

Du crayon au stylo numérique : influences des IHM à stylo et des interprétations numériques sur l'activité graphique en tâches de conception

Stéphane Safin, Roland Juchmes, Pierre Leclercq

► **To cite this version:**

Stéphane Safin, Roland Juchmes, Pierre Leclercq. Du crayon au stylo numérique : influences des IHM à stylo et des interprétations numériques sur l'activité graphique en tâches de conception. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2011, 2 (1), pp.1-31. hal-01059058

HAL Id: hal-01059058

<https://hal.inria.fr/hal-01059058>

Submitted on 29 Aug 2014

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

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

Du crayon au stylo numérique : influences des IHM à stylo et des interprétations numériques sur l'activité graphique en tâches de conception

STEPHANE SAFIN

ROLAND JUCHMES

PIERRE LECLERCQ

LUCID-ULg – Lab for User Cognition and Innovative Design – Université de Liège

Résumé : Notre recherche s'inscrit dans le cadre du développement de logiciels de support à la conception basés sur le dessin à main levée dans le domaine de l'architecture. Dans cet article, nous étudions l'activité de duplication de dessins observée lors des changements de calques en phase d'esquisse préliminaire. Nous cherchons à identifier les impacts de deux environnements logiciels d'esquisses numériques, avec ou sans interprétation du dessin, sur cette activité ainsi que sur les productions graphiques. Nous observons six activités de conception, deux sur papier-crayon et quatre dans deux environnements numériques, et déduisons certaines conclusions opérationnelles pour le développement de logiciels destinés à supporter le croquis d'architecture en phase de conception préliminaire

Mots clés : Conception architecturale, esquisses numériques, interprétation de croquis.

Abstract: Our research is embedded in the framework of the development of free-hand drawing-based computer assisted architectural design environment. In this paper, we study the activity of drawings duplication, observed during the paper changes in the phase of preliminary sketching. We aim at identifying the impacts of two digital sketches environments, with or without drawings interpretation, on this activity and on the graphical productions. We observe six activities, two with paper-pencil and four distributed on our two prototypes, and draw some operational conclusions for the development of software designed to support the architectural sketches in the preliminary design stage.

Key words: Architectural design, digital sketches, sketches interpretation.

1. INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans un large contexte d'études d'usages pour le développement d'applications de conception assistée par ordinateur sur base d'esquisses. Ce type d'environnement pose un certain nombre de questions sur la manière dont les activités d'expression graphique sont modifiées par les atouts et limitations de tels systèmes. En effet, l'activité de pré-conception en architecture est caractérisée par une succession de croquis et d'esquisses qui, à mesure qu'elles se succèdent, permettent de préciser la pensée de l'architecte et l'objet de sa conception [Lebahar, 1983]. Malgré la prolifération des outils de CAO parfois très performants, l'esquisse papier-crayon, par la souplesse qu'elle autorise, reste le moyen privilégié d'expression dans ces phases préliminaires. Mais la transposition de l'esquisse papier en esquisse numérique pose légitimement la question de l'impact de cette numérisation des supports. En particulier, nous nous intéressons dans cet article aux modifications induites par un environnement d'esquisses numériques dans l'activité de remise au net de croquis, ainsi que sur les caractéristiques du croquis lui-même.

Cette étude comprend plusieurs objectifs :

- identifier l'impact d'un environnement numérique sur les caractéristiques graphiques des dessins d'architecture en phase préliminaire de conception ;
- identifier les modalités et fonctions de successions des esquisses, en adoptant une perspective dynamique ;
- identifier les comportements et activités cognitives de ce qui est appelé habituellement la « mise au net de dessins ».

Notre recherche prend comme point de départ un constat réalisé lors d'une étude préalable [Safin, Juchmes & Leclercq 2007] mettant en lumière une différenciation fonctionnelle et graphique entre des dessins « nets » et des dessins « de brouillon » dans les activités de conception architecturale. Alors que ces deux types de dessins ont été identifiés aussi bien dans un environnement numérique que sur papier-crayon, les modalités de leur construction n'ont pas été étudiées en détail. Notre objectif est d'avancer dans la compréhension de la dynamique de cette construction graphique afin d'orienter le développement de nouveaux outils basés sur l'esquisse (et notamment la re-conception de l'un de nos précédents prototypes).

Afin d'appréhender l'activité de mise au net de dessins et l'influence d'un environnement de dessin numérique sur cette activité, nous dressons dans un premier temps un court état de l'art sur les interfaces-esquisses, nous explorons ensuite la notion de transformation des croquis dans la littérature, puis adoptons une démarche empirique visant à identifier les influences des environnements de croquis numériques dans les activités visées. Enfin, nous interprétons nos observations au regard des possibilités et contraintes des systèmes technologiques, en vue de proposer des recommandations pour la conception et le développement de logiciels de support à la préconception architecturale sur base de croquis numériques.

2. CARACTERISTIQUES DES ESQUISSES ARCHITECTURALES

La réalisation d'un projet architectural comprend de nombreuses étapes, fait appel à différents acteurs et utilise des ressources et représentations variées [Prost 1992]. Lors des premières phases du projet, la plupart des concepteurs continuent d'utiliser l'esquisse

réalisée sur papier plutôt que les systèmes informatiques d'assistance au dessin [Bilda et Damakian 2002]. L'esquisse de conception à main levée présente en effet des caractéristiques graphiques bien adaptées aux activités créatives caractéristiques de ces premières étapes : rapidité d'exécution et expressivité graphique [Rogers, Green & McGrown 2000], abstraction et ambiguïté [MacCall, Ekaterini & Zabel 2001]. Graphiquement, elles sont composées de nombreux traits imprécis, parfois redondants, présentant peu de variétés (types, couleur, épaisseur etc.) À l'inverse, le dessin numérique réalisé à l'aide de logiciels courants de DAO (dessin assisté par ordinateur) se caractérise par une grande variété de traits, une grande précision et peu d'ambiguïté [Leclercq 2007, Leclercq & Elsen 2007]. Le dessin à main levée est en outre jugé moins fini et plus créatif que le dessin numérique [Brown 2003]. Peu d'études cependant nous renseignent sur les caractéristiques propres au croquis numérique, constituant l'objet de cette étude.

3. OUTILS D'INTERPRETATION D'ESQUISSES ARCHITECTURALES

De nombreux auteurs ont proposé des outils tentant d'exploiter les esquisses architecturales dans un environnement numérique. Nous distinguons trois approches.

- **Les environnements numériques basés sur l'analogie avec les outils traditionnels.** Ces environnements ne permettent pas une interprétation des esquisses, mais proposent une transposition dans un environnement informatique des outils traditionnellement utilisés en conception architecturale préliminaire: papier, crayons, gomme, feutres, calques etc. Ils peuvent donc être comparés aux logiciels de dessin utilisés par les graphistes. Nous pouvons par exemple citer « *translucent patches* » [Kramer 1994] qui est basé sur l'utilisation de la transparence et une métaphore du calque ou encore *Electronic Paper* [Aliakseu, Martens & Rauterberg 2006] qui est un système multimodal alliant geste et dessin pour supporter les activités de conception.
- **Les outils d'interprétation de croquis 2D en plan.** Ces outils analysent puis interprètent les dessins à main levée pour créer un modèle informatique du projet. *The Electronic Cocktail Napkin* [Gross 1994] par exemple interprète les diagrammes pour accéder à différentes applications comme la recherche en base de cas. *Structural Sketcher* [Pranovich, Achten & Wijk 2002] permet à l'architecte de développer son projet en 2D à partir « d'unités graphiques » du type grilles, contours, circulations etc. Ces systèmes présentent dans leur fonctionnement, de nombreux points communs avec les outils de prototypage rapide d'interface basés sur le dessin à main levée comme *SILK* [Landay 1996] ou *SketchiXML* [Coyette 2006]. *Sesame* [Oh 2006] combine une interprétation des croquis en plan avec des opérations de modélisation plus traditionnelles comme l'extrusion.
- **Les outils de modélisation 3D adaptés à la conception préliminaire en architecture.** Plusieurs auteurs ont développé des systèmes proposant une alternative aux logiciels de modélisation 3D basés sur le dessin à main levée. *Zelevnik* avec le système *SKETCH* [Zelevnik, Herndon & Hughes 1996] ou encore [Jatupoj 2005] avec *Sketchboard* proposent de créer des scènes 3D par commandes gestuelles au stylo. *SmartPaper* [Shesh 2004] combine gestes de commandes et interprétation de dessins en projection orthogonale. Différents auteurs proposent de reconstruire des volumes 3D à partir de dessins d'architecture en perspective, citons par exemple Huot [Huot, Dumas & Hégron 2003] ou [Chen 2008]. Hors du domaine de l'architecture, Teddy [Igarashi, Matsuoka & Tanaka 1999], *SmoothSketch* [Karpenko 2006] ou encore *ILoveSketch* [Bae 2008]

permettent quant à eux de modéliser des formes courbes à partir de traits esquissés dans un espace 3D.

Une quatrième catégorie qui pourrait être distinguée concerne **les outils de collaboration supportant le dessin à main levée**. De très nombreux systèmes disposent de fonctions de dessin en collaboration distante. Citons par exemple parmi beaucoup d'autres : Scriblink [<http://www.scriblink.com/>], Imagination Cubed [<http://www.imagination3.com/>], Sketchfu [<http://sketchfu.com/>] ou encore WhiteBoardMeeting pour Skype [<http://www.whiteboardmeeting.com/>]. Généralement les fonctions graphiques proposées par ces logiciels sont des services annexes à des systèmes de clavardage, audio ou visio-conférences. Ils n'autorisent actuellement pas la gestion de plusieurs documents superposés, l'exploitation de grandes surfaces de travail, les calques transparents ou encore l'import d'images- préexistantes. Ces logiciels sont dès lors peu adaptés à la complexité inhérente à l'activité de conception architecturale.

4. TRANSFORMATIONS DES ESQUISSES ARCHITECTURALES

Différents auteurs ont étudié la conception préliminaire, notamment en architecture, à travers la succession des représentations graphiques générées. Les esquisses à main levée, largement majoritaires à ce stade du projet, y sont étudiées comme les instantanés caractéristiques de l'évolution du processus de conception. Le processus peut alors être envisagé comme une succession des transformations entre les croquis. C'est l'étude de ces transformations qui nous renseigne sur les intentions du concepteur et sur les opérations cognitives mobilisées.

Goel [1995] analyse le processus de conception en définissant trois types de transformations entre les représentations : les transformations latérales (le dessin évolue d'une solution vers une solution légèrement différente), les transformations verticales (le dessin évolue d'une représentation vers une représentation plus détaillée de la même solution) et les duplications (le concepteur passe d'une représentation à une représentation équivalente).

En reprenant la caractérisation des transformations proposée par Goel, Rodgers, Green et McGown [2000] utilisent la notion de complexité comme mesure de l'évolution du projet. Les croquis sont qualifiés sur une échelle de complexité graphique allant de 1 (dessin au trait monochrome sans annotation ni ombrage) à 5 (nombreux traits, usage intensif des ombrages, annotations expliquant les choix de conception).

Neiman, Do et Gross [1999] utilisent l'analyse rétrospective pour étudier le rôle du raisonnement formel dans le processus de conception. Ils suivent ainsi l'évolution de certains objets architecturaux (colonne, escalier) parmi les différents croquis. Les transformations pistées sont d'ordre géométrique : translations, rotations, changements d'échelle, etc.

Visser [Visser 2006] précise les transformations de Goel et distingue cinq actions de transformations.

- Dupliquer : répliquer ou reformuler un dessin.
- Ajouter : ajouter de nouvelles informations au dessin ou modifier de manière limitée la représentation de base.
- Détailler : retravailler différentes parties d'une représentation en représentations plus détaillées.
- Concrétiser : reprendre une représentation de manière plus concrète.
- Modifier : remplacer par une représentation sans la détailler ni la concrétiser.

- Substituer : remplacer par une représentation alternative, ni plus détaillée ni concrétisée.
- Notre recherche participe à cette approche de caractérisation des transformations entre croquis successifs en se focalisant sur l'activité graphique plutôt que sur le contenu sémantique des dessins. Nous envisageons ainsi non seulement la succession des dessins, mais aussi la dynamique de cette succession. Pour ce faire, nous nous intéressons ici à une activité particulière, présente dans toutes nos observations, généralement qualifiée de « mise au net », consistant à reproduire un croquis de manière plus « soignée ». Nous recherchons les caractéristiques de cette activité et ses implications pour le développement d'un environnement supportant l'activité de conception basée sur le dessin d'esquisses.

5. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Compte tenu de la multiplication des dispositifs d'interfaces-croquis dans les métiers de la conception, de la diversité des points de vue sur l'interprétation de croquis en architecture et en vue de développer des prototypes de soutien à la préconception architecturale, il nous apparaît essentiel d'identifier les influences d'un environnement numérique sur l'activité de dessin. En particulier, nous adressons ici trois classes de questions.

1. Nous cherchons à savoir comment les caractéristiques intrinsèques du dessin à main levée sont modifiées lors de la transposition dans un environnement numérique. Les environnements informatiques de dessin permettent-ils la même richesse d'expression que les outils traditionnels ? Les contenus des croquis sont-ils fondamentalement différents dans ces environnements ? La façon dont les différents dessins sont répartis sur les supports – papiers réels ou feuilles virtuelles – est-elle dictée ou influencée par l'outil ?
2. Nous cherchons aussi à identifier l'influence du dispositif technologique sur le processus de pré-conception architecturale : en quoi l'environnement numérique transforme-t-il la façon dont l'activité de dessin est structurée ? En quoi l'utilisation de calques virtuels modifie-t-elle la succession des dessins et leur répartition ? L'interprétation automatique de croquis par un logiciel perturbe-t-il le déroulement de l'activité ? Le dialogue homme-machine induit-il des contraintes sur l'organisation de l'activité ?
3. Enfin, nous nous intéressons à l'activité de mise au net de dessins, caractéristique de la conception architecturale : nous nous posons la question des mécanismes sous-tendant le passage d'une représentation de brouillon vers un dessin net. En effet, alors que les deux types de dessins sont observables et comparables dans les environnements numériques de croquis et sur papier, les modalités de construction de ces dessins peuvent être très variables. La construction de dessins nets sur base de dessins de brouillon est-elle différente sur calques numériques et sur papier-crayon ? L'explicitation à un logiciel d'interprétation correspond-elle à la mise au net de versions du bâtiment pour soi-même ? En d'autres mots, l'approche logicielle change-t-elle radicalement la nature des dessins et de leur construction ou soutient-elle l'activité de mise au net telle que présente « naturellement » à l'étape du croquis ?

En particulier, nous cherchons aussi à distinguer les influences propres à l'environnement de croquis numérique de celles qui sont induites par la présence d'une interprétation des dessins par la machine.

6. METHODOLOGIE

6. 1. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Afin de répondre à ces questions, nous avons observé l'activité de six étudiants ingénieurs et architectes en fin de formation dans un exercice de conception architecturale simplifié mais réaliste, calibré pour une durée de quatre heures maximum. Il s'agit de la réalisation d'une école de 240 élèves en milieu rural, avec un certain nombre de contraintes strictes consignées dans un cahier des charges. Cet exercice, quoique assez éloigné de la complexité de la pratique architecturale, est néanmoins représentatif de l'activité de *conception architecturale*, c'est-à-dire la définition des concepts-clés, de la forme et du fonctionnement d'un bâtiment.

Afin d'identifier les impacts d'un environnement de croquis numériques ainsi que ceux de l'interprétation, les six participants ont été répartis dans trois conditions :

- dans un environnement « naturel », c'est-à-dire avec les outils traditionnels de dessins : papier, crayon, surligneurs, etc. ;
- dans un environnement d'esquisses numériques de type « palette graphique », sans interprétation logicielle (logiciel SketSha – voir section suivante) ;
- à l'aide d'un logiciel d'interprétation de croquis numérique d'architecture (logiciel EsQUIsE – voir section suivante).

Les deux dernières conditions ont pris place dans un environnement d'interaction au stylo de grande taille (Bureau Virtuel de conception). En outre, chacun des participants était autorisé à utiliser des règles, équerres et calculatrices. Afin de permettre aux observateurs de contextualiser les actions du concepteur, une procédure classique de *think aloud* a été mise en place. Il était explicitement demandé au concepteur d'exprimer tout haut le flot de sa pensée, spontanément et sans tenter de la structurer. Une procédure d'une demi-heure d'entraînement au *think aloud* et, le cas échéant, à l'utilisation des logiciels, a pris place la veille de l'expérience. Cet entraînement avait aussi pour but d'harmoniser les connaissances des sujets quant aux environnements utilisés.

Chacune des activités a été intégralement filmée en plusieurs vues, et analysée conjointement par un ergonomiste (pour les aspects cognitifs) et un architecte (pour les composantes métier). Le plan expérimental est présenté au tableau 1.

		INTERPRETATION LOGICIELLE	
		Sans	Avec
TYPE DE CROQUIS	Réel	Papier-crayon Participant 1 (P1) Participant 2 (P2)	///
	Numérique	logiciel SketSha Participant 3 (P3) Participant 4 (P4)	logiciel EsQUIsE Participant 5 (P5) Participant 6 (P6)

Tableau 1 : plan expérimental.

6. 2. OUTILS UTILISES

La première condition s'est effectuée à l'aide d'outils traditionnels (figure 1) : feuilles de papier, papier calques, crayons, surligneurs, stylos... Aucune consigne particulière n'était donnée aux participants quant aux outils, si ce n'est de circonscrire leur activité de dessin dans un espace déterminé par le champ de la caméra.

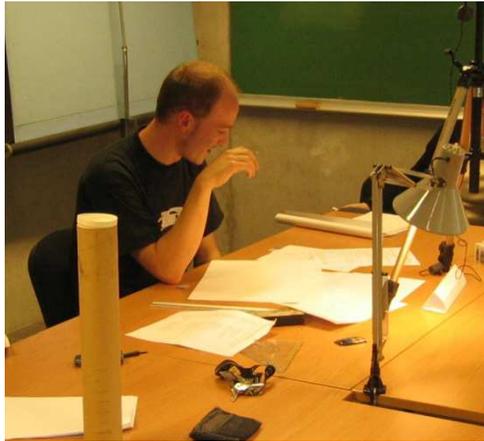


Figure 1 : environnement papier-crayon.

La deuxième condition (environnement numérique sans interprétation) s'est déroulée sur le logiciel SketSha (Sketch Sharing) qui est une palette de dessins partagée (figure 2), développée par le LUCID-ULg.

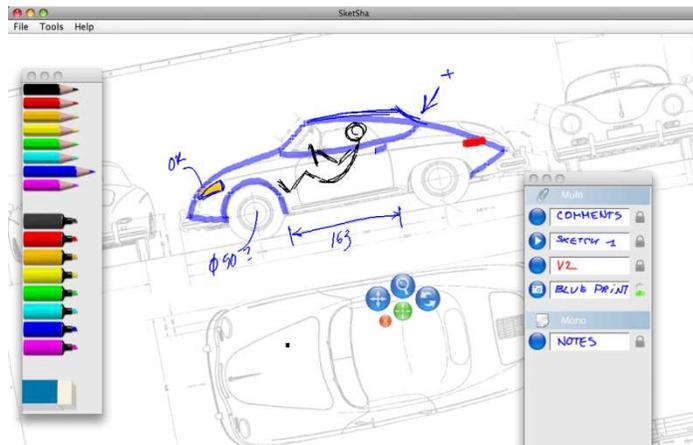


Figure 2 : interface du logiciel SketSha.

Le principe repose sur l'utilisation de plusieurs crayons et surligneurs virtuels dans un système de calques. L'utilisateur peut à sa convenance importer des fonds de plans, créer des calques semi-transparentes, les manipuler au stylo à l'aide d'un *widget* original, les dupliquer et gérer leur ordre de superposition. L'interface se veut la plus épurée possible. Ce logiciel est décrit plus en détails dans Safin, Delfosse & Leclercq (2010). Si l'intérêt premier de ce logiciel est qu'il permet la collaboration à distance via Internet, pour les besoins de

l'expérience, le logiciel a été utilisé en mode « standalone » c'est-à-dire en désactivant les fonctions de partage graphique distant.

La troisième condition (dessin numérique avec interprétation) a été effectuée sur le logiciel EsQUISE, aussi développé par le LUCID-ULg. Ce prototype de recherche, dont le développement est actuellement arrêté, permet à l'utilisateur architecte de dessiner et de recevoir des feedbacks en temps réel, basés sur l'interprétation sémantique de son croquis. Le logiciel EsQUISE est composé d'un module de saisie graphique et d'un module d'interprétation qui permettent de construire un modèle architectural du bâtiment destiné à alimenter une série d'évaluateurs, notamment une 3D en temps réel (figures 3 et 4).

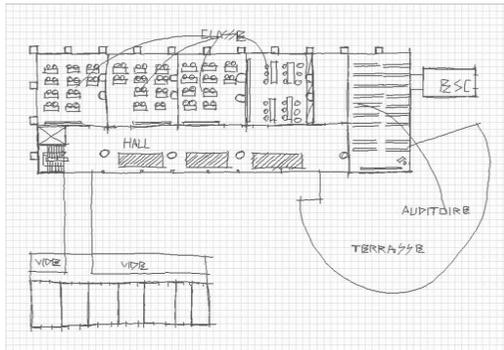


Figure 3. Dessin à main levée sur EsQUISE.

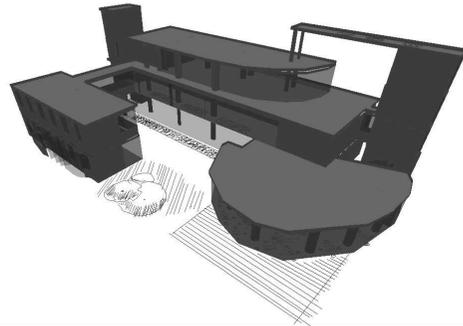


Figure 4 : Modèle 3D auto-généré par EsQUISE.

L'interface du logiciel (figure 5) est proche de celle de SketSha : une zone large (1) permet le dessin sur calques virtuels à l'aide d'une palette de crayons et d'une gomme numériques (2). Chaque calque est représenté par un onglet (3). L'utilisateur peut librement nommer ces onglets. Il peut aussi les agencer de manière simple (*drag and drop*) afin de gérer la superposition des calques virtuels dans le modèle. Il peut facilement créer, effacer ou dupliquer des calques grâce aux icônes d'édition (4). Des options de manipulation du calque (rotation, translation, zoom) sont disponibles dans la zone de manipulation (5) et la transparence des calques virtuels est paramétrable. Enfin, la zone des options (6) permet de passer d'un mode à l'autre (mode croquis, mode 3D, autres évaluateurs, préférences...). Le concepteur peut dessiner tout à fait librement sur les calques virtuels grâce aux stylos digitaux de différentes couleurs. Seuls les traits noirs sont interprétés par EsQUISE pour former le modèle du bâtiment, les autres couleurs servant aux dessins de réflexions et aux annotations. Les calques sont semi-transparentes et peuvent être facilement agencés les uns par rapport aux autres.

Notre propos ici n'est pas de détailler le fonctionnement d'EsQUISE, le développement de ce logiciel étant arrêté. Le lecteur intéressé pourra trouver l'information dans certaines de nos publications précédentes (pour le fonctionnement d'EsQUISE, voir [Juchmes, Leclercq & Azar 2004, 2005], pour l'interface, voir [Safin, Boulanger & Leclercq 2005, Safin *et al.* 2007]). Ce logiciel étant en cours de réécriture, l'objet de cette étude est de spécifier de nouveaux concepts innovants basés sur les observations issues de l'ancienne version.

En termes de support matériel, ces deux logiciels étaient installés sur le Bureau Virtuel de Conception (figure 6), également produit par le laboratoire LUCID-ULg

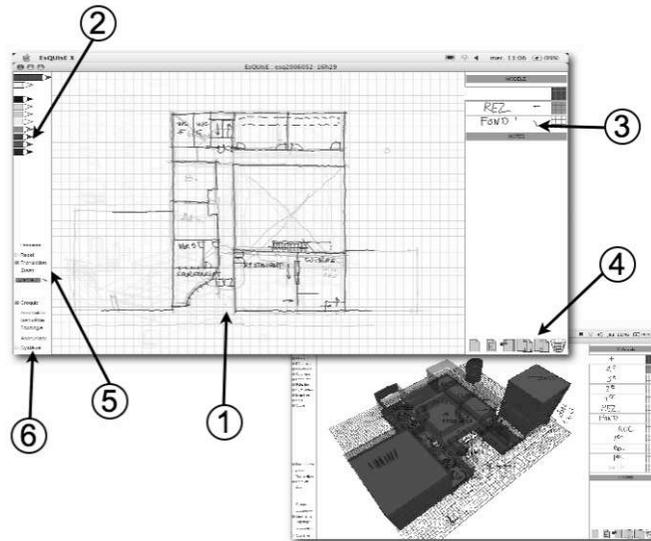


Figure 5. Interface EsQUISE en mode dessin (image principale) et en mode 3D (seconde image).

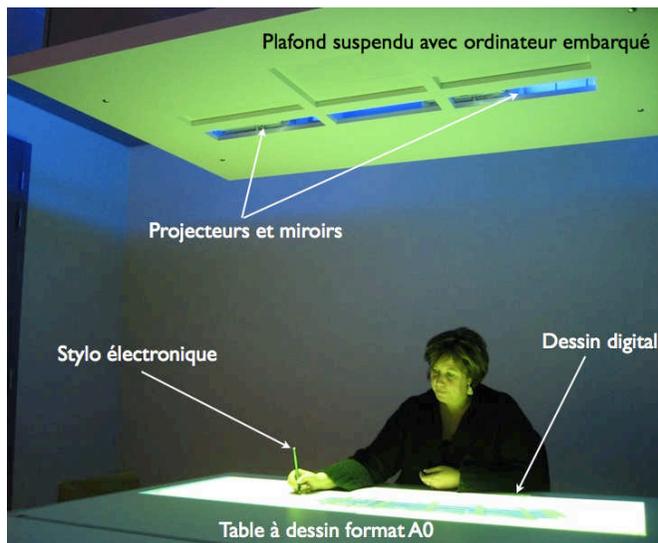


Figure 6 : Bureau Virtuel de Conception.

Ce dispositif se compose d'une table digitale de format A0 s'apparentant à une table à dessin traditionnelle, ainsi qu'un système de projecteurs et miroirs installés dans un plafond suspendu. L'interaction s'effectue à l'aide d'un stylo à solénoïde qui, par son poids et sa forme, s'approche d'un stylo classique. Ce dispositif se veut dans la mouvance de l'ordinateur invisible (Norman, 1998): grâce à ses caractéristiques proches

d'environnements naturels de travail, l'environnement informatique s'efface de la conscience de l'utilisateur pour qu'il puisse se concentrer sur sa tâche.

