologie, la première question qu'il faut se poser fait référence aux moyens offerts par la représentation matricielle pour visualiser l'écoulement du temps.

Deux options apparaissent de manière immédiate : soit l'écoulement du temps est représenté horizontalement avec une croissance de la gauche vers la droite, soit il est représenté verticalement avec une croissance de haut vers le bas.

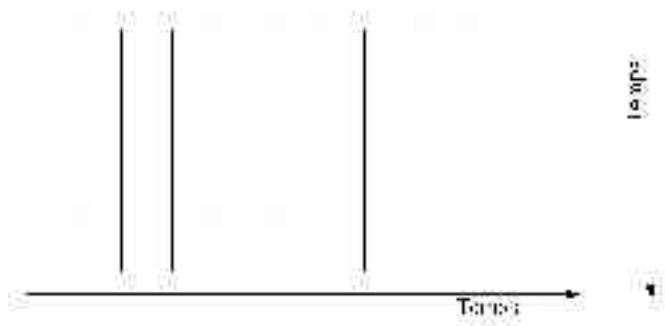


Fig. 55: Visualisation de l'écoulement du temps dans une représentation matricielle (1 axe)

Certains, comme Daassi [Da00], ont proposé une représentation dans laquelle les deux axes sont liés au temps mais à des échelles différentes.

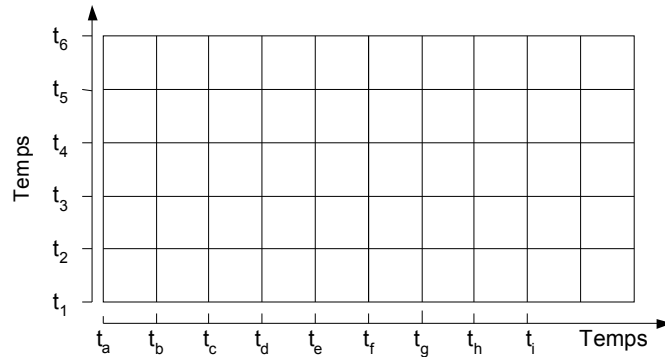


Fig. 56: Visualisation de l'écoulement du temps dans une représentation matricielle (2 axes)

Par rapport à la Fig. 56, cela signifie que soit l'intervalle de temps $[t_a, t_b]$ est un multiple de l'intervalle $[t_1, t_2]$, soit que l'intervalle $[t_1, t_2]$ est un multiple de l'intervalle $[t_a, t_b]$. Concrètement, cette représentation peut être instanciée en choisissant, par exemple, une échelle du temps exprimée en jours sur l'axe horizontal et en mois sur l'axe vertical. Cette approche permet de situer les données par rapport à deux échelles de temps avec une seule représentation graphique.

La seconde question importante concerne la sémantique temporelle associée à un intervalle spatial dans la représentation matricielle. Dans la représentation que nous appellerons proportionnelle⁸, un même espace spatial dans la matrice (ex. largeur d'une cellule) est associé à un intervalle de temps de durée fixe (ex. une heure, un jour, un mois). Dans la représentation que nous nommerons non proportionnelle, un intervalle spatial donné sera associé à des intervalles de temps de durée variable (ex. deux heures, puis une heure, puis 3 heures...).

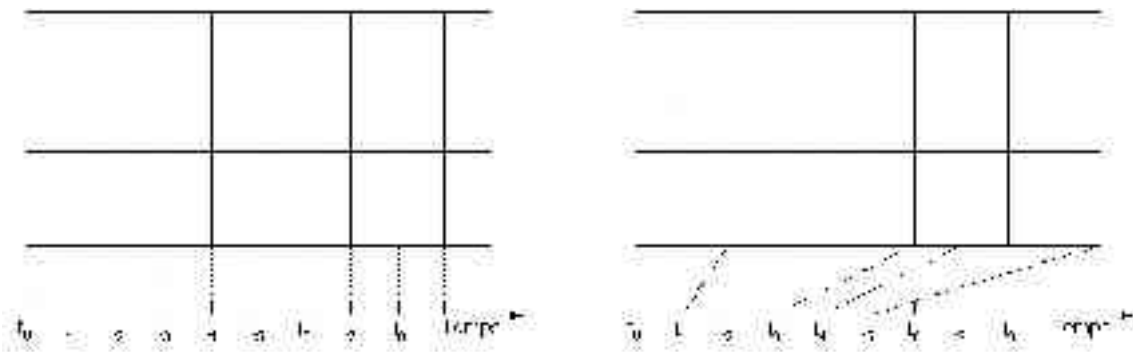


Fig. 57: Représentation proportionnelle (à gauche) et non proportionnelle du temps (à droite).

Les deux approches présentent chacune des avantages et des inconvénients.

- La représentation proportionnelle est parfaite pour visualiser le temps absolu⁹ auquel se sont passé des événements. Elle permet de bien appréhender les

⁸ Certains auteurs utilisent les adjectifs 'linéaire' et 'non linéaire' au lieu de 'proportionnelle' et 'non proportionnelle'.

⁹ Nous entendons par 'temps absolu' le temps exprimé par rapport à un repère donné fixe. Exemple : le 12 janvier 1924 à 15.00, le 3^{ème} jour de Brumaire en l'an 2...

relations de taille (c.-à-d. de proportion) entre les différentes échelles de temps. On peut par exemple, bien visualiser qu'une semaine est composée de 7 jours, eux-mêmes composés de 24 heures. Elle permet de mettre en évidence des degrés d'activité variables entre différentes périodes. Par exemple, elle est bien adaptée pour illustrer que la nuit ou le week-end connaissent un faible taux d'activité. Par contre, elle pose problème lorsqu'il s'agit de représenter de longues périodes avec des taux d'activité très variables. En effet, dans ce cas, la visualisation se résume à des nuages de données espacés par des grands espaces vides.

- La représentation non proportionnelle est indiquée pour illustrer la séquence d'événements sans mettre en valeur le temps absolu auquel ils se sont passés. Elle permet de représenter dans un espace donné un plus grand nombre d'événements que la représentation proportionnelle car seuls les instants associés à des événements seront représentés. Par contre, elle induit une distorsion de la perception des périodes de temps. Par exemple, la comparaison d'intervalles de temps n'est plus immédiate.

La troisième problématique concerne la relation entre la ligne du temps et les données à visualiser. On peut choisir d'associer les cellules de la matrice à un moment ponctuel (cf. Fig. 58) ou à une période de temps (cf. Fig. 59). Dans le premier cas, une cellule fera référence à la valeur de la donnée au temps t_i . Dans le second, elle pourra aussi être relative à la valeur d'une fonction évaluée sur un ensemble de données par rapport à un intervalle de temps I_i (exemple : la somme des valeurs, la moyenne des valeurs, le maximum des valeurs, l'événement le plus récent, l'événement le plus grave...).

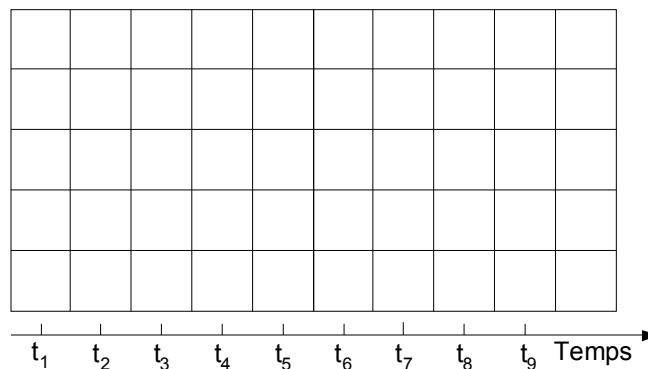


Fig. 58: Cellules associées à un moment ponctuel

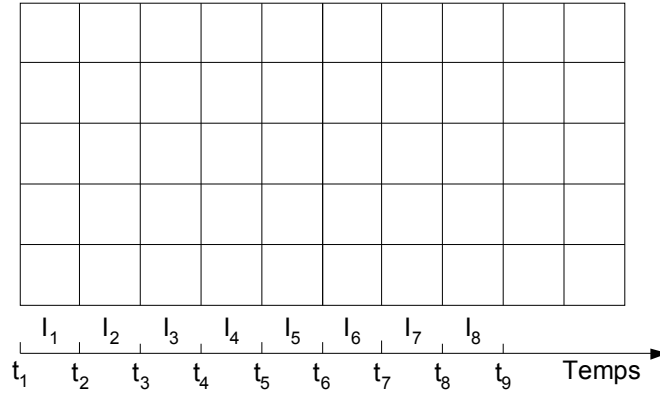


Fig. 59: Cellules associées à un intervalle de temps

Dans le cas des cellules associées à un intervalle de temps, il faut également résoudre le problème de la continuité temporelle de la représentation. Il s'agit de décider si deux cellules adjacentes font référence à deux périodes consécutives (représentation continue) ou si on permet que certaines périodes de temps ne soient pas représentées par des cellules¹⁰ (représentation discontinue). Dans la Fig. 60, par exemple, seuls les intervalles I₁, I₄, I₇ et I₈ sont représentés dans la matrice. La discontinuité de la représentation apparaît, par exemple, par le fait que la période I₇ est représentée dans la matrice juste après la période I₄ alors qu'elle n'est pas immédiatement consécutive au niveau temporel.

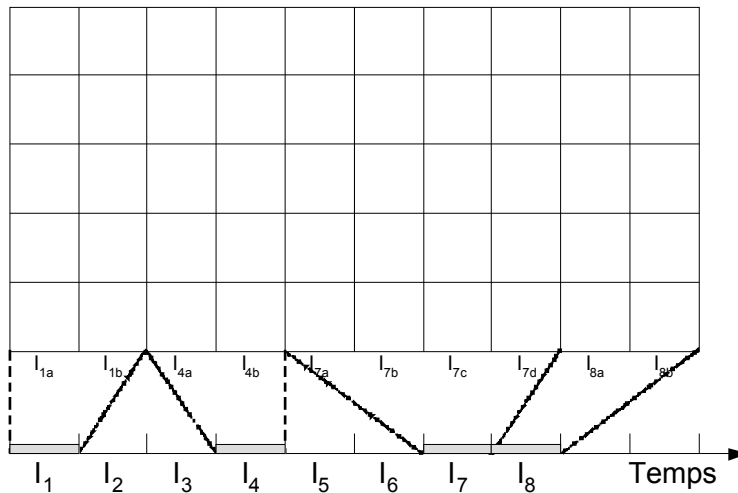


Fig. 60: Représentation discontinue

Notons que cette problématique ne remet pas en cause le principe général qui veut que si la cellule j est placée spatialement après la cellule i , elle correspond à une période j postérieure à la période i .

La quatrième problématique fait référence à la notion de simultanéité des événements à représenter. Les points de vue divergent quant à savoir si deux événements peuvent ou non se produire au même instant. Selon certains, il existe toujours une granularité

¹⁰ On pourrait par exemple décider de ne pas représenter les périodes nocturnes ou les périodes de week-end.

temporelle assez fine permettant d'ordonner deux événements séquentiellement. Cette discussion d'ordre philosophique dépasse le cadre de ce travail. Néanmoins, adopter une position à ce sujet est indispensable.

Le choix n'est pas si aisé comme en témoignent les exemples suivants.

- Si on décide que n événements peuvent se produire au même moment, il faudra décider de la manière de représenter n informations dans une même cellule (cf. Fig. 61).
- Si on décide que des événements ne peuvent pas être simultanés et que l'on opte pour une représentation associant les cellules à des intervalles de temps, on peut aboutir à la même problématique de devoir représenter n informations dans une même cellule (cas où n événements ont lieu pendant la même période de temps).
- Si on décide que deux événements ne peuvent pas être simultanés et que l'on opte pour une représentation proportionnelle, le choix de l'échelle de temps peut être délicat car le délai entre l'occurrence de deux événements peut être très faible. Par exemple, sur la Fig. 61, représenter un événement se produisant au temps $t_1 + 0,1$ ($t_2 - t_1$) nécessite de multiplier par dix la dimension horizontale de la matrice.

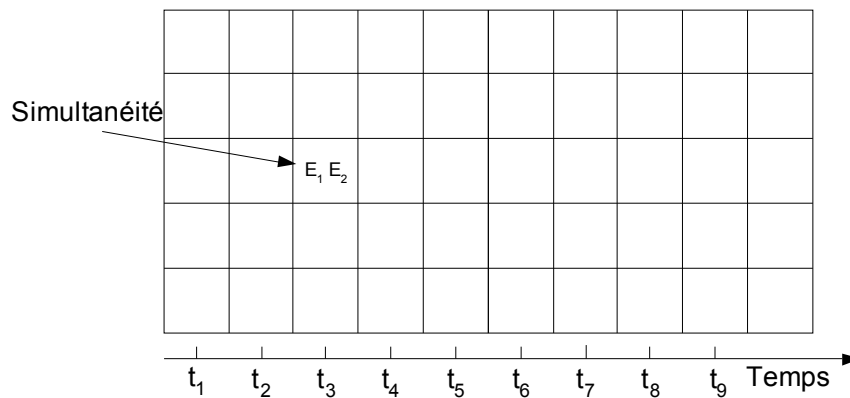


Fig. 61: Représentation d'événements simultanés

La cinquième problématique fait référence à la manière de représenter les données temporelles elles-mêmes.

Tout d'abord, on peut vouloir visualiser la présence ou l'absence de données. Par exemple, on souhaite visualiser les moments auxquels des incidents se sont produits sur un chantier. Dans ce cas, la problématique de la représentation graphique s'avère assez simple. Il suffit d'utiliser une des variables rétinienne de Bertin (cf. p. 24) pour afficher un objet graphique dans les cellules correspondant à la présence de données. Pour rappel, ces variables sont la taille, la valeur, le grain, la couleur, l'orientation et la forme. Selon Bertin, la variable la plus adaptée à la visualisation de la différenciation d'éléments est la couleur. Dès lors, la solution la plus évidente consiste à colorer dans une couleur contrastée (p.ex. bleu foncé) les cellules de la matrice correspondant à la présence de données (cf. Fig. 62).

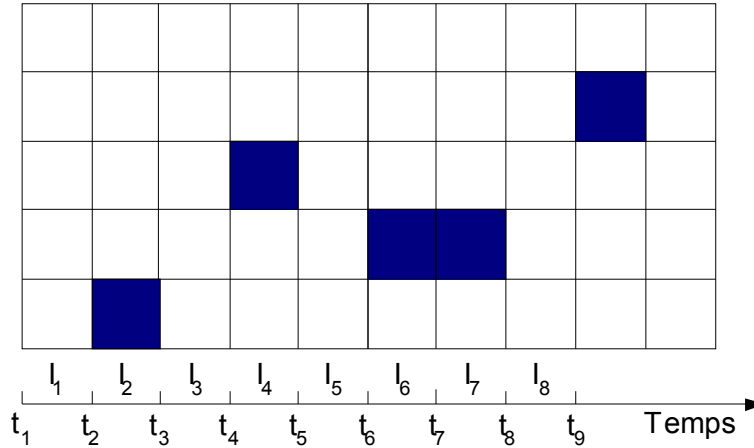


Fig. 62: Visualisation de la présence de données

Ensuite, il faut s'intéresser à la nature des données concernées. Il nous semble important de distinguer s'il s'agit de données qualitatives ou quantitatives.

Dans le cas de données qualitatives, on peut vouloir représenter un attribut des données. Par exemple, on peut vouloir visualiser qui a modifié un document à un moment donné. Pour ce type de problème, la référence à l'attribut à visualiser peut se matérialiser de diverses manières.