EsQUISE a des points communs avec les trois premières catégories de logiciels d'interprétation d'esquisses telles qu'identifiées dans la section 3 :

- il utilise une analogie avec un carnet de croquis : l'utilisateur peut dessiner avec différents outils numériques (crayons virtuels de différentes couleurs) sur des calques virtuels et gérer la superposition et la transparence de ces feuillets virtuels,
- il réalise une interprétation d'esquisses en plan annotées à main levée,
- il permet la construction en temps réel de la maquette virtuelle du bâtiment et la navigation dans le modèle 3D généré par le système.

Ce logiciel se positionne ainsi volontairement dans la phase amont du processus de conception.

Par rapport aux mêmes catégories de logiciels d'esquisses identifiées dans la section 3, SketSha possède des points communs avec deux catégories : d'une part il se situe résolument dans la catégorie des outils de collaboration sur base de croquis et d'autre part, comme EsQUISE, Sketsha utilise l'analogie avec des outils traditionnels, notamment les calques, crayons, surligneurs, etc. Le tableau 2 reprend les principales différences entre les trois environnements.

	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Environnement	Table normale	Bureau Virtuel (table électronique)	Bureau Virtuel (table électronique)
Logiciel	///	SketSha	EsQUISE
Outils	Feutres, stylos, règles, équerres,	Stylo électronique, règle	Stylo électronique, règle
Feuilles	Papiers, papiers-calques	Calques virtuels	Calques virtuels
Interprétation des traits	Non	Non	Oui
Dessin	Libre	Libre	Interprété (couleur noire), libre (autres couleurs)

Tableau 2 : Comparaison des trois environnements

6. 3. GRILLES D'ANALYSES

Les analyses des vidéos des six activités de conception ont porté sur trois volets.

1. D'une part l'analyse des caractéristiques graphiques des dessins. Sur base des productions finales des participants (calques réels ou virtuels), nous avons analysé les propriétés des dessins : nombre de traits, variété, épaisseur, précision...
2. Pour comprendre le processus dans sa dynamique temporelle, nous avons observé l'utilisation des supports de dessins (papiers, papiers-calque et calques virtuels). Partant du principe que les changements de supports ne sont pas anodins en conception, puisqu'ils servent de base aux successions et transformations de dessins, nous avons établi des lignes du temps de l'utilisation de ces différents supports afin d'observer visuellement l'émergence d'une structure dans l'activité de dessin, liée à l'outil. Ainsi, à chaque moment, nous identifions sur quel calque travaille le concepteur et reportons cela

dans des lignes du temps, arrondi à la minute. Sur ces lignes du temps, nous avons identifié des phases d'activité temporellement circonscrites.

- Enfin, sur base de cette compréhension temporelle, nous avons sélectionné des moments particuliers de la conception qui sont caractéristiques de l'activité de mise au net, en l'occurrence les moments de création d'un nouveau calque pour le papier-crayon et SketSha, et les phases de travail multi-calques dans EsQUIsE (voir plus loin). Nous avons cherché à comprendre la dynamique du processus de transformation des dessins. Pour ce faire, les extraits vidéo des moments concernés ont été analysés en détail par un ergonome et un architecte. L'objectif est de comprendre le déroulement de ces moments de transformation de l'esquisse du point de vue cognitif mais aussi sémantique et architectural. L'analyse, qui se veut qualitative et exploratoire, vise à définir des concepts d'interaction pour la définition d'interfaces graphiques.

A noter que nous adoptons une démarche qualitative, basée sur une compréhension fine de l'activité.

7. RESULTATS : LES DIFFERENTS TYPES DE REPRESENTATIONS`

7.1. COMPARATIF DES CROQUIS DANS LES DIFFERENTS ENVIRONNEMENTS

Les croquis observés dans les trois dispositifs expérimentaux présentent des caractéristiques graphiques sensiblement différentes. Nous synthétisons ci-dessous les principales caractéristiques des tracés en fonction de l'environnement de travail dans lequel ils ont été réalisés.

7.2. CROQUIS SUR PAPIER-CRAYON

L'activité de dessin à l'aide des outils traditionnels papier-crayon est caractérisée par la production d'une succession d'esquisses ambiguës et imprécises, dites de « brouillon » (figure 7). Ces croquis, dessinés exclusivement au crayon, possèdent toutes les caractéristiques des esquisses de conception décrites dans la littérature (« thinking sketches » pour Van der Lugt (2005) ou « croquis synthétique » pour Leclercq & Elsen (2007)) : peu de variabilité et peu de précision dans les traits, incomplétude du dessin, accumulation de traits, vitesse du tracé, coexistences de plusieurs solutions et présence de nombreuses annotations annexes (cotations, notes, calculs...).

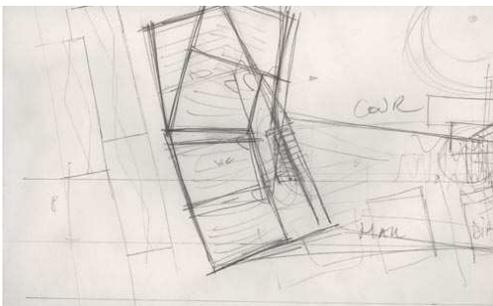


Figure 7 : Esquisse brouillon de P2.

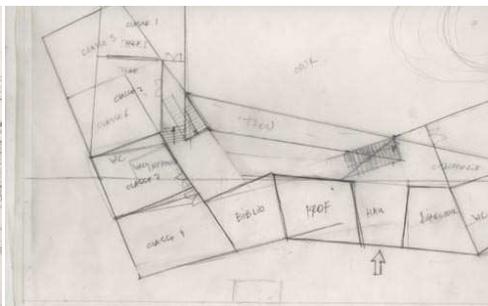


Figure 8 : Esquisse nette de P2.

Ces esquisses de brouillon sont régulièrement « mises au net » - soit sur un autre calque, soit à même le dessin. A ces moments, le dessin se différencie (figure 8) : les traits ne sont plus accumulés (un trait représente une paroi) et il n'existe plus qu'une solution. Les annotations sont rares et servent uniquement à nommer les espaces. Ces mises au net sont effectuées à l'aide de traits épais de crayons ou au surligneur.

Ces dessins de brouillon et nets, déjà identifiés dans une étude précédente (Safin *et al.*, 2007), sont imbriqués les uns aux autres : les dessins de brouillon fournissent une base aux dessins nets, qui deviennent à leur tour des dessins de brouillon au fur et à mesure des recherches formelles et conceptuelles.

7.3. CROQUIS SUR SKETCHA

Sur Sketsha, on observe les mêmes caractéristiques de croquis que dans l'activité papier-crayon. Les deux activités débutent par la production de dessins ambigus et conceptuels (figure 9), voyant s'accumuler de nombreux traits imprécis de couleurs différentes. On observe aussi la présence d'annotations. Au fur et à mesure du déroulement de l'activité, les dessins se font de plus en plus « propres » (figure 10). Peu à peu, le rôle des traits se précise, ils correspondent maintenant clairement à la trace des murs, dans le plan. L'esquisse de simulation laisse progressivement place à une esquisse descriptive du bâtiment et de ses différents espaces. La transparence paramétrable des calques est beaucoup utilisée par le concepteur pour faire coexister ses esquisses. Ainsi, il peut mettre au net ses dessins sur d'autres calques, mais sur le dessin précédent (en paramétrant le calque comme complètement transparent), puis opacifier son calque pour ne voir apparaître que les dessins mis au net.

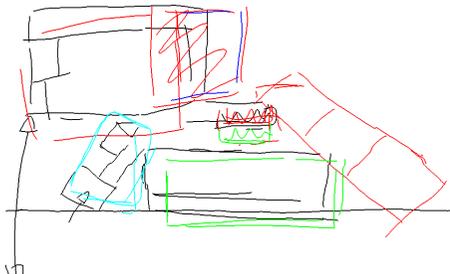


Figure 9 : Esquisse brouillon de P3
(dans les premières étapes)

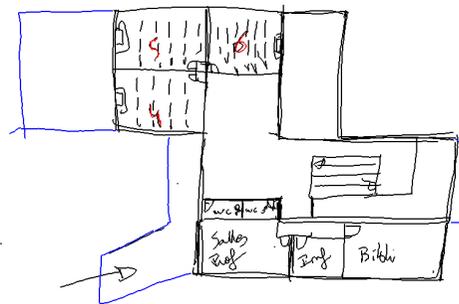


Figure 10 : Esquisse nette de P3
(à la fin du processus)

Au niveau des caractéristiques graphiques des dessins, on remarque quelques différences avec le papier-crayon, induites par l'environnement de conception. D'une part, le dispositif technologique ne permet que deux types de traits (surligneurs ou stylos virtuels). Le nombre total de traits est par conséquent limité, car la multiplication des traits à un même endroit ne modifie pas la saturation des couleurs ni le contraste du trait. D'autre part, pour tirer profit du large espace de travail et compte tenu de l'épaisseur des traits sur l'environnement numérique, l'échelle du dessin est agrandie.

7. 4. CROQUIS SUR ESQUISE

Comme pour le papier-crayon, deux types de dessins coexistent. (1) Des dessins de brouillon (figure 11), dessinés exclusivement en couleurs (c'est-à-dire non interprétés par le logiciel) comprenant de nombreux traits, souvent imprécis, se superposant et rarement effacés. De nombreuses solutions et concepts coexistent. De nombreuses annotations et dessins de détails sont présents sur ces dessins. (2) Des esquisses « propres » et mises au net (figure 12), comparables aux dessins nets présents sur papier-crayon : les traits sont plus droits et plus précis que sur les dessins de brouillon, chaque trait représente une paroi et chaque paroi est représentée uniquement par un trait. Ces dessins sont tracés exclusivement en noir (seule couleur interprétée par le logiciel) et le concepteur utilise fréquemment la gomme digitale. A noter qu'en fin de conception, certains de ces dessins nets sont annotés avec des éléments de couleur : aménagements intérieurs, légendes, etc...

Si les dessins sont comparables à ceux observés dans les autres activités, ils se différencient nettement des autres par leur localisation. En effet, on observe très clairement dans les deux activités sur EsQUISE une spécialisation des calques : les dessins nets et de brouillon sont tracés sur des calques différents, et ne coexistent jamais, comme c'était le cas dans les autres activités. Cette observation est très clairement liée aux propriétés du système : le logiciel, pour fournir au concepteur un modèle 3D cohérent, doit se baser sur des dessins moins ambigus que les esquisses de brouillon. C'est ainsi que tous les traits effectués en noir (seule couleur interprétée par le logiciel) doivent être nets. Or, pour faciliter cette différenciation, il semblerait que les deux concepteurs mettent en place une stratégie de distinction spatiale : il est plus clair pour eux de séparer les esquisses interprétées de celles qui ne doivent pas l'être en les dessinant sur des supports bien distincts.

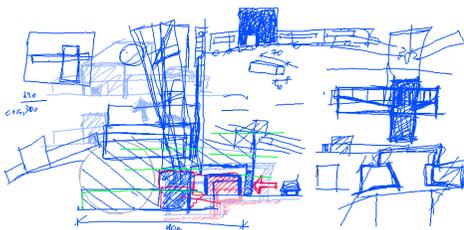


Figure 11 : Esquisse numérique brouillon de P5

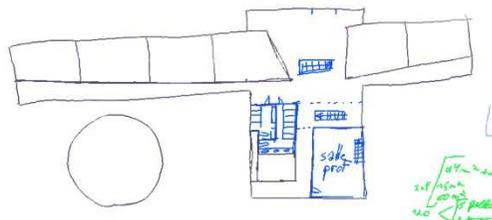


Figure 12 : Esquisse numérique nette de P5

7. 5. COMPARAISONS

Au point de vue strictement graphique, les dessins observés dans les trois environnements de travail possèdent des points communs et des différences

- L'échelle : les dessins réalisés sur environnement numérique sont plus grands que ceux dessinés sur papier. Cela s'explique par la taille de l'espace de travail – le Bureau Virtuel proposant une surface proche du format A0 alors que les papiers-calque ne sont pas plus grands que le format A3 – et par les caractéristiques des traits – leur épaisseur est fixée à 2 pixels sur l'environnement numérique, taille beaucoup plus importante que la pointe d'un stylo-bille ou d'un crayon bien taillé, et il n'existe que deux types de traits

(surligneurs ou stylos) alors que le dessin sur papier permet une large palette de subtilités dans le trait (fonction de la pression, de l'inclinaison et du type de crayon). Ainsi, pour pouvoir avoir des dessins comparables, les participants sont dans la nécessité de compenser par une taille supérieure.

- Le nombre de traits : Les dessins sur papier-crayon sont caractérisés par un nombre plus important de traits coexistant sur un même dessin que sur environnement numérique. Cela s'explique aisément par deux raisons : d'une part, comme pour le point précédent, le manque de variabilité du trait rend inutile la superposition de nombreux traits (si deux traits sont parfaitement repassés, il n'en apparaît qu'un seul alors que sur papier-crayon, le trait d'origine devient un peu plus foncé) et, d'autre part, l'utilisation du système de grande taille (Bureau Virtuel) rend sans doute le geste de dessin un peu plus compliqué, incitant l'utilisateur à économiser les traits superflus.
- La quantité d'informations : malgré ces différences importantes des dessins, il s'avère que la quantité d'informations présentes sur les esquisses est relativement similaire dans les différents dispositifs. Ainsi, les esquisses numériques qui sont manifestement moins « chargées » puisqu'elles sont plus grandes, contiennent les mêmes informations (identification des espaces, taille des murs, annotations, aménagements, etc.) que les croquis papier.

En outre, tous les participants arrivent au même stade de définition du bâtiment à l'issue de l'activité et tous les résultats sont jugés équivalents en termes de qualité et de quantité d'information. Il n'est dès lors pas possible d'identifier un réel effet de l'environnement numérique sur la qualité du travail.

Dans les activités sur papier virtuel avec interprétation, une différenciation entre calques contenant des dessins « brouillons » et « nets » est apparue. Dans les activités papier-crayon et sur le logiciel sans interprétation, chacun des calques contient conjointement des dessins de brouillon et des dessins au net. Ceci nous a amené à confirmer la présence de deux types d'esquisses utilisées dans la phase conceptuelle de la conception (que nous avons déjà identifiées dans [Safin *et al.* 2007] :

- **L'esquisse de simulation.** Il s'agit de dessins « de brouillon » caractérisés par un haut degré d'ambiguïté et de personnalisation et par une multiplication des solutions graphiques au problème architectural, qui rendent ardue voire impossible leur communication à autrui. Dans EsQUISE, nous avons constaté que les architectes réalisent ces esquisses de simulation exclusivement en couleur et sur des calques dédiés afin d'éviter leur reconnaissance par le logiciel qui se traduirait par des incohérences dans l'interprétation.
- **L'esquisse synthétique.** Elle est issue d'activités régulières de mises au net. Le dessin est moins ambigu et plus conventionnel que les précédentes. Chaque frontière (mur, paroi vitrée...) est représentée par un trait unique et ces frontières servent à circonscrire des espaces différenciés et donc à arrêter un agencement spatial particulier. L'esquisse synthétique est en grande partie interprétable par un autre architecte. Dans EsQUISE, ces esquisses n'apparaissent que sur des calques au net et sont dessinées en noir.

Au point de vue de la succession des dessins, on peut décrire les processus de la façon suivante

- Dans les activités sur outils traditionnels, on observe des itérations entre esquisses de simulation et d'esquisses synthétiques : les concepteurs dessinent des croquis de

brouillon, qu'ils mettent au net, avant de les réutiliser eux-mêmes comme brouillons, qui seront à leur tour mis au net, etc.

- Dans les activités de croquis numérique sans interprétation, on voit évoluer globalement les représentations d'esquisses de simulation vers des esquisses synthétiques. Ainsi, les dessins de brouillon sont, au fur et à mesure du déroulement de l'activité, remplacés par des dessins nets.
- Dans les activités de croquis numérique avec interprétation, les deux types de dessins coexistent : les esquisses de simulation sont présentes sur certains calques et les esquisses synthétiques sur d'autres. Les concepteurs travaillent tour à tour sur une seule de ces catégories d'esquisses.

8. RESULTATS : UTILISATION DES CALQUES ET SUPPORTS

Les activités observées ont donné lieu à la définition de lignes du temps de l'utilisation des différents supports (calques, papiers...). Ces lignes du temps nous permettent d'appréhender le processus de conception dans son ensemble. Et d'en identifier des phases et des structures récurrentes. En ordonnée sont listés les différents supports (feuilles, calques et calques virtuels) et en abscisse le temps, arrondi à la minute.

Dans cette section nous montrons et expliquons les six lignes du temps correspondant à l'activité de conception des six participants.

8. 1. UTILISATION DES CALQUES SUR PAPIER-CRAYON

L'utilisation des calques lors des deux activités ayant pris place dans l'environnement traditionnel papier-crayon peut être représenté comme suit :

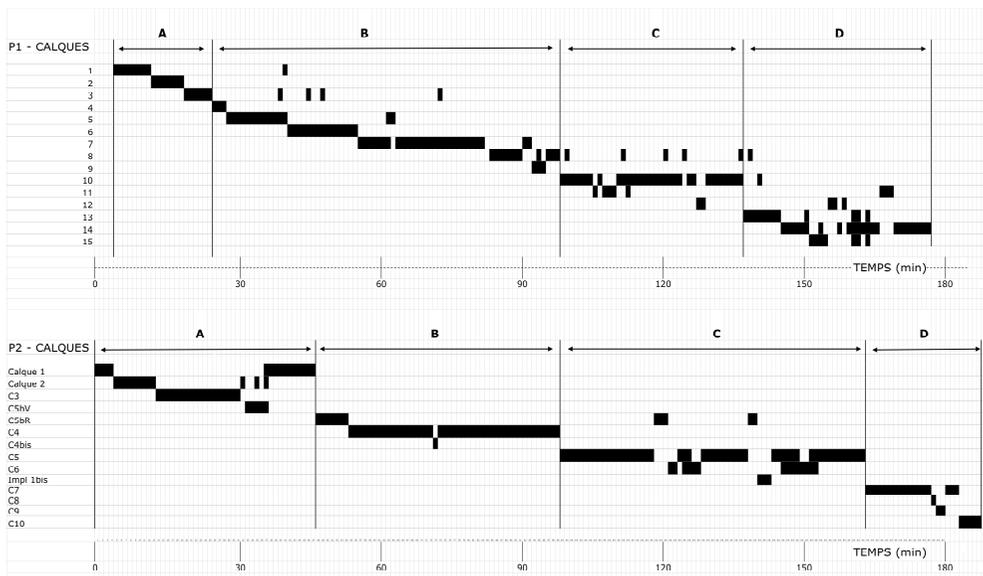


Figure 13 : ligne du temps de l'emploi des calques lors des activités des participants sur papier-crayon (P1 et P2).

Ces activités sont relativement semblables : de nombreux calques sont utilisés et l'approche est « en escalier », c'est-à-dire que les calques sont rarement réutilisés. On peut identifier plusieurs phases, qui sont semblables pour les deux participants :

- Une phase d'exploration conceptuelle (phase A pour P1 et P2) consistant à poser les premières bases, à restructurer les données de l'énoncé, à imaginer une première forme du bâtiment dans son ensemble et à définir l'emprise au sol du bâtiment.
- Une phase de travail sur le rez-de-chaussée (phase B), consistant à résoudre l'essentiel des problèmes relatifs au rez-de-chaussée, d'en aménager précisément l'intérieur.
- Une phase de travail sur les étages (phase C), consistant à définir, en fonction des contraintes liées au rez-de-chaussée, les éléments architecturaux des étages. Cette phase comprend quelques retours en arrière sur le rez-de-chaussée afin de coordonner les différentes contraintes.
- Une résolution des problèmes finaux. Il s'agit, sur base des éléments précédents, de finaliser le bâtiment : aménagement intérieur et extérieur, éventuellement dessins de coupes ou perspectives.

Entre ces phases les calques sont peu ou pas réutilisés. Dans les premières phases, les concepteurs se concentrent sur un unique calque et un unique dessin, tandis que dans les deux dernières phases, ils travaillent sur plusieurs calques en parallèle. En effet, en fin de processus, il est nécessaire d'évaluer correctement l'impact de décisions relatives à une partie du bâtiment sur les autres parties de ce même bâtiment.

Les changements de calques correspondent au démarrage d'un nouveau dessin. On peut identifier plusieurs types d'activités lors d'un changement de calque :

- un nouveau dessin est créé à partir de rien ;
- un dessin précédent est recopié dans son intégralité avant de servir de base à un autre ;
- un dessin est partiellement recopié pour servir de base à un autre ;

Les deux derniers types peuvent être qualifiés de mise au net de dessin : le concepteur transforme ses dessins de brouillon en dessins au net. Une fois un dessin mis au net, il n'est plus modifié, même s'il est parfois consulté. Cette mise au net peut s'effectuer en se basant sur la transparence des calques ou en repartant d'une feuille blanche.

8. 2. UTILISATION DES CALQUES SUR SKETSHA

L'utilisation des calques lors des deux activités ayant pris place dans l'environnement numérique sans interprétation (logiciel SketSha) peut être représenté comme suit (figure 14). Les deux activités sont aussi tout à fait comparables. On retrouve les mêmes phases que sur papier-crayon : exploration (phase A), conception du rez (phase B), conception des étages (phase C) et finitions (phase D). Ici aussi les calques sont peu réutilisés entre les phases. Par contre, il y a beaucoup moins de calques : 5 et 7 sur SketSha contre 14 et 15 sur papier-crayon. La transparence des calques virtuels est régulièrement adaptée pour afficher plusieurs dessins simultanément. Lors des changements de calque, on voit aussi les mécanismes de mise au net. Les calques, une fois mis de côté, ne sont plus modifiés. Cependant, si les calques ne sont pas modifiés régulièrement, ils sont par contre utilisés comme support au plan en cours de modification, voire comme complément au dessin (en réglant les calques comme entièrement transparents). Enfin, à quelques rares exceptions

près, les calques sont modifiés individuellement, les concepteurs travaillant rarement en parallèle sur plusieurs calques.

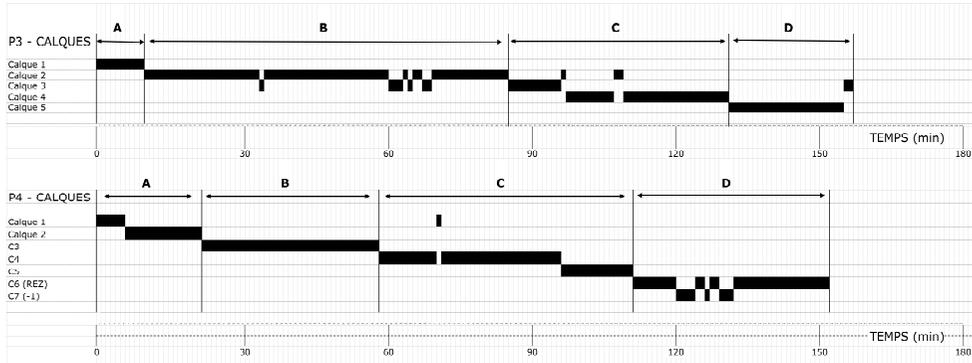


Figure 14 : Ligne du temps de l’emploi des calques lors des activités des participants sur SketSha (P3 et P4)

Comme évoqué précédemment, les dessins évoluent de représentations de brouillon vers des représentations synthétiques dans un mouvement global. Chaque esquisse précise le concept et est de plus en plus « propre ». En outre, les activités sur SketSha sont globalement moins longues que sur les deux autres environnements.

8.3. UTILISATION DES CALQUES SUR ESQUISSE

L’utilisation des calques lors des deux activités ayant pris place dans l’environnement numérique avec interprétation (logiciel EsQUIsE) peut être représenté comme suit :

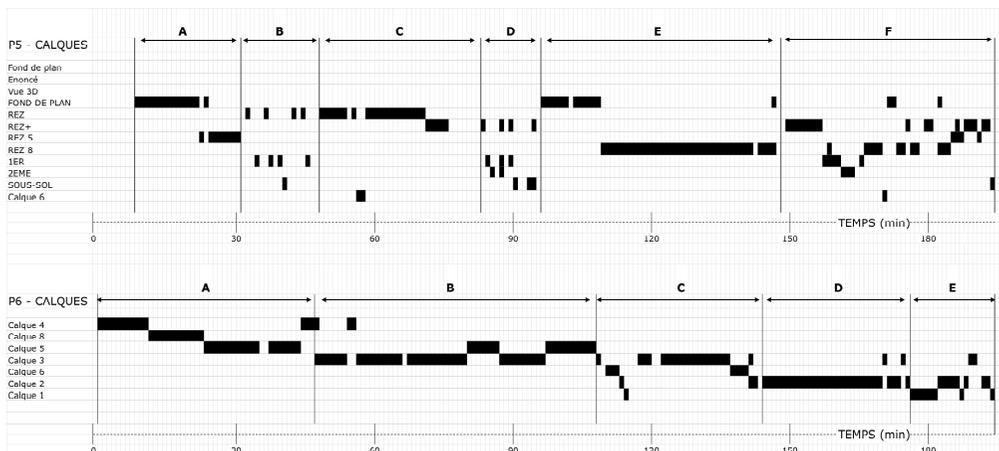


Figure 15 : Ligne du temps de l’emploi des calques lors des activités des participants sur EsQUIsE (P5 et P6)

Sur EsQUIsE, la structure est manifestement différente de celle observée dans les deux autres environnements. Ici, outre la phase d'analyse présente aussi dans les deux activités (phases A), on voit apparaître deux types de phases très différenciées :

- des phases de travail mono-calque durant lesquelles le concepteur travaille principalement sur un calque (ou alterne de longues séances de travail sur deux calques) : phases C et E pour P5 et phases B et D pour P6 ;
- des phases de travail multi-calques durant lesquelles le concepteur travaille sur plusieurs calques en même temps, en passant d'un à l'autre très rapidement : phases B, D et F pour P5 et phases C et E pour P6.

Lors des premières, le concepteur travaille exclusivement sur des calques de brouillon, tandis que dans les phases multi-calques, il modifie l'ensemble de ses calques « nets ». Ainsi, l'activité de mise au net de dessins n'est plus ici une composante du dessin, mais bien une phase à part entière. La mise au net de tous les dessins est effectuée à des étapes-clés. C'est lors de ces étapes de mise au net, et uniquement lors de celles-ci, que le modèle 3D auto-généré est appelé, consulté et manipulé.

Cette structure s'explique par les modalités du dialogue homme-machine : pour bénéficier d'un modèle 3D propre et cohérent, le concepteur doit disposer de l'ensemble de son bâtiment interprété, c'est-à-dire que tous les étages doivent être dessinés au trait noir, et de manière peu ambiguë. Ainsi, il met au net tous ses calques au moment où il souhaite visualiser l'interprétation de son bâtiment par le logiciel.

Ici aussi on retrouve un nombre de calques proches de celui observé dans l'environnement numérique sans interprétation : 9 pour P5 et 7 pour P6.