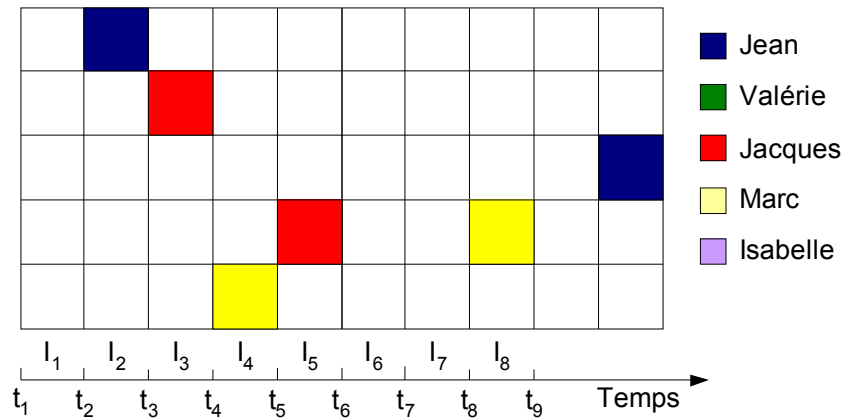


Fig. 63: Utilisation des cellules pour visualiser la valeur d'attributs

Par exemple, on peut utiliser la zone des cellules pour représenter la valeur de l'attribut (cf. Fig. 63). Dans ce cas, il faut cependant ajouter une légende à la matrice. Cette solution permet de disposer de l'axe non dédié au temps pour représenter un autre attribut des données. Il est aussi possible d'utiliser l'axe non dédié au temps pour visualiser la valeur d'un attribut (cf. Fig. 64).

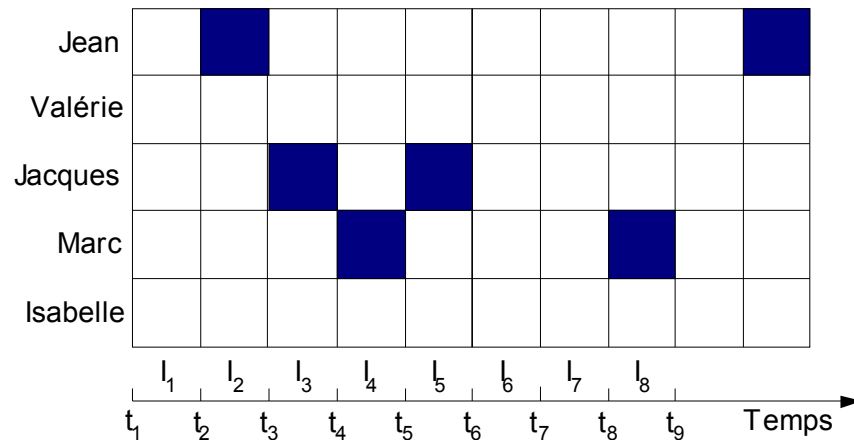


Fig. 64: Utilisation de l'axe non dédié au temps pour visualiser la valeur d'un attribut

On peut aussi vouloir représenter plusieurs attributs simultanément. La théorie de la graphique de Bertin fixe alors théoriquement à un maximum de 8 attributs. Comme le temps est systématiquement représenté dans le cadre de notre problématique générale, il nous reste au maximum 7 attributs représentables. Par exemple, dans la Fig. 65, on visualise qui a accédé à un plan sous quel mode (lecture, écriture). Le mode d'accès est codé de manière redondante par la couleur et une lettre.

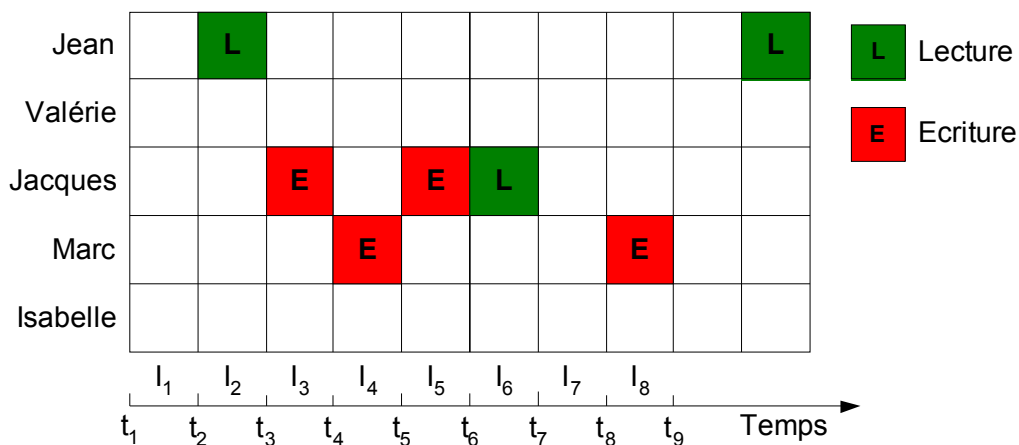


Fig. 65: Représentation de plusieurs attributs

Dans le cas de données quantitatives, on peut vouloir représenter la valeur de la donnée. Par exemple, on souhaite connaître le temps passé en réunion avec le client par semaine au cours de la phase de conception du projet. On peut, ici encore, utiliser la cellule elle-même pour afficher la valeur de cet attribut (cf. Fig. 66).

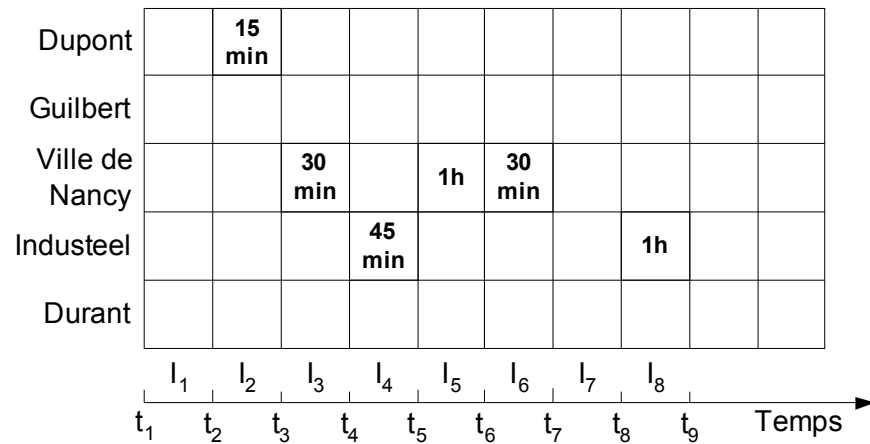


Fig. 66: Utilisation des cellules pour visualiser des données quantitatives

On peut aussi utiliser l'axe non dédié au temps pour représenter l'échelle des valeurs de l'attribut (cf. Fig. 67). Si on souhaite mettre en relation les données quantitatives avec un autre paramètre, il faut utiliser une nouvelle variable rétinienne pour coder ce nouveau paramètre (p. ex. la couleur dans la Fig. 68).

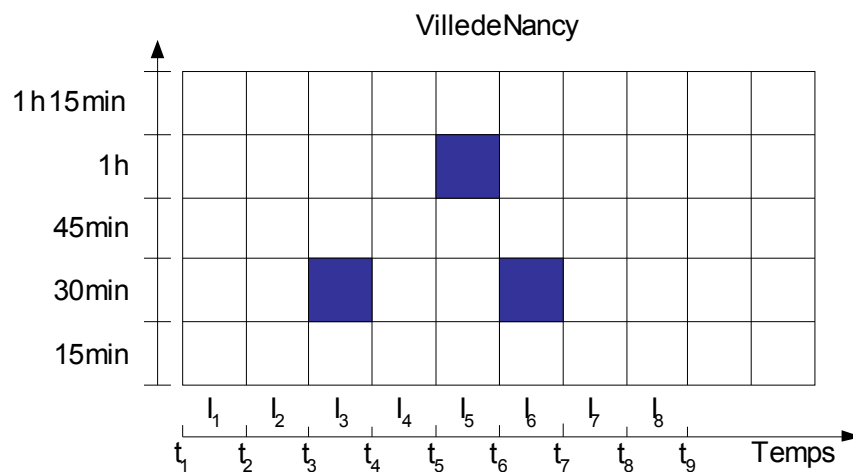


Fig. 67: Utilisation de l'axe non dédié au temps pour représenter des données quantitatives

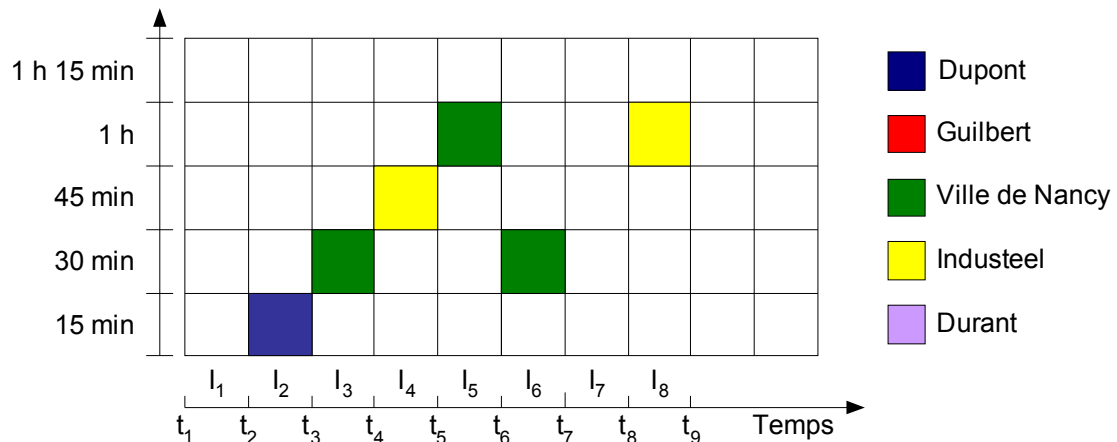


Fig. 68: Représentation de plusieurs attributs de données quantitatives

On peut aussi vouloir représenter la proportion entre les données quantitatives. Par exemple, on veut mettre en évidence les personnes qui sont le plus intervenues sur un plan en utilisant la variable rétinienne 'valeur' (cf. Fig. 69) ou 'couleur' (cf. Fig. 70).

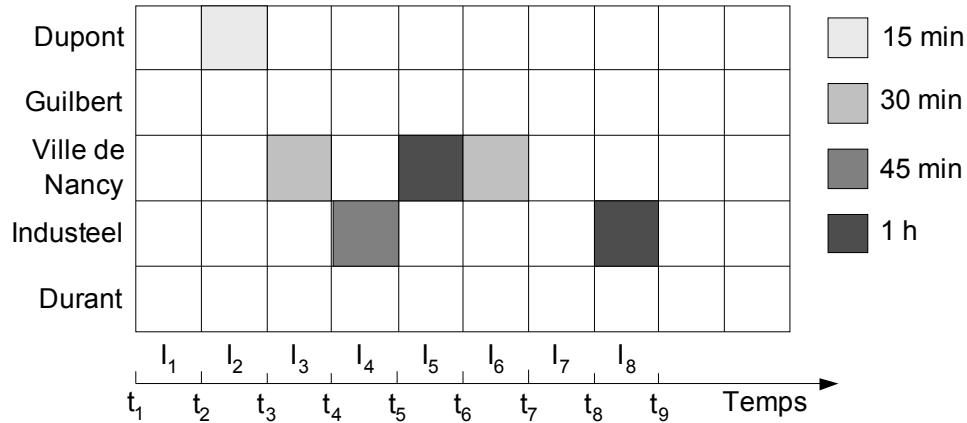


Fig. 69: Mise en évidence de la gradation entre valeurs quantitatives (niveaux de gris)

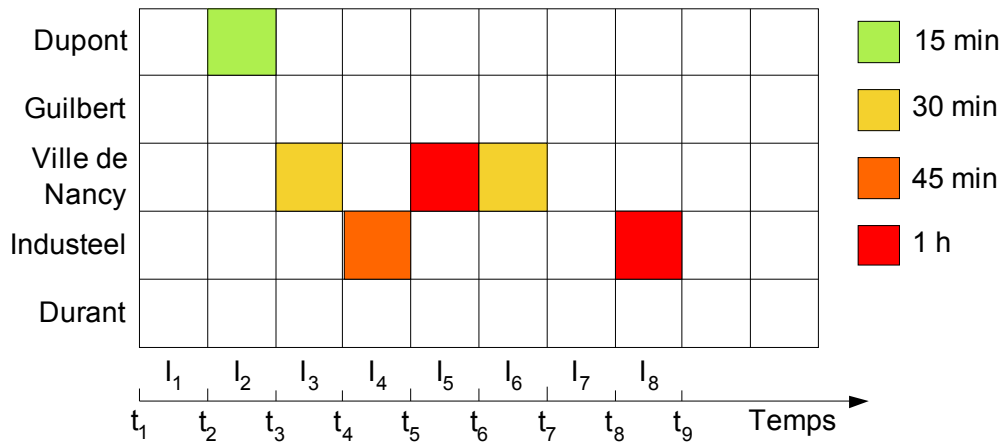


Fig. 70: Mise en évidence de la gradation entre valeurs quantitatives (suite de couleurs)

Après avoir identifié et illustré un ensemble de problématiques liées à la visualisation de données à caractère temporel au moyen de la représentation matricielle, nous concluons cette section par un tableau récapitulatif de nos réflexions.

Table 19: Questions génériques relatives à l'utilisation de la représentation matricielle pour visualiser des données à caractère temporel

Réf.	Problématique	Représentation
Q1	Écoulement du temps	Axe horizontal Axe vertical Axes vertical et horizontal
Q2	Relation sémantique entre le spatial et le temporel	Représentation proportionnelle Représentation non proportionnelle
Q3	Association entre cellules de la matrice et le temps	
Q3a	Données instantanées ou associées à des intervalles	Instants ponctuels Intervalles de temps
Q3b	Continuité temporelle	Représentation continue Représentation discontinue
Q4	Simultanéité des événements	Simultanéité permise Simultanéité non permise
Q5	Représentation des données	
Q5a	Présence ou absence de données	Utilisation des cellules de la matrice
Q5b	Données qualitatives	Utilisation des cellules de la matrice Utilisation de l'axe non dédié au temps
Q5c	Données quantitatives	Utilisation des cellules de la matrice Utilisation de l'axe non dédié au temps

3. Construction d'une représentation graphique

Dans cette section, nous détaillons notre cheminement pour concevoir notre proposition d'interface graphique. Rappelons que nous cherchons à concevoir une représentation graphique des interactions entre acteurs du projet, en nous limitant à celles basées sur l'échange de messages électroniques. De plus, nous visons à mettre l'accent sur la chronologie des interactions.

3.1. Construction de la représentation : la représentation du temps

La première question que nous nous sommes posée concerne la représentation du temps. Sur base de la structuration des questions présentée précédemment (cf. Table 19), nous pouvons méthodiquement prendre des décisions à ce propos. Nous opérerons nos choix

en essayant de favoriser le plus possible la facilité d'assimilation de la représentation par les utilisateurs pour leur permettre de répondre aisément à des questions relatives à la chronologie des échanges.

- Q1 : L'écoulement du temps sera visualisé par l'axe horizontal. Il s'agit d'un choix naturel qui devrait conduire à une compréhension immédiate par les utilisateurs de l'interface.
- Q2 : La représentation sera proportionnelle. Nous mettons ainsi l'accent sur la perception correcte des périodes de temps au détriment (potentiel) du volume de messages représentables.
- Q3a : Bien que l'envoi ou la réception de messages soient des événements ponctuels, nous avons choisi d'associer les cellules de la matrice à des périodes de temps. Ce choix a été motivé par le fait que nous souhaitons offrir une représentation qui permette à l'utilisateur de visualiser facilement les périodes au cours desquelles aucun échange de messages n'a eu lieu.
- Q3b : La représentation retenue sera continue. Nous avons voulu éviter de perturber l'utilisateur en ne représentant pas l'entière des intervalles de temps de la période visualisée.
- Q4 : Nous n'avons pas permis la simultanéité des événements. Ceci peut être justifié par le fait qu'il est extrêmement peu probable que deux messages électroniques soient envoyés ou reçus exactement au même moment.
- Q5a : La présence ou l'absence de messages sera visualisée en utilisant les cellules de la matrice.
- Q5b : Nous mettrons l'accent sur la représentation de données qualitatives associées aux messages. L'information relative aux acteurs du projet (destinataire, expéditeur) sera visualisée sur l'axe non dédié au temps (c.-à-d. axe vertical). Les cellules de la matrice seront utilisées pour visualiser les messages proprement dits. Nous avons opté pour cette mise en évidence des acteurs (ou intervenants) car elle permet de mettre en valeur les interactions entre eux. En effet, les échanges par courrier électronique, exemple choisi pour instancier notre réflexion, sont par nature des échanges entre personnes.
- Q5c : Nous n'avons pas retenu la possibilité de visualiser des informations quantitatives dans la matrice.

3.2. Construction de la représentation : la description de l'interface

3.2.1. Concepts de base

1. Structuration de l'interface

L'interface proposée pour visualiser les messages électroniques échangés entre les acteurs du projet est illustrée par la Fig. 71. Elle se compose de trois parties principales : une zone centrale (zone I), destinée à visualiser les interactions sous forme matricielle, une zone de contrôle (zone II), incluant les boutons associés à la configuration de l'interface et une zone destinée à afficher les détails sur un message particulier (zone III).

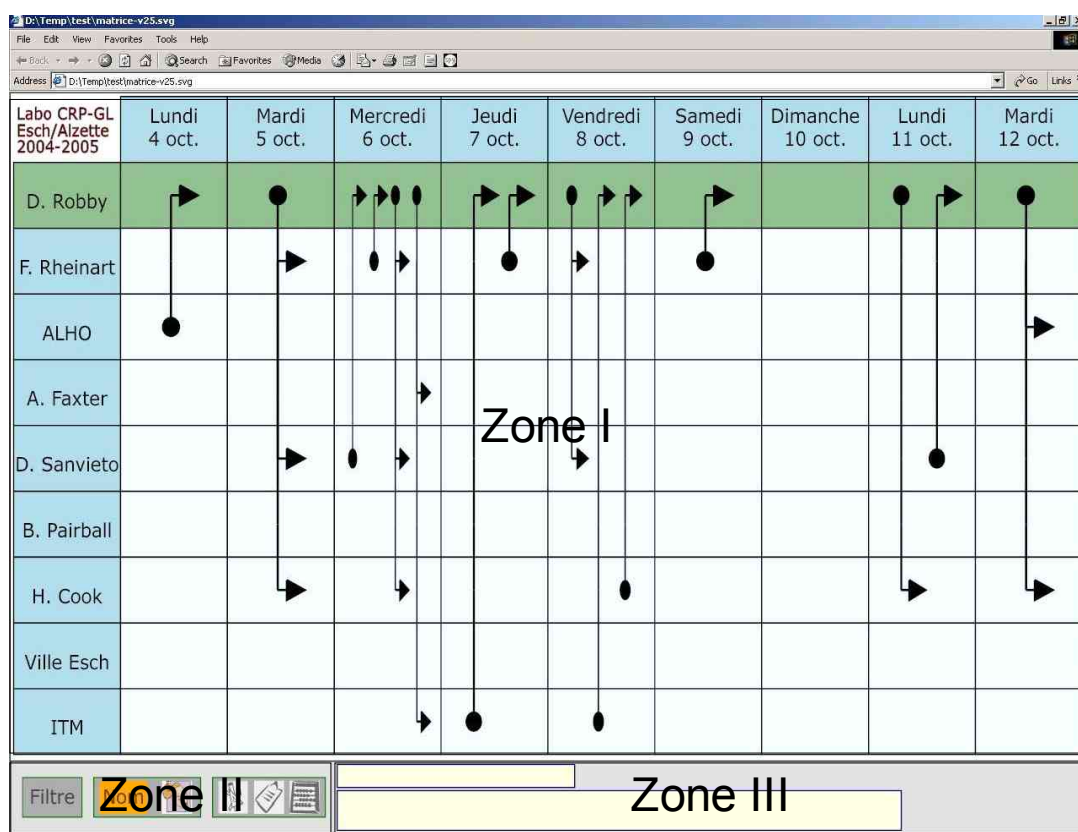


Fig. 71: Interface: Structuration

Nous pouvons à présent détailler le contenu de chaque zone individuellement (cf. Fig. 72).

2. Zone I : représentation des interactions

Sur la Fig. 72¹¹, on remarque immédiatement la structure matricielle de la zone I. Le temps s'écoule de gauche à droite et est fortement mis en évidence. Les acteurs sont

¹¹ Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que le processus d'impression du rapport ne garantit pas la reproduction fidèle des couleurs de l'interface.

visualisés sur l'axe vertical. Ils constituent le second type d'information qui est mis en avant dans la représentation. Les cellules permettent de représenter l'information associée à un acteur au cours d'un intervalle de temps donné (une journée). La structure matricielle permet une mise en correspondance immédiate entre les acteurs et les périodes de temps.

L'acteur de référence (D. Robby dans l'exemple) est visualisé par une couleur spécifique. Cet acteur de référence est celui par rapport auquel l'information pertinente va être identifiée. En d'autres termes, nous allons visualiser les messages pour lesquels D. Robby est soit expéditeur, soit destinataire.

Les messages sont représentés par des flèches pour faire allusion au fait qu'ils sont envoyés d'un acteur à un (ou plusieurs) autre(s). Cette métaphore est assez naturelle et devrait être immédiatement perçue correctement.

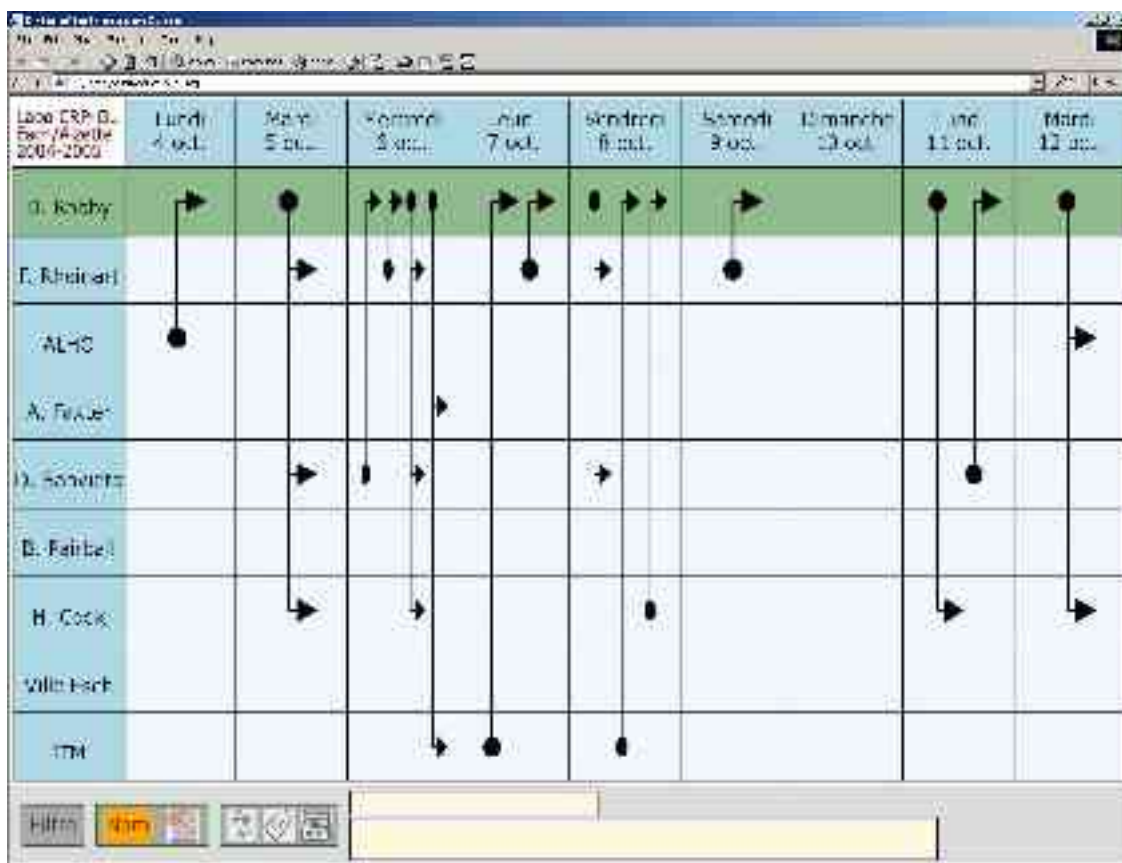


Fig. 72: Interface: vue générale

3. Zone II : configuration de l'interface

Trois groupes de boutons sont présents dans la zone II. Les boutons appartenant au même ensemble fonctionnel sont regroupés visuellement dans un rectangle délimité par une ligne verte.

Les fonctions associées à ces boutons seront précisées dans la description des fonctionnalités de l'interface. Il est seulement important de noter à ce stade que

l'activation d'un bouton sera uniformément visualisée en l'affichant avec la couleur orange (cf. bouton 'Nom' sur la Fig. 72). Un bouton désactivé sera affiché avec la couleur grise.

4. Zone III : informations détaillées sur les messages

La zone III est utilisée pour afficher des informations détaillées sur un message particulier. Elle ne sera donc active qu'après qu'un message ait été sélectionné. Cette sélection est mise en évidence en changeant la couleur de la flèche concernée (cf. message du mardi 5 octobre sur la Fig. 73). Par souci de cohérence, la couleur retenue pour la mise en valeur de la sélection d'un message est identique à celle utilisée pour visualiser l'activation d'un bouton (c.-à-d. la couleur orange).

On visualisera en particulier le sujet du message (cf. 'Plan labos CREBS'), la date d'expédition (cf. 'Mardi 5 oct. 2004 : 8h35') et des informations sur les fichiers attachés (1 plan, 1 document divers, 1 feuille de calcul). De plus, si l'utilisateur place le curseur dans la zone dans laquelle sont renseignés le nombre et le type¹² de fichiers attachés, une fenêtre affichant le nom et la date des fichiers attachés du type choisi (cf. 'Labos-bio-v11.dwg ; 15h40') apparaît en transparence sur le coin inférieur droit de la matrice.

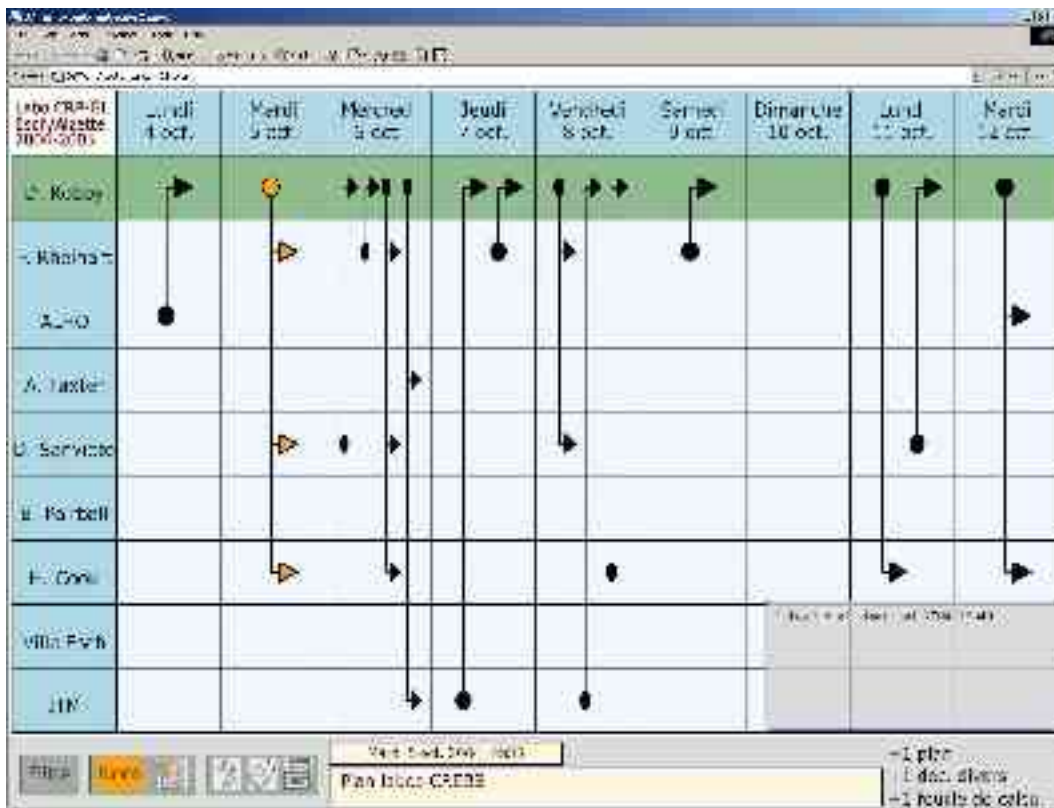


Fig. 73: Interface: Mise en valeur d'un message particulier

¹² Nous discuterons la question des types de fichiers attachés dans la suite de notre description de l'interface (cf. p. 93).

3.2.2. Visualisation des acteurs

Pour tenir compte de la capacité de l'esprit humain à reconnaître facilement les photos de personnes et les logos, l'interface offre la possibilité d'identifier les acteurs du projet au moyen de ce type de représentations (cf. Fig. 74).

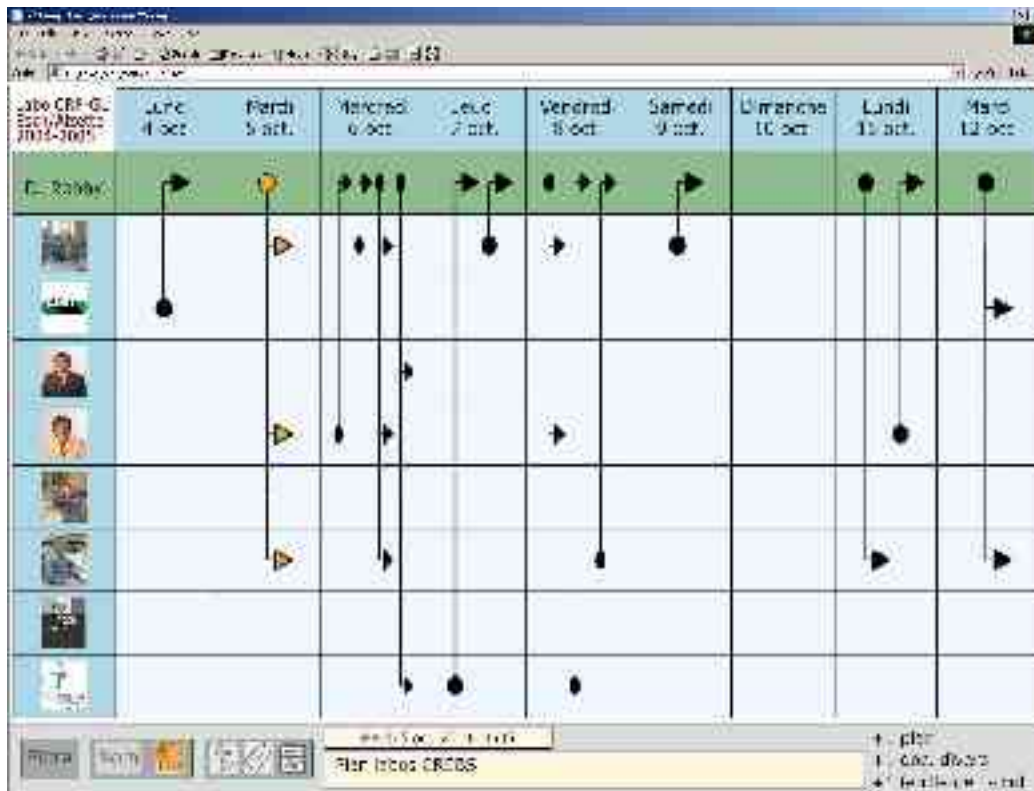


Fig. 74: Interface: Visualisation des acteurs par des photos ou des logos

L'utilisateur peut passer de la représentation des acteurs par leur nom à celle basée sur l'image en cliquant sur le groupe de boutons : 'Nom – icône représentant une femme' (cf. Fig. 75).