8. 4. COMPARATIFS

Les différentes lignes du temps et les descriptions du processus montrent clairement des différences entre les trois environnements. On peut synthétiser les processus de la façon suivante (figure 16)

Plusieurs éléments permettent de distinguer les trois processus.

- Le nombre de calques. On observe l'utilisation de moins de calques dans les environnements numériques. Par contre cette réduction du nombre de calques s'accompagne de la coexistence de plusieurs dessins sur un même support. Plusieurs facteurs participent à cette différence de comportements : la dimension des calques n'est pas limitée (on n'est donc jamais obligé de changer de support par manque de place) et la transparence des calques est à tout moment modulable, ce qui permet de voir dynamiquement même les traits les plus fins des supports inférieurs ou, au contraire, de travailler sur un support opaque.
- La non réutilisation des calques. Sur papier ou avec le logiciel SketSha, nous observons un graphe « en escalier » qui témoigne du fait que le concepteur ne revient pas sur les calques précédents. Sur EsQUIsE, on observe le même phénomène en ce qui concerne les calques de brouillon mais les calques nets, destinés à l'interprétation 3D, sont réutilisés. Il existe de nombreuses représentations plus ou moins abstraites ou abouties du bâtiment mais le concepteur ne manipule qu'un seul *modèle* de son projet.

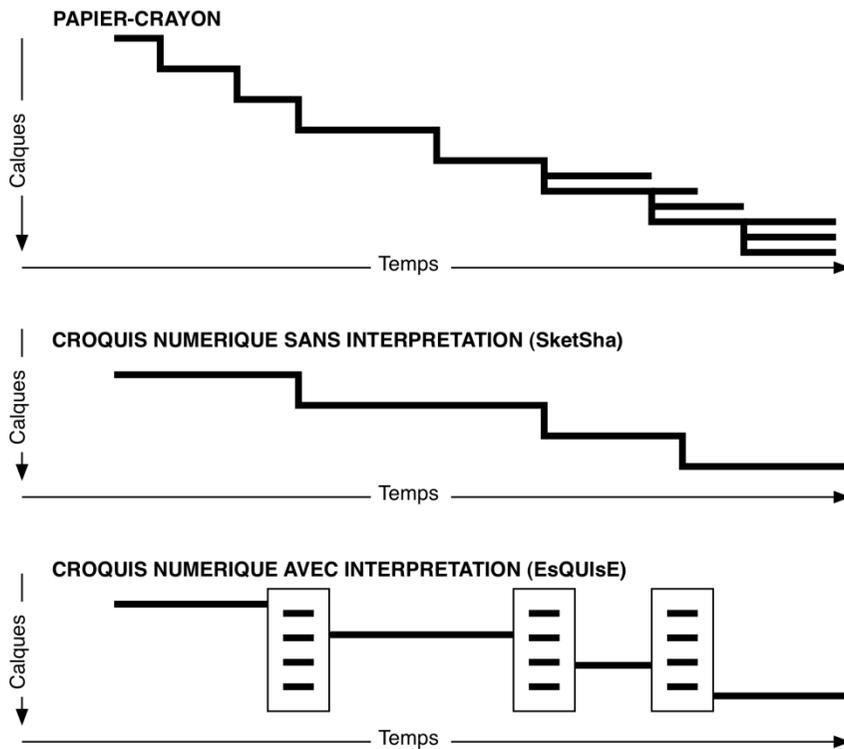


Figure 16 : Comparaison des processus schématiques dans les trois environnements.

- La différenciation des calques. Lors du travail sur papier, un croquis réalisé au net sert de base à la poursuite de la simulation et devient donc de ce fait un croquis de brouillon. Ce brouillon sera à son tour remis au net sur le même support ou lors d'un changement de calque et le processus recommencera. On observe donc une coexistence de croquis de brouillon et de croquis nets sur le même support. EsQUIsE, au contraire, favorise la différenciation de ces deux types de représentations : d'une part des calques brouillons et d'autre part des calques nets.
- Utilisation d'un calque à la fois. Malgré une réflexion approfondie sur la notion de calque numérique et sur l'ergonomie de leur manipulation, l'environnement numérique n'offre pas la même souplesse que les feuilles de papier. Par exemple, il n'est pas possible actuellement de disposer côte à côte deux documents. Ainsi, plutôt que de manipuler régulièrement les onglets des calques pour en changer, le concepteur préfère ne travailler que sur un seul calque à la fois pour concevoir, et utilise intensément la transparence.
- Structure du travail due à l'interprétation. Lors du dessin avec le logiciel EsQUIsE, on observe des phases très caractéristiques de travail sur plusieurs calques à la fois. Elles correspondent à la transcription des idées issues des esquisses de simulation pour l'interprétation par le système et la génération du modèle 3D.

9. RESULTAT : PROCESSUS DE MISE AU NET

Dans cette section, nous nous intéressons aux activités cognitives sous-tendant le processus de mise au net, considéré ici comme l'activité visant à transformer une esquisse de brouillon en dessin net. La dynamique de cette activité diffère suivant les trois environnements.

9. 1. MISE AU NET SUR PAPIER-CRAYON

Dans les activités sur papier-crayon, nous observons différents mécanismes et fonctions de la remise au net.

1. Choisir un tracé. Sur le dessin de brouillon (figure 1), les éléments architecturaux sont fréquemment délimités par plusieurs traits, plus ou moins superposés, plutôt que par des contours simples. Lors de la mise au net, ces traits sont remplacés par un tracé unique, généralement plus épais (voir figure 2). De cette opération découle donc une simplification du dessin et une réduction du flou graphique. Cela consiste à remplacer un groupe de traits par un seul. Mais nous observons qu'il ne s'agit pas uniquement de retracer la solution la plus saillante. Il s'agit surtout de poser un choix conscient : sélectionner une seule position pour un objet quand le dessin de brouillon en présentait plusieurs. Ce choix n'engage cependant pas le concepteur pour l'entièreté du processus : le dessin remis au net pourra de nouveau devenir brouillon et ces choix pourront être remis en cause. Cependant la mise au net aura permis de figer certains éléments, de donner un contexte provisoire à l'activité de conception.

2. Dessiner à la règle. Le dessinateur abandonne le dessin à main levée préférant utiliser une règle pour tracer des segments de droite. Il s'agit donc ici aussi d'un mécanisme de réduction du flou et de l'imprécision du tracé. Le trait se rapproche de la projection de l'objet architectural qu'il figure (par exemple le mur).

3. Préciser les mesures. Le concepteur affecte une mesure précise aux traits lors de la remise au net. Il ne s'agit pourtant pas d'une action de conception mais d'une mesure de vérification. Le dessin de brouillon découlait déjà d'une réflexion sur les dimensions mais le flou et l'imprécision de cette représentation ne permettaient pas de contrôler les contraintes géométriques liées au programme architectural. La réduction du flou graphique s'accompagne d'une réduction de l'imprécision et souvent d'une vérification fonctionnelle des dimensions.

4. Expliciter le fonctionnement. La mise au net s'accompagne aussi d'ajout de légendes permettant de situer les locaux. De plus, on observe l'ajout d'informations : représentation du mobilier, position des portes, annotations etc. La vitesse d'exécution de cette tâche, quasi automatique, nous laisse croire qu'il s'agit d'une opération d'explicitation (réduction de l'ambiguïté) plutôt qu'une opération de conception. L'aménagement intérieur n'est pas conçu à ce stade, le dessin du mobilier permet simplement de donner des indications sur le fonctionnement du bâtiment.

5. Utiliser la gomme. Les concepteurs utilisent parfois la gomme sur le dessin au net, ce qui n'est pas le cas pour les dessins de brouillon. Pour ces derniers, ils laissent coexister des traits de toutes sortes et des solutions multiples. La correction se fait par incrémentation du croquis.

6. Surligner. Un des deux participants surligne à plusieurs reprises à l'aide d'un marqueur épais les traits de certains locaux. Un local dont le contour est surligné est temporairement « gelé » : le concepteur n'y travaillera plus avant un certain temps. Ce surlignage n'est pas précis (trait épais et tracé à main levée) mais concerne toujours des éléments issus d'une mise au net précédente.

Ces six éléments montrent que la remise au net fait évoluer le dessin d'une représentation floue et imprécise, que nous pouvons qualifier de conceptuelle, vers une représentation précisée géométriquement. Cette réduction de l'incertitude du dessin est une des caractéristiques fondamentales du processus de conception [Lebahar, 1983].

On observe en outre deux types de mise au net. Le premier, évoqué ci-dessus, consiste à opérer un choix parmi plusieurs solutions. Ce choix, éventuellement validé par une vérification dimensionnelle, est retranscrit dans une plus grande précision géométrique. Le second type de mise au net consiste uniquement à retranscrire le dessin « au propre ». Ici les traits sont repassés finement, sans augmentation de la précision et sans vérification dimensionnelle. Il s'agit simplement de reporter des éléments non aboutis d'une représentation à une autre. Les éléments sont simplement retranscrits, ils feront l'objet de réflexions de conception plus tard dans le processus. Lorsque le concepteur utilise un nouveau calque pour redessiner le projet, ce calque peut être à la fois composé d'éléments mis au net (sélection consciente parmi les possibles) et d'éléments simplement retranscrits (dupliqués). Cette méthode lui permet de valider certaines parties du projet sans attendre la cohérence complète de la représentation.

Enfin, nous observons chez les deux participants que l'activité de mise au net n'est pas clairement dissociée de l'activité de conception : les moments de mise au net sont entrecoupés de moments de conception.

9. 2. MISE AU NET SUR SKETCHA

Dans l'environnement numérique sans interprétation, le processus de mise au net à proprement parler ne prend part que dans la première moitié de l'activité environ. Les dessins sont modifiés et dupliqués de la même façon qu'avec le papier-crayon : le nombre de traits se réduit, les traits se précisent, des choix sont opérés, des mesures sont prises. Néanmoins, dans la seconde moitié de l'activité, les dessins sont uniquement nets. Ainsi, les changements de calques s'accompagnent d'une duplication d'éléments nets : l'emprise du rez-de-chaussée pour la conception de l'étage, par exemple. La recherche conceptuelle semble donc plus mentalisée : il y a moins d'expression graphique directe dans la seconde moitié de l'activité, et les décisions sont prises par le concepteur avant de les retranscrire sur papier. On peut considérer l'expression graphique comme une mise au net directe de la recherche mentale, dans un souci d'économie du dessin.

9. 3. MISE AU NET SUR ESQUISE

Comme évoqué précédemment, nous observons une méthode de travail très particulière liée aux activités de conception dans notre environnement numérique avec interprétation. Alors que l'essentiel de l'activité se déroule sur un seul calque, nous identifions des séquences ponctuelles lors desquelles l'ensemble des informations d'un calque « brouillon » est mis au net sur des calques « nets ». Autrement dit, de longues séquences de simulation sur un calque unique sont ponctuées par des moments de remise au net lors desquelles tous les étages du bâtiment sont redessinés en même temps, en vue d'une interprétation par le logiciel. L'activité de mise au net est bien circonscrite dans le temps et peut donc être comprise comme une « phase » du travail de conception. Lors de ces phases, le concepteur remet toujours au net l'entièreté des plans. En effet, contrairement à la mise au net sur papier qui peut ne concerner qu'une partie du plan ou être interrompue par des actions de

conception, l'activité des concepteurs sur EsQUIsE consiste à produire, en une fois, une représentation complète et cohérente du bâtiment. Nous décrivons ci-dessous plus en détails les opérations menées lors de ces « phases de mise au net ». Un exemple de calque numérique brouillon et de calque numérique net sont donnés aux figures 3 et 4.

Comme s'il travaillait sur papier, le concepteur effectue la remise au net de certains traits à la règle et vérifie précisément ses mesures. Par contre, entre les éléments remis au net et les brouillons, on constate une moins bonne correspondance que sur papier. Certains éléments retranscrits ne sont pas directement issus du brouillon. Cela s'explique notamment par le fait que le dessin de tous les étages nécessite, en vue de faciliter l'interprétation logicielle, des opérations de coordination entre les niveaux qui sont reportées à plus tard dans l'activité sur papier. Le concepteur gère donc son espace de dessin en partie comme sur papier : un dessin, remis au net devient un espace de simulation. Par contre il organise son temps de manière différente en réalisant la mise au net exhaustive de tous les étages en une seule étape.

Après une phase de simulation, les concepteurs ne recréent pas de nouveaux dessins au net. Ils utilisent la possibilité offerte par le système d'effacer des traits et corrigent les plans au net déjà tracés, conformément au nouvel état d'avancement du projet. Ils établissent ainsi un lien direct entre les représentations nettes et l'interprétation qu'en opère le logiciel (ici une maquette 3D auto-générée). Ceci est particulièrement frappant pour le participant P5, qui ne remet au net que les contours des locaux. Il ne redessine pas le mobilier et n'ajoute pas de légendes. Il s'agit donc bien de reproduire uniquement ce qui est interprété par le système. P6 ajoute quelques légendes en couleurs, non interprétées par le logiciel.

Dans le cas des participants travaillant sur EsQUIsE, il apparaît clairement que l'activité d'interprétation du logiciel (la génération de la maquette 3D) influence fortement la méthode de travail : la remise au net dans EsQUIsE n'a pas uniquement un rôle « interne » pour le concepteur, mais est un élément central du dialogue homme-machine. Elle est utilisée pour décrire le bâtiment à la machine en vue de son interprétation, notamment pour la génération du modèle 3D. C'est sans doute pour cette raison que les concepteurs sont attentifs à retracer des plans complets (plutôt que la partie qui les intéresse à un moment donné) et tous les niveaux dans la même étape. Cela permet de vérifier l'interprétation du logiciel et la cohérence du modèle de bâtiment généré.

9. 4. COMPARAISON DES ACTIVITES DANS LES TROIS ENVIRONNEMENTS

On retrouve des différences et des similitudes dans l'ensemble de ces activités. Pour synthétiser, on note que les opérations de transformations du dessin de brouillon en dessin net sont les mêmes dans les six activités :

- **une simplification graphique** opère par réduction du nombre de traits, soit en choisissant un trait parmi plusieurs possibles, soit en ne recopiant pas dans la mise au net certains éléments graphiques (hachures, annotations etc.) Cette opération permet de réduire le flou de l'esquisse, mais ne s'accompagne pas nécessairement d'une réduction de l'imprécision.
- **une réduction de l'imprécision** s'observe de manière très claire lors des mises au net à la règle qui s'accompagnent très souvent de vérifications dimensionnelles (largeur d'un couloir, surface d'un local, recul du bâtiment, etc.).

- une **réduction de l'ambiguïté** s'opère par une évolution du dessin vers des conventions graphiques partagées ou par l'explicitation du contenu par ajout de légendes ou de symboles.
- une **sélection d'une solution**. Sur les esquisses de brouillon, il n'est pas rare de voir coexister plusieurs solutions architecturales. La mise au net opère un choix parmi différents possibles présents dans l'esquisse de simulation.

Par contre, les **objectifs** de ces transformations ne sont pas les mêmes dans les différents environnements. Dans tous les cas il s'agit d'arrêter temporairement une version du bâtiment. Lors du travail sur papier et sur SketSha, la mise au net vise avant tout à réduire la complexité du problème architectural, en passant de dessins aux solutions multiples et imprécises à un dessin présentant une solution unique. Sur EsQUIsE, cette mise au net vise à dialoguer avec la machine, à décrire le plan en vue de l'interprétation et, en retour, en recevoir des évaluations (le modèle 3D). C'est donc principalement à cette étape, outre la sélection d'une solution, que le concepteur procède à la vérification de la solution.

Par ailleurs, la **gestion de l'espace** virtuel de dessin composé de l'ensemble des calques est différente dans l'activité sur papier et sur ordinateur. Sur papier, les calques se succèdent et reçoivent des représentations nettes qui deviennent ensuite une base pour l'activité de simulation. On assiste donc à la coexistence des deux types de représentations sur la même feuille. Au contraire, les calques numériques sont spontanément dédiés à l'une ou l'autre de ces activités.

La **gestion du temps** est aussi différente selon les supports utilisés. Les périodes de simulation et de remise au net alternent sur papier. Le concepteur passe aisément de l'une à l'autre, changeant ou non de calque. Par contre, sur EsQUIsE, le concepteur engagé dans une phase de remise au net poursuit cette activité jusqu'à l'obtention de tous les plans du bâtiment.

	Papier-crayon	SketSha	EsQUIsE
Objectif	Réduire la complexité du croquis	Réduire la complexité du croquis	Décrire le projet en vue de la génération du modèle 3D
Gestion de l'espace	Coexistence sur un même calque de dessins nets et brouillons	Spécialisation des calques (nets ou brouillons)	Spécialisation des calques (nets ou brouillons)
Gestion du temps	Alternance de simulations et remises au net sur un même calque	Uniquement des dessins nets dans la seconde partie de l'activité	Remise au net de tout le bâtiment en une seule fois

Tableau 3 : récapitulatif des différences dans la mise au net de dessins.

10. DISCUSSION

L'étude de l'activité de remise au net nous a permis de mieux appréhender l'activité de conception préliminaire par dessin d'esquisse en architecture. Les différences observées entre les conceptions réalisées sur papier et avec les logiciels que nous développons nous

permettent aujourd'hui de dégager quelques pistes pour le développement de systèmes d'IHM à base d'esquisse, avec ou sans interprétations.

10. 1. INTERETS ET LIMITES DES INTERFACES-ESQUISSES POUR LA CONCEPTION

De nombreux auteurs ont mis en avant l'intérêt de l'esquisse en conception préliminaire, par opposition aux outils de CAO. La souplesse de l'interaction [Bilda et Damakian 2002], l'expressivité du croquis [Rogers *et al.* 2000 ; MacCall *et al.* 2001] sont des atouts indéniables de ce mode d'expression. D'autres auteurs ont montré l'intérêt des interfaces tangibles, dont le stylo est une forme rudimentaire, comme vecteur d'un plus grand investissement corporel dans la recherche de solutions, ce qui est reconnu comme facilitant la cognition spatiale [Kim & Maher, 2008]. Néanmoins, peu d'études se sont penchées sur l'influence de la numérisation du croquis, c'est-à-dire la comparaison entre le croquis papier et le croquis numérique.

Tout d'abord, il nous faut noter que l'utilisation d'interfaces-esquisses est une voie prometteuse pour soutenir la conception. En effet, notre étude montre que la numérisation du croquis ne change pas fondamentalement ses caractéristiques intrinsèques, ni son utilité : on retrouve globalement les mêmes caractéristiques aux dessins et les mêmes procédures et comportements de mise au net. La transposition dans un environnement numérique offre en plus l'avantage de l'augmentation du croquis. Ainsi, outre les fonctions d'édition et de manipulation (le zoom et la translation permettent de disposer d'une feuille de taille virtuellement infinie), les logiciels que nous développons proposent deux types d'augmentations : des évaluations précoces de performance sur base d'une interprétation dans le cas d'EsQUIsE et un partage du dessin à distance et en temps réel dans le cas de SketSha. Garder des modes d'expression naturels tout en profitant de la puissance de calcul de l'informatique est un défi qui semble réalisable dans le domaine de la conception.

Cependant, l'approche numérique présente certaines limitations car les potentialités d'expressivité graphique sont réduites dans nos environnements logiciels. Nous avons montré que le dessin numérique, s'il contenait quantité d'informations comparable au dessin papier, était composé de moins de traits, avec moins de variations, et que spontanément, les concepteurs étaient moins expressifs dans leurs productions graphiques. Si cette différence dans le type de dessins est aisément compréhensible dans le cas d'un logiciel d'interprétation de croquis (car il est nécessaire d'être explicite et précis pour se faire comprendre de la machine), cette observation est plus surprenante dans le cas de SketSha où le concepteur est libre de dessiner de la façon la plus souple pour lui. Or, le dessin de brouillon a tendance au fil de l'activité à disparaître au profit de dessins exclusivement nets. Nous proposons deux hypothèses pour expliquer ce constat :

- La première est liée l'effort nécessaire pour produire le dessin. Le dessin dans l'environnement numérique est manifestement coûteux : la taille du dessin nécessite d'amples mouvements de la part du concepteur, les types de traits limités restreignent aussi ses potentialités expressives et la vitesse du dessin est réduite par le stylo numérique (qui est un peu moins maniable que le stylo habituel). Ce coût implique pour le concepteur de « rentabiliser » son dessin : il n'est pas envisageable de créer une représentation pour la « jeter » l'instant d'après. Tout dessin doit donc posséder un caractère relativement définitif.

- La seconde hypothèse que nous faisons est liée à la transparence. Comme évoqué précédemment, les concepteurs sur SketSha utilisent beaucoup la transparence des calques. Or, pour pouvoir tirer profit de cette fonctionnalité, il est nécessaire que les dessins ne soient pas trop surchargés. Le concepteur limiterait donc le nombre de traits de ses dessins pour permettre un travail en transparence. En outre, le logiciel offre la possibilité de rendre les calques totalement transparents. Ainsi, il est possible non plus d'uniquement superposer plusieurs dessins, mais aussi véritablement de les fusionner. Il n'est donc plus nécessaire pour le concepteur que l'information soit redondante d'un calque à l'autre, car il peut utiliser deux dessins en même temps.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de [Koutamanis 2005] qui, en étudiant l'utilisation du stylo numérique Anoto dans le cadre de croquis d'architecture, constate que les possibilités d'expression graphique plus réduites rendent l'esquisse numérique mieux adaptée aux dessins abstraits comme les plans ou les diagrammes qu'aux esquisses plus artistiques.

En conclusion, nous suggérons que les IHM à base de stylo pour la conception, basés sur une analogie avec les outils traditionnels, doivent soutenir les qualités essentielles que sont la fluidité, la souplesse d'utilisation et l'expressivité graphique. L'observation de l'activité sur papier montre que l'outil doit proposer différents types de traits (crayons, feutres etc,...), de différentes couleurs, sans forcer de sémantique attachée à chaque type de trait. Le logiciel doit permettre un mode de fonctionnement de type *palette graphique*. L'utilisation d'une règle – réelle ou virtuelle – doit être rendue possible pour permettre les opérations la réduction de l'imprécision. Il nous semble aussi primordial de soutenir la coexistence des deux types de dessins identifiés. Néanmoins, nos observations sur SketSha montrent que ce fonctionnement de type palette graphique n'est pas suffisant. Pour réellement adopter la souplesse du dessin, il est nécessaire d'une part d'offrir au concepteur des traits d'une grande variété, lui permettant d'effectuer son « coup de crayon », mais aussi de lui permettre de manipuler simultanément des documents en même temps. Ainsi, il nous semble nécessaire de faire évoluer l'interaction du *papier* virtuel à l'*espace de dessin* virtuel. Des réflexions sur les modalités de manipulation de documents multiples au stylo et sur la création de zones de travail différenciées (notamment dans les applications collaboratives) doivent être menées, accompagnées éventuellement de réflexions sur l'usage d'interactions gestuelles en complément du stylo.

10.2. DIFFERENTS TYPES D'ESQUISSES ET MODES DE TRANSFORMATIONS

Notre étude a montré que la phase dite d'esquisse est caractérisée par des productions graphiques variées. Il n'existe pas qu'une seule esquisse en conception préliminaire, mais bien deux : l'esquisse de brouillon (ou conceptuelle) et le dessin net (ou esquisse synthétique).

L'esquisse de brouillon permet de concevoir sans choisir. L'architecte, grâce à l'imprécision et au flou de l'esquisse, ne fige pas son projet mais au contraire autorise la coexistence sur un même dessin de plusieurs solutions parfois contradictoires. À l'heure actuelle, ce genre de mécanisme n'est pas possible dans les outils de CAO classiques qui contraignent l'utilisateur à manipuler une solution unique qui va évoluer jusqu'à la fin de la conception [Juchmes *et al.* 2004]. L'esquisse de brouillon est personnelle et difficilement compréhensible par un agent extérieur, et donc à fortiori par un système informatique.

La remise au net permet de choisir (sans nécessairement concevoir). Elle permet de passer d'une représentation où de multiples solutions coexistent, à la représentation d'un objet architectural unique. Il s'agit donc de choisir la meilleure option dans l'ici et maintenant de la conception. Cependant, l'esquisse synthétique n'est pas une représentation figée de l'objet architectural : le dessin mis au net est un instantané à un moment de la conception. Son objectif est de permettre la communication de manière un peu plus univoque des principales caractéristiques du projet en cours, grâce à des mécanismes simples de réduction de l'ambiguïté et de l'incertitude et des procédures de vérification, tout en étant ouvert au prolongement des idées, à leur critique et leur modification, donc à la continuation de la conception. Cette communication est à destination d'un collaborateur ou du concepteur lui-même. Ce type de dessins convient à l'interprétation par un logiciel.

La signification des traits imprécis du dessin de brouillon n'est pas modifiée lors du changement de représentation. La mise au net ne consiste cependant pas uniquement en une duplication de certains traits, elle peut s'accompagner d'une explicitation du projet (réduction de l'ambiguïté) par exemple en ajoutant des légendes au dessin. Par contre une modification de la topologie des espaces, de la forme, l'ajout ou le déplacement d'un élément architectural est une opération de conception. Cela ne signifie cependant pas que la mise au net est indépendante de la conception. Choisir de redessiner ou de surligner, choisir une échelle de dessin, changer de couleur de trait, sont des actes qui participent activement au processus mais pas par une action directe sur l'objet projeté. Cependant, dans le cas du travail en croquis numérique interprété, une solution complète et cohérente doit exister pour permettre la génération de la maquette 3D. Cette contrainte supplémentaire implique, en plus des opérations de mise au net, de convoquer les processus cognitifs de vérification de la cohérence de l'objet, qui relèvent directement des activités de conception.

Ainsi, il nous apparaît que dans le cadre de l'interprétation de dessins, le système ne doit pas tenter de tout interpréter en temps réel. La différenciation entre les dessins nets et de brouillon, et la correspondance de ceux-ci entre le papier-crayon et l'esquisse numérique nous invitent à penser que le paradigme de l'interprétation complète de l'esquisse de conception est quelque peu illusoire. Au-delà de la difficulté technique (l'esquisse de simulation est par nature incomplète et incohérente), nos observations montrent que le dessinateur a tendance à se protéger du regard du système en utilisant des couleurs non interprétées par le logiciel jusqu'au moment où il décide d'explicitier son travail au système. L'esquisse de brouillon est, et doit rester, un lieu privilégié d'exploration personnelle de solutions, sans aucune contrainte. En revanche l'esquisse nette, instrument de communication, semble particulièrement appropriée à une interprétation numérique.