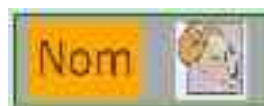


Fig. 75: Boutons de permutation entre la référence aux acteurs via le nom ou une photo

Cette fonctionnalité est disponible en permanence dans l'interface, quelle que soit les autres paramètres de sa configuration.

3.2.3. Zoom sur une sous-période de temps

On peut observer sur la Fig. 74 qu'une opération de changement d'échelle selon l'axe horizontal est parfois opérée sur la flèche associé à un message (exemple : flèches du mercredi 6 octobre). Cette opération graphique est mise en œuvre lorsque plusieurs messages sont envoyés au cours de la même période de temps.

Les flèches sont alors réparties de manière homogène pour occuper toute la largeur de la colonne concernée. Si le nombre de message augmente trop, cette logique peut être prise en défaut. Pour offrir une première réponse à cette problématique, il est possible d'afficher un zoom sur une période de temps particulière (cf. Fig. 76). L'espace disponible est utilisé pour afficher les messages qui se produisent au cours de la période sélectionnée. L'utilisateur peut alors visualiser la répartition des messages au sein des sous-périodes qui constituent la période sélectionnée. Dans notre exemple, il s'agit de sous-périodes de 2 heures.

Cette fonctionnalité est activée en double-cliquant sur la cellule dans laquelle le nom du jour est affiché (première ligne de la matrice).

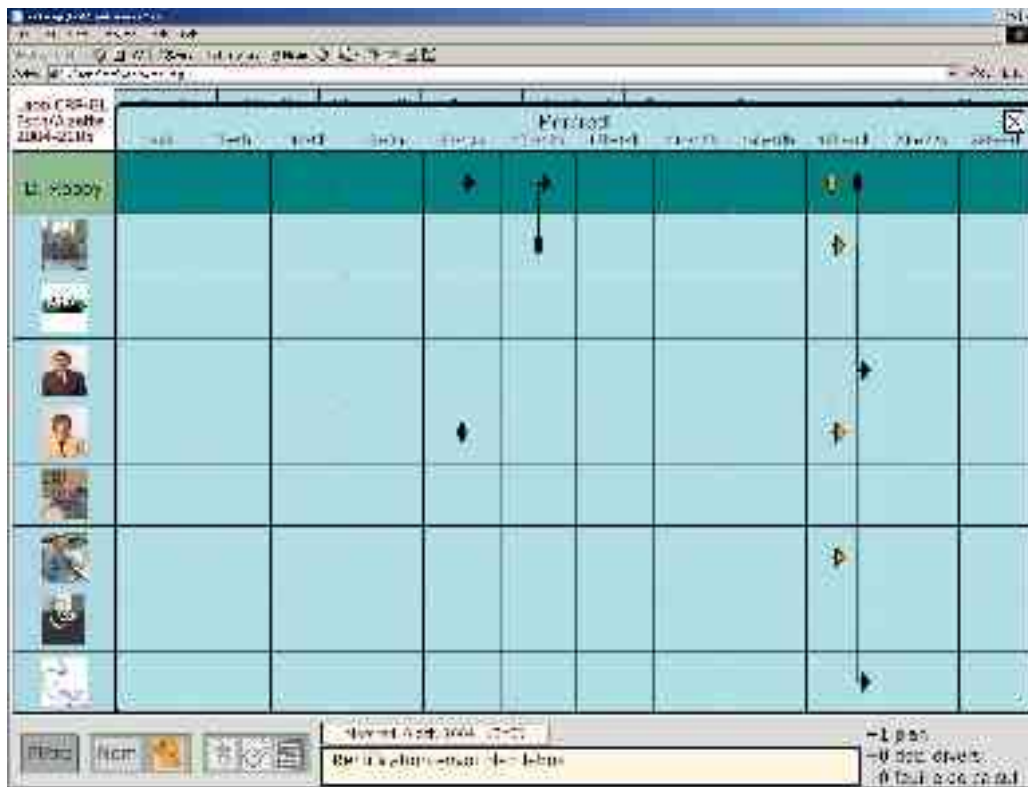


Fig. 76: Interface: zoom sur une journée particulière

3.2.4. Mise en évidence d'informations particulières

L'interface permet à l'utilisateur de mettre en évidence des éléments particuliers du projet. Il est en effet possible d'activer une mise en valeur graphique d'une ou plusieurs colonnes, ainsi que d'une ou plusieurs lignes. Cette fonction s'active en cliquant sur la première cellule de la ligne ou de la colonne choisie.

L'utilisateur peut ainsi mettre en évidence les interactions avec des acteurs particuliers (cf. Fig. 77). Il peut aussi mettre en évidence les interactions qui se sont produites pendant des journées déterminées (cf. Fig. 78). Dans le cas le plus complexe, il peut sélectionner simultanément des acteurs et des jours spécifiques (cf. Fig. 79).

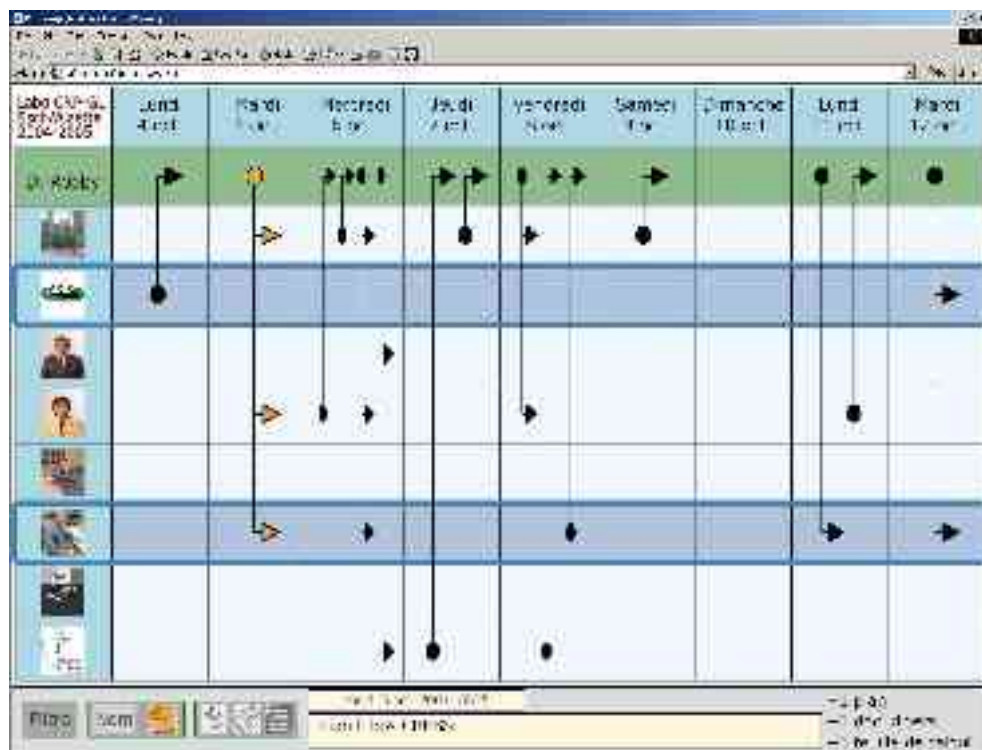


Fig. 77: Interface: Sélection d'acteurs particuliers

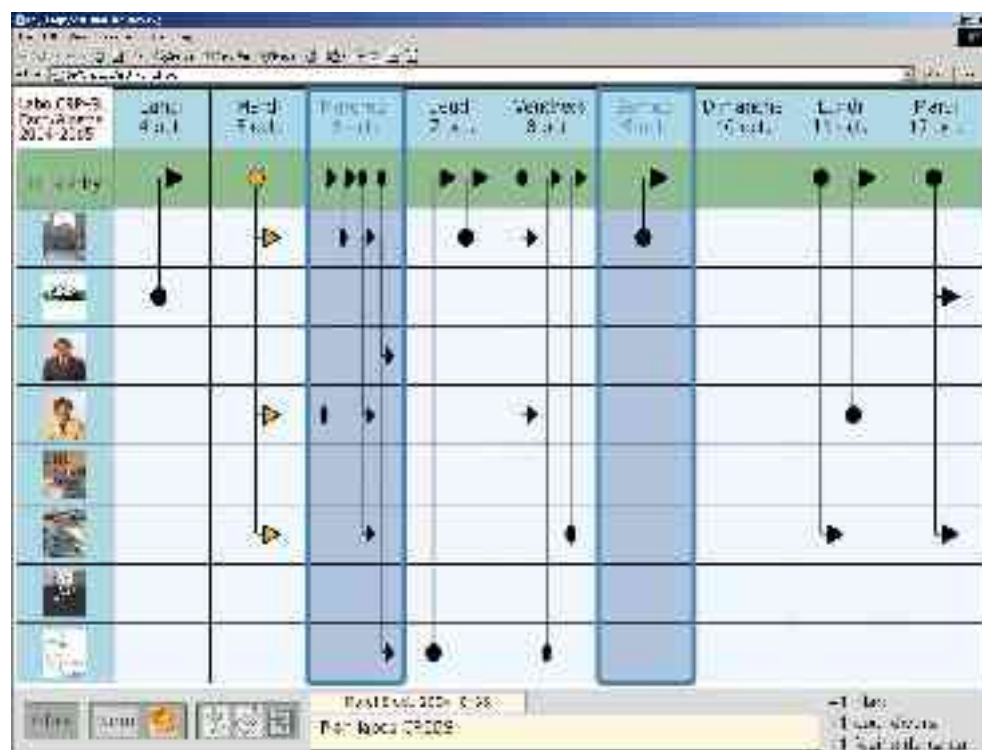


Fig. 78: Interface: sélection de périodes de temps particulières

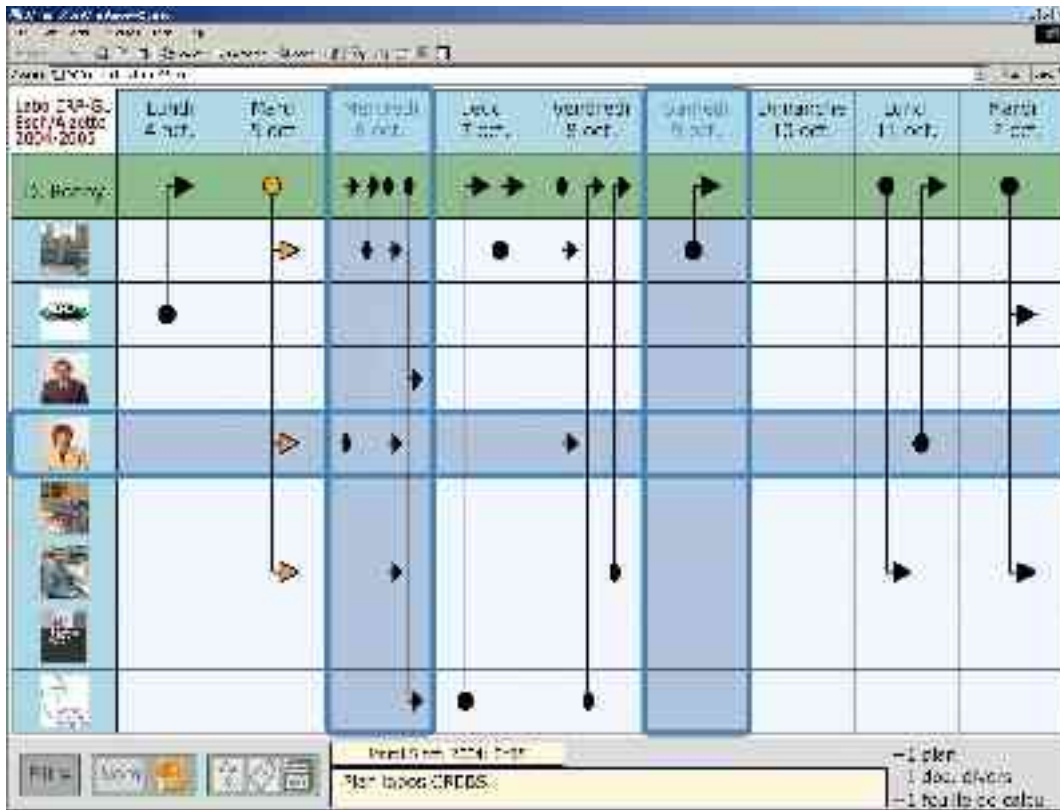


Fig. 79: Interface: sélection simultanée d'acteurs et de périodes de temps

3.2.5. Affichage lié aux fichiers attachés

Le suivi du parcours des documents est une problématique encore non résolue de manière satisfaisante dans la gestion d'un projet d'architecture. Plusieurs professionnels nous ont confirmé la présence de problèmes directement liés à une mauvaise information à ce sujet. On peut citer par exemple le fait de travailler sur une mauvaise version de plan parce que l'expéditeur a envoyé un ancien fichier ou la difficulté de se rappeler rapidement si l'on a envoyé un fichier X à un partenaire et le cas échéant si ce fichier X était bien celui reçu d'un autre partenaire.

Pour tenter de répondre à cette problématique, nous avons tout d'abord réfléchi à une classification des types de fichiers habituellement attachés à des messages électroniques dans le contexte de projets d'architecture. Nous les avons regroupé en trois catégories : les plans, les feuilles de calcul et les documents divers. Cette classification repose sur le bon sens mais également sur le fait que l'on peut facilement les différencier automatiquement d'un point de vue informatique. En effet, l'extension des différents types de fichiers offre un moyen simple d'assigner un fichier à une catégorie (exemple : extension '.dwg' → plan, '.doc' → document divers, '.xls' → feuille de calcul).

Au niveau de l'interface graphique, cette distinction entre les types de fichiers sera visualisé par trois icônes différentes (cf. Fig. 80). La référence à un plan est illustrée par une icône comprenant une équerre, un marteau et un document enroulé. La référence à un document divers est illustrée par une icône représentant un bloc-notes. Enfin, la référence à une feuille de calcul est illustrée par une icône représentant un boulier compteur.



Fig. 80: Icônes identifiant les types de fichiers attachés

Nous avons intégré dans l'interface la capacité de représenter graphiquement le fait que des fichiers sont attachés aux messages. Cette fonctionnalité prend la forme d'une icône qui apparaît près de l'origine de la flèche relative au message concerné. Pour rester cohérent avec notre classification des types de fichiers attachés, l'interface distingue les trois catégories de fichiers. L'utilisateur choisit quel type de fichier il souhaite visualiser au moyen du groupe de bouton situé dans la zone II et qui reprend les trois icônes précédemment décrites. A titre d'exemple, sur la Fig. 81, la visualisation des plans est activée alors que sur la Fig. 82 il s'agit des documents divers.

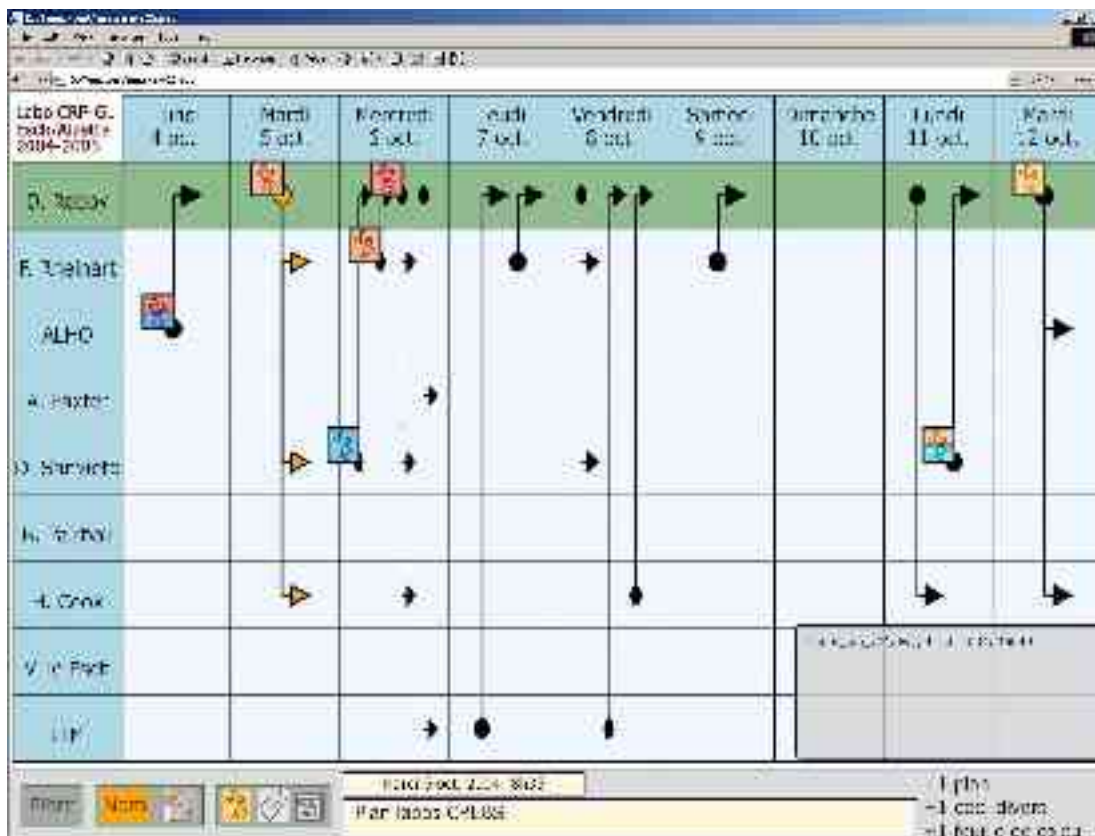


Fig. 81: Interface: Affichage des icônes associées aux plans

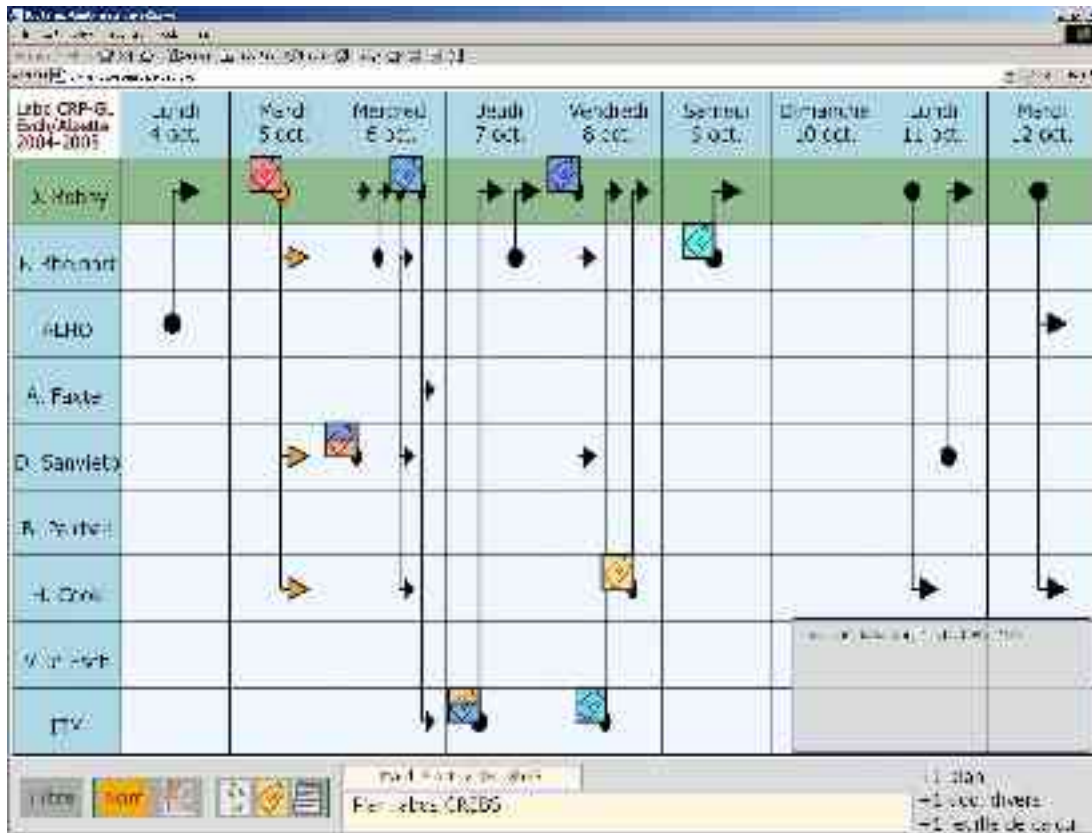


Fig. 82: Interface: affichage des icônes associées aux documents divers

D'un point de vue pratique, pour aider l'utilisateur à suivre le parcours des fichiers, il est important de lui offrir un moyen de distinguer les fichiers identiques et les fichiers différents. Nous avons donc inclus une telle fonctionnalité dans notre interface. A chaque instance de fichier sera associée une couleur d'icône spécifique. Il devient donc immédiat de réaliser si des fichiers attachés sont identiques.

Si plusieurs fichiers sont attachés à un même message, l'icône est divisée en zones d'égales dimensions permettant d'afficher une couleur pour chaque fichier attaché. Cette fonctionnalité est présente, par exemple, dans le premier message du jeudi 7 octobre auquel deux documents divers sont attachés (cf. Fig. 82).

Grâce à ce code de couleurs, il devient assez aisé pour l'utilisateur de percevoir le parcours d'un fichier au sein des différents acteurs, ainsi que l'illustre le parcours de la feuille de calcul 'budget-labos.xls' associée à la couleur rouge dans la Fig. 83.

Il peut également être utile de préciser que le passage du curseur sur une icône associée à un fichier attaché déclenche l'affichage de la fenêtre qui détaille les noms et dates de ces fichiers en bas à droite de la matrice (cf. mécanisme décrit en p. 89).

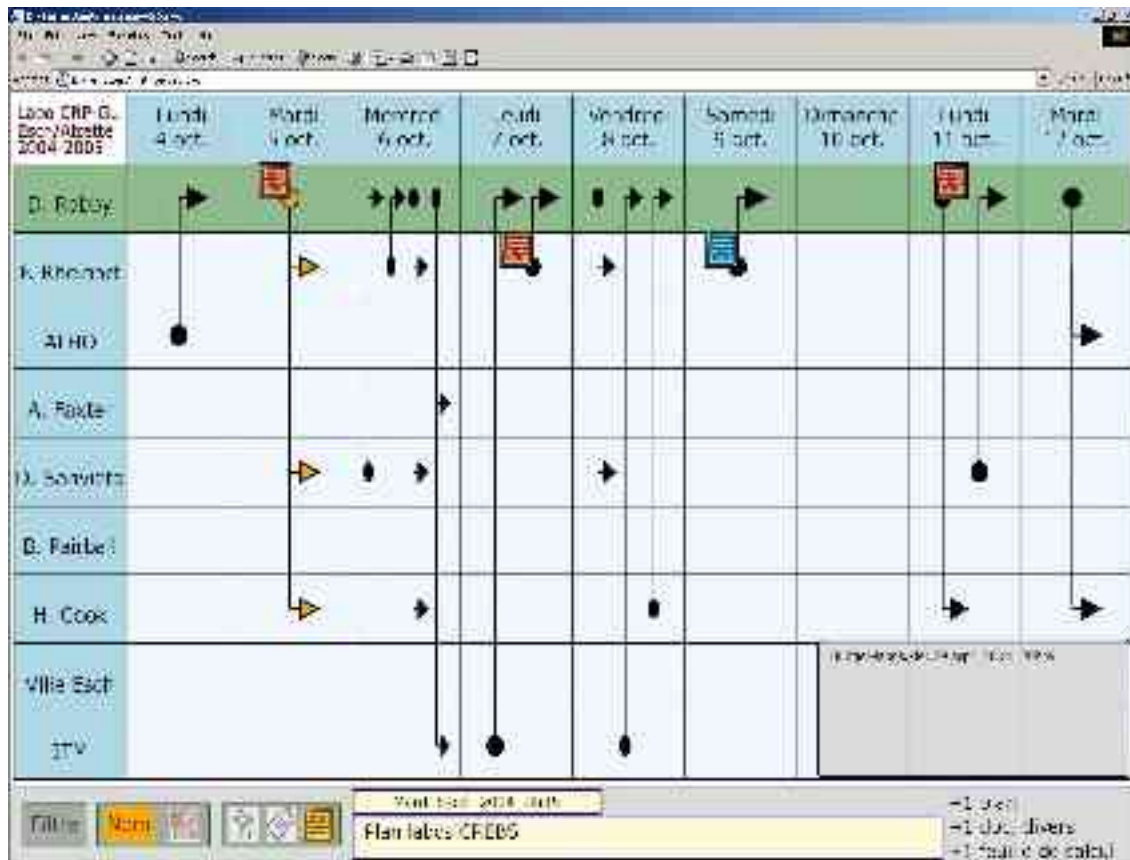


Fig. 83: Interface: affichage des icônes associées aux feuilles de calcul

3.2.6. Filtrage des informations

La surcharge informationnelle causée par un trop grand nombre d'informations présentées dans une représentation graphique est un problème récurrent. Nous avons traité ce problème en offrant la possibilité à l'utilisateur de filtrer les messages affichés dans la matrice sur base des acteurs concernés.

Cette fonction s'active en sélectionnant un ou plusieurs acteurs puis en cliquant sur le bouton filtre dans la zone II (cf. Fig. 84). Ce dernier prend alors une couleur orange.

L'effet du filtre est d'effacer de la représentation graphique toutes les flèches associées à des messages qui ne concernent aucun des acteurs sélectionnés. Naturellement, toutes les autres fonctions de l'interface¹³ sont aussi disponibles en mode 'filtre actif'.

¹³ Affichage des icônes associées aux fichiers attachés, identification des acteurs avec des photos ou des logos, mise en valeur de jours particuliers...

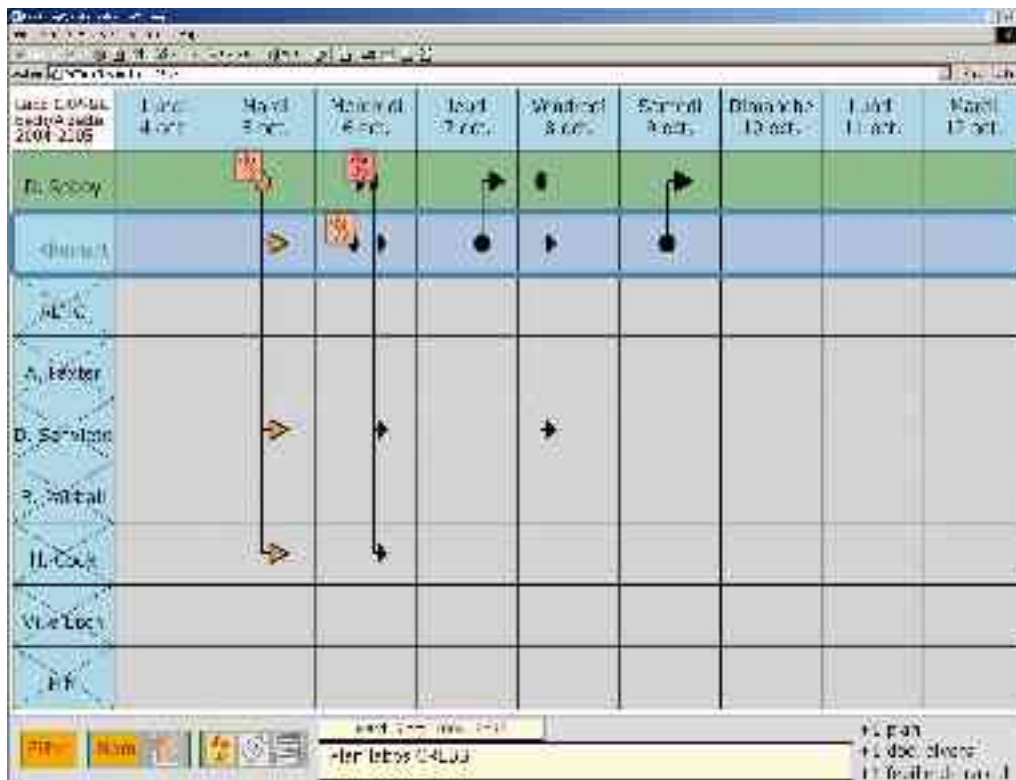


Fig. 84: Interface: filtrage des messages relatifs à un acteur particulier

3.2.7. Commentaire final

Dans notre étude bibliographique, nous avons étudié plusieurs représentations d'interactions entre des personnes. Il peut être utile à présent de présenter comment certaines d'entre elles ont influencé notre réflexion au moment de concevoir l'interface graphique qui vient d'être présentée.

Beale et ses collègues (cf. p. 68) basaient leur approche sur l'idée selon laquelle le fait de montrer à quelqu'un comment se développe une conversation à laquelle il participe peut l'aider à mieux appréhender le contexte de cette conversation. Notre proposition repose elle aussi sur des considérations similaires.

Parmi les représentations mentionnées, figurait également celle de Rohall et de ses collègues (cf. p. 65). Ces auteurs avaient réfléchi à quelles propriétés des communications électroniques il était pertinent de visualiser. Ils en avaient identifié trois en particulier : la chaîne des messages, le temps et le contenu des documents. La représentation graphique que nous proposons permet de visualiser très clairement les deux premières propriétés. En effet, les chaînes de messages sont représentées par les flèches et le temps utilise un des deux axes de la matrice. En ce qui concerne le contenu des documents, notre représentation répond partiellement aux critères énoncés par Rohall. Nous visualisons des informations (ex. type de document) sur les documents attachés mais pas explicitement leur contenu. Par contre, nous ajoutons la possibilité de visualiser la chaîne de transmission des documents attachés, concept que ne proposait pas Rohall.

Nous avons également repris l'idée de Nardi (cf. p. 71) qui identifiait les acteurs du projet au moyen de photos (pour les personnes) ou de logos (pour les organisations). Nous avons jugé utile d'adopter cette approche car nous visons (notamment) à obtenir une perception rapide et correcte de notre représentation graphique.

Le parallèle avec les travaux de Novick et Hurley (cf. p. 29) mérite lui aussi d'être discuté. Ces auteurs ont proposé des critères permettant de déterminer quelle représentation graphique est la plus adéquate pour visualiser certaines données. Selon eux, la représentation matricielle doit être privilégiée si on veut représenter les relations entre deux variables. C'est ce que nous souhaitons faire entre la variable 'temps' et la variable 'acteurs'. Elle permet aussi de percevoir rapidement la présence ou l'absence de données, comme par exemple, le fait qu'un message électronique ait été envoyé ou non.

Novick et Hurley indiquent par contre que la représentation matricielle est indiquée si les liens sont non directionnels. Les messages électroniques sont directionnels par nature et donc nous n'aurions donc pas dû choisir la représentation matricielle selon cet argument. Nous l'avons contourné en visualisant le sens de l'échange de messages par le biais d'une flèche. Ces auteurs mentionnent également que la représentation en réseau doit être favorisée si on s'intéresse aux moyens de parcourir la représentation. Ici encore, cet argument n'est pas favorable à la représentation matricielle classique. Cependant, notre approche basée sur l'utilisation d'arcs orientés (c.-à-d. de flèches) pour visualiser le parcours des messages permet de répondre à cette limitation de la représentation matricielle.