10. 3. INFLUENCES DE L'INTERPRETATION DU DESSIN ET DE LA 3D SUR L'ACTIVITE

Il est indéniable de constater que l'interprétation du croquis numérique, ainsi que la création en temps réel d'un modèle 3D, influencent fortement l'activité graphique, et en particulier la mise au net. La présence d'une interprétation induit chez le concepteur un focus très fort sur le modèle 3D, structurant en partie son activité. Ce constat a déjà été réalisé par [Lim2003] qui, sur base d'une analyse des temps de travail associés aux différentes représentations utilisées par le concepteur sur papier-crayon et sur croquis numérique augmenté par la visualisation 3D, constate que les proportions de temps de travail sur différents types de représentations (plans, coupes etc.) est modifiée. En particulier, la modélisation 3D générée

mobilise une proportion conséquente de l'activité. Il ne s'intéresse cependant pas aux mécanismes de transformation des croquis. Pour bénéficier d'une maquette virtuelle 3D utile, il est nécessaire de proposer un modèle unique du bâtiment, qui soit complet, cohérent et suffisamment précis pour être compris par le logiciel. On retrouve ici toutes les caractéristiques du dessin « net » présent sur papier-crayon. Mais ces contraintes impliquent que ce modèle soit complété et précisé à des moments spécifiques, durant les « phases » observées de mise au net. En outre, ces phases constituent plus que le recopiage et les choix observés dans la mise au net : il s'agit aussi d'étapes de validations et d'évaluations explicites, notamment sur base de la 3D. Par ailleurs, EsQUIsE modifie aussi en partie le lieu de simulation : alors que les dessins nets et de brouillon sont entremêlés sur les plans papier, ils sont séparés, ou à tout au moins en partie, sur les calques électroniques d'EsQUIsE. Ceci provient aussi sans doute du fait qu'il est important de produire un modèle « épuré » pour faciliter l'interprétation logicielle.

Ainsi, l'interprétation logicielle d'EsQUIsE n'imposerait pas de contraintes sur le contenu, mais bien sur la structure, c'est-à-dire le temps et l'espace dans lesquels s'inscrit la conception :

- les moments de mise au net qui, au lieu de s'inscrire dans le cours de la conception, s'en détachent pour devenir des phases à part entière ;
- les lieux de mise au net, l'outil logiciel invitant à dessiner les esquisses de brouillon et nets sur des calques différents.

Pour éviter les ruptures de l'activité créative qu'impose la nécessité d'être compris par le logiciel, il nous apparaît nécessaire de tenir compte de la dynamique de l'activité de conception. Ainsi, au lieu de “forcer” l'utilisateur à modifier les rapports spatiaux et temporels qu'il entretient avec ses dessins, il nous semble plus utile de se reposer sur la dynamique naturelle du concepteur en activité. On pourrait ainsi imaginer que l'interprétation ne prenne place qu'à des moments de mise au net. Ainsi, les mouvements récurrents de conception-mise au net observables sur papier-crayon devraient être respectés. Les moments de conception doivent rester le propre du concepteur, sans intervention ou interruption du logiciel, alors que les moments de mise au net, qui ne font pas intervenir un flux de pensée créatif à proprement parler, mais sont caractérisés par une série de choix conscients, pourraient être le bon moment pour une interprétation.

En outre, dans le cadre de la génération d'un modèle 3D, nous devons nous garder de transformer un outil de support à la conception en modeleur explicite, même si les opérations sont réalisées au stylo. Nous avons observé que la possibilité de disposer de vues 3D modifiait l'activité du dessinateur en le poussant à remettre au net l'entièreté du dessin plutôt que de travailler de manière locale, en fonction de ses besoins. Cette observation nous pousse à croire que la génération du modèle 3D (et les retours d'interprétation de manière générale) ne doit être réalisée que sur demande et que ces informations complémentaires ne doivent pas être affichées à l'écran en permanence. Des études complémentaires sur l'usage de la 3D d'EsQUIsE [Mayeur, Leclercq & Darses 2007] ont montré que le modèle 3D n'est pas très utilisé par les architectes professionnels, capables de s'imaginer la volumétrie d'un bâtiment sans difficulté.

11. PERSPECTIVES : IMPLICATION POUR LE DEVELOPPEMENT DE LOGICIELS

Il convient tout d'abord de souligner les limitations de l'étude. Le nombre réduit d'observations et le public observé (étudiants) ne nous permettent évidemment pas de tirer des conclusions définitives. Cependant, nos observations nous apparaissent suffisantes pour proposer des perspectives en vue de développements futurs ainsi que des propositions d'études complémentaires.

Dans le cadre du développement de nos deux logiciels, il est important de proposer une large palette d'outils de dessins (crayons de couleurs, feutres, surligneurs épais, etc...) afin de se rapprocher de la liberté d'expression graphique rencontrée sur papier.

Dans le cadre de SketSha, en plus d'un module de tracé réaliste, nous développons différents modules permettant d'augmenter les possibilités expressives de l'environnement, par exemple :

- un système de gestion avancée de calques pour permettre de dépasser la métaphore du carnet de croquis pour aboutir à celle, plus large, d'espace de dessin,
- Un module de reconnaissance de geste permettant grâce à une combinaison de l'interaction au stylo d'augmenter l'aspect naturel de l'environnement de travail.

En ce qui concerne l'interprétation de croquis, pour tenir compte de nos observations, nous proposons de faire évoluer EsQUISE dans une direction relativement différente. Plutôt que de tenter de tout interpréter, nous sommes passés à un mode d'interaction explicite et déclaratif. Ainsi, au lieu de dessiner, il s'agit pour l'interprétation de surligner les éléments du dessin qui doivent être interprétés. Cette approche comprend deux avantages majeurs. D'une part, cet aspect déclaratif rend l'interprétation plus aisée : il y a moins d'ambiguïtés dues aux superpositions de traits et à leur imprécision. D'autre part, cela répond aux modes de travail « naturels » des concepteurs. La pratique du sur lignage est observée en papier-crayon pour expliciter le dessin. Cette modalité d'interaction a pour but de faire intervenir l'interprétation et le retour (modèle 3D) à des moments charnières, ponctuels et surtout, décidés par le concepteur.

Enfin, à plus long terme, cette étude est un premier pas vers une interprétation d'esquisses utilisant la dynamique de tracé. En effet, plutôt que de tenter d'interpréter toutes les traces produites (brouillon et nettes), ou au contraire d'imposer à l'architecte d'expliquer son dessin, un logiciel d'interprétation pourrait analyser les dessins sur base du *processus* de mise au net. Les temps de réflexion, les tracés précis et lents, l'utilisation de la règle, sont autant d'indices d'opérations de mise au net. En approfondissant et en systématisant ces études de l'activité de transformation graphique, il sera peut-être possible de parvenir à un modèle dynamique de l'esquisse de conception, et d'interpréter les dessins sans contraindre ni interrompre le flux créatif de la conception architecturale.

12. BIBLIOGRAPHIE

- Aliakseyeu, D., Martens, J.-B. and Rauterberg M. 2006. A computer support tool for the early stages of architectural design. *Interacting with Computers*, 18(4), 528-555.
- Bae, S.-H., Balakrishnan, R. and Singh, K. 2008. ILoveSketch: As-natural-as-possible sketching system for creating 3D curve models. *ACM Symposium on User Interface Software and Technology 2008*, Monterey, CA, USA.
- Bilda, Z. and Demirkan, H. 2003. An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies* 24, 27-50.

- Brown, A.G.P. 2003. Visualization as a common design language: connecting art and science. *Automation in Construction*, 12, 703–713.
- Chen, X., Kang, S.B., Xu, Y.-Q., Dorsey, J. and Shum, H.-Y. 2008. Sketchingreality: Realistic interpretation of architectural designs. *ACM Transactions Graphics*, 27(2), 1–15.
- Coyette, A., Vanderdonckt, J. and Limbourg, Q. 2006. SketchiXML: A Design Tool for Informal User Interface Rapid Prototyping. *Proceedings of RISE 2006*, 160-176.
- Goel V. 1995. *Sketches of thought*. Cambridge, MA, MIT Press,.
- Gross, M. D. 1994. The Cocktail Napkin, the Fat Pencil, and the Slide Library. *Proceedings of Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA '94)*, St Louis, 103-113.
- Huot S., Dumas C. and Hégron G. 2003. Toward Creative 3D Modeling: an Architects' Sketches Study. *Actes de IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'03)*, Zurich, Switzerland, 785-788.
- Igarashi T., Matsuoka S. and Tanaka H. 1999. Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. *Proceedings of ACM SIGGRAPH'99*, Los Angeles, 409-416.
- Jatupoj, P. 2005. Sketchboard: The simple 3D modeling from architectural sketch recognition. *Proceedings of Computer Aided Architectural Design in Asia (CAADIA 2005)*.
- Juchmes, R., Leclercq, P., and Azar, S. 2004. A multi-Agent System for Architectural Sketches Interpretation. *Proceedings of Eurographics Workshop on Sketch-Based interfaces and Modeling*, Grenoble, France, 53-62.
- Juchmes, R., Leclercq, P., and Azar, S. 2005. A feehand sketch environment for architectural design supported by a multi-agent system. *Special issue of Computers and Graphics on Calligraphic Interfaces*, 29(6).
- Karpenko, O. A. and Hughes, J. F. 2006. Smoothsketch: 3D free-form shapes from complex sketches. *Proceedings of ACM SIGGRAPH and ACM Trans. on Graphics*, 25(3), 589–598.
- Kim, M.J. and Maher, M.L. 2008. The Impact of Tangible User Interfaces on Designers' Spatial Cognition. *Human-Computer Interaction*, 23(2), 101-137
- Koutamanis, A. 2005. Sketching with Digital Pen and Paper. *Proceedings of Computer Aided Architectural Design Futures 2005*.
- Kramer A., 1994. Translucent Patches – Dissolving Windows. *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Marina del Rey, CA.
- Landay, J. A. 1996. SILK: sketching interfaces like crazy. In M. J. Tauber (Ed.), *CHI '96 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems: Common Ground*, 398- 399.
- Lebahar, J.-C. 1983. *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude*. Editions Parenthèses, Paris.

- Leclercq, P. 2005. Le concept d'esquisse augmentée. Actes de SCAN'05 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Paris, France.
- Leclercq, P. and Elsen, C. 2007. Le croquis synthé-numérique. Actes de SCAN 07 : Séminaire de conception architecturale numérique, Liège, Belgique.
- Lim , C.-K. (2003) Is a pen-based system just another pen or more than a pen? Proceedings of 21th eCAADe Conference.
- MacCall, R., Ekaterini, V. and Zabel, J. 2001. Conceptual design as hypertexting. Proceedings of the 9th International Conference CAAD Futures, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 285-298.
- Mayeur, A., Darses, F. and Leclercq, P. 2007. Apports de la visualisation de maquettes virtuelles 3D en phase d'esquisse architecturale. Actes d'Épique'07, Congrès de la Société Française de Psychologie
- Neiman, B., Do ; E. and Gross , M. 1999. Sketches and Their Functions in Early Design: A Retrospective Analysis of Two Houses. In W. Porter and G. Goldschmidt. (Eds.) Proceedings of Design Thinking Research Symposium '99.
- Norman, D.A. 1998. The invisible computer, MIT Press, Cambridge University Press, MA.
- Oh, J.-Y. Stuerzlinger, W. and Danahy, J. 2006. SESAME: towards better 3D conceptual design systems. Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems.
- Pranovich, S., Achten, H.H. and Wijk, J.J. 2002. Towards an Architectural Design System Based on Generic Representations. In Gero, J.S. (ed.). Artificial Intelligence in Design'02. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 153-164.
- Prost, R. 1992. Conception architecturale. Une investigation Méthodologique. L'Harmattan, Paris.
- Rodgers, P.A., Green, G. and McGown A. 2000. Using concept sketches to track design progress. Design Studies, 21(5), 451-464.
- Safin, S., Boulanger, C. and Leclercq, P. 2005. Premières évaluations d'un Bureau Virtuel pour un processus de conception augmenté. Actes de IHM'05 : 17ème conférence francophone sur l'interaction homme-machine.
- Safin, S., Delfosse, V. and Leclercq, P. 2010. Mixed-reality prototypes to support early creative design. In E. Dubois, P. Gray and L. Nigay (Eds). The Engineering of Mixed Reality Systems, London, Springer.
- Safin, S., Leclercq, P. and Decortis, F. 2007. Impact d'un environnement d'esquisses virtuelles et d'un modèle 3D précoce sur l'activité de conception architecturale. Revue d'Interaction Homme-Machine, 8(2), 65-98.
- Shesh, A. and Chen, B. 2004. SMARTPAPER—An interactive and easy-to-use sketching system. Proceedings of Eurographics.
- Van der Lugt, R. 2005. How sketching can affect the idea génération procès in design group meetings. Design Studies, 26(2), 101-122.

Visser, W. (2006). *The cognitive artifacts of designing*. Lawrence Erlbaum Associates.

Zelevnik, R.C., Herndon, K.P. and Hughes, J.F. 1996. SKETCH : an interface for sketching 3D scenes, *Proceedings of SIGGRAPH'96*, 163-170.



Stéphane Safin est chercheur à l'Université de Liège. Psychologue ergonomiste au laboratoire LUCID-ULg, il gère les aspects liés aux usages et l'intégration des utilisateurs finaux pour le développement de logiciels de modélisation et pour les dispositifs d'IHM à stylo numérique, principalement dans le domaine de l'architecture. Il mène aussi des recherches sur les activités de conception, sur le rôle des représentations externes dans le processus de conception créative en architecture, et sur les mécanismes de la collaboration en conception créative. Ces recherches sont orientées vers le développement d'outils innovants pour supporter la conception préliminaire.



Roland Juchmes est professeur à l'Ecole Supérieure des Arts Saint-Luc de Liège et assistant au département Argenco de l'Université de Liège. Membre du laboratoire LUCID-ULg, ses travaux de recherche portent sur le développement de méthodes et d'outils d'assistance à la conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). Il s'intéresse particulièrement aux modèles et représentations de bâtiments adaptés aux phases préliminaires de conception.



Pierre Leclercq est Ingénieur Civil Architecte et Docteur en Sciences de l'Ingénieur. Il est Professeur à la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège (Belgique). Il y enseigne la méthodologie de projet, la modélisation assistée, l'analyse des processus de conception et les questions avancées de CAO. Il dirige le LUCID - Lab for User Cognition & Innovative Design - équipe de recherche pluridisciplinaire à l'ULg. Il y mène recherches et développements en ingénierie de conception, associant les compétences de la modélisation virtuelle, de l'ergonomie cognitive, du génie logiciel et des interactions homme-machine avancées.

IHM de Suppléance Sensorielle Visuo-Tactile pour Aveugles et d'Intégration Sensorielle pour Autistes

Hervé Segond, Stéphane Maris, Yves Desnos, Perrine Belusso

► **To cite this version:**

Hervé Segond, Stéphane Maris, Yves Desnos, Perrine Belusso. IHM de Suppléance Sensorielle Visuo-Tactile pour Aveugles et d'Intégration Sensorielle pour Autistes. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2011, 2 (1), pp.1-15. hal-01059065

HAL Id: hal-01059065

<https://hal.inria.fr/hal-01059065>

Submitted on 29 Aug 2014

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

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

IHM de Suppléance Sensorielle Visuo-Tactile pour Aveugles et d'Intégration Sensorielle pour Autistes

HERVE SEGOND

Université de Strasbourg

STEPHANE MARIS

Fondation Sonnenhof

YVES DESNOS

Université de Strasbourg

PERRINE BELUSSO

Université de Strasbourg

Résumé : Nos travaux portent sur les mécanismes perceptifs et cognitifs impliqués lors de procédures d'apprentissage destinées à l'utilisation de technologies innovantes dans le domaine de la suppléance sensorielle visuo-tactile appliquée à la prévention des troubles du développement chez l'enfant aveugle et l'aide à l'autonomie des personnes aveugles. Nos objectifs reposent sur la conception et l'implémentation d'un dispositif embarqué esthétiquement acceptable de suppléance sensorielle, permettant une utilisation routinière dans le cadre des activités de la vie quotidienne, grâce à la conception de liaisons non filaires entre les composants de ces dispositifs, la réalisation d'un dispositif aux éléments modulables en fonction de la population ciblée (bébés aveugles, enfants et adultes aveugles), et l'interfaçage avec un poste informatique de numérisation d'environnement urbain 3D. Cette approche constitue une étape ultime et essentielle permettant de faire enfin bénéficier, dans leur vie quotidienne, les personnes handicapées des avancées de la recherche dans ce domaine. De nouvelles perspectives innovantes d'utilisation de ces dispositifs sont proposées dans le domaine de la prise en charge thérapeutique en faveur des personnes autistes.

Mots clés : Suppléance Sensorielle, Réalité Augmentée, Cécité Visuelle, Autisme, Technologie pour la Santé et l'Autonomie.

Abstract: Our research focuses on perceptual and cognitive mechanisms involved in learning procedures in order to develop and validate innovating technologies in the field of health for blind people through the implementation of an embarked version of a Tactile Vision Sensory Substitution device (TVSS) with wireless connections between the three TVSS components (micro camera, coupling system and matrix of tactile stimulators), aesthetically acceptable and allowing an ecological use. Such a device could allow prevention of developmental disorders in blind infants, autonomy for blind people in everyday life (thanks to the implementation of a Human Machine Interface allowing connections between the embarked TVSS device and a Personal Computer with a software development presenting a 3D numerization of the subject's urban environment). A new perspective is proposed in favor of innovating taking care programs for autistic people. The main goal of this project is to allow disabled people to benefit from the scientifically demonstrated efficacy of TVSS devices.

Key words: Sensory Substitution, Augmented Reality, Blindness, Autism, Technology for Health and Autonomy.

Les articles de JIPS sont publiés sous licence Creative Commons Paternité 2.0 Générique

Journal d'Interaction Personne-Système, Vol 2, Num 1, Art.2, Janvier 2011

1. INTRODUCTION

L'objectif majeur de nos recherches est le développement et la validation de solutions technologiques pour répondre cliniquement et socialement aux problèmes majeurs de santé publique que constituent *a.* la prévention des troubles du développement chez l'enfant aveugle, *b.* l'aide à l'autonomie des personnes aveugles, et *c.* la prise en charge thérapeutique dans le domaine de l'autisme avec ou sans handicap visuel associé. Cet objectif s'inscrit dans une volonté de contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des personnes atteintes de déficience sensorielle, motrice, intellectuelle et de troubles psychiques. La suppléance sensorielle constitue une voie heuristique *a.* d'investigation de la plasticité cérébrale et de l'apprentissage perceptif et cognitif, d'une part, et *b.* du développement des aides visuelles pouvant être apportées, d'autre part, permettant l'accès à des informations spécifiquement optiques aux personnes aveugles. En outre les perspectives de prévention et de prise en charge thérapeutique en faveur des personnes aveugles et/ou autistes constituent indéniablement un enjeu majeur en matière d'impact social et économique.

2. SUPPLÉANCE SENSORIELLE : ETAT DE L'ART

Le concept de « substitution sensorielle » (*Sensory Substitution*) est relativement récent en neurosciences. Il se rapporte à la possibilité d'accéder à des informations optiques par l'intermédiaire d'une modalité sensorielle autre que la vision, en permettant une perception de type visuel. La substitution sensorielle désigne ainsi la capacité du système nerveux central de se saisir de « prothèses sensorielles » pour constituer, par l'apprentissage, une perception de type visuel. L'emploi du terme initial de « substitution sensorielle » est encore aujourd'hui largement répandu dans la littérature. Toutefois, nous lui préférons celui de « suppléance sensorielle », proposé dans les années 1980 en France [Sampaio and Dufier 1988], permettant d'apporter une nuance qui n'existe pas dans la terminologie anglo-saxonne. En effet, le terme de « substitution » sensorielle pourrait sous-entendre, au sens littéral (et de manière optimiste), un simple changement d'entrée sensorielle ; l'entrée visuelle classique étant remplacée par une entrée hybride (e.g. caméra et stimulateurs sensoriels). Face aux différences existantes entre un dispositif de couplage sensori-moteur artificiel (i.e. prothèse sensorielle) et le couplage sensori-moteur visuel (i.e. au niveau de la résolution temporelle et spatiale), une simple « substitution » n'est pas réalisable. C'est en cela que l'usage du terme « suppléance » semble plus adéquat que celui de « substitution » au sens où il laisse entendre que les dispositifs ne comblent jamais pleinement un déficit, mais qu'ils permettent l'ouverture d'un nouvel espace de couplage sensori-moteur de l'homme avec le monde [Lenay, Gapenne, Hannequin, Marque and Genouel 2000]. L'étude de la suppléance sensorielle sur un versant comportemental a débuté dans les années 1960. Le principal objectif des recherches menées a été de fournir une information de type visuel, via un autre canal sensoriel, pour apporter une aide d'un nouvel ordre aux personnes aveugles concernant les possibilités de perception de l'environnement distant. La vision est décrite comme étant la modalité dominante dans la perception de l'environnement spatial, et l'on comprendra aisément que sa privation diminue l'information perceptible disponible sur le monde qui nous entoure. Cette privation va conduire à l'usage accru des autres modalités perceptives disponibles. L'audition est sollicitée, permettant une perception à distance, mais

limitée aux objets sonores. Le toucher est d'autre part fortement sollicité, mais il s'agit d'une perception de contact et la proportion de l'espace pouvant être appréhendé à un instant donné est limitée compte tenu de l'étendue du champ perceptif, occasionnant ainsi une moins bonne performance que la vision dans le domaine spatial.

Le toucher reste néanmoins la modalité sensorielle susceptible de mieux suppléer la vision. Il existe, en effet, certains avantages à l'utilisation d'une entrée tactile plutôt que sonore dans une perspective de suppléance sensorielle : la stimulation de régions corporelles rarement sollicitées peut limiter l'interférence entre informations à traiter au sein d'une modalité sensorielle, réduisant ainsi la charge attentionnelle portée aux informations émanant de l'environnement (comme c'est le cas pour la modalité auditive qui est essentielle chez les personnes aveugles dans leur rapport au monde extérieur). Pour le toucher, la conversion d'une image en événement tactile ne nécessite pas de recodage (contrairement à une conversion en événement sonore – cf. dispositif de suppléance visuo-auditive) ; l'image peut être directement reproduite sur la surface de la peau. Enfin, le toucher permet, de même que la vision, l'accès à certaines propriétés des objets tels que la forme, la taille, la localisation, l'orientation... Les dispositifs électroniques de suppléance sensorielle visuo-auditifs ou visuo-tactiles ont été conçus, avec le développement de l'électronique, en vue de pourvoir les aveugles en flux de stimulations susceptibles de pallier la forte réduction des flux sensoriels responsable chez les aveugles de leurs difficultés perceptives et motrices. Les systèmes visuo-auditifs de suppléance sensorielle (guides ultrasoniques tels que le Sonicguide et le Trisensor, ou le PSVA – *Prosthesis Substitution Vision with Audition*) permettent essentiellement de collecter des informations sur l'emplacement et la distance des objets, tandis que les systèmes visuo-tactiles (tels que le TVSS), permettent d'accéder à des informations plus complexes de nature optique, telles que forme des objets, profondeur, perspective, et parallaxe de mouvement.

Le principe du TVSS consiste à collecter des informations visuelles à l'aide d'une micro caméra et à les transformer à l'aide d'un système informatique de couplage en images tactiles (patterns de stimulation électro-tactiles de très faible intensité produisant une sensation de pression ou de vibration) transmises au niveau d'une matrice composée de tacteurs placée sur le ventre ou au contact de la langue (cf. *Tongue Display Unit* – Figure 1) suivant la version utilisée.

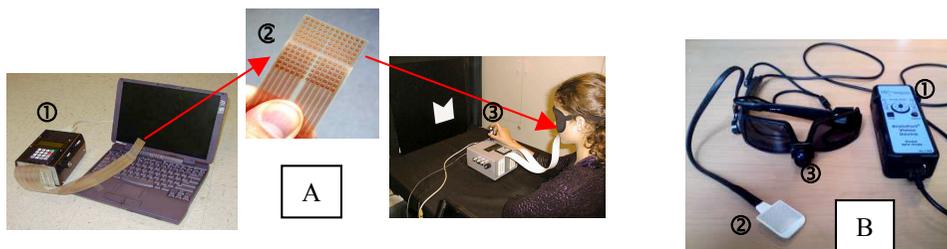


Figure 1 : Version TDU du TVSS et ses 3 composants (①interface informatique/contrôle de l'intensité de stimulation, ②matrice buccale, ③micro-caméra). A : version 1998 de Kaczmarek et Tyler ; B : version 2010 *BrainPort® Vision Devive V100*.

Les systèmes visuo-auditifs ont fait l'objet de nombreuses publications dans les années 70 et 80. Ils suscitent aujourd'hui peu d'intérêt chez les chercheurs et ont rarement été intégrés aux programmes éducatifs de prise en charge pour très jeunes enfants aveugles. En fait, ces systèmes présentent des désavantages majeurs liés à une faible résolution et à la conversion spécifique proposée qui est difficilement transposable à des objets ou formes présentant des propriétés plus complexes que de simples éléments ou points horizontaux ou verticaux. De plus, une autre limitation des systèmes visuo-auditifs est la stimulation du système auditif qui est déjà grandement sollicité chez les personnes aveugles dans leur vie quotidienne et leurs relations avec l'environnement distant, induisant des interférences entre différents types de stimulations auditives. La suppléance sensorielle visuo-tactile présente de nombreux avantages compte tenu du type d'informations auquel le sujet peut accéder, en ne lui privant pas de son environnement sonore.

Les dispositifs de suppléance sensorielle de type TVSS, développés depuis les années 1970, ont utilisé la modalité tactile pour transmettre des informations spatiales. Comme c'est le toucher qui suppléante le mieux la vision défaillante [Segond 2008], le toucher étant la modalité la plus redondante avec la vision, et utilisé intensivement par les aveugles pour accéder aux connaissances spatiales et physiques de l'environnement, ce dispositif fait transiter par les voies somesthésiques (cf. sensibilités tactile, thermique et douloureuse du corps) les données apportées habituellement par la vision et c'est donc au bénéfice du toucher que se fait ici la suppléance sensorielle. Ces dispositifs, qui transmettent une image tactile bidimensionnelle projective d'un ou de plusieurs objets tridimensionnels, permettent une perception tactile à distance des objets ; processus qui par conséquent répond également positivement à la problématique de l'autiste précisée ci-dessus. Le développement de telles prothèses sensorielles s'appuie sur la remarquable flexibilité des capacités fonctionnelles des systèmes perceptifs et sur la plasticité cérébrale, définie en termes de capacité adaptative du système nerveux central [Bach-y-Rita 1972 ; 1988 ; 1995]. Les recherches menées révèlent l'importance des mouvements d'exploration effectués par le sujet (d'avant en arrière, mouvements latéraux, utilisation du zoom, etc..) qui manipule la caméra (permettant de capter les informations visuelles ultérieurement transcrites en images tactiles). Ce dispositif souligne ainsi les liens indissociables qui relient la perception et l'action motrice, liens mis en évidence aujourd'hui dans les principales modalités perceptives, et surtout dans le toucher.

Chez l'adulte, les tout premiers résultats, obtenus avec la première version du TVSS montraient que, sans aucun entraînement, les sujets - aveugles ou voyants aux yeux bandés, manipulant la caméra - étaient capables de percevoir des formes simples, de s'orienter vers elles, et d'indiquer la direction suivie par des cibles mouvantes [Bach-y-Rita 1972]. D'autres études ont montré qu'après 5 à 10 heures d'entraînement, les sujets étaient capables d'identifier des formes géométriques et des objets familiers, d'apprendre des concepts visuels tels que la perspective, la parallaxe de mouvement, l'expansion (*looming*), ou la focalisation (*zooming*), et relatifs à des jugements de profondeur [Bach-y-Rita and Hughes 1985 ; Guarniero 1977 ; Miletic, Hughes and Bach-y-Rita 1988 ; Segond, Weiss and Sampaio 2005]. Ils pouvaient découvrir des effets optiques et développer des concepts visuels comme la modification des formes en fonction du point de vue, ou la modification de la taille relative, en fonction de la distance [Segond *et al.* 2005]. Il a été démontré que l'expérience subjective résultant de ce type de stimulation est comparable à celle de la vision [Bach-y-Rita 1972 ; Sampaio, Maris and Bach-y-Rita 2001 ; Segond *et al.* 2005]. Ainsi, les témoignages des sujets révèlent que les perceptions sont initialement uniquement associées

aux stimulations ressenties au niveau de la peau. Mais après entraînement, les sujets perçoivent des objets tridimensionnels localisés dans l'espace extracorporel, face à eux, en oubliant l'origine tactile de l'information [Auvray, Hannequin, Lenay and O'Regan 2005 ; Guarniero 1974 ; Sampaio 1995], reflétant ainsi le phénomène de mise en extériorité des percepts, caractéristique de la suppléance sensorielle visuo-tactile. Ces résultats remettent en question la traditionnelle opposition entre perception tactile et perception visuelle. Comme Proust [1997] le suggère, si les personnes aveugles reçoivent la même information que celle qui induit la vision chez les voyants, on peut considérer alors que les mêmes propriétés invariantes des objets sont extraites par la vision normale et la vision « tactile ».

Chez les bébés, l'attrait de la stimulation inhabituelle produite par un dispositif de suppléance sensorielle visuo-tactile (TVSS), considérée comme fournissant des informations optiques aux aveugles par l'intermédiaire de la modalité tactile, a été évalué [23]. Avant de proposer un tel dispositif à des bébés aveugles, il fut nécessaire de démontrer au préalable que ce type de stimulation était plaisant et attractif pour des bébés voyants, en comparaison avec des renforcements visuels et auditifs. Une micro caméra, placée sur le pied gauche ou droit du bébé, convertissait les informations visuelles en données binaires transmises à une matrice placée sur l'abdomen. Les comportements du bébé ont révélé, à travers la recherche active de la stimulation, au cours d'une procédure de conditionnement opérant de l'activité spontanée de battement de pieds, la valeur attractive des stimulations TVSS motivant les interactions du bébé avec son environnement, en sélectionnant les comportements responsables de l'obtention du renforcement. Ces premiers résultats nous permettent de considérer la possibilité de développer des dispositifs pratiques de suppléance visuelle pour de très jeunes enfants [Segond *et al.* 2005]. Les performances permises par ces dispositifs restent dépendantes d'améliorations technologiques (telles que miniaturisation, résolution vidéo, et connections entre les composants) et de procédures efficaces d'apprentissage en vue d'une utilisation en autonomie et écologique dans l'environnement de la vie quotidienne.

Nos études actuelles menées au niveau comportemental et anatomo-fonctionnel auprès de personnes aveugles congénitales et voyantes contrôles aux yeux bandés se poursuivent avec diverses versions développées d'Interfaces Hommes Machines (IHM) dédiées à la suppléance sensorielle visuo-tactile permettant la stimulation de diverses parties du corps, dont la langue (très sensible et mobile), particulièrement adaptée à la mise au point d'une IHM esthétiquement acceptable et particulièrement efficace. La suppléance sensorielle et la plasticité corticale et cognitive, sont au cœur de nos activités de recherche. Nos études sont menées non pas selon l'unique versant comportemental, à l'origine d'une littérature déjà abondante depuis les années 1970, mais en combinant les approches complémentaires de la psychologie expérimentale et de la neuroimagerie cérébrale fonctionnelle. Le rôle spécifique de l'expérience visuelle, dans ce cadre de recherche, est particulièrement étudié en comparant des sujets aveugles précoces et des sujets voyants aux yeux bandés.

Nos activités de recherche s'inscrivent ainsi dans le contexte théorique de la suppléance sensorielle, et concernent plus particulièrement l'étude de la perception d'informations relatives à l'espace extracorporel sur la base de stimuli « substitutifs », transmis *via* des systèmes de suppléance sensorielle visuo-tactile, et sur la plasticité cérébrale et comportementale que semble impliquer l'utilisation de ces prothèses sensorielles. Nos études portent sur la perception d'informations de nature optique à travers des procédures d'apprentissage, inspirées par différentes études ayant démontré les possibilités de percevoir

certaines propriétés de l'espace tridimensionnel *via* des stimulations vibro- ou électrotactiles. L'un des objectifs majeurs de ces recherches est l'évaluation des effets comportementaux et anatomo-fonctionnels de l'utilisation de ces prothèses sensorielles. Des techniques psychophysiques sont appliquées pour étudier les effets perceptifs et cognitifs de la suppléance sensorielle visuo-tactile et les possibilités de faire l'expérience tactile d'effets optiques (i.e. des patterns de stimulation dont la structure est fortement corrélée avec une stimulation optique [Epstein 1985]) habituellement reliés à la vision. L'évaluation est réalisée en proposant différentes tâches comportementales réalisées au cours d'un apprentissage *via* un dispositif de suppléance sensorielle. D'autre part, la technique d'imagerie cérébrale par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est utilisée pour évaluer la plasticité cérébrale, ce qui sous-entend la localisation des régions cérébrales impliquées dans la perception des stimuli substitutifs, et l'évolution des foyers d'activations en lien avec l'apprentissage comportemental réalisé. Ainsi, cette double approche a permis de mettre en évidence deux catégories de résultats dans le domaine de la suppléance sensorielle :

Tout d'abord, au niveau comportemental, de très grandes capacités de discrimination de formes ont pu être obtenues, tout particulièrement avec la version très miniaturisée du TVSS (le TDU ; *Tongue Display Unit*) qui associe une haute densité des tacleurs et des récepteurs sensoriels tactiles dans l'environnement protégé qu'est la bouche. Ainsi, l'acuité « visuo-tactile » des personnes aveugles percevant l'information à travers le TDU a été quantifiée, en utilisant un test ophtalmologique standard (la charte de Snellen). Sans aucun entraînement, les adultes voyants aux yeux bandés et les personnes aveugles présentaient une acuité de $1/43^\circ$ (tandis que l'institut Dobelle obtenait, avec un sujet adulte aveugle bien entraîné, une acuité de $1/60^\circ$ à l'aide d'un dispositif très invasif implanté directement dans le cortex occipital [Dobelle 2000]). A la fin de la période d'entraînement, nos sujets ont doublé leur acuité, atteignant $1/22^\circ$ [Sampaio *et al.* 2001]. De plus, l'entraînement intensif à l'usage du TVSS, avec différents niveaux adaptés et progressifs de difficulté, permettait à chacun des groupes (sujets aveugles congénitaux et voyants contrôle aux yeux bandés) de percevoir des informations spécifiquement visuelles telles que la profondeur, la perspective ou la parallaxe de mouvement. En fait, la suppléance sensorielle constitue la seule voie d'accès pour les personnes aveugles à ce type d'information localisée dans l'espace distant extracorporel. Même à l'aide d'une faible densité de tacleurs (les 64 tacleurs de la version PTD – *Pneumatically Tactile Driven system* – du TVSS), une procédure d'apprentissage appropriée permet une navigation efficace dans un espace 3D, en radio-contrôlant un robot (Mobile de Couplage Sensori-Moteur) dans un labyrinthe sur la seule base d'informations substitutives visuo-tactiles [Segond *et al.* 2005]. Un tel résultat présente un impact social et économique potentiel comme le soulignent ces possibilités de faciliter la navigation des personnes aveugles dans le monde réel. De plus, il suggère également qu'il est possible d'implémenter non seulement des aides au déplacement, mais également à la communication y compris à travers des systèmes de type jeux vidéo contribuant à l'implication des personnes aveugles dans tous les domaines de la vie en société, pour une meilleure qualité de vie en lien avec l'accès aux loisirs associés aux développements technologiques.

Au niveau anatomo-fonctionnel et cérébral, des patterns visuels d'activation cérébrale dans des aires habituellement responsables du traitement de la profondeur et du mouvement à partir d'informations visuelles, ont été obtenus après un apprentissage intensif, bien qu'une stimulation tactile était présentée, issue du TVSS (version PTD destinée à une utilisation

dans l'environnement du scanner IRMf). Ainsi, l'imagerie fonctionnelle suggère que l'information visuelle peut être traitée par la modalité tactile quand une transmission adéquate est effectuée par l'intermédiaire du TVSS. Par ailleurs, il a été démontré, que non seulement pouvait être utilisée en toute sécurité dans l'environnement IRMf la version pneumatique du TVSS (PTD), spécialement constituée d'éléments amagnétiques, mais également la version électronique miniaturisée TDU (matrice de 3x3 cm avec 144 électrodes explorées par la langue). Ce résultat ouvre très largement de nouvelles perspectives d'investigations scientifiques.

3. DEFICIENCE VISUELLE ET SUPPLEANCE SENSORIELLE

La vision est la modalité sensorielle privilégiée pour la découverte et la compréhension de notre environnement, ainsi que pour s'adapter à ses changements. En effet, en l'absence de prise en charge précoce, divers troubles perceptifs et cognitifs apparaissent, pouvant donner lieu à des troubles pathologiques graves au niveau du développement moteur, de l'acquisition du langage, de la représentation spatiale, des interactions parents-enfants, du développement de la personnalité, des interactions avec l'environnement physique et social, de l'autonomie et de la confiance en soi. Ainsi, les troubles de type autistiques apparaissent de manière plus fréquente au sein de cette population ; ils concernent 25 à 50% des enfants aveugles selon les statistiques américaines [Sampaio 1989], contre 0,09% dans la population générale (cf. circulaire ministérielle du 8 mars 2005¹).

Un tel phénomène souligne la nécessité de développer les études sur la suppléance sensorielle visuo-tactile et de concevoir un dispositif embarqué à liaisons non filaires, esthétiquement acceptable et utilisable dans les situations de la vie quotidienne permettant à de jeunes aveugles de détecter la présence et comprendre la nature d'objets distants, et de découvrir les conséquences perceptives de leurs propres actions – une clé pour le développement d'un sentiment d'efficacité et de confiance en soi. La prise en charge précoce des enfants aveugles doit les inciter et leur permettre d'interagir avec leur environnement, en particulier à travers la manipulation d'objets. L'objectif essentiel étant qu'ils puissent contrôler activement leurs interactions par la production d'une corrélation systématique entre un mouvement et ses effets consécutifs. Cette capacité, ainsi que le caractère attractif pour de jeunes bébés des stimulations issues d'un dispositif de suppléance sensorielle visuo-tactile de type TVSS (*Tactile Vision Substitution System* ; prototype à liaisons filaires), ont été récemment scientifiquement démontrés par notre équipe [Segond, Weiss and Sampaio 2007], en lien avec les travaux soulignant les bénéfices du toucher au cours du développement précoce [Segond 2008]. Chez l'adulte aveugle, l'enquête Handicaps-Incapacités-Dépendance², menée récemment en France sur la déficience visuelle, a permis d'analyser les restrictions d'activité occasionnées par le handicap en fonction de sa sévérité. La déficience visuelle réduit l'autonomie ; les incapacités sévères concernent de manière dominante la mobilité et les déplacements, ainsi que les tâches ménagères, et les activités de souplesse et de manipulation (se pencher, ramasser un objet sur le sol...). Ces

¹ Circulaire du 8 mars 2005. Disponible à l'adresse <http://www.cra-rhone-alpes.org/spip.php?article144>

² Enquête HID ; Observatoire Régional de la Santé des Pays de Loire, 2005. Disponible à l'adresse www.sante.gouv.fr

incapacités sont déclarées, selon l'enquête HID, par 80% des aveugles et malvoyants profonds.

Concernant les aides techniques pour la compensation du handicap visuel, celles-ci se révèlent très peu utilisées (15% seulement des déficients visuels en ont à leur disposition), et les besoins dans ce domaine sont très largement insatisfaits. Les seules « aides visuelles » au déplacement dont disposent à l'heure actuelle les personnes aveugles sont la canne blanche (l'ancêtre des dispositifs TVSS) et le chien-guide. Or, celles-ci sont parallèlement très peu utilisées même dans le cas des déficiences les plus sévères. 2% des déficients visuels déclarent utiliser une canne blanche, et 1/1000 un chien-guide. Des dispositifs technologiques de détection d'obstacle à distance de type télémètre laser ou proximètre infrarouge (Tom Pouce, Télétact³) peuvent être associés à la canne blanche pour améliorer les performances de navigation des personnes aveugles. Parallèlement, les aides à la communication (utilisant le braille, la synthèse vocale, les lecteurs d'écran) destinées également aux personnes les plus déficientes, se sont développées ces 10 dernières années afin de permettre, avec le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), et notamment de l'internet, une amélioration de l'accessibilité à l'information (techniques nécessitant une phase d'apprentissage). Les techniques reposant sur le braille sont peu exploitables compte tenu du fait qu'il existe une grande partie des personnes aveugles qui rencontrent des difficultés dans la lecture et la compréhension du braille⁴. Aussi, utiliser conjointement un ordinateur (*via* son interface) et un assistant technique (lecteur d'écran et plage braille) représente une double tâche impossible à gérer pour la plupart des personnes. Ainsi, ceux qui veulent interagir avec un ordinateur se servent essentiellement du synthétiseur vocal. Actuellement, si ces techniques et interfaces d'ordinateurs sont majoritairement utilisées par les aveugles profonds (les technologies informatiques se révélant particulièrement intéressantes en cas de déficience visuelle majeure), elles sont peu répandues (moins de 2% des personnes aveugles – 1000 personnes – déclarent y avoir accès). Or il est important de souligner que si le recours à ce type d'aide est peu fréquent, les besoins réels apparaissent quant à eux beaucoup plus importants : 24.000 déficients visuels n'utilisent pas d'interfaces d'ordinateurs mais déclarent en avoir besoin. Et les besoins sont très vraisemblablement plus importants en raison du fait que les déficients visuels ont peu connaissance de l'existence même des aides visuelles. Le manque d'accessibilité numérique des environnements technologiques contribue à cette méconnaissance ; les personnes aveugles (même munies de lecteurs d'écran reliés à des plages braille ou de synthétiseurs vocaux) ne pouvant consulter et parcourir les sites web. Cette difficulté est à l'origine de la création de la WAI (*Web Accessibility Initiative*) lancée en 1997. Des initiatives intéressantes ont vu le jour pour le développement d'interfaces comme les projets Tactos⁵ et TIM (*Tactile Interactive Multimedia*)⁶. Cette dynamique se

³ Tom Pouce et Télétact. Disponibles à l'adresse <http://www.lac.u-psud.fr/teletact/index-teletact.htm>

⁴ « Dans les faits, beaucoup des personnes atteintes de cécité ont des notions de braille. Elles parviennent, ainsi, à déchiffrer quelques caractères, prendre des notes et étiqueter certains objets afin de les reconnaître. Très peu sont cependant à même de lire un document en entier rapidement. Cette maîtrise du braille est pratiquement réservée aux aveugles de naissance ou de jeunesse. On estime que 10 % à 15 % seulement des non voyants la possèdent, soit environ 8.000 personnes, qui représentent à peine 2% des 500.000 déficients visuels graves, et ce pourcentage est en constante diminution. » http://www.air-asso.org/deficience_visuelle_autonomie_braille.htm

⁵ Tactos: dispositif du CRED. Disponible à l'adresse http://www.utc.fr/cred/index.php?page=ressources&hl=fr_FR

⁶ TIM. Disponible à l'adresse <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/tim.php?ref=adapt01>

voit soutenue par la publication récente d'un décret d'application⁷ sur l'accessibilité numérique des sites E-administration (dans le prolongement de la loi égalité des chances de février 2005) qui fixe un délai maximal de deux ans pour rendre accessible les sites en ligne des établissements publics dépendant de l'Etat. Les besoins ne sont pas mieux satisfaits en institution qu'à domicile, traduisant par là-même la méconnaissance des aides visuelles non seulement par les utilisateurs potentiels, mais également par les professionnels de santé amenés à intervenir dans le champ du handicap visuel. Cette méconnaissance concerne autant l'évaluation des besoins des déficients visuels, que le bénéfice potentiel de ces aides, et qui plus est les procédures d'apprentissage requises par ce type de dispositif.

A ce manque de connaissance et de formation dans le domaine des aides visuelles s'ajoute également, parmi les freins à l'utilisation de ces dispositifs, le prix des aides visuelles, d'autant plus élevé qu'elles ont recours à une technologie électronique ou informatique. L'exemple Québécois illustre bien ce phénomène dans la mesure où la gratuité des aides visuelles favorise considérablement leur diffusion (dans le cadre d'un programme d'aides visuelles mis en place pour les malvoyants depuis 1977, avec prêt de matériel). Or ces coûts dépendent également de l'importance du marché ciblé. La conception recherchée dans le cadre de nos activités de recherche d'une base technologique commune à la mise au point d'un dispositif de type TVSS, avec des interfaces modulables permettant une utilisation auprès d'un plus large panel de population (bébés, enfants, adultes aveugles et/ou autistes) constitue des éléments de réponse à ce problème. D'autres éléments déterminants pour l'accès à ces dispositifs sont d'ordre politique et concernent en particulier la prise en charge des matériels informatiques pour déficients visuels dans le cadre des prestations légales. Or, un dispositif pour la vie autonome a récemment été mis en place et s'est progressivement généralisé depuis 2000 à l'ensemble des départements français venant compléter les dispositifs de financements complémentaires pouvant être obtenus auprès de différents organismes (Association de Gestion du Fonds pour l'Insertion Professionnelle des Personnes Handicapées, Fonds pour l'Insertion des Personnes Handicapées, Maison Départementale des Personnes Handicapées, conseils généraux, plan Handiscol, assurances et mutuelles...). Ces nouvelles dispositions constituent une avancée dans le domaine de l'accessibilité aux aides visuelles.

Enfin, il faut également souligner parmi les facteurs limitant actuellement l'accès aux aides visuelles la multiplicité des circuits de distribution, qui diffèrent en fonction de la nature des aides. La diffusion des aides au déplacement et à la communication est tout particulièrement insatisfaisante, contribuant à la méconnaissance de l'existence des potentialités offertes par les technologies nouvelles et innovantes.

4. NOUVELLE PERSPECTIVE : TVSS ET AUTISME

L'autisme est un trouble envahissant du développement (TED) qui se caractérise par des dysfonctionnements dans les interactions sociales, des difficultés de communication, de symbolisation et des comportements bizarres et stéréotypés. On connaît actuellement l'existence de facteurs génétiques et d'altérations précoces du système nerveux central pouvant être associés à ces troubles [Tourette 2006]. La contribution de facteurs environnementaux reste sujette à discussion.

⁷ Décret d'application n° 2009-546 du 14 mai 2009

L'observation quotidienne des personnes avec autisme sévèrement déficitaires met clairement en évidence un mode de fonctionnement « sensoriel », basé sur un usage aberrant des fonctions sensorielles. Ces observations sur le terrain rejoignent les concepts de seconde peau [Bick 1986], de *holding* [Winnicott 1971 - 2006], de démantèlement du système perceptuel [Meltzer, Brenner and Hoxter 1975] ou de trous noirs [Tustin 1986]. De façon globale, les perceptions proximales (le toucher) sont préférées aux perceptions distales (la vision et l'audition). Les sensations vibratoires sont souvent recherchées. Les comportements de balancement du corps, de reniflage sont fréquemment observés. Autant de bizarreries comportementales qui signent la clinique autistique. Les perspectives analytiques y voient des troubles dans la constitution psychique de l'être, allant de la naissance psychologique à la constitution du sujet pensant et parlant. Les différentes théories détaillent ensuite l'altération des processus d'identification primaire à travers les différents concepts mis en avant. Ainsi Tustin [1986] considère l'hypothèse d'une non constitution de l'enveloppe psychocorporelle de l'enfant comme l'élément majeur pouvant expliquer les signes autistiques. Winnicott [1971 - 2006] souligne à ce sujet le rôle de l'enveloppement de l'enfant prodigué par les parents lors du portage (*holding*) et des manipulations de l'enfant lors de soins quotidiens (*handling*), exerçant une véritable fonction de contenance des angoisses psychiques de l'enfant ou système de parexcitation, qui ferait défaut dans le cas de l'autisme. Cette absence de première ébauche psychocorporelle fera que pour l'enfant autiste, l'autre est perçu sans accrochage, les sensations sont non mémorisées et stabilisées (Moi-sensation) dans le corps. Ce qui crée des angoisses primitives, des trous noirs, c'est-à-dire des lieux corporels où les sensations sont éprouvées régulièrement et qui font trou dès que cesse l'excitation sensorielle. Les exemples de trous noirs sont nombreux : le dos, d'où les stéréotypies de balancement qui sont des stimulations dorsales ; la bouche « molle » des autistes, marquant une hypotonie musculaire et un déficit sensoriel. Ainsi l'absence de sphinctérisation des lèvres sur le couvert (fourchette raclée, absence de préhension des lèvres, aliments déposés sur la langue) ou la rareté de la mastication sont régulièrement observées. Les idées avancées, entre autres par ces auteurs, permettent de comprendre certains troubles du comportement comme autant de tentatives pour retrouver les sensations, pour lutter contre les trous noirs ; les stimulations corporelles quasi-permanentes sont perçues comme des tentatives de créer une véritable seconde peau. Cette idée peut se traduire à travers la métaphore d'une véritable tentative de « tactiliser » les sensations pour rendre compte de tous ces comportements autour de la sensorialité.

Les sens sont tactilisés par les personnes autistes à partir 1. de la vision, en privilégiant la vision périphérique car la vision fovéale est celle qui permet d'accéder à la spatialisation et la tridimensionnalité (les distances sont évaluées et les objets sont perçus comme des non-Moi) ; 2. de la chémoréception oro-pharyngée, en utilisant le système olfactif trigéminal ; l'un des 3 systèmes olfactifs chez l'homme, responsable des sensations fortes, piquantes, irritantes. De telles sensations illustrent la « tactilisation » olfactive voire gustative ; 3. de l'audition en recherchant les composantes vibratoires de basses fréquences traduisant une tactilisation des stimulations sonores (la composante auditive du son devenant alors une composante vibratoire tactilement perçue). Ces considérations, issues des interprétations de type psychanalytique, n'induisent rien quant à l'étiologie de l'autisme, mais peuvent contribuer à la compréhension de ce qui se joue chez la personne autiste. Le meilleur argument en faveur de ce type de lecture est la relative efficacité des actions menées sur le terrain. Toutes les personnes qui ont en charge les personnes autistes connaissent

l'importance des techniques d'enveloppement (indépendamment du *packing*⁸ visant à lutter contre les automutilations par l'enveloppement du corps de l'autiste) et le rôle apaisant de tout ce qui concerne la question de la contenance pour la personne autiste. Cette efficacité est relative dans le sens où elle n'est jamais que temporaire.

L'entrave à la constitution du psychisme de l'enfant, qui est l'hypothèse centrale, n'est en rien l'origine des troubles ; elle n'en est que la conséquence. L'origine relève probablement de dysfonctionnements du système nerveux. Des lésions cérébrales, même si elles ne sont pas toujours identifiées, créeraient des difficultés inhérentes à la constitution du psychisme. Dans cette perspective, l'approche neuropsychologique issue des neurosciences, les approches psychanalytiques et comportementalistes sont pour nous complémentaires. En effet, certaines de ces idées peuvent s'articuler avec des données issues de la neuropsychologie et des neurosciences. Les travaux en imagerie cérébrale commencent à se multiplier malgré les difficultés méthodologiques inhérentes à ce public. Les résultats obtenus en imagerie cérébrale (voir par exemple [Boddaert and Zilbovicius 2002]) confirment partiellement l'idée centrale d'un fonctionnement sensoriel aberrant mis en avant par l'observation clinique et repris par des psychanalystes. Ceci montre bien la complémentarité des points de vue et la nécessaire concertation des approches et des idées.

L'intérêt à utiliser des dispositifs de type TVSS chez les personnes autistes (avec retard mental grave associé) n'a jamais été envisagé jusqu'à présent. Or, cet intérêt est souligné par le fait qu'elles affectionnent tout particulièrement les modalités tactile et vibratoire sous réserve qu'elles en soient à l'origine : ce sont des sensations qu'elles recherchent et qu'elles se créent. Si elles n'aiment pas être touchées, ce sont elles qui initient le contact tactile. L'idée de la tactilisation des sens permet d'illustrer cette attirance qu'ont les personnes autistes pour ce type de stimulations. Ce sont précisément ces stimulations que permettent les dispositifs TVSS. Les systèmes TVSS représentent un outil thérapeutique particulièrement séduisant dans la mesure où ils fournissent non seulement des informations sur la localisation des objets dans l'espace, mais également sur la structure des objets [Bachy-Rita, Kaczmarek and Tyler 2003]. Ces mêmes bénéfices pourraient être mis à profit auprès de personnes autistes. L'utilisation de ces appareils occasionne des sensations tactiles sur la peau ou sur la partie du corps où est posée la matrice. De plus l'usage de la caméra permet une utilisation en boucle fermée : ce sont bien les mouvements de la caméra manipulée par la personne qui créent les sensations correspondantes. Cela offre la possibilité au sujet de maîtriser totalement les stimulations. Cette maîtrise est fondamentale pour les sujets autistes, car ils agissent au lieu de subir. Ils seront acteurs de leur environnement ; ils pourront même en être investigateurs et peut être produire des comportements exploratoires. Seule la réalisation concrète sur le terrain pourra dire quelles peuvent en être toutes les conséquences et toutes les perspectives.

Il existe une autre raison importante pour utiliser ces dispositifs avec la population autistique. De toute évidence la perception visuelle de l'environnement physique, donc spatial, pose difficulté. Tout nouvel environnement génère angoisse et stéréotypies. Classiquement, la préférence en faveur de la vision périphérique est interprétée comme un

⁸ Enveloppement serré, humide (le plus souvent froid), suivi d'un réchauffement, réalisé avec des draps et des couvertures au cours de séances répétées durant chacune 45 minutes, réservé à des cas gravissimes, le plus souvent en dernier recours, notamment en cas d'auto ou hétéroagressivité et d'agitation extrême (cf. avis du Haut Conseil de la Santé Publique publié en 2010).

renoncement à la spatialité, à la vision tridimensionnelle. Voir en perspective, en volume, est anxiogène et cette idée est traduite par la métaphore suivante : l'autiste est fâché avec les distances et les volumes ; il préfère les sensations corporelles, aussi pour leur aspect de bi dimensionnalité. Les dispositifs TVSS semblent alors offrir une situation idéale pour un autiste : accéder à une perception distale au travers d'une sensation tactile ou encore accéder à une perception de l'espace et des volumes à travers une perception bidimensionnelle. Du point de vue développé ici, cette situation semble réaliser un rêve impossible pour la personne souffrant du syndrome autistique.