En conclusion, nous pouvons donc raisonnablement considérer que notre proposition de représentation reste cohérente avec les travaux d'autres chercheurs, tout en y apportant une certaine note originale.

3.3. Construction de la représentation : les technologies utilisées

Notre problématique de base concerne la représentation graphique d'information. Dès lors, notre effort principal s'est logiquement porté sur la conception d'une interface 'homme-machine' permettant de tester nos idées à ce point de vue.

En premier lieu, nous avons conçu l'architecture logicielle présentée à la Fig. 85 pour disposer d'un cadre de référence au point de vue technologique. Conformément à la tendance actuelle en matière de systèmes informatiques, nous avons opté pour une architecture comportant différentes couches.

- La première couche est formée par les applications qui sont utilisées pour gérer les interactions entre les éléments constitutifs du projet (acteurs, documents, activités). Ces applications sont par exemple : la messagerie électronique, un outil d'échange de fichiers par le protocole FTP, un logiciel de gestion électronique de documents...
- La seconde couche est composée de modules capables d'extraire des informations sur les interactions à partir des applications de gestion de ces interactions et de les structurer sous la forme de fichiers XML.
- La troisième couche comprend des modules capables de générer des fichiers SVG à partir des fichiers XML issus de la couche inférieure. L'utilisation de documents XSL-T pourrait dans ce cadre s'avérer être une approche technologique intéressante. De plus, les modules de la troisième couche peuvent au besoin générer ou modifier les fichiers contenant la logique associée à l'interface (ex. fichiers Javascript).
- La quatrième couche rassemble les applications avec lesquelles l'utilisateur final interagit, telles que des applications s'exécutant sur un ordinateur personnel (PC), un assistant digital personnel (PDA) ou un téléphone portable.

Ensuite, nous avons évalué l'effort que nécessite le développement de ces différents modules et nous l'avons mis en rapport avec l'intérêt qu'ils présentent dans le cadre de notre problématique. Nous avons conclu qu'il était préférable de nous focaliser sur la partie directement associée à l'interface utilisateur. En effet, notre apport se situe au niveau de la représentation graphique des interactions.

Par conséquent, notre travail de développement informatique a donc porté sur la conception et la mise au point de fichiers SVG et de la logique associée (implémentée dans le langage Javascript), ce qui nous a permis d'aboutir à une interface de test simulant parfaitement et sans bogues une application réelle.

Néanmoins, comme nous avons inscrit notre réflexion dans un cadre technologique plus large, nous pouvons considérer que notre proposition pourrait être complétée par des travaux plus orientés vers l'informatique proprement dite qui s'intéresseraient à la conception des autres modules de l'architecture présentée à la Fig. 85.

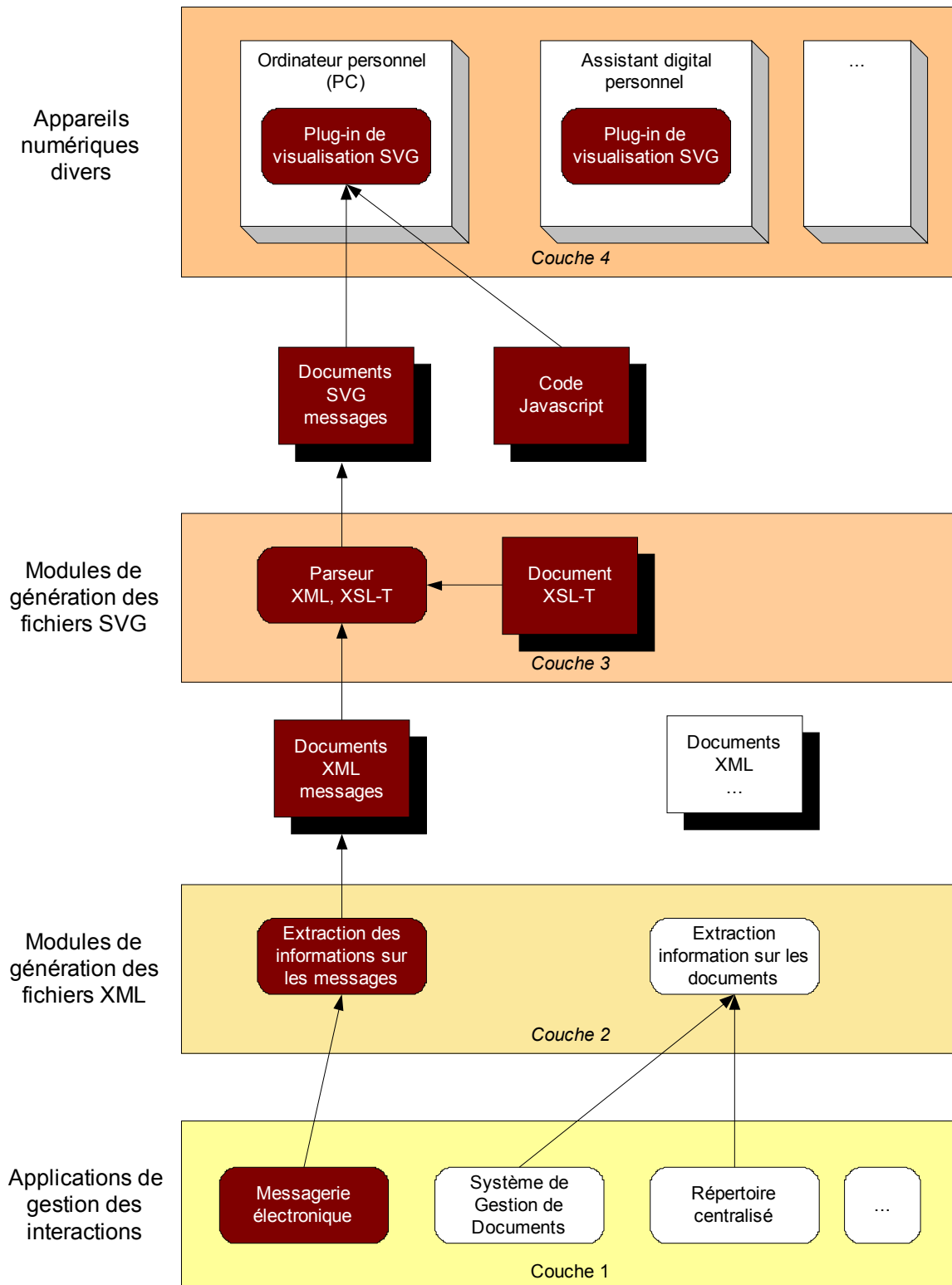


Fig. 85: Architecture logicielle globale

Il peut être utile de revenir quelque peu sur notre choix de la technologie SVG (*Scalable Vector Graphics*) pour implémenter notre interface. Ce choix repose sur plusieurs éléments.

- SVG repose sur le langage XML (*eXtensible Markup Language*) qui est une technologie actuellement très utilisée.
- SVG supporte toutes les technologies associées au monde XML, comme XSL-T, DOM, Xpath... Ceci permet d'utiliser notre connaissance préalable de ces technologies.
- SVG est un standard du consortium W3C. De nombreux constructeurs de logiciels supportent cette initiative¹⁴.
- Un fichier SVG peut être visualisé sur différents appareils, tels qu'un ordinateur personnel, un assistant digital personnel (*Personal Digital Assistant*), un téléphone portable...
- Comme les représentations utilisant SVG sont des graphiques vectoriels, leur qualité n'est pas affectée par le changement d'échelle éventuel qu'on leur applique.
- SVG permet de construire rapidement des interfaces graphiques assez complexes.
- SVG supporte que la logique associée à l'interface graphique soit programmée avec différents langages, tels que Java ou Javascript. Nous avons opté pour Javascript.

Après cette brève explication du volet technologique de notre démarche, nous pouvons enchaîner par la description de l'interface proprement dite et de ses fonctionnalités.

¹⁴ Le principal rival de SVG est Flash, qui est probablement plus utilisé sur le marché mais qui est un langage propriétaire. Un nombre croissant de constructeurs de logiciels s'intéressent à SVG.

Chapitre VII Evaluation de la représentation proposée

0.1. Expérimentation

0.1.1. But de l'expérience proposée

Le but de notre démarche au cours du stage était d'explorer les possibilités de représentations graphiques des interactions qui se produisent au cours d'un projet de construction. Nous avons donc mis l'accent sur la problématique de l'interface homme-machine. L'aspect principal qui a été recherché est l'aide à la perception rapide et correcte de l'état courant des interactions. Une importance particulière a été accordée à la problématique de la chronologie des interactions.

Après avoir conçu et développé la représentation discutée dans le chapitre précédent, nous avons estimé qu'il était important de le confronter à des acteurs réels du secteur de l'architecture et de la construction. Dans ce contexte, la solution idéale aurait consisté à utiliser notre interface dans le cadre d'un projet réel. Malheureusement, comme la majorité des chercheurs actifs dans la discipline 'informatique pour l'architecture, l'ingénierie et la construction', nous n'avons pu conduire ce type d'expérimentation. Pour répondre à cette limitation, différentes pistes ont été proposées, telles que par exemple, l'utilisation de scénarii [HH04]. Nous avons choisi d'utiliser également un scénario dans le cadre d'expériences impliquant un nombre limité de personnes en relation, d'une manière ou d'une autre, avec le monde professionnel.

0.1.2. Protocole expérimental

Le test de l'interface a une durée comprise entre 45 minutes et une heure. Il ne concerne qu'un sujet à la fois. Il se déroule en plusieurs phases successives.

1. Phase 1 : Exposé du contexte et des motivations

Le sujet est informé du fait qu'il s'agit d'un test réalisé à des fins de recherche et que sa participation à l'expérience ne pourra conduire à aucune conséquence dommageable pour lui. Il est invité à répondre de la manière la plus franche et honnête possible.

L'expérimentateur expose le but de la représentation proposée.

2. Phase 2 : Mise en situation du sujet

L'expérimentateur expose le scénario qui permet la mise en situation du sujet. Le projet de construction est décrit, de même que les participants.

3. Phase 3 : Présentation de l'interface

L'expérimentateur montre l'interface graphique matricielle. Il en explique les principales fonctionnalités. Dans cette partie de l'expérience, le sujet joue un rôle essentiellement passif.

Ensuite, dans un second temps, le sujet est invité à utiliser l'interface pour se familiariser avec elle. Il joue alors un rôle actif.

4. Phase 4 : Evaluation de l'interface

La collecte de l'avis du sujet sur l'interface proposée prend deux formes complémentaires.

Dans un premier temps, un certain formalisme est imposé par l'expérimentateur. Celui-ci pose des questions très précises sur certaines propriétés des interactions produites au cours du projet simulé dans le test. Le sujet utilise l'interface graphique pour y répondre.

Dans un second temps, l'utilisateur est invité à discuter les points forts et les points faibles de l'interface proposée. Cette phase est plus informelle et permet au sujet d'aborder tout aspect de l'interface qu'il juge utile de commenter.

5. Phase 5 : Fin du test

L'expérimentateur remercie le sujet pour sa participation.

0.1.3. Description du contexte de mise en situation

Le scénario concerne la construction du nouveau bâtiment du Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann qui sera situé à Esch-sur-Alzette (Luxembourg). Il s'agit d'un projet réel mais les interactions ont été simulées. De plus, les noms des acteurs ont été anonymisés pour des raisons de confidentialité. Néanmoins, le contexte, les acteurs et les échanges électroniques sont tout à fait réalistes.

Le scénario se situe à la fin de la phase de conception. Les activités en cours à ce moment concernent essentiellement la validation définitive des plans et différents contacts avec des autorités publiques (exemples : Inspection du Travail et des Mines, administration communale).

Les différents intervenants sont les suivants :

1. D. Robby, ingénieur, employé par le CRP-Gabriel Lippmann pour superviser pour son compte les phases de conception et de réalisation du bâtiment ;
2. F. Rheinart, directeur du CRP-Gabriel Lippmann ;
3. la société ALHO, chargée de la construction du gros-œuvre, à base de modules préfabriqués ;
4. A. Faxter, architecte, directeur de l'organisme public en charge des travaux de construction ;
5. D. Sanvieto, architecte en charge du dossier du nouveau bâtiment du CRP-Gabriel Lippmann ;
6. B. Pairball, ingénieur, responsable de l'infrastructure informatique du CRP-Gabriel Lippmann ;
7. H. Cook, biologiste, responsable d'une unité de recherche en environnement au CRP-Gabriel Lippmann ;

8. l'administration communale de la Ville d'Esch-sur-Alzette, sur le territoire de laquelle le nouveau bâtiment doit être construit ;
9. l'Inspection du Travail et des Mines (ITM), organisme chargé du contrôle des chantiers et des aspects techniques liés à la sécurité des bâtiments.

Le scénario se déroule sur une période de temps de 9 jours, c.-à-d. du lundi 4 octobre au mardi 12 octobre.

Le scénario considère que l'utilisateur connecté est D. Robby. Le sujet de test sera donc invité à imaginer qu'il est D. Robby.

0.1.4. Exposé des concepts de base de la représentation proposée

L'expérimentateur décrit la représentation graphique de la manière suivante.

La représentation est de type matricielle, c.-à-d. composée de lignes et de colonnes qui forment des cellules. Les périodes de temps sont représentées par les colonnes et les intervenants par les lignes.

La représentation se limite à visualiser les interactions basées sur des messages électroniques (*e-mails*).

Les principales fonctionnalités de l'interface sont les suivantes :

- Les intervenants peuvent être identifiés par leur nom ou par une image (photo ou logo). L'utilisateur peut choisir en permanence la représentation qu'il préfère.
- Les messages électroniques sont représentés par des flèches.
- L'utilisateur peut afficher des informations de base sur un message particulier en cliquant sur la flèche correspondante. Quand une flèche est activée, elle est visuellement mise en évidence en changeant de couleur. On ne peut mettre en évidence qu'une seule flèche, c.-à-d. un seul message, à la fois. Les informations de base d'un message sont le sujet, la date d'expédition, le nombre et le type de fichiers attachés, le nom et la date de dernière modification de ces fichiers attachés. Trois catégories de fichiers attachés ont été retenues : les plans, les feuilles de calcul et les documents divers.
- Les lignes et les colonnes peuvent être mises en évidence en cliquant sur la première cellule. Cette mise en évidence change la couleur de fond de la ligne ou de la colonne concernée et entoure celle(s)-ci par une ligne en trait gras. Plusieurs lignes et/ou colonnes peuvent être mises en évidence simultanément.
- La représentation permet de zoomer sur une période de temps particulière (c.-à-d. une journée particulière) en double-cliquant sur le nom du jour.
- La représentation offre un filtre sur les intervenants qui permet de limiter la visualisation aux messages échangés entre les intervenants sélectionnés.
- La représentation permet de visualiser les fichiers attachés aux messages au moyen d'une icône. Chacun des trois types de fichiers est associé à une icône différente : une équerre pour les plans, un boulier compteur pour les feuilles de calcul et un bloc note pour les documents divers. La couleur de fond de l'icône diffère pour chaque fichier et est automatiquement attribuée. Si plusieurs fichiers du même type (ex. 2 plans) sont associés au même message, le fond de l'icône est divisé en zones distinctes permettant d'afficher plusieurs couleurs.

0.1.5. Collecte d'information sur l'évaluation de l'interface

Nous avons vu dans la description du protocole expérimental que, dans un premier temps, l'expérimentateur pose des questions au sujet sur certains aspects bien précis des interactions visualisées par l'interface graphique.

Cette étape se décompose en fait en trois parties.

Tout d'abord, des questions assez élémentaires sont posées au sujet dans le but d'évaluer son aptitude à comprendre la représentation matricielle et à interagir avec elle.