5. CONCLUSION

Sur le plan technique, l'enjeu important de nos activités consiste à coupler la micro caméra embarquée du dispositif TVSS (intégrée soit à une tétine chez le bébé, soit à une branche de lunettes pour les enfants/adultes, ou encore à un bandeau frontal) avec un dispositif sans fil d'électrostimulation (linguale ou abdominale), lui-même interfacé par liaisons non filaires avec le système microinformatique de couplage embarqué (de type mini-PC ou NotePad) qui traite par voie logicielle les informations optiques transmises par la micro caméra pour les renvoyer sous forme d'image tactile au niveau de la matrice de tacteurs. La seconde étape de l'interfaçage, au profit de l'aide à l'autonomie des personnes aveugles, consistera à coupler le TVSS avec un logiciel PC présentant l'environnement urbain numérisé en 3D de la personne aveugle, permettant non seulement la découverte de dimensions habituellement inaccessibles de l'espace (éléments architecturaux – cf. hauteur des murs, toitures...- configuration globale de l'espace urbain), d'informations optiques (profondeur, perspective...), et la familiarisation à un trajet permettant ensuite à la personne aveugle de se rendre où bon lui semble, équipée du dispositif embarqué de Réalité Augmentée : l'ECOVISIOTACT.

Quant à la prise en charge des personnes autistes, le bénéfice de celle-ci repose sur la création d'un environnement sécurisant à la fois par l'adéquation de l'environnement psychophysique à leurs spécificités sensorielles et par l'accordage affectif de l'intervenant dans un souci de non directivité et de libre choix. L'impact d'une telle approche doit faire l'objet d'une évaluation en définissant préalablement le profil sensoriel individuel caractérisant le fonctionnement sensori-moteur et émotionnel atypique de la personne autiste, en fonction des modalités sensorielles impliquées et des possibles intégrations ou dissociations entre ces dernières. Cette approche nous conduira à évaluer la pertinence de l'utilisation innovante d'un dispositif de suppléance sensorielle visuo-tactile en tant que stratégie innovante d'intégration sensorielle et de régulation émotionnelle pour les individus en questions [Bellusso, Desnos, Maris, Salman and Segond 2009 ; Desnos, Maris and Segond 2009 ; Desnos and Segond 2009].

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement le Conseil Scientifique de l'Université de Strasbourg, le Conseil Régional d'Alsace, M. Albecker et la Fondation Sonnenhof (Bischwiller), M. Dietrich et le Foyer d'Accueil Médicalisé Pierre Valdo (Marmoutier), ainsi que Mme Birki et l'IME Les Rosiers Blancs (Saverne).

RÉFÉRENCES

- Auvray, C., Hanneton, S., Lenay, C. and O'Regan, J.K. 2005. There is something out there: distal attribution in sensory substitution, twenty years later. *Journal of Integrative Neuroscience*, Vol. 4, No. 4, pp. 505-521.
- Bellusso, P., Desnos, Y., Maris, S., Salman, S. and Segond, H. 2009. Dispositif Ecologique Embarqué de Suppléance Sensorielle Visuo-Tactile pour personnes aveugles et/ou autistes sévèrement déficitaires. *Sciences et Technologies Cognitives, Colloque de Perspectives*, Paris, 23 oct.
- Bick, E. 1986. Further considerations on the function of the skin in early object relations. *British journal of psychotherapy*, 2, pp. 292-299.
- Bach-y-Rita, P. 1972. *Brain Mechanisms in Sensory Substitution*. Academic Press, New York.
- Bach-y-Rita, P. 1988. Brain Plasticity. In J. Goodgold (ed.), *Rehabilitation Medicine*. Mosby, pp. 113-118.
- Bach-y-Rita, P. 1995. *Nonsynaptic diffusion, neuro-transmission and late brain organization*. Demos Publications, New York.
- Bach-y-Rita, P. and Hughes, B. 1985. Tactile vision substitution: some instrumentation and perceptual considerations. In D. Warren & E. Strelow (eds.) *Electronic spatial sensing for the Blind*. Martinus-Nijhoff, Dordrecht, pp. 171-186.
- Bach-y-Rita, P., Kaczmarek, K.A. and Tyler, B. 2003. A tongue-based tactile display for portrayal of environmental characteristics. In L. Hettlinger & M. Haas (eds.), *Psychological issues in the design and use of virtual and adaptive environment*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, N.J., pp. 169-186.
- Boddaert, N. and Zilbovicius, M. 2002/1. L'imagerie cérébrale et l'autisme infantile. *Enfance*, Vol. 54, pp. 10-20.
- Brown, J. S. and Duguid, P. 2002. *The Social Life of Information*. Harvard Business School Press. 356 pages.
- Circulaire du 8 mars 2005. Disponible à l'adresse : <http://www.education.gouv.fr/bo/2005/15/SANA0530104C.htm>
- Desnos, Y. and Segond, H. 2009. Substitution sensorielle visuo-tactile et prise en charge thérapeutique des personnes avec autisme et retard mental sévère associé. *CJCSC'09, Colloque des Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives*, Toulouse, 9-11 juin.
- Desnos, Y., Segond, H. and Maris, S. 2009. Sensory integration devices as a new modality of therapeutic care for autistic people with mental retardation. *Innovative Research In Autism*, Tours, April 15-17.
- Dobelle, W.H. 2000. Artificial Vision for the Blind by Connecting a Television Camera to the Visual Cortex. *ASAIO Journal*.
- Epstein, C.M. 1985. Transmodal perception and amodal information. In D. Warren & E. Strelow (eds.) *Electronic spatial sensing for the Blind*. Martinus-Nijhoff, Dordrecht, pp. 421-430.
- Enquête HID ; Observatoire Régional de la Santé des Pays de Loire, 2005. Disponible à l'adresse www.sante.gouv.fr
- Guarniero, G. 1974. Experience of tactile vision. *Perception*, Vol. 3, pp. 101-104.
- Guarniero, G. 1977. Tactile Vision: A personal view. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, No. 71, pp. 125-130.

- Lenay, C., Gapenne, O., Hanne-ton, S., Marque, C. and Genouel, C. 2000. La substitution sensorielle: limites et perspectives. In Y. Hatwell, A. Streri, & E. Gentaz (eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Presses Universitaires de France, Paris, France, pp. 287-306. Traduction anglaise : *Touch for Knowing*. John Benjamins Publishers, Amsterdam, 2003.
- Meltzer, D., Brenner, J., Hoxter, S., 1975. *Exploration in Autism*. Roland Harris Trust, Clunie Press. trad. fr. *Explorations dans le monde de l'autisme*. Payot, Paris, 1980.
- Miletic, G., Hughes, B. and Bach-y-Rita, P. 1988. Vibrotactile Stimulation: An Educational Program for Spatial Concept Development. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, No. 82, pp. 366-370.
- Proust, J. 1997. *Perception et Intermodalité : Approches Actuelles de la Question de Molyneux*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Sampaio, E. 1989. L'autisme infantile: le cas de l'enfant aveugle. *Réflexions méthodologiques. Psychologie Médicale*, No. 21, pp. 2020-2024.
- Sampaio, E. 1995. Les substitutions sensorielles adaptées aux déficits visuels importants. In A.B. Safran & A. Assimacopoulos (eds.), *Le déficit visuel. Des fondements neuropsychologiques à la pratique de la réadaptation*. Masson, Paris, France, pp. 197-211.
- Sampaio, E. and Dufier, E. 1988. Suppléance sensorielle électronique pour les jeunes enfants aveugles. *Journal Français d'Ophthalmologie*, No. 11, pp. 161-167.
- Sampaio, E., Maris, S. and Bach-y-Rita, P. 2001. Brain plasticity: "visual acuity" of blind persons via the tongue. *Brain Research*. No. 908, pp. 276-280.
- Segond, H. 2008. *Le Toucher en Développement: Perception Tactile et Continuité Transnatale*. In G. Chasseigne (eds.), *Cognition, Santé et Vie Quotidienne*, Vol. 1, Publibook Université, Coll. Sciences Humaines et Sociale/Psychologie Cognitive, Reims, pp. 75-108.
- Segond, H., Weiss, D. and Sampaio, E. 2005. Human navigation via a visuo-tactile sensory substitution system. *Perception*, Vol. 34, pp. 155-164.
- Segond, H., Weiss, D. and Sampaio, E. 2007. A proposed Tactile-Stimulation System for Infants Who Are Blind Tested on Sighted Infants. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, Vol. 1, No. 103, pp. 32-43.
- Tactos: dispositif du CRED. Disponible à l'adresse http://www.utc.fr/cred/index.php?page=ressources&hl=fr_FR
- TIM. Disponible à l'adresse <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/tim.php?ref=adapt01>
- Tom Pouce et Télétact. Disponibles à l'adresse <http://www.lac.u-psud.fr/teletact/index-teletact.htm>
- Tourette, C. 2006. *Evaluer les enfants avec déficiences ou troubles du développement*. Dunod, Paris.
- Tustin, F. 1986. *Les états autistiques chez l'enfant*. Seuil, Paris.
- Winicott, D. 1971, 2006. *Jeu et Réalité, l'espace potentiel*. Gallimard folio, Paris.



Hervé Segond est Maître de Conférences HDR en Psychologie du Développement à l'Université de Strasbourg où il enseigne le développement normal et psychopathologique de l'enfant au niveau psychomoteur et cognitif depuis la vie fœtale à l'âge scolaire. Il est également Directeur de la Formation

en Master Professionnel de Psychologie Clinique Développementale « Evolution, Involution et Handicap ». Membre du Comité Directeur du laboratoire de psychologie clinique et psychopathologie (SCLS EA 3071), et responsable de l'équipe de Psychologie du Développement, ses travaux de recherche portent principalement sur le toucher en développement au niveau comportemental et anatomo-fonctionnel, suivant deux axes : **a.** les origines et le développement de la spécialisation perceptivo-motrice manuelle, ainsi que les troubles de la latéralité en lien avec les troubles des apprentissages et du développement ; **b.** la perception tactile d'informations optiques à l'aide de dispositifs technologiques innovants de suppléance sensorielle visuo-tactile à destination des personnes aveugles, et d'intégration sensorielle au profit de la prise en charge des personnes autistes.



Stéphane Maris est neuropsychologue au Foyer d'Accueil Médicalisé Pierre Valdo (Marmoutier), unité de la Fondation Sonnenhof de Bischwiller (Bas-Rhin), ainsi qu'à l'Hôpital de jour Gériatrique de Wissembourg. Il effectue des prises en charge thérapeutiques auprès d'adultes autistes sévèrement déficitaires et d'adultes polyhandicapés, ainsi que des bilans neuropsychologiques auprès de personnes âgées avec prise en charge de groupes de stimulation cognitive. Docteur en Psychologie, il a mené ses recherches dans le domaine de la suppléance sensorielle visuo-tactile à l'Université de Strasbourg auprès de personnes aveugles. Il est également chargé d'enseignements à l'Université de Strasbourg ainsi qu'auprès des IFSI et de la FEETAC, sur les thèmes de l'autisme (approche cognitiviste et liens avec le cheval) et de la sensorialité des personnes polyhandicapées.



Yves Desnos est Psychologue et Doctorant de l'Université de Strasbourg rattaché au laboratoire de Psychologie Clinique et Psychopathologie SCLS/EA3071. Ses activités de Recherche, financées par le Conseil Régional d'Alsace, sont menées dans l'équipe de Psychologie du Développement sous la direction d'Hervé Segond, en partenariat avec le F.A.M. Pierre Valdo (Marmoutier) sur le thème : prise en charge des personnes autistes sévèrement déficitaires et suppléance sensorielle visuo-tactile ; une lecture de l'autisme alliant Psychologie Cognitive du Développement, Neurosciences et Psychanalyse.



Perrine Bellusso est Psychologue et Doctorante Contractuelle de l'Université de Strasbourg avec Mission d'Enseignement, rattachée au laboratoire de Psychologie Clinique et Psychopathologie SCLS/EA3071. Ses activités de recherche sont menées dans l'équipe de Psychologie du Développement sous la direction d'Hervé Segond, en partenariat avec l'AAPEI et l'IME Les Rosiers Blancs de Saverne, sur le thème : perception et intégration sensorielle chez l'enfant autiste ; approche cognitivo-comportementale des bénéfices d'une thérapie sensorielle.

La recherche collaborative d'information sur Internet : impact de l'affinité entre les jeunes collaborateurs

Jerome Dinet, Robin Vivian, Brigitte Simonnot

► **To cite this version:**

Jerome Dinet, Robin Vivian, Brigitte Simonnot. La recherche collaborative d'information sur Internet : impact de l'affinité entre les jeunes collaborateurs. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2011, 2 (1), pp.1-19. hal-01059080

HAL Id: hal-01059080

<https://hal.inria.fr/hal-01059080>

Submitted on 29 Aug 2014

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

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

La recherche collaborative d'information sur Internet : impact de l'affinité entre les jeunes collaborateurs

JEROME DINET

ETIC, Université Paul Verlaine - Metz

ROBIN VIVIAN

ETIC, Université Paul Verlaine - Metz

BRIGITTE SIMONNOT

CREM, Université Paul Verlaine - Metz

Résumé : Deux études expérimentales visent à décrire les impacts du travail collaboratif et du degré d'affinité entre les collaborateurs lors de recherches d'information sur le Web quand les usagers sont de jeunes apprenants de CM2. Lors de trois sessions successives, les élèves devaient trouver les réponses à des questions liées à l'histoire médiévale en recherchant sur Internet ces réponses. Lors de ces trois sessions, un élève devait effectuer cette recherche d'information seul (condition « Seul »), ou bien avec un ami (condition « Affinité + »), ou bien avec un élève avec lequel il n'entretenait aucun lien amical particulier (condition « Affinité - »). Plusieurs résultats significatifs ont été obtenus : (1) les élèves travaillant en binômes trouvent plus d'informations pertinentes et sont plus efficaces que lorsqu'ils travaillent seuls ; (2) les binômes composés d'élèves n'entretenant pas de lien amical trouvent plus d'informations pertinentes et sont plus efficaces ; (3) les binômes composés d'élèves entretenant des liens amicaux produisent plus de requêtes non pertinentes ; (4) les binômes composés d'élèves n'entretenant pas de lien amical sont plus engagés dans des interactions facilitatrices.

Mots clés : Recherche collaborative d'information, Interactions, Aspects affectifs.

Abstract: Two experimental studies aim at describing the impacts of pair interaction and affective factors during the process of collaborative search for information on the World Wide Web when end-users are young learners recruited from Grade 3. In three successive sessions, students were asked to find answers to questions related to medieval history on the Internet. In these three sessions, students were asked to find these answers alone (condition "Alone"), or with a friend (condition "Affinity +"), or with another pupil who was not a friend (condition "Affinity -"). Several significant results have been obtained: (1) pairs retrieved effectively more answers, more correct answers, and were more efficient than singles; (2) pairs composed of children without social affinity retrieved more answers, more correct answers and were more efficient than pairs composed of friends; (3) pairs composed of friends produced significantly more irrelevant queries than pairs composed of children without social affinity; (4) pairs composed of children without social affinity are engaged in a great deal of consensus seeking, compared with the pairs composed of friends.

Key words: Collaborative information search, Interaction, Affective factors.

Les articles de JIPS sont publiés sous licence Creative Commons Paternité 2.0 Générique.

Journal d'Interaction Personne-Système, Vol. 2, Num. 1, Art.3, Janvier 2011

1. INTRODUCTION

Cet article présente les résultats de deux expérimentations s'intéressant aux impacts du degré d'affinité qui lie deux jeunes élèves devant, ensemble et de manière collaborative, rechercher des informations sur Internet. Cet article approfondit et complète l'étude présentée à la conférence IHM'2008 [Dinet, Simonnot and Vivian 2008]. Ces deux expérimentations reposent sur un triple constat :

- La recherche collaborative d'information sur Internet est aujourd'hui une réalité dans de nombreux contextes (école, collège, lycée, université, entreprise, etc.) [Dinet 2007]. Par exemple, à l'école, ce sont le plus souvent des binômes qui doivent réaliser l'activité conjointement pour des raisons pédagogiques et des raisons liées au manque de matériel et de temps ;
- Si certaines études empiriques [Diamadis and Polyzos 2004], [de Vries et al., 2008] tendent à montrer que la recherche collaborative est plus efficace que la recherche conduite individuellement (gain de temps, nombre de sites explorés plus important, diminution des revisites, meilleure organisation des sites visités), les résultats sont d'une part, rarement généralisables à cause d'effectifs trop restreints et d'une méthodologie imprécise et d'autre part, ne concernent que des populations d'étudiants et/ou d'adultes ;
- Si la plupart des auteurs s'intéressent à la recherche collaborative d'information sur Internet reconnaissent le rôle primordial des liens affectifs (amitié, inimitié, indifférence, etc.) entre les collaborateurs [Dumais, Cutrell and Chen 2001] [Hansen and Järvelin 2005], aucune étude à notre connaissance n'a cherché à tester les impacts de ces liens sur les comportements, performances et interactions entre les individus.

Aussi, les trois principales questions auxquelles nous tentons d'apporter des éléments de réponse dans cet article sont les suivantes :

1. La recherche collaborative d'information sur Internet est-elle réellement plus efficace que la recherche individuelle lorsqu'il s'agit de jeunes usagers (élèves de CM2) ?
2. Le degré d'affinité entre les membres d'un binôme influence-t-il leurs comportements et stratégies ?
3. Quels sont les impacts au niveau des interactions de ce degré d'affinité entre les deux collaborateurs ?

Dans un premier temps, nous proposons de définir la recherche collaborative d'information, notamment en proposant une typologie des situations et en nous concentrant sur les différences entre la recherche collaborative et la recherche individuelle d'information. Puis, nous présentons les deux expérimentations : la première étude s'intéresse essentiellement aux performances et comportements de jeunes élèves devant rechercher des informations sur Internet, tantôt seuls, tantôt en binômes (dont le degré d'affinité varie) ; la seconde étude se focalise davantage sur les échanges verbaux entre les élèves dans les situations de recherche collaborative, i.e. au sein des binômes.

2. LA RECHERCHE COLLABORATIVE D'INFORMATION

Définition

En accord avec la définition de [Hansen & Järvelin 2005], nous pouvons définir la recherche collaborative d'information de la manière suivante :

« est considérée comme recherche collaborative d'information toute tâche de type résolution de problèmes, impliquant plusieurs individus interagissant, de manière synchrone ou asynchrone, lors d'une tâche commune de recherche de sites ou de pages Web dans des contextes plus ou moins définis et des environnements plus ou moins ouverts ».

La recherche collaborative d'information s'intéresse donc aux activités qu'un groupe de personnes entreprennent pour identifier et résoudre un besoin d'information partagé. Mais, cette définition est trop généraliste. En effet, nous pouvons plus finement distinguer les activités de recherche collaborative d'information selon trois facteurs qui interagissent :

(1) le statut des partenaires (collaborateurs) concernés, avec les cas de figures suivants :

- Un utilisateur « novice » tout-venant et un expert. Ce dernier peut être expert dans l'activité (documentaliste, bibliothécaire) ou être expert dans le domaine concerné par la recherche (informaticien, chirurgien, pilote aéronautique) ;
- Plusieurs utilisateurs novices (tels que des élèves) ;
- Plusieurs experts ;

(2) le type de média partagé par les collaborateurs pour réaliser l'activité :

- Sans média technique. Dans ce cas, les collaborateurs interagissent dans des situations de face-à-face, par les canaux verbaux ou paraverbaux (gestes, postures, attitudes corporelles) habituels ;
- Avec média technique non numérique (par exemple, par téléphone) ;
- Avec média numérique non spécifique (par exemple un moteur de recherche généraliste comme Google.fr) ;
- Avec média numérique spécifique (par exemple un moteur multi-utilisateur comme MUSE [Krishnappa, 2005], DESIRE, ou un système de navigation collaboratif comme Ariadne [Twidale et al, 1997])

(3) les phases de l'activité durant lesquelles la collaboration existe :

- Durant la phase pré-active, c'est-à-dire avant la recherche d'information effective (par exemple, lors de la planification, du choix des mots-clés, d'un brainstorming) ;
- Durant la phase active, c'est-à-dire pendant la recherche proprement dite (par exemple, en partageant les sites Web, par du conseil) ;
- Après la recherche (par exemple, lors de la mise en commun des résultats, lors de la synthèse et écriture finales).

Bien évidemment, les catégories d'activités ainsi définies ne sont pas exclusives les unes par rapport aux autres, et diverses combinaisons peuvent exister. Actuellement, l'une des typologies les plus utilisées est celle créée par [Twidale, Nichols & Paice 1997]. Selon ces auteurs, les activités de recherche collaborative d'information peuvent être distinguées selon deux axes orthogonaux : un axe spatial permet de distinguer les activités selon que les collaborateurs sont proches physiquement ou non ; un axe temporel distingue les activités selon que les individus collaborent de manière synchrone ou asynchrone. Ces deux axes sont des continuums le long desquels une situation particulière peut être positionnée et ainsi définie. D'ailleurs, pour chacune des quatre conditions possibles, les auteurs présentent des exemples (Figure 1).

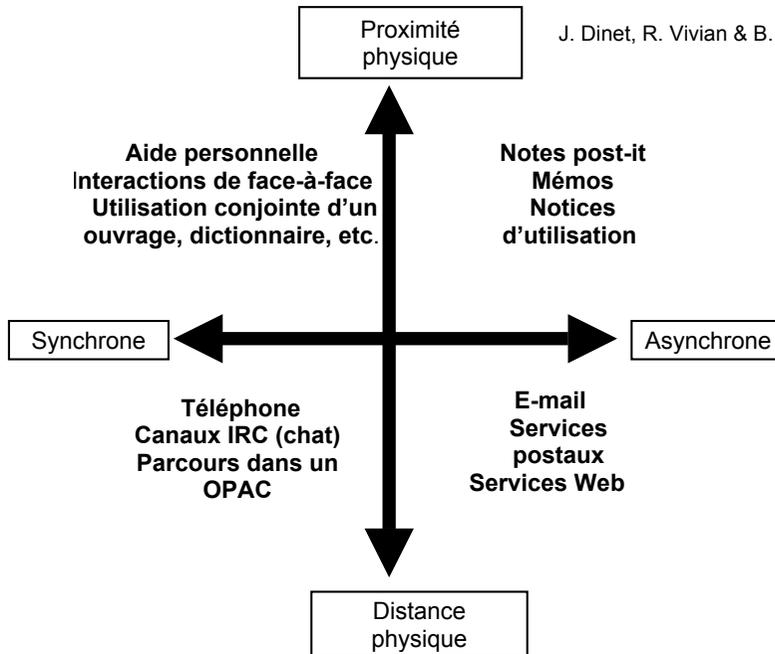


Figure 1. Typologie des activités de recherche collaborative d'information adaptée de Twidale, Nichols & Paice [1997]

En matière de recherche collaborative d'information, les travaux peuvent être distingués en quatre grands groupes selon l'orientation théorique (et méthodologique) des auteurs, cette thématique étant interdisciplinaire (Foster, 2006) :

- Les sciences de l'information et de la communication (SIC) adoptent une approche multidimensionnelle dans laquelle une place privilégiée est donnée aux facteurs sociaux, liés à la situation. Ces derniers ont un impact sur les différentes phases associées directement ou indirectement à la recherche d'information, telles que la définition du besoin, l'acquisition d'information et son traitement, ou encore l'organisation de ces informations. Ainsi, sur la base de modèles initialement conçus pour rendre compte des situations de recherche d'information individuelle (tels que le modèle Information Search Process ou ISP de [Kuhlthau 1991]), de nouveaux modèles sont élaborés en insistant particulièrement sur les aspects sociaux et affectifs (par exemple, [Hyldegard 2006] [Hyldegard 2009] [Ingwersen & Jarvelin 2005] [Karamuftuoglu 1998]). L'un des apports de ces approches est de mettre l'accent sur la dimension sociale, communicationnelle et affective liée à l'aspect collectif et collaboratif ;

- Le domaine des sciences et techniques (dont les mathématiques et l'informatique) expérimente depuis de nombreuses années des outils (logiciels, plates-formes, didacticiels, etc.) censés aider et faciliter le travail collaboratif dans sa totalité ou en partie. La phase de recherche collaborative d'information est alors parfois intégrée par le biais d'outils censés aider à la navigation de groupes d'utilisateurs dans des contenus hypertextuels [Dosser & Perrimond 2001], permettre la production de requêtes plus pertinentes [Razen 2004], ou

encore faciliter le filtrage collaboratif [Denos, Berrut, Gallardo-Lopez & Nguyen 2004]. Mais, rares sont les expériences ayant donné lieu à de réelles évaluations, qui plus est auprès de populations non expertes en informatique, et en situation réelle contextualisée. Malgré tout, ces études présentent l'avantage de tester dans certaines conditions l'utilisabilité de dispositifs techniques innovants ;

- La psychologie sociale et la psychologie cognitive proposent une approche anthropocentrée de la recherche collaborative d'information [Dinet, Chevalier & Tricot sous presse]. L'objectif de ces sciences humaines est triple : d'une part, mieux comprendre les comportements réels et mécanismes mentaux sous-jacents impliqués lors de la recherche collaborative d'information ; d'autre part, mieux cerner les difficultés et facteurs de résistance (voire d'échec) chez les individus ; enfin, proposer des recommandations en termes d'aménagement ou de création de dispositifs pour faciliter l'activité. Ici, un dispositif dépasse largement un simple outil technique ou technologique et renvoie à toutes les dimensions qu'il faut nécessairement prendre en compte (état des connaissances de l'individu, facteurs temporels et spatiaux, contexte exact, consignes, etc.) ;

- Les approches pluridisciplinaires, telles que l'ergonomie ou l'intelligence artificielle, proposent d'aborder la recherche collaborative d'information à l'aide d'une part, de théories et méthodes issues de plusieurs courants antérieurs et d'autre part, de techniques et concepts nouvellement et spécifiquement créés (pour une synthèse, [Vivian & Dinet 2009]).

En empruntant à chacune des approches précédemment décrites, depuis quelques années, est apparu un nouveau champ théorique appelé Collaborative Information Behaviour (CIB). (pour une synthèse, [Reddy & Jansen 2008] [Hyldegard 2006] [Hyldegard 2009]) afin de mieux comprendre les comportements, les processus mentaux sous-jacents, les facteurs et les impacts de la dimension collaborative de la recherche d'information, particulièrement dans les environnements numériques en ligne sur l'internet.

Recherche collaborative d'information et apprentissage

Dans le cadre scolaire, des situations d'apprentissage de plus en plus courantes amènent les élèves à rechercher de l'information sur Internet, cette activité étant souvent menée par binômes pour des raisons pédagogiques ou à cause de contraintes matérielles. Pour Dillenbourg [1999], la collaboration et les interactions qu'elle entraîne (explications, désaccords ou régulations mutuelles) déclenchent des mécanismes cognitifs supplémentaires quant à la sélection des informations et leur transformation en connaissances, et peut réduire la charge cognitive. Selon lui, plusieurs conditions sont nécessaires pour que l'on puisse parler d'apprentissage collaboratif :

- Une situation collaborative, c'est-à-dire une tâche commune, doit exister ;
- Des interactions et échanges (notamment verbaux) entre les membres du groupe doivent se produire ;
- Des processus d'apprentissages collaboratifs doivent pouvoir être identifiés ;
- Enfin, il doit y avoir des effets de cette recherche collaborative tant pour le groupe que pour chaque individu constituant ce groupe.

Mais, si ces quatre conditions sont nécessaires, elles ne sont pas suffisantes [Dinet & Tricot 2007]. Par exemple, le fait qu'une tâche commune existe ne suffit pas puisque rien n'indique qu'il y a similitude et homogénéité des représentations du but pour chaque collaborateur. D'ailleurs, de nombreux travaux ont montré qu'une même consigne pouvait

donner lieu à de multiples représentations mentales selon les individus appartenant à un même groupe de travail (pour une synthèse, [Dinet & Rouet 2002]). De même, rechercher ou faire rechercher des informations de manière collaborative nécessite des compétences de gestion de groupe et/ou de « management » que les jeunes usagers ne possèdent pas.

Recherche individuelle *versus* recherche collaborative : facteurs de difficultés

Quels liens entretiennent les activités de recherche individuelle d'information et les activités de recherche collaborative d'information ? En d'autres termes, quelles compétences et facteurs de difficultés sont communs et/ou différents selon le contexte de réalisation de cette même activité (individuelle versus collaborative) ? Répondre à ces interrogations est d'autant plus crucial lorsqu'elles concernent de jeunes élèves car elles permettront de mieux concevoir notamment les scénarii pédagogiques.

Comme le faisait déjà remarquer Agosto [2002], les études qui se sont intéressées aux difficultés rencontrées par les jeunes utilisateurs lors de recherche d'information sont beaucoup moins nombreuses que celles qui se sont intéressées à ces difficultés chez les adultes. Néanmoins, certaines recherches ont examiné les comportements des jeunes utilisateurs et ont permis l'identification de domaines particulièrement problématiques pour cette population spécifique [Borgman, Hirsch, Walter, & Gallagher 1999] [Chan, Tan, & Wei 2000] [Hirsh 2000]. Cette identification des difficultés, notamment liées aux aspects psychologiques, est nécessaire si l'on souhaite mettre en place des séances susceptibles d'aider les jeunes usagers à réaliser plus efficacement leurs activités.

Que les recherches d'information soient réalisées individuellement ou de manière collaborative, les principales difficultés rencontrées par des jeunes élèves devant les réaliser sur Internet peuvent être regroupées dans l'une des catégories suivantes [Dinet, 2008] [Dinet & Passerault 2009] :

- Les difficultés motrices : réaliser une recherche d'information sur Internet nécessite généralement d'utiliser un clavier alphanumérique et/ou une souris. Or, plusieurs études ont montré que les enfants des écoles primaires peuvent présenter de sérieuses difficultés dans la manipulation du clavier et de la souris [Erthal 1985] [Hooten 1989] [Solomon, 1993], ces difficultés pouvant perdurer pour certains jusqu'au collège [Borgman et al. 1999] [Dinet & Passerault 2009]. De plus, cela pose la question de l'accessibilité des outils de recherche d'information via les claviers et les souris aux publics présentant des difficultés perceptives et/ou motrices avérées ;
- La faible motivation : comme pour la plupart des activités scolaires [Lieuury & Fenouillet 1996] [Tardif 1999], il semble exister une relation étroite entre le degré de motivation et la réussite dans une recherche d'information sur Internet [David et al., 2007] [Kuhlthau, Maniotes & Caspari 2008] [Gross 1999 ; 2000]. En effet, certaines études ont cherché à démontrer que la faible motivation des élèves réalisant des recherches d'information sur Internet explique, en partie, leurs faibles performances (peu de références trouvées, passivité de l'élève durant l'activité, etc.). Le fait que le thème de la recherche soit généralement « externe » à l'élève (i.e., prescrit et défini par l'enseignant) serait responsable de cette faible implication des enfants dans l'activité ;
- Les connaissances déclaratives : les connaissances déclaratives sont liées aux mots, aux contenus, aux objectifs. Par exemple, plusieurs études ont montré que les termes produits

par les enfants pour interroger les bases de données et/ou les moteurs de recherche comportent souvent des erreurs orthographiques [Borgman & Siegfried 1992] [Hooten 1989] [Solomon 1993]. Lorsque le système documentaire répond qu'aucune référence n'a été trouvée et ce à cause d'une erreur orthographique, les jeunes utilisateurs considèrent volontiers que le « défaut » provient du système. De plus, pour un thème de recherche donné, les termes (ou mots-clés) avec lesquels les enfants interrogent les bases documentaires sont d'une part, peu nombreux et d'autre part, peu variés [Moore & St. George 1991] [Solomon 1993]. Enfin, les enfants ont des difficultés à déterminer quand ce qu'ils ont trouvé suffit pour répondre au besoin d'information, ils peuvent cesser de chercher pour d'autres raisons comme l'inconfort physique par exemple [Agosto 2002] ;

- Les connaissances procédurales : ce sont des connaissances qui sont de nature dynamique, implicites et concernent le « comment faire quelque chose » comme conduire une automobile, utiliser un logiciel, etc. Certaines difficultés des élèves sont directement liées à des « défauts » dans ces connaissances procédurales liées aux actions, méthodes et procédures. Ainsi, très logiquement, l'une des principales causes d'échec des élèves réalisant une recherche d'information sur Internet est le faible niveau de maîtrise de l'outil, même après une durée d'utilisation relativement importante [Dinet 2008] [Dinet & Rouet 2002]. Toutefois, une recherche sur Internet implique avant tout une démarche intellectuelle, indépendamment de l'outil [Dinet 2008]. Or, rares sont les élèves de cycle élémentaire qui semblent connaître et maîtriser les procédures nécessaires à la réalisation d'une recherche d'information sur Internet. En effet, si les jeunes usagers semblent maîtriser de mieux en mieux les périphériques associés à l'activité de recherche d'information, il apparaît qu'ils comprennent et maîtrisent très moyennement les flux d'information qui se passent « derrière l'écran ». Par exemple, il est difficile pour un jeune utilisateur de se construire une représentation mentale de ce qu'est Internet : le plus souvent, les enfants considèrent qu'Internet est simplement l'ordinateur [Dinet 2008]. La représentation d'Internet comme un espace n'ayant pas de réalité physique et indépendant de l'ordinateur arrive plus tardivement.

Dans le cas d'une recherche d'information menée de manière collaborative, il apparaît qu'un autre type de difficultés semble en partie expliquer les échecs des jeunes élèves : il s'agit des difficultés métacognitives. La métacognition est ici impliquée dans la gestion et supervision de l'activité, mais surtout dans la gestion des relations entre les membres réalisant l'activité. Malheureusement, les travaux sur l'implication des facteurs métacognitifs dans l'activité de recherche d'information sont apparus récemment [Dinet & Rouet 2002]. D'une part, il apparaît que l'élève réalisant une recherche sur Internet anticipe peu ses activités, contrôle rarement ses actions et ajuste encore plus rarement ses comportements en cas de problèmes. D'autre part, il apparaît également que les jeunes élèves éprouvent des difficultés à gérer leur relation de travail et les activités au sein de leur groupe de travail (répartition des tâches, ajustement des conduites, etc.). Or, certaines recherches actuellement menées tendent à montrer que les échecs des jeunes élèves lors d'une recherche d'information sur Internet peuvent être dus à un défaut dans ces opérations d'anticipation, de contrôle et d'ajustement [Dinet, Chevalier & Tricot sous presse], ces opérations se développant assez tardivement avec l'âge (11-13 ans) [Dinet & Rouet 2002].

La gestion des relations sociales appartient au registre des compétences métacognitives. Plusieurs études tendent à montrer que les liens affectifs qui existent entre les collaborateurs

devant rechercher ensemble des informations sur Internet et la gestion de ces liens affectifs influencent les comportements et performances [Crook 1998a ; 1998b] [Hyun 2005] [Vass 2002]. En effet, si les deux (ou plus) collaborateurs entretiennent des liens amicaux entre eux, la recherche d'information tend à être réalisée plus rapidement et plus efficacement. Sur la base de ces différentes études, un auteur prône même la recherche collaborative d'information en insistant sur le fait que « deux têtes cherchent mieux qu'une » [Lazonder 2005].

Pourtant, plusieurs remarques peuvent être émises à l'encontre de ces études, remarques qui justifient les recherches ici présentées :

- Les études qui montrent l'intérêt à prendre en compte les liens affectifs entre les collaborateurs lors d'une recherche d'information sur Internet ne s'intéressent généralement qu'à des usagers adultes (étudiants, voire experts d'un domaine) ;
- Les échantillons de participants sont très réduits : ces études, bien que très riches d'enseignements, sont plus des études de cas empiriques que des expérimentations.

Aussi, grâce à deux expérimentations présentées ci-après, nous avons tenté d'étudier les impacts réels du degré d'affinité entre les collaborateurs lorsqu'il s'agit de très jeunes usagers devant réaliser une recherche d'information collaborative sur Internet. L'un des principaux objectifs de la première étude est de quantifier et de qualifier l'impact de ce degré d'affinité sur les performances et comportements des jeunes utilisateurs en comparant les situations individuelles et collaboratives lors des recherches d'informations. L'un des principaux objectifs de la seconde étude est de se focaliser plus spécifiquement sur l'impact de ce même degré d'affinité sur les échanges verbaux entre élèves collaborant lors d'une recherche d'information sur Internet.

3. ETUDE 1 : QUELS COMPORTEMENTS ?

Dans cette première étude qui s'est déroulée de janvier à mai 2006, nous nous sommes intéressés aux comportements et stratégies de jeunes usagers (élèves de CM2) devant rechercher des informations sur Internet. Ces expérimentations ont été menées dans leur contexte scolaire habituel, afin de ne pas induire un quelconque effet lié à l'expérimentation en laboratoire. Trois conditions successives ont été testées : recherche seul (condition « SEUL ») ; en binôme avec un(e) autre élève avec le(la)quel(le) des liens amicaux sont entretenus (condition « AFFINITE + ») ; en binôme avec un(e) autre élève avec le(la)quel(le) aucun lien amical n'existe (condition « AFFINITE - »). Dans ces deux derniers cas, la collaboration des élèves était donc synchrone et explicite.

Participants

Dans cette étude, 52 élèves (24 garçons et 28 filles) scolarisés en CM2 ont participé (âge moyen = 9.4 ans, écart-type = 0.6 ans). Tous ces participants fréquentaient la même école, étaient issus d'un même bassin de recrutement géographique et tous étaient francophones. Aucun n'était redoublant et tous avaient l'habitude d'utiliser Internet pour rechercher des informations en moyenne 1h30 par semaine à l'école. De plus, tous ont déclaré utiliser Internet chez eux depuis, en moyenne, 13 mois.

Tâche et procédure

Chaque élève devait rechercher des informations sur Internet afin de répondre à des questions relatives à l'histoire médiévale. Les consignes précisait que l'objectif était de compléter les leçons (l'histoire médiévale étant abordée en cours) afin de préparer une exposition qui serait présentée aux parents en fin d'année scolaire.

Chaque élève devait rechercher des informations sur Internet relativement à l'histoire médiévale dans trois conditions successives, chaque session étant séparée par 15 jours :

- Session 1 : l'élève doit réaliser l'activité seul (condition « SEUL ») ;
- Session 2 : l'élève doit réaliser l'activité avec un(e) autre élève avec le(la)quel(le) des liens amicaux sont entretenus (condition « AFFINITE + ») ;
- Session 3 : l'élève doit de nouveau réaliser l'activité avec un(e) autre élève, mais cette fois-ci, aucun lien amical n'existe entre les deux élèves (condition « AFFINITE - »).

Les trois sessions sont contrebalancées afin d'éviter que tous les participants ne voient les conditions dans le même ordre.

Ce sont les enseignants qui, forts de leurs expériences avec leurs élèves, ont permis de constituer les binômes pour la session 2 et la session 3. C'est d'ailleurs cette technique pour constituer les groupes d'élèves qui est utilisée dans la plupart des études s'intéressant aux comportements impliqués dans les activités collaboratives à l'école.

Les questions auxquelles les élèves devaient répondre étaient présentées dans un ordre contrebalancé entre les trois sessions pour éviter un éventuel effet d'ordre. Ainsi, il y avait six ordres différents dans lesquels les sessions étaient proposées : (session 1, puis session 2, puis session 3 ; session 3, puis session 2, puis session 1 ; session 1, puis session 3, puis session 2 ; etc.). Pour chacune de ces trois sessions, ce sont 13 questions différentes liées à l'histoire médiévale auxquelles devaient répondre les élèves et/ou les binômes (Tableau 1). Puisque chaque élève et/ou binôme devait réaliser la recherche d'information sur Internet lors de trois sessions, chaque élève et/ou binôme devait donc répondre, en tout, à 39 questions. Les questions étaient présentées sur une feuille au format A4, des espaces suffisants étant laissés entre chaque question pour qu'ils puissent noter la(les) réponse(s). Le temps imparti pour réaliser l'activité était libre.

Trouve 5 prénoms masculins du Moyen Age
Trouve 5 prénoms féminins du Moyen Age
Trouve une recette de cuisine du Moyen Age
Trouve les noms de 3 rois du Moyen Age
Trouve 3 instruments de musique du Moyen Age
Trouve 5 armes du Moyen Age

Tableau 1. Exemples de questions auxquelles devaient répondre les élèves et/ou les binômes.

Indicateurs comportementaux

Pour chaque élève et/ou binôme, c'est-à-dire pour les trois conditions, plusieurs indicateurs ont été relevés, notamment en récupérant immédiatement après chaque session les historiques de leurs navigations :

- Le nombre de réponses données à la fin de l'activité (de 0 à 13) ;

- Le pourcentage de bonnes réponses données ;
- Le nombre de pages Web explorées (une page a été considérée comme explorée si elle est restée affichée plus de 45 secondes ; ce choix de 45 secondes a été arbitrairement déterminé) ;
- Le nombre de cycle de recherche, un cycle correspondant à chaque validation d'une requête par les participants ;
- L'efficacité, correspondant à un ratio calculé sur la base suivante : nombre de bonnes réponses données / nombre de pages Web consultées ;
- Le type de requêtes « incorrectes » produites, ces requêtes pouvant être incorrectes pour trois raisons :
 - (a) Elles peuvent comporter des erreurs orthographiques (par exemple, « électricité ») ;
 - (b) Elles peuvent ne pas correspondre à des mots effectifs (par exemple, lorsqu'un élève joue avec le clavier : « azertyuiiooo ») ;
 - (c) Elles peuvent être hors sujet (i.e., non pertinentes), c'est-à-dire n'avoir aucun lien thématique avec le thème de la recherche (par exemple, un nom de chanteur ou chanteuse).

Principaux résultats

Pour chacune des trois conditions (« SEUL », « AFFINITE + », et « AFFINITE - »), les performances moyennes des élèves ont été relevées (Tableau 2).

	Condition		
	Seul	Affinité -	Affinité +
Nombre de bonnes réponses (sur 13)	3.75 (0.23)	5.33 (0.65)	4.27 (0.56)
Pourcentage de réponses correctes	23.07 (2.54)	36.75 (2.32)	29.05 (1.97)
Nombre de pages Web visitées	26.81 (2.12)	24.05 (2.87)	24.77 (3.01)
Efficience	0.12 (0.04)	0.22 (0.06)	0.15 (0.03)
Nombre de cycles de recherche	19 (2.5)	16.33 (3.2)	15.44 (3.9)
Requêtes ...			
... avec erreurs orthographiques	19.44 (1.4)	13.7 (1.09)	14.09 (0.98)
... non-mots	5.46 (0.87)	5.29 (0.96)	6.29 (0.78)
... non pertinentes	1.4 (0.02)	0.2 (0.01)	3.87 (0.06)

Tableau 2. Performances moyennes (et écart-types) pour les élèves, pour les trois conditions.

Les analyses statistiques (ANOVAs) ont révélé plusieurs résultats intéressants :

- Les élèves recherchant individuellement les informations sur Internet (condition « SEUL ») trouvent significativement moins de bonnes réponses que ces mêmes élèves travaillant en binôme, quel que soit le degré d'affinité au sein de ce binôme ($p < .0001$) ;
- Les binômes trouvent significativement plus de bonnes réponses lorsque les élèves n'entretiennent pas de liens amicaux entre eux (différence entre « AFFINITE + » et « AFFINITE - ») ($p < .001$) ;
- Les élèves recherchant individuellement les informations sur Internet (condition « SEUL ») sont moins efficaces que lorsqu'ils travaillent en binôme, quel que soit le degré d'affinité au sein de ce binôme ($p < .0001$) ;
- Les binômes sont plus efficaces lorsque les élèves n'entretiennent pas de liens amicaux entre eux (« AFFINITE - ») ($p < .001$).

En ce qui concerne les requêtes produites par les élèves (Tableau 2), nous pouvons remarquer que :

- Les élèves produisent significativement plus de requêtes comportant des erreurs orthographiques lorsqu'ils recherchent individuellement les informations sur Internet (condition « SEUL ») ($p = .01$) ;
- Les binômes produisent significativement plus de requêtes non pertinentes par rapport au thème de la recherche d'information si des liens amicaux existent entre les élèves (« AFFINITE + ») ($p = .002$).

En d'autres termes, cette première étude tend à montrer que si les élèves sont plus efficaces et plus efficaces en situation de recherche collaborative d'information (lors de la navigation et lors de la production des requêtes), cette « plus-value » de la situation collaborative est surtout vraie lorsque les membres d'un binôme n'entretiennent aucun lien amical. En effet, lorsque les deux élèves membres d'un même binôme sont amis, d'une part, ils sont moins efficaces et moins efficaces et d'autre part, ils produisent plus de requêtes non pertinentes par rapport au thème de la recherche.

Nous pouvons également noter que quel que soit l'ordre dans lesquels les élèves ont vu les trois sessions, la répétition de l'activité n'a eu aucun effet significatif sur les performances et comportements ($p = .07$).

Nous faisons l'hypothèse que les binômes constitués d'élèves qui entretiennent des liens amicaux entre eux sont moins efficaces et moins efficaces que les binômes constitués d'élèves n'entretenant pas de tels liens à cause de digressions qui les conduiraient à une déconcentration et à une « perte » de temps. Aussi, pour tester cette hypothèse, est-il nécessaire d'analyser ce qui se passe au sein des binômes, en termes d'interactions notamment verbales.

4. ÉTUDE 2 : QUELLES INTERACTIONS ?

Dans cette seconde étude qui s'est déroulée d'avril à juin 2007, nous nous sommes particulièrement intéressés aux interactions verbales entre les deux membres des binômes devant rechercher, ensemble, des informations sur Internet.

Participants

Dans cette étude, 24 élèves de sexe féminin, scolarisées en CM2 ont participé (âge moyen = 8.7 ans, écart-type = 0.7 ans). Toutes ces participantes fréquentaient la même école, étaient issues d'un même bassin de recrutement géographique et toutes étaient francophones. Aucune n'était redoublante et toutes avaient l'habitude d'utiliser Internet pour rechercher des informations en moyenne 1h30 par semaine à l'école. De plus, toutes ont déclaré utiliser Internet chez elles depuis, en moyenne, 11.8 mois. Tous les participants étaient de sexe féminin car une étude conduite juste avant cette seconde expérience tend à montrer que la composition des binômes selon le genre a une influence sur les comportements [Hyldegard 2009].

Tâche et procédure

La tâche et la procédure étaient identiques à celles utilisées lors de la première étude à une différence près : nous intéressant aux interactions verbales, la condition « SEUL » a été supprimée. Chacune des élèves devait donc rechercher des informations sur Internet relativement à l'histoire médiévale dans deux conditions successives, chaque condition étant séparée par 15 jours :

- Session 1 : l'élève doit réaliser l'activité avec un(e) autre élève avec le(la)quel(le) des liens amicaux sont entretenus (condition « AFFINITE + ») ;
- Session 2 : l'élève doit de nouveau réaliser l'activité avec un(e) autre élève, mais cette fois-ci, aucun lien amical n'existe entre les deux élèves (condition « AFFINITE - »)

Les deux conditions étaient contrebalancées pour les participantes. Enfin, les matériels (questions, ordinateurs, moteurs de recherche, etc.) et les consignes étaient identiques à la première étude.

Toutes les séances de recherche collaborative d'information ont été enregistrées audio-visuellement. Ces enregistrements ont été par la suite dépouillés grâce à l'emploi d'une grille d'analyse des interactions verbales standardisée et déjà validée [Hmelo-Silver 2003]. Cette grille permet, sur la base des tours de paroles, de distinguer quatre grands types d'interactions verbales existant lors d'une recherche collaborative d'information :

1. Les interactions correspondant à un conflit, ce conflit concernant généralement le thème ou la procédure (« tu fais n'importe quoi là ! » ; « t'as rien compris ! » ; « je veux plus jamais travailler avec toi ! ») ;
2. Les interactions relevant de questionnements que l'un des collaborateurs adresse à l'autre, ces questionnements pouvant concerner le but, la démarche, les concepts, etc. (« t'as compris ce que le maître veut ? » ; « tu te souviens de comment il faut faire ? ») ;
3. Les interactions correspondant aux réponses que le collaborateur adresse en réponse au questionnement précédemment évoqué ;
4. Les interactions visant à faciliter le travail collaboratif, soit par des encouragements (« ha oui, c'est comme ça, t'as raison ! »), soit par des auto-congratulations (« t'as vu ça ? J'ai trouvé du premier coup ! »).

Si la grille utilisée permet une analyse très fine des interactions verbales [Hmelo-Silver 2003], nous ne présentons ici que les résultats correspondant aux quatre grands types d'interactions explicités ci-dessus.

Indicateurs comportementaux

Pour chaque binôme, au vu des résultats de la première étude, seuls les indicateurs suivants ont été relevés :

- Le nombre de réponses données à la fin de l'activité (de 0 à 13) ;
- Le pourcentage de bonnes réponses données ;
- La distribution des tours de paroles (en pourcentage) pour chacun des quatre grands types d'interaction : conflit ; questionnement ; réponse ; facilitation.

Principaux résultats

Comme le montre le Tableau 3 et comme le confirment les analyses statistiques (ANOVAs), les résultats obtenus dans cette seconde étude sont similaires à ceux obtenus dans la première étude pour nos deux premiers indicateurs comportementaux (le nombre de réponses données à la fin de l'activité et le pourcentage de bonnes réponses). De même, comme cela a été constaté pour la première étude, la répétition de l'activité n'a eu aucun effet significatif sur les performances et comportements ($p=.081$).

	Affinité -	Affinité +
Nombre de bonnes réponses (sur 13)	5.17 (0.57)	4.48 (0.49)
Pourcentage de réponses correctes	41.38 (1.78)	30.15 (0.99)

Tableau 3. Performances moyennes (et écart-types) pour les élèves, pour les deux conditions.

Dans cette seconde expérience, tout comme dans la première, les binômes trouvent significativement plus de bonnes réponses lorsque les élèves n'entretiennent pas de liens amicaux entre eux (« AFFINITE – ») ($p<.001$).

En ce qui concerne les interactions verbales au sein des binômes (Tableau 4), deux résultats majeurs ont été obtenus :

- Lorsque les élèves recherchent des informations sur Internet avec une amie (« AFFINITE + »), il y a beaucoup plus d'interactions reflétant des conflits entre les deux collaboratrices ($p=.002$) ;
- Lorsque les élèves recherchent des informations avec une autre élève avec laquelle aucun lien amical n'existe *a priori* (« AFFINITE – »), il y a significativement plus d'interactions facilitatrices qui sont produites ($p<.001$). Aucun autre résultat significatif n'a été relevé.

	Affinité -	Affinité +
CONFLIT	10.9 (0.67)	15.7 (1.73)
QUESTIONNEMENT	31.9 (3.98)	37.2 (4.02)
REPOSES	39.9 (3.87)	41.9 (4.5)
FACILITATION	15.1 (2.13)	8.2 (1.14)

Tableau 4. Distribution des tours de parole (en pourcentage) selon leur nature.

5. DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Nos deux expérimentations tendent donc à confirmer des résultats d'études antérieures [Crook 1998] [Crook 1998b] [Hyun 2005] [Vass 2002] puisqu'il apparaît que des élèves travaillant en binômes trouvent effectivement plus de bonnes réponses (i.e., informations pertinentes) que lorsque ces mêmes élèves travaillent seuls.

En plus de confirmer les résultats d'études antérieures, nos expérimentations les complètent en démontrant que le degré d'affinité qu'entretiennent deux élèves membres d'un même binôme conditionne en grande partie l'efficacité et les performances du binôme :

- D'une part, les binômes trouvent significativement plus de bonnes réponses (i.e., informations pertinentes) lorsque les élèves n'entretiennent pas de lien amical entre eux ;
- D'autre part, les binômes produisent significativement plus de requêtes non pertinentes par rapport au thème de la recherche d'information si des liens amicaux existent entre les élèves ;
- Enfin, les interactions verbales d'élèves entretenant des liens amicaux sont davantage orientées vers des conflits tandis que les interactions verbales visent plus à faciliter le travail du binôme dans le cas où les deux élèves n'entretiennent pas de lien amical entre eux.

La recherche collaborative d'information sur Internet semble donc présenter des avantages pour de jeunes usagers (scolarisés en CM2) : d'une part, en ce qui concerne la sélection des informations, le travail en binôme améliore le nombre des informations pertinentes trouvées. D'autre part, en ce qui concerne la phase d'interrogation documentaire (i.e., production des requêtes), le travail collaboratif entraîne un nombre moindre d'erreurs orthographiques, comme si « l'autre » jouait le rôle de superviseur et de correcteur.

En revanche, ces avantages liés à la situation collaborative lors d'une recherche d'information sur Internet semblent très atténués, voire annulés, si les élèves membres d'un binôme devant réaliser ensemble l'activité entretiennent des liens amicaux. En effet, lorsque ce sont deux amis qui collaborent à rechercher les informations sur Internet, les performances diminuent (par exemple : diminution du nombre d'informations pertinentes trouvées, augmentation du nombre de requêtes non pertinentes) et leurs interactions verbales sont surtout centrées sur des conflits et des règlements de conflits. À l'inverse, lorsque les binômes sont constitués par deux élèves n'entretenant pas de lien amical particulier, les performances augmentent et les interactions verbales sont surtout centrées sur la tâche et sa facilitation.