Les questions posées sont les suivantes :

1. Combien de messages ont été envoyés le vendredi 8 octobre ?
2. Quels sont les fichiers envoyés par ALHO à D. Robby le 4 octobre ?
3. De quelle couleur est le logo de la firme ALHO ?
4. Activez le zoom sur le mercredi 6 octobre.
5. Visualisez les icônes relatives aux feuilles de calcul.

Dans un second temps, l'expérimentateur pose des questions plus précises pour évaluer la qualité de la représentation pour visualiser les interactions entre les participants.

1. D. Robby a-t-il envoyé des messages à B. Pairball pendant la période concernée ?
2. Le lundi 4 octobre, la société ALHO a envoyé le plan des laboratoires de biologie 'Labos_bio_v12.dwg' à D. Robby. Quand H. Cook, en charge de ces laboratoires, a-t-il reçu ce plans ?
3. Combien de fichiers M. Faxter a-t-il reçu au cours de la période concernée ? Quels sont ces fichiers ?
4. Quelle est la dernière version de la feuille de calcul 'budget-labos.xls' reçue de F. Rheinart par D. Robby ? Quand F. Reinahrt lui a-t-il envoyé ce fichier ?
5. Quel est le parcours de la feuille de calcul relative au budget des laboratoires ?
6. Le mardi 5 octobre, F. Rheinart a envoyé un plan des laboratoires de biologie à D. Robby. Ce plan était-il celui envoyé la veille par la société ALHO ?
7. Le vendredi 8 octobre, D. Robby envoie la note 'CRP-GL-12.doc' à D. Sanviato. De qui D. Robby avait-il reçu cette note ? Quand l'avait-il reçue ?
8. Quels documents D. Robby a-t-il reçu de l'Inspection du Travail et des Mines ?
9. Quel est le dernier message reçu de F. Rheinart par D. Robby (sujet, date d'expédition) ?
10. D. Robby a-t-il envoyé à la société ALHO le catalogue des hottes de laboratoire reçu de H. Cook ?

Nous considérerons que si le sujet est capable de répondre rapidement et sans difficulté apparente à ces questions, l'interface graphique proposée est de bonne qualité.

La dernière étape de collecte du *feed-back* utilisateur consiste à lui demander d'exprimer son opinion sur l'interface matricielle.

1. Quels sont les points forts de l'interface ?
2. Quels sont les points faibles de l'interface ?
3. Seriez-vous prêt à utiliser ce type d'interface ?
4. Avez-vous déjà vu des outils avec un type d'interface comparable ? Si oui, lesquels ?
5. Ce type d'interface vous serait-il utile dans votre travail ?

Cette étape plus informelle permet de collecter des commentaires plus larges sur la représentation graphique proposée.

0.2. Résultats

0.2.1. Profil des participants

L'expérience a été réalisée avec quatre acteurs intervenant à divers titres dans le monde de l'architecture et de la construction. L'identité de ces personnes est gardée confidentielle mais nous pouvons néanmoins mentionner leur profil.

- M. R.B., âgé d'environ 55 ans, architecte de formation, travaille essentiellement seul dans le bureau d'architecture qu'il a fondé voici environ trente ans. Il exerce en Belgique francophone.
- M. A.B., fils de M. R.B., âgé d'environ 30 ans, dispose d'une formation dans le domaine du graphisme pour applications Internet. Il aide ponctuellement M. R.B. dans son bureau d'architecture.
- M. J.A., âgé d'environ 35 ans, actuellement employé comme technico-commercial dans le secteur des logiciels spécifiques pour le secteur de l'architecture. Il dispose d'une expérience de plusieurs années comme dessinateur dans un bureau d'architecture en Belgique francophone.
- M. D.R., âgé d'environ 40 ans, ingénieur de formation, actif au moment de l'expérience dans le suivi d'un projet de construction d'un bâtiment destiné à héberger des bureaux et des laboratoires scientifiques. Il est employé par une organisation luxembourgeoise.

0.2.2. Résultats

En premier lieu, il faut mentionner que les quatre personnes interrogées se sont toutes appropriées l'interface très rapidement, ce qui permet de penser que les commentaires formulés sont raisonnablement représentatifs de leur perception de la représentation.

1. Commentaires de M. R.B.

M. R.B. n'est pas un adepte de l'utilisation des technologies informatiques. Néanmoins, il a émis des commentaires très intéressants sur la proposition d'interface graphique.

Tout d'abord, il nous a expliqué qu'il utilise des documents (sur papier) basés sur une représentation de type matricielle pour gérer son emploi du temps et ses tâches. A certains

égards, la disposition matricielle que nous proposons sous forme informatique lui est apparu similaire.

Ensuite, un élément particulièrement intéressant à relever concerne le fait qu'il ait mis en correspondance la conception d'une interface graphique informatique et la conception architecturale. Selon lui, dans les deux cas, la véritable difficulté consiste à obtenir une réalisation finale dont la lisibilité est simple, ce qui nécessite souvent un grand effort de raisonnement et une maîtrise d'un grand nombre de concepts et techniques. Nous adhérons complètement à ce point de vue.

Compte tenu de cette réflexion, M. R.B. fut particulièrement séduit par la simplicité et la géométrie fortement structurante de la représentation matricielle proposée. Selon lui, cela permet de se repérer facilement dans l'ensemble des informations visualisées.

Enfin, une visualisation des informations concernées utilisant des graphes ne lui semblerait pas adéquate, à cause de son manque de lisibilité.

2. Commentaires de M. A.B.

M. A. B. est plus proche des technologies informatiques que M. R.B. Cette différence de profil se ressent dans le point de vue sous-tendant les commentaires qu'il a apporté sur l'interface.

Les éléments positifs qu'il a relevés sont les suivants.

- L'appréhension globale de l'interface est rapide et facile.
- La représentation permet de réduire le temps de recherche d'une information.
- La possibilité de naviguer entre différentes échelles de temps (ex. 'semaine' – 'jour') est très utile.
- La représentation des fichiers attachés au moyen d'icônes colorées est une bonne approche car elle permet d'avoir une vue globale rapide sur l'état courant des interactions. De plus, elle permet de suivre le parcours des fichiers.
- L'identification des acteurs au moyen de photos ou de logos est plus directe et plus parlante que l'identification par le nom.
- La représentation est intéressante car elle permet de voir rapidement ce que l'on a pas fait, c.-à-d. en l'occurrence les messages que l'on a pas envoyés/reçus.

Il a néanmoins suggéré les améliorations présentées ci-après.

- Pour un cas d'application réel, la représentation devrait être hautement paramétrable, en termes d'acteurs visibles, de périodes de temps représentés...
- Il faudrait encore affiner les possibilités de changement d'échelles de temps dans la représentation.
- Il pourrait être intéressant de visualiser graphiquement l'état de réception des messages.
- Il pourrait être intéressant d'afficher simultanément les icônes associées à tous les types de fichiers attachés (c.-à-d. plans, documents divers et feuilles de calcul).

- Il serait utile de faire plus ressortir graphiquement la ligne associée à l'acteur de référence (c.-à-d. M. Robby dans l'exemple).
- Il pourrait être utile d'offrir la possibilité d'afficher sur demande une fiche descriptive des acteurs représentés dans l'interface.

3. Commentaires de M. J.A.

M. J.A. apporte une vision encore différente. En effet, il est très informé des derniers développements technologiques informatiques dans le secteur spécifique de l'architecture.

Pour commencer, il nous a confirmé la pertinence des questions proposées lors de la phase d'évaluation de l'interface. Ces questions sont réellement représentatives de questions qu'un gestionnaire de projet architectural peut être amené à se poser.

M. J.A. a mentionné les points forts suivants pour l'interface proposée.

- L'interface permet de se représenter rapidement l'état courant de la situation.
- L'interface est simple à comprendre.
- La fonctionnalité de filtrage sur les messages est très utile car elle simplifie la représentation dans le cadre d'une interrogation précise.

Il a aussi proposé des pistes d'amélioration.

- Le changement d'échelle relatif aux périodes de temps devrait être paramétrable, pour pouvoir afficher avec souplesse la plage de temps que l'utilisateur souhaite visualiser.
- L'interface devrait disposer d'une fonctionnalité de recherche des documents attachés sur base d'éléments tels que le nom du fichier, la date de dernière modification...
- Il serait utile de pouvoir visualiser un seul document au moyen des icônes pour pouvoir se focaliser sur le parcours d'un fichier spécifique.
- Il serait intéressant de disposer d'un utilitaire de visualisation ('viewer') du contenu des fichiers attachés.
- L'interface devrait permettre l'affichage simultané des icônes associées à tous les types de fichiers attachés.
- La problématique de la visualisation de messages à destination ou reçus d'acteurs non représentés dans l'interface est une problématique à investiguer.
- Le choix des icônes pour représenter les types de fichiers attachés n'est pas idéal.

4. Commentaires de M. D.R.

M. D. R. nous offre le regard d'un ingénieur particulièrement intéressé par la question du suivi de projet.

Il a mis en évidence les points forts suivants pour l'interface.

- La vue d'ensemble des messages est utile, en particulier dans le cas où on doit se remémorer des opérations passées par rapport à une problématique particulière.
- D'un point de vue général, l'interface est conviviale.
- Le choix de la méthode d'identification des acteurs (photo/logo ou nom) est une idée intéressante.
- La possibilité de filtrage sur certains acteurs permet de réduire le volume des messages à explorer dans le cadre d'un contexte particulier.

Il a également mis en exergue des aspects susceptibles d'être améliorés.

- Il serait utile d'intégrer une recherche des fichiers attachés sur base d'informations standard telles que le nom du fichier.
- Il serait intéressant d'associer une vue de tous les fichiers attachés, de permettre la sélection d'un ou plusieurs de ces fichiers dans cette vue et d'afficher ensuite immédiatement le parcours de ces fichiers dans la représentation matricielle.

0.2.3. Discussion des résultats

La confrontation de notre proposition d'interface graphique avec des acteurs impliqués, à divers titres, dans la problématique de la gestion de projets architecturaux fut riche d'enseignements.

En ce qui concerne l'interface proprement dite, la simplicité et la clarté de la représentation que nous souhaitions obtenir ont été réellement perçues par les sujets de l'expérience. Nous avons particulièrement apprécié le parallèle, suggéré par M. R.B., entre l'acte de conception architecturale et celui de conception d'une technique de visualisation d'informations. Elle pose la question de la perception de la complexité du travail accompli par le créateur. En effet, la complexité perceptible qui peut se dégager d'une œuvre produite n'est pas toujours le signe d'un travail de conception abouti alors qu'au contraire la production d'une œuvre simple en apparence peut constituer l'aboutissement d'une longue et délicate phase de conception. Cette thématique nous semble digne de réflexions complémentaires.

La problématique de la représentation du temps, que nous avons abordée dans le contexte de la représentation matricielle, n'a pas pu être étudiée de manière exhaustive. Son importance a été mise en exergue lors des tests et elle mériterait donc encore d'être l'objet de futurs travaux.

Suite aux commentaires de M. R.B., il est apparu que la conception d'interfaces peut utilement s'inspirer de méthodes de travail traditionnelles reposant sur l'utilisation d'outils physiques tels que des feuilles de papier ou des crayons. L'expérience accumulée par des générations d'acteurs de terrain doit servir de base à une utilisation intelligente, utile et efficace des technologies informatiques.

La question de la représentation d'information par le biais d'images constitue un thème de recherche privilégié du CRAI. Notre interprétation de cette thématique dans le cadre de l'identification des acteurs du projet fut jugée intéressante. Il ne s'agissait pas du sujet

central de notre stage mais on pourrait imaginer que des travaux complémentaires s'y intéressent plus spécifiquement.

L'expérience a confirmé notre point de vue initial en ce qui concerne l'importance de la représentation d'absence d'information, matérialisée dans notre cas d'application par l'absence de messages électroniques. Alors que beaucoup de travaux dans le domaine de la visualisation d'information sont centrés sur la représentation de la présence de données, nous pensons que, dans certains contextes, il peut être au moins aussi important de faire apparaître l'absence de données.

Chapitre VIII Conclusions

En conclusion de ce rapport, il nous semble nécessaire de résumer brièvement les enseignements majeurs que le stage nous a apporté.

En premier lieu, nous avons suivi le principe méthodologique de conception de techniques de visualisation d'information qui consiste à s'intéresser d'abord aux données et aux questions que l'on se pose sur celles-ci, avant d'étudier le volet graphique de la représentation. Cette approche méthodologique repose notamment sur la différence fondamentale existant entre la science de la visualisation d'information et l'art du graphisme. Grâce au stage, nous avons découvert le monde fascinant de la visualisation d'information, domaine dans lequel nous souhaitons poursuivre notre réflexion.

En ce qui concerne notre proposition d'interface graphique, elle nous a permis de montrer une fois encore la pertinence du principe général proposé par Ben Shneiderman pour résumer les fonctionnalités d'une bonne visualisation d'informations : « *Overview first, zoom and filter, then details on demand* ». Notre proposition offre une vue globale des données que nous voulions visualiser, à savoir les interactions basées sur des messages électroniques entre acteurs d'un projet architectural. Elle permet de filtrer les informations visibles et d'opérer un zoom sur une période de temps particulière. Enfin, des détails précis, tels que les informations sur les fichiers attachés à un message particulier, sont disponibles à la demande.

La question de l'évaluation de logiciels expérimentaux conçus dans le cadre d'une activité de recherche nous semble également indispensable à mentionner dans ces conclusions. En effet, nous avons été confrontés, comme beaucoup de chercheurs avant nous, à la difficulté de convaincre des acteurs professionnels à participer à des tests d'évaluation d'applications pilotes. Cette constatation limite la portée des conclusions que l'on peut tirer en termes de capacité de ces logiciels à être utilisés en pratique.

Au point de vue de la conduite de notre stage, nous avons porté l'essentiel de notre effort pour le volet informatique sur la conception et le développement de l'interface SVG. Nous justifions ce choix par le fait que l'optimisation de l'allocation des ressources disponibles demande que la majorité du temps soit consacré au thème de recherche principal. Dans notre cas, il s'agissait d'une problématique d'interface 'homme-machine'. Si nous avions cherché à intégrer notre proposition d'interface avec une application de messagerie réelle, nous aurions probablement consommé une partie non négligeable de notre temps à des questions techniques certes intéressantes mais qui n'auraient pas contribué à la compréhension de notre sujet d'étude.

Enfin, ce stage nous a permis de compléter la formation théorique dispensée dans le cadre des cours du DEA. A de nombreux points de vue, cette formation a enrichi notre connaissance de l'application des technologies de l'information et de la communication dans le secteur de l'architecture. De nombreux travaux scientifiques restent à mener à bien dans ce domaine et nous ne pouvons qu'encourager d'autres futurs chercheurs à se passionner pour ce thème.

Chapitre IX Bibliographie

- [Be88] Berkowitz, S.D. (1988), *Markets and market-areas: Some preliminary formulations*, Social Structures: A Network Approach, pp. 261-303, Cambridge University Press.
- [Be01] Beale M., Einstein M., McCrickard S., North C. et Saraiya P. (2001), *Visualizing Communication Timelines Containing Sparsely Distributed Clusters*, IEEE Symposium on Information Visualization, 22-23 Octobre 2001, San Diego, Californie.
- [Bi03] Bicharra Garcia A.C., Kunz J., Ekstrom M. et Kiviniemi A. (2003), *Building a Project Ontology with Extreme Collaboration and Virtual Design and Construction*, Technical Report TR152, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Adresse Internet: <http://www.stanford.edu/group/CIFE/Publications/index.html>, accédée le 1 April 2004.
- [BM00] Brown Q. Y. et McCrickard D. S. *CWIC: Continuous Web Image Collector*, Proceedings of the ACM Southeast Conference (ACMSE '00), Clemson, USA, Avril 2000, pp 244-252.
- [BN99] Berndtsson J. et Normark M. (1999). *The coordinative functions of flight strips: air traffic control work revisited*, ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work, ACM Press, pp. 101-110.
- [Bo02] Boyd D. (2002), *Faceted Id/Entity: Managing representation in a digital world*, Master thesis, Massachusetts Institute of Technology, présentée en septembre 2002.
- [BP03] Boyd D. et Potter J. (2003), *Social network fragments : an interactive tool for exploring digital social connections*, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 27-31 Juillet 2003, San Diego, Californie.
- [BR93] Brousseau E. et Rallet A. (1993), *Développement des systèmes télématiques et évolution des relations interentreprises dans la construction*, Rapport d'une étude financée par le Plan Construction et le PIRTTEM, Université Paris-Sud, disponible sur demande à l'adresse Internet : <http://www.jm.u-psud.fr>
- [Br99] Bruley C. (1999), *Analyse des représentations graphiques de l'information – extension aux représentations tridimensionnelles*, thèse de doctorat en informatique, soutenue en juin 1999, Université Joseph Fourier de Toulouse.
- [BS91] Bannon L. et Schmidt K. (1991), *CSCW : four characters in search of a context*, Studies in CSCW. Theory, practice and design. Bowers J.M. Benford S.D., North Holland, pp. 3-15.
- [Bt67] Bertin J. (1967), *La sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux et les cartes*, Editions Gauthier Villars, Paris, 1967, p.8.

- [Bt98] Bertin J. (1998), *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux et les cartes*, Réédition augmentée de l'édition de 1973, Les ré-impressions des Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris.
- [Bt00] Bertin J. (2000), *Brève présentation de la graphique*, Cours en ligne, Institut d'Etudes Politiques de Paris, adresse Internet : http://www.sciences-po.fr/cartographie/cartographie_html/5_page5theorie/graphique_bertin2001/index.html
- [Ch02] Chasseur H. (2002), *Visualisation interactive par un graphe hypermédia des relations entre acteurs, activités et documents au cours de la conception d'un bâtiment*, mémoire de DEA CRAI.
- [CR 96] Chuah M.C. et S.F. Roth (1996) On the Semantics of Interactive Visualization, Proceedings of IEEE Visualization (Vis'96), pages 29-36.
- [Cl99] Clark, A. et al.: Benchmarking the use of IT to support supplier management in construction. In Electronic Journal of Information Technology in Construction, Vol.4, pp. 1-16. Available at the address: <http://www.itcon.org/1999/1>.
- [Co04] Coffman T., Greenblatt S. et Marcus S. (2004), *Graph-Based Technologies for Intelligence Analysis*, In communication of the ACM, Vol. 47, No 3, pp 45-47.
- [Cr03] Crabtree A. (2003), *Designing Collaborative Systems A Practical Guide to Ethnography*, Springer, London, UK, pp. xx
- [DE04] Desouza K.C. et Evaristo J.R. (2004), *Managing knowledge in distributed projects*, Communications of the ACM, Vol. 47, Nr 4, pp. 87-91.
- [Da00] Daassi C., Dumas M., Fauvet M.-C., Nigay L. et Scholl P.-C. (2000), *Visual exploration of temporal object databases*, Proceedings of BDA'00, Octobre 2000, Blois, France.
- [Do99] Donath J., Karahalios K. et Viégas F. (1999), *Visualizing Conversation*, Proceedings of Hawaiï International Conference on System Sciences, HICSS-32, 5-8 Janvier, 1999, Maui, Hawaiï.
- [Do02] Dogrusoz U., Feng Q., Madden B, Doorley M. et Frick A. (2002), *Graph Visualization Toolkits*, IEEE Computer Graphics and Applications, pp 30-37.
- [DS02] Damm D. et Schindler M. (2002), *Security issues of a knowledge medium for distributed project work*. International Journal of Project Management, Vol. 20, N° 1, pp. 37-47.
- [Fy02] Fyall, M. (2002), *When project information flow becomes turbulent: toward an organizational Reynolds number*. Technical Report TR138, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Adresse Internet: <http://www.stanford.edu/group/CIFE/Publications/index.html>, accédée le 2 Avril 2004.
- [Fi82] Fischer, C.S. (1982), *To Dwell Among Friends: Personal Networks in Town and City*, University of Chicago Press, Chicago, USA.
- [Ga97] Garton, Haythornthwaite et Wellman (1997), *Studying Online Social Networks*, Journal of Computer-Mediated Communications, Vol. 3, N° 1.

- [Ga02] Guerriero A. (2002), *Etude de la coordination dans la coopération entre acteurs au cours de la conception d'un bâtiment*, Mémoire de DEA CRAI.
- [GE98] St Ger B. and Engeli M. (1998), *Information Technology for Visual Enterprises Meta-visualizations of Document-Structures*, ETH, Swiss Federal Institute of Technology, Architecture & CAAD, disponible à l'adresse Internet: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch>, accédé le 17 Avril 2004.
- [HC98] Human-Computer Interaction Lab (1998), *Lifelines for visualizing Patient Records*, resultants du projet disponibles à l'adresse Internet: <http://www.cs.umd.edu/hcil/lifelines/>, accédé le 5 juillet 2004.
- [He96] Helfman J. (1996), *Montage as Cognitive Artifact: Passive Surfing in the Communal Cache*, Human Computer Interaction Consortium, Frasier, USA, Février 1996.
- [HH03] Halin G. et Hanser D. (2003), *Vers une visualisation contextuelle de la conception coopérative*, Actes de la 15^{ème} Conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Caen, France, 24-28 novembre 2003, pp. 208-211.
- [HH04] Halin G., Hanser D., Otjacques B. et Bignon J.-C. (2004), *A Scenario Approach to Validate and Demonstrate the Tool Usefulness in Cooperative Design*, Conférence eCAADe 2004 (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), 15-18 Septembre 2004, Copenhague, Danemark.
- [Ha03] Hanser D. (2003), *Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment*, Thèse de doctorat sous la direction de J.-C. Bignon, soutenue le 31/10/2003, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- [He00] Herman I., Melançon G. et Marshall M.S. (2000), *Graph visualization and navigation in information visualization: a survey*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 6, No 10, pp. x-y.
- [Ho97] Hollan J.D., Bederson B. B. et Helfman J. I. (1997), *Information Visualization*, Handbook of Human-Computer Interaction, 2^{ème} édition, Chap 2, pp 33-48.
- [HW96] Holsapple C.W., Whinston A.B. (1996), *Decision Support Systems – A knowledge-based approach*, West Publishing Company, St Paul, USA, pp. 32-52.
- [HP01] Howard R. and Petersen E. (2001), *Monitoring communications in partnering projects*, Electronic Journal of Information Technology in Construction, Vol. 6, <http://itcon.org/2001/1>, accédé le 9 Avril 2004.
- [JJ01] Johnson P. and Johnson H. (2001), *Interaction, Collaboration and Communication: A Human-Computer Interaction Perspective*, Accolade, Architecture, Collaboration, Design, M. Stellingwerff & J. Verbeke Eds, Delft University Press, Delft, pp. 43-57.
- [Jo88] Johansen R. (1988), *Groupware: computer support for business teams*, The Free Press, New York, USA.
- [Ju81] Julesz B. (1981), *Textons, the elements of texture perception and their interactions*. Nature, 290, pp. 91-97.

- [KH81] Kahneman D. et Henik A. (1981). *Perceptual Organization and attention*. Kubovy and Pomerantz, (Ed.) Perceptual Organization. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 181-211.
- [Ke03] Kerr B. (2003). *Thread arcs: an email thread visualization*, IBM Research Report, RC22951 (W0310-175), Octobre 2003, accessible à l'adresse: <http://www.research.ibm.com/remail/publications.html>, accédé le 16 avril 2004.
- [KV00] Koskela L., Vrijhoef R. (2000). *The prevalent theory of construction is a hindrance for innovation*. Proceedings of International Group for Lean Construction 8th Annual Conference, IGLC-6, Brighton, UK, 17 – 19 Juillet 2000. Adresse Internet: <http://www.leanconstruction.org>, accédé le 17 Avril 2004.
- [LS87] Larkin J. et Simon H. (1987). *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words*. Cognitive science, Vol. 11, pp. 65-99.
- [La03] Larsen G. (2003). *Informal Communication Networks and the Diffusion of Innovations in the UK Construction Projects : A research Design*, Proceedings of the 2nd International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction, 25 – 27 Juin 2003, Loughborough, UK, pp. 503-514.
- [Le91] Leplat J. (1991), *Organization of activity in collective tasks*, dans Rasmussen J., Brehmer B. et Leplat J., Distributed decision making: cognitive models for cooperative work, John Wiley & Sons Ltd.
- [Lo94] Lohse G. L., Biolsi K., Walkers N. and Rueter H. (1994), *A classification of visual representations*, Communication of the ACM, Vol. 37, No 12, pp 36-49.
- [Lo95] Lohse G. (1995). *Designing graphic decision aids: the role of working memory*, Working paper, Operations and Information Management Department, The Wharton School of the University of Pennsylvania.
- [Lo97] Lohse G.L. (1997), *Models of Graphical Perception*, Handbook of Human-Computer Interaction, 2^{ème} édition, Elsevier, Amsterdam, pp 107-135.
- [Lc03] Lonchamp J. (2003), *Le travail coopératif et ses technologies*, Hermes Science, Lavoisier, Paris.
- [Ma94] Malone T.W. (1994), *The interdisciplinary study of coordination*, ACM Computer Surveys, Vol. 26, N°1, pp. 87-119.
- [Na02] Nardi B. A., Whittaker S., Isaacs E., Creech M., Johnson J. et Hainsworth J. (2002), *Integrating Communication and Information through ContactMap*, Communications of the ACM, Vol. 45 N° 4, pp. 89 - 95.
- [NH01] Novick L.R. et Hurley S. M. (2001), *To matrix, Network, or Hierarchy : That is the Question*, Cognitive Psychology, Vol. 42, pp. 158-216.
- [NT97] Nonaka I. et Takeuchi H. (1997), *La connaissance créatrice*, De Boeck Université, Bruxelles, p. 83.
- [No01] North C., Farooq U. et Akhter D. (2001), *Data Wear: Revealing Trends of Dynamic Data in Visualizations*, IEEE Symposium on Information Visualization, 22-23 Octobre 2001, San Diego, Californie.

- [Pe97] Perry M. (1997), *Distributed cognition and computer supported collaborative design : the organisation of work in construction engineering*, Thèse de doctorat, Université de Brunel, UK.
- [Pi90] Pinker S. (1990). *A theory of graph comprehension*. R. Freedle (Ed.) Artificial intelligence and the future of testing. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp.73-126.
- [Pr99] Preece J., Rogers Y., Sharp H., Benyon D., Holland S. et Carey T. (1999) *Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley, New York, USA, pp.3-27.
- [PP04] Prinz W., Pankoke-Babatz U., Gräther W., Gross T., Kolvenbach S. et Schäfer L. (2004), *Presenting Activity Information in an Inhabited Information Space*, in *Inhabited Information Spaces*, CSCW Series, Springer, London, pp.181-208.
- [Ra90] Rankin, R. (1990), *A taxonomy of graph types*. Information Design Journal, Vol. 6, N° 2, pp. 147-159.
- [Ra85] Rasmussen J. (1985), *The role of hierarchical knowledge representation in decision making and system management*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 15, Nr 2, pp. 234-243.
- [Rb01] Robert L. (2001), *Annotation et visualisation interactives de documents hypermédiés*, thèse de doctorat en informatique, défendue en juin 2001, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications.
- [Ro93] Roberston, G., Card S.K. et Mackinlay J.D. (1993). *Information visualization using 3D interactive animation*. Communication of the ACM, Vol. 36 N° 4, pp. 57-71.
- [Ro95] Rogers, E.M. (1995), *Diffusion of innovations*, 4ème Edition, The Free Press, New York, USA, pp. 5, 20.
- [Ro01] Rohall S. L., Gruen D., Moody P. et Kellerman S. (2001), *E-mail visualizations to aid communication*, IEEE Symposium on Information Visualization, 22-23 Octobre 2001, San Diego, Californie.
- [Sc00] Scott J. (2000), *Social Network Analysis, a handbook*, 2nd Edition, Sage Publications, pp. 9-10.
- [SW93] Schwartz M. F. et Wood D. C. M. (1993), *Discovering shared interests using graph analysis*, Communications of the ACM, Vol. 36 N° 28, pp. 78 - 89.
- [Sc01] Schwegler B. R., Fischer M. A., O'Connell M. J., Hänninen R. et Laitinen J. (2001), *Near-, Medium-, & Long-Term Benefits of Information Technology in Construction*, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, <http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP%20065.pdf>, Accédé le 17 Avril 2004.
- [Sh02] Shaaban S., Mc Kechnie J. et Lockley S. (2002), *Modelling the online information seeking patterns of construction industry professionals*, Proceedings of the 4th European Conference on Product and Process Modeling, 9-11 Septembre 2002, Portoroz, Slovénie, pp. 529-536.

- [Sh04] Shneiderman (2004), *Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies*, Adresse Internet: <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/index.shtml>, accédé le 6 mai 2004.
- [SM86] Smith, S. et Mosier, J. (1986). *Guidelines for designing user interface software*. Report ESD-TR-86-278. The MITRE Corporation, Bedford, MA, disponible à l'adresse Internet: <ftp://ftp.cis.ohio-state.edu/pub/hci/Guidelines/>.
- [Sh98] Shneiderman B. (1998), *Designing the User Interface*, 3ème Edition, International Edition, Addison Wesley, Reading, USA, pp. 510-541.
- [SP05] Shneiderman B. et Plaisant C. (2005), *Designing the User Interface*, 4ème Edition, International Edition, Addison Wesley, Boston, USA, pp. 580-590.
- [St00] Stroeken J. (2000), *Information Technology, Innovation and Supply Chain Structure*, International Journal of Technology Management, special issue on Technology Management in a Post-Fordist Environment, Vol. 20 N°1/2, pp. 156-175.
- [TM01] Thorpe T. et Mead S. (2001), *Project-Specific Web Sites: Friend or Foe?*, Journal of Construction Engineering and Management, September/October 2001, p.406.
- [TA98] Turban E., Aronson J.E. (1998), *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 4ème Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, USA, p. 227-265.
- [Tu01] Tufte, E.R. (2001), *The Visual Display of Quantitative Information*, 2ème Edition, Graphics Press, Cheshire, USA, p. 32.
- [US88] Umanath, N. et Scamell, R. (1988). *An experimental investigation of the impact of data display format on recall performance*. Communications of the ACM, Vol. 31, pp.562-570.
- [VR92] Vicente K.J. and Rasmussen J. (1992), *Ecological interface design: Theoretical foundations*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Vol. 22, Nr 4, pp. 589-606.
- [Wa03] Wakita A., Yoshida N., Miyazaki J., Chiyokura H. (2003), *Candytop: A Web3D Interface to Visualize Growth of Multimedia Documents*, Proceedings of the SIGGRAPH 2003 Conference on Web Graphics, San Diego California.
- [Wn02] Wang W., Haake J.M. et Rubart J. (2002), *A cooperative Visual Hypermedia Approach to Planning and Conducting Virtual Meetings*, Groupware: design, implementation and use, Lecture Notes in Computer Science Nr 2440, Springer, Berlin, pp. 70-89.
- [WF99] Wasserman S. et Faust K. (1999), *Social Network Analysis, Methods and Applications*, Cambridge University Press, édition de 1999 (première édition en 1994), pp. 6, 10, 28.
- [Wi98] Wiesenfeld B., Raghuram S. et Garud R. (1998), *Communication Patterns as Determinants of Organizational Identification in a Virtual Organization*, Journal of Computer-Mediated Communications, Vol. 3, N° 4.