Plusieurs biais méthodologiques existent dans nos deux expérimentations. L'un des principaux concerne l'opérationnalisation de l'amitié (i.e., le degré d'affinité) afin de constituer les binômes. En effet, dans notre étude comme dans la plupart des travaux antérieurs, la constitution des binômes selon le degré d'affinité entre les élèves a été opérée par les enseignants. Les deux arguments majeurs à l'emploi de cette méthode sont les suivants : d'une part, les enseignants sont ceux qui connaissent le mieux les relations qu'entretiennent leurs élèves, et l'expérimentation s'appuie sur la manière dont ils déterminent les affinités dans la situation en classe ; d'autre part, c'est la méthode la moins coûteuse pour constituer les groupes. Or, il est raisonnable de penser qu'avoir recours à un indicateur plus objectif serait tout à fait pertinent. Par exemple, dans une étude future, il est envisagé d'utiliser l'une des méthodes actuellement développées dans les études récentes qui s'intéressent à l'impact de l'amitié sur les relations entre les jeunes apprenants (pour une synthèse, [Hanham & McCormick 2009]).

Néanmoins, malgré ces biais, les résultats que nous avons obtenus amènent à s'interroger sur plusieurs points :

- Au niveau théorique, il convient de réfléchir à la manière dont on peut inclure les aspects affectifs dans les modèles récents censés rendre compte des comportements et processus mentaux impliqués lors de recherches collaboratives [Dinet & Tricot 2007] [Dinet, Chevalier & Tricot sous presse]. En effet, si certains modèles insistent sur la nécessité de prendre en compte les dimensions liées aux émotions et aux affects dans les activités de recherche d'information, nous manquons encore cruellement de données quantitatives quant aux impacts de ces dimensions ;
- Au niveau pédagogique, il est nécessaire de s'interroger sur les facteurs et dimensions qu'il faudrait et/ou serait possible de prendre en compte pour constituer des groupes de travail [Dinet 2007] ;
- Au niveau ergonomique, il est primordial de réfléchir à des systèmes et/ou dispositifs pouvant aider les jeunes usagers à réaliser l'activité de recherche d'information de manière collaborative. À ce propos, un nouvel outil a été développé à l'Université Paul Verlaine – Metz, cet outil permettant de mieux gérer les activités des groupes de « chercheurs d'informations », d'une part par les membres du groupe eux-mêmes et d'autre part, par un éventuel tuteur ou enseignant qui supervise l'activité [Vivian & Dinet 2009].

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ici tous les élèves, enseignants, parents d'élèves et directeurs d'école sans lesquels ces études n'auraient pas pu être réalisées.

RÉFÉRENCES

- Agosto, D. 2002. Bounded Rationality and Satisficing in Young People's Web-Based Decision Making. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53 (1), 16-27
- Bharat, K. 2000. SearchPad: explicit capture of search context to support web search. *Computer Networks*, 33, 493-501
- Borgman, C., & Siegfried, S. L. 1992. Getty's

- synonameTM and its cousins: a survey of applications of personal name matching algorithms. *Journal of the American Society for Information Science*, 43(7), 459-476.
- Borgman, C., Hirsch, S. G., Walter, V. A., Gallagher, A. L. 1999. Children's searching behavior on browsing and keyword online catalogs: the science library catalog project. *Journal of the American Society for Information Science*, 46(9), 663-684.
- Chan, H. C., Tan, B. C. Y., & Wei, K. K. 2000. Three important determinants of user performance for database retrieval. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 895-918.
- Cockburn, A. & McKenzie, B. 2001. What do web users do? An empirical analysis of web use. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54, 903-922.
- Crook, C. 1998a. Children as computer users: The case of collaborative learning. *Computers & Education*, 30(3), 237-247.
- Crook, C. 1998b. Computers in the community of class-rooms. In: Littleton, K. and Light, P., Editors (pp.103-117), *Learning with computers: Analysing productive interaction*, Routledge, London.
- David, P., Song, M., Hayes, A., & Fredin, E. S. (2007). A cyclic model of information seeking in hyperlinked environments: The role of goals, self-efficacy, and intrinsic motivation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65, 170-182.
- deVries, B., van der Meij, H., & Lazonder, A. W. (2008). Supporting reflective web searching in elementary schools. *Computers in Human Behavior*, 24, 649-665
- Denos, N., Berrut, C., Gallardo-Lopez, L., & Nguyen, A.-T. 2004. COCofil : une plateforme de filtrage collaboratif orientée vers la communauté. Actes de CORIA'2004, (pp. 9-2), 10-12 septembre 2004, Toulouse.
- Diamadis, E.T. & Polyzos, G.C. 2004. Efficient cooperative searching on the Web: system design and evaluation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61, 699-724.
- Dillenbourg, P. 1999. What do you mean by collaborative learning ? In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*. Oxford, G.B., Elsevier, p. 1-19.
- Dinet, J. (dir) 2008. Usages, usagers et compétences informationnelles au 21e siècle, Paris, Hermès Science Lavoisier.
- Dinet, J. 2007. Deux têtes cherchent mieux qu'une ? Oui, mais ... *Médialog*, 63, 38-41.
- Dinet, J. & Passerault, J.-M 2009. La recherche documentaire informatisée par les élèves : pour une approche centrée - usager. *Revue Hermès*, Paris, CNRS.
- Dinet, J. & Rouet, J.-F. 2002. La recherche d'information : processus cognitifs, facteurs de difficultés et dimension de l'expertise. In C. Paganelli (Ed.), *Interaction homme-machine et recherche d'information* (pp.133-161). Paris : Hermès.
- Dinet, J. & Tricot, A. 2007. Recherche d'information dans les documents électroniques. In A. Chevalier & A. Tricot (Eds.), *Ergonomie cognitive des documents électroniques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Dinet, J. Chevalier, A. & Tricot, A. (sous presse). Information searching: A review. *European Review of Applied Psychology*.
- Dinet, J., Simonnot, B., & Vivian, R. 2008. La recherche collaborative d'information sur Internet: impact du lien affectif entre les jeunes collaborateurs. Actes de la 20ème conférence sur l'Interaction Homme - Machine IHM'2008 (pp.137-144), 2-5 septembre 2008, Metz.
- Dosser, F. & Perrimond, L. 2001. Aide à la navigation sur le Web pour un groupe d'utilisateurs. Internship report, ESSI and INRIA project, 25 pages, April 2001.

- Dumais, S., Cutrell, E., Chen, H. 2001. Optimizing search by showing results in context. In CHI'01, Proceedings of the ACM Conference on Human-Computer Interaction (March 31 – April 5, 2001), Seattle, USA, ACM Press, New-York, 277-284.
- Erthal, M. J. 1985. The status of keyboarding. *The Journal of Business Education*, 60, 192-193.
- Fidel, R., Pejtersen, A. M., Cleal, B., & Bruce, H. (2004). A Multidimensional Approach to the Study of Human-Information Interaction: A Case Study of Collaborative Information Retrieval. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55 (11), 939–953.
- Foster, J. 2006. Collaborative Information Seeking and Retrieval. *Annual Review of Information Science and Technology*, 40, 329-356
- Gross, M. 1999. Imposed queries in the school library media center: a descriptive study. *Library and Information Science Research*, 21, 501-521.
- Gross, M. 2000. Imposed and self-generated query in the elementary school environment. In R. M. Branch, M. A. Fitzgerald (dir.), *Educational media and technology yearbook 2000*, Englewood, CO, Libraries Unlimited, p.120-129.
- Hanham, J., & McCormick, J. 2009. Group work in schools with close friends and acquaintances: Linking self-processes with group processes. *Learning and Instruction*, 19 (3), 214-227.
- Hansen, P. & Jarvelin, K. 2005. Collaborative Information Retrieval in an information-intensive domain. *Information Processing & Management*, 41(5), 1101-1119.
- Hmelo-Silver, 2003. C.E. Analyzing collaborative knowledge construction: Multiple methods for integrated understanding. *Computers & Education*, 41(4), 397-420.
- Hirsch, S. G. 2000. Children's relevance criteria and information seeking on electronic resources. *Journal of the American Society for Information Science*, 50(14), 1265-1283.
- Hooten, P. A. 1989. Online catalogs: will they improve children's access ? *Journal of Youth Services in Libraries*, 2, 267-272.
- Hyldegård, J. 2006. Collaborative information behaviour: exploring Kuhlthau's Information Search Process model in a group-based educational setting. *Information Processing & Management*, 42 (1), 276-298.
- Hyldegård, J. 2009. Beyond the search process – Exploring group members' information behavior in context. *Information Processing & Management*, 45, 142-158.
- Hyun, E. 2005. A study of 5- to 6-year-old children' peer dynamics and dialectical learning in a computer-based technology-rich classroom environment. *Computers & Education*, 44 (1), 69-91.
- Karamuftuoglu, M. 1998. Collaborative Information Retrieval: Toward a social informatics view of IR interaction. *Journal of the American Society for Information Science*, 49 (12), 1070-1080.
- Krishnappa, R. 2005. Multi-user search engine (muse): Supporting collaborative information seeking and retrieval. Master's Thesis, University of Missouri – Rolla, Rolla, USA.
- Kuhlthau, C. C. 1991. Inside the search process: seeking meaning from the users perspective. *Journal of the American Society for Information Science*, 42, (5), 361–371.
- Kuhlthau, C. C., Maniotes, L.K., & Caspari, A.K. 2008. *Guided Inquiry: Learning in the 21st Century*, New-York, Greenwood Publishing Group.

- Lazonder, A. 2005. Do two heads search better than one? Effects of student collaboration on web search be-haviour and search outcomes. *British Journal of Educational Technology*, 36(3), 465-475.
- Lieury, A., & Fenouillet, F. 1996. *Motivation et réussite scolaire*. Paris, Éditions Dunod.
- Moore, P. A., St. George, A. 1991. Children as information seekers: the cognitive demands of books and library systems. *School Library Media Quaterly*, 19, 161-168.
- Reddy, M. & Jansen, B.J. 2008. A model for understanding collaborative information behavior in context: A study of two healthcare teams. *Information Processing & Management*, 44 (1), 231-256.
- Solomon, P. 1993. Children's information retrieval behavior: a case analysis of an OPAC. *Journal of the American Society for Information Science*, 44, 245-264.
- Tardif, J. 1999. *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal, Éditions Logique.
- Twidale, M.B., Nichols, D.M., & Paice, C.D. 1997. Browsing is a collaborative process. *Information Processing & Management*, 33 (6), 761-783.
- Vass, E. 2002. Friendship and collaborative creative writing in the primary classroom. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(1), 102-110.
- Vivian, R., & Dinet, J. 2009. RCI WEB : Présentation des premiers résultats de l'utilisation d'un système collaboratif de recherche d'information centré utilisateur. *RIHM*, 9(2), 85-110.



Jérôme Dinet est maître de conférences en Psychologie et Ergonomie cognitives à l'Université Paul Verlaine – Metz. Il est directeur du département de Psychologie, responsable du Master « Psychologie du travail », et membre du laboratoire INTERPSY-ETIC. Ses travaux de recherche portent essentiellement sur les comportements et processus cognitifs impliqués lors des activités de recherche d'informations. Il est également directeur de collection chez Hermès Sciences Publishing et relecteur pour plusieurs revues internationales telles que « Behaviour and Information Technology » et « Journal of Computer Assisted Learning ». Il est aussi expert – évaluateur auprès d'organismes tels que le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada ou encore l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Adresse électronique: dinet@univ-metz.fr



Robin Vivian est maître de conférences en informatique à l'université Paul Verlaine – Metz depuis septembre 1993. Il s'intéresse aux interactions avec les terminaux nomades (Projet ECIM de la ville de Metz), à l'analyse des comportements lors des enseignements en ligne (Projet UNSA éducation) et plus généralement les processus d'interaction avec les nouvelles technologies de l'information (Projet CVCE). Il étudie aussi les comportements et processus cognitifs des individus interagissant avec des environnements informationnels utilisant les NTIC (Internet, site web, etc.) dans des situations individuelles ou collaboratives. Il est le correspondant d' INTERPSY-

ETIC du groupe de recherche CNRS « psychologie et ergonomique ».
Adresse électronique : vivian@univ-metz.fr



Brigitte Simonnot est maître de conférences en Sciences de l'information et de la Communication à l'Université Paul Verlaine-Metz. Elle est membre du Centre de recherche sur les Médiations (EA 3476). Ses travaux de recherche portent essentiellement sur les usages des technologies de l'information et de la communication, et sur l'analyse des dispositifs d'accès à l'information, notamment les moteurs de recherche. Le domaine de la formation est un secteur d'application privilégié de ses travaux. Elle est membre du comité de rédaction de la revue *Questions de Communication*, et relectrice pour des conférences comme IHM ou des revues comme *Etudes de communication*. Adresse électronique : simonnot@univ-metz.fr

Fouille visuelle de données temporelles avec DataTube2

Fatma Bouali, Frédéric Plantard, Amina Bouséba, Gilles Venturini

► **To cite this version:**

Fatma Bouali, Frédéric Plantard, Amina Bouséba, Gilles Venturini. Fouille visuelle de données temporelles avec DataTube2. Journal d'Interaction Personne-Système, 2011, 2 (1), pp.Article 4. hal-01021113

HAL Id: hal-01021113

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01021113>

Submitted on 29 Aug 2014

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

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

Fouille visuelle de données temporelles avec DataTube2

FATMA BOUALI

Université François Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique, et Université de Lille 2

FREDERIC PLANTARD

Université François Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique

AMINA BOUSEBA

Université François Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique

GILLES VENTURINI

Université François Rabelais de Tours, Laboratoire d'Informatique

Résumé : Nous nous intéressons dans cet article à la fouille visuelle de données temporelles, où les données ont été mises sous la forme de n attributs dont les valeurs sont enregistrées pendant k instants. Après un état de l'art sur les différentes approches de visualisation de telles séries, nous présentons plus particulièrement une approche ayant reçue encore peu d'attention ("DataTube"). DataTube place les données dans un tube dont l'axe représente le temps. Nous étendons ensuite cette approche : tout d'abord nous définissons plusieurs modes de visualisations (couleurs, formes, etc) et nous ajoutons un axe temporel. Ensuite nous introduisons des interactions avec la possibilité de sélectionner des attributs et des instants, afficher des données complexes ou encore insérer des annotations sur la visualisation. Nous ajoutons une étape de classification non supervisée afin de regrouper dans la visualisation les attributs similaires. Enfin nous intégrons cette visualisation dans notre plateforme de fouille de données en réalité virtuelle VRMiner, avec un affichage stéréoscopique et des possibilités de navigation interactive. Nous appliquons cette visualisation sur plusieurs ensembles de données réelles et nous montrons qu'elle peut gérer jusqu'à 1,5 million de valeurs. Nous présentons également une évaluation utilisateur.

Mots clés : DataTube, Fouille de données, données temporelles, visualisation, 3D, réalité virtuelle, interactions, réorganisation.

Abstract: We deal in this paper with visual mining of temporal data, where data are represented by n time-dependent attributes (or series). We describe the state of the art in temporal data visualization, and we concentrate on a specific visualization (DataTube) which has received yet little attention. DataTube uses a tubular shape to represent the data. The axis of the tube represents the time. We perform several extensions to this visualization: we define several visualizations (color, shapes, etc) and we add a temporal axis. We introduce several interactions with the possibility to select attributes and time steps, or to add annotation on the visualization. We add a clustering algorithm in order to cluster together the attributes with similar behavior. We integrate this visualization in our data mining virtual reality platform VRMiner (with stereoscopic display and interactive navigation). We apply this visualization to several real-world data sets and we show that it can deal with 1,5 million values. We present also a user evaluation.

Key words: DataTube, Data Mining, temporal data, Visualization, 3D, Virtual Reality, Interactions, Rearrangement clustering.

1. INTRODUCTION

Nous nous intéressons dans ce travail au problème de la fouille visuelle et interactive de données temporelles. La dimension temps intervient dans de nombreux problèmes de fouille de données et elle a donné lieu à la définition de différents problèmes (analyse, prédiction, modélisation) et à l'étude de multiples méthodes [Antunes and Oliveira 2001]. Parmi ces méthodes, certaines font appel à des procédés d'extraction des connaissances entièrement automatiques, d'autres au contraire vont plutôt faire appel à des visualisations. Ces visualisations peuvent être utilisées en prétraitement pour permettre à l'expert de mieux comprendre les données, ou encore en post-traitement pour analyser visuellement les résultats d'une méthode de fouille, ou même de manière interactive pour découvrir des connaissances.

Parmi l'importante variété des données temporelles (séries numériques ou symboliques, suite d'événements, textes, images, sons, graphes, etc.), nous allons plus précisément considérer le cas de n attributs numériques prenant des valeurs sur k instants et décrivant, à chaque instant t considéré, l'évolution d'un phénomène donné. Les objectifs de l'expert que nous souhaitons prendre en compte sont par exemple : observer simultanément l'évolution de tous les attributs, détecter les valeurs manquantes, les événements particuliers et les périodicités éventuelles, les dépendances entre attributs et notamment les attributs se comportant de manière similaire, ou encore observer les conséquences d'un événement particulier situé dans le temps. En outre, nous souhaitons pouvoir afficher de grands volumes de données et permettre à l'expert d'annoter la visualisation pour partager les connaissances extraites. A titre d'exemple, les données traitées peuvent être des cours de la bourse (une variable représente un cours), de consommation (chaque variable décrit la consommation d'un produit) ou encore des données médicales (appareils de mesure).

Parmi les visualisations utilisées pour les données temporelles, il en existe une en particulier appelée « DataTube » [Ankerst 2000] qui a reçu peu d'attention et qui pourtant nous paraît très prometteuse. Comme nous allons le voir, DataTube est assez proche des méthodes orientées pixel pour la visualisation [Ankerst 2001] et qui associent une valeur à chaque pixel. Ces méthodes font partie de celles qui peuvent représenter de très grands volumes de données. Par ailleurs, DataTube est comme un "tube temporel" en 3D ce qui la pré-destine à être utilisée dans un environnement de réalité virtuelle permettant de percevoir la profondeur. Nous avons donc décidé d'étendre cette visualisation dans les directions suivantes :

- compléter les éléments visuels qui la composent,
- définir des interactions,
- utiliser des algorithmes de classification pour réorganiser les éléments visuels,
- intégrer cette visualisation dans un environnement de visualisation stéréoscopique et en particulier dans notre plateforme VRMiner [Azzag et al. 2005],
- tester la visualisation interactive obtenue sur des données réelles et avec des volumes beaucoup plus importants qu'auparavant.

La suite de cet article est organisée ainsi : dans la section 2 nous détaillons les approches de visualisation et de fouille visuelle de données temporelles, et plus particulièrement la visualisation DataTube. Dans la section 3 nous détaillons les extensions menant à la définition de DataTube2. Dans la section 4, nous présentons

les résultats expérimentaux sur des données réelles, et dans la section 5 nous détaillons une évaluation utilisateur. Enfin nous concluons et présentons des perspectives dans la section 6.

2. ETAT DE L'ART EN VISUALISATION DE DONNÉES TEMPORELLES ET PRINCIPES DE DATATUBE

Le domaine de la visualisation et de la fouille visuelle de données temporelles existe depuis longtemps [Minard 1861] (voir par exemple un survol dans [Muller and Schumann 2003]). Pour donner un aperçu de ce domaine, nous commençons donc par considérer le cas d'une séquence de symboles avec la visualisation "Arc Diagrams" [Wattenberg 2002]. Cette visualisation permet de détecter des motifs répétitifs en les faisant apparaître visuellement, mais elle ne peut traiter qu'une seule séquence de symboles ($n = 1$ dans notre notation). Une deuxième visualisation classique pour les données temporelles sont les spirales ([Carlis and Konstan 1998], [Weber et al. 2001]). Le centre de la spirale représente l'origine du temps. Ensuite le rayon de la spirale augmente et un même intervalle de temps T est toujours représenté par un seul tour de spirale. Ces méthodes peuvent visualiser des valeurs symboliques ([Weber et al. 2001] pour $n = 1$). Elles peuvent visualiser en 2D deux séries [Weber et al. 2001]. Dans [Carlis and Konstan 1998] plusieurs séries peuvent être visualisées en passant à une représentation 3D : jusqu'à $n = 12$ attributs visualisés sous forme d'histogrammes placés sur une spirale 2D, et jusqu'à $n = 112$ attributs en utilisant un empilement 3D de spirales 2D. Les spirales permettent de détecter des périodicités en ajustant interactivement l'intervalle T . Elles restent limitées à de petits volumes de données à la fois du point de vue du nombre de variables et du nombre d'instant considérés.

Dans les domaines où les échelles temporelles le permettent, la métaphore du calendrier ou de l'agenda fait partie des représentations classiques pour des événements ordonnés dans le temps. Ainsi nous pouvons citer par exemple [Daassi et al. 2000], mais également [van Wijk and van Selow 1999] où une étape de classification est effectuée pour rassembler les jours où la variable observée se comporte de manière identique, ou encore [Ankerst et al. 1996] où chaque événement fait l'objet d'un pixel d'une couleur donnée et où les jours du calendrier sont ensuite remplis par tous les événements ayant eu lieu ce jour là. Notons que la métaphore du crayon (l'axe du crayon représente le temps, et les facettes du crayon servent à visualiser l'évolution de variables) peut être utilisée notamment dans la visualisation de données sociologiques [Francis and Pritchard 2003]. Le nombre de variables reste limité pour ces visualisations.

Les plus grands volumes de données temporelles sont visualisés soit par des méthodes effectuant une étape de classification comme dans [Hébrail and Debregeas 1998] où 2665 courbes de 144 valeurs chacune sont regroupées en 100 classes avec une carte de Kohonen (chaque classe est visualisée sous la forme d'une courbe à 144 valeurs), soit dans les méthodes orientées pixels comme "Recursive Pattern" [Keim et al. 1995] où 530000 valeurs sont visualisées, ou encore "Circle segments" [Ankerst et al. 1996], ou bien encore "DataJewel" [Ankerst et al. 1996].

Nous nous sommes donc intéressés plus particulièrement aux travaux de ces auteurs. En ce qui concerne les grands volumes de données, citons la visualisation "Time Tube" [Chi et al. 1998] qui visualise spécifiquement les accès à un site Web avec une représentation arborescente où l'arbre représente les pages et l'épaisseur des arcs représente le nombre d'accès (voir section 4.2.1).

	t_1	t_2	...	t_k
A_1	$A_1(t_1)$	$A_1(t_2)$...	$A_1(t_k)$
A_2	$A_2(t_1)$	$A_2(t_2)$...	$A_2(t_k)$
...
A_n	$A_n(t_1)$	$A_n(t_2)$...	$A_n(t_k)$

Fig. 1. Matrice des données

Enfin, comme mentionné dans l'introduction, notons qu'il existe bien d'autres types de données temporelles mettant en oeuvre des méthodes interactives et visuelles. Par exemple, on peut citer [Theron 2006] pour la visualisation de données temporelles hiérarchiques utilisant la métaphore "tree rings" (cernes du bois), ou encore la visualisation de graphes évoluant au cours du temps comme dans les travaux portant sur les réseaux sociaux [Bender-deMoll and McFarland 2006], ou encore la visualisation de la communication et coopération entre des personnes (voir un survol dans [Otjacques 2008]).

La visualisation "DataTube" [Ankerst 2001] peut être classée dans les méthodes orientées pixel même si elle s'en distingue par une différence importante provenant de l'utilisation de la 3D. Les valeurs de la matrice Attributs \times Temps sont représentées par des codes de niveaux de gris, et les deux bords de cette matrice qui correspondent au temps sont repliés l'un sur l'autre pour former un tube. L'axe du tube représente donc l'axe temporel, et une "couronne" sur le tube représente la valeur des attributs pour l'instant considéré. "DataTube" a été appliquée à des données boursières ($n = 50$ cours). Ce type de représentation axiale du temps a été utilisé également dans "Kiviat tube" [Hackstadt and Malony 1994] où chaque instant de l'axe est un graphique de type "Star coordinates" [Kandogan 2000]. Cette méthode a été appliquée à la visualisation de la charge de $n = 64$ processeurs, mais nous ne l'avons pas retenue car elle peut générer des occlusions. Après avoir contacté Mihael Ankerst, nous avons appris que DataTube n'avait pas été plus développée : en particulier, elle n'a pas été testée au delà de $n = 50$ variables et pour des valeurs de $k > 100$. Pourtant, elle comporte des avantages et des potentiels comme nous allons le montrer dans la suite de l'article.

3. DATATUBE2

3.1 Définition de la visualisation

Nous notons par A_1, \dots, A_n les n attributs numériques décrivant les données. Nous supposons que les valeurs de ces attributs ont été enregistrées initialement dans un intervalle de temps $[0, T]$, de manière non synchrone. Ensuite nous pouvons définir des échelles temporelles différentes (heure, jour, mois, etc) et regrouper les instants dans des intervalles en effectuant la somme des valeurs des attributs dans cet intervalle. Notons que d'autres opérateurs "d'agrégation" seraient possibles comme par exemple la moyenne. Ces opérations de prétraitement sont incluses dans notre outil mais nous ne les détaillerons pas plus dans la suite : nous notons directement ces instants/intervalles de mesure par t_1, \dots, t_k . Les données fournies à l'entrée de notre méthode de visualisation sont donc représentées par une matrice $n \times k$ et nous notons par $A_i(t_j)$ la valeur prise par l'attribut A_i à l'instant t_j (voir figure 1). Les

valeurs d'un attribut A_i sont ensuite normalisées sur un intervalle $[0, 1]$ en considérant, à la demande de l'utilisateur, soit le minimum et le maximum de A_i , soit le minimum global et le maximum global, suivant la nature des données.

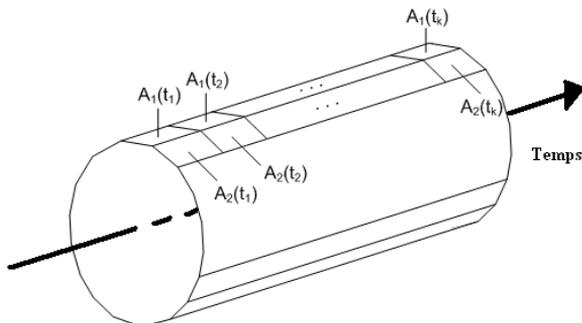


Fig. 2. Définition du tube temporel tel qu'initialement décrit dans DataTube

La visualisation de base dans DataTube (et DataTube2) consiste à représenter cette matrice sous la forme d'un tube temporel comme illustré sur la figure 2. Dans cette visualisation, chaque valeur $A_i(t_j)$ est donc représentée par une facette rectangulaire. Un instant t_j est donc codé par un ensemble de facettes formant une couronne. L'évolution d'un attribut A_i est représentée par une ligne parallèle à l'axe du tube. Un niveau de gris est attribué à chaque facette en fonction de la valeur de $A_i(t_j)$.

Les premières propriétés de cette visualisation sont les suivantes. Son mode de représentation est facilement compréhensible par des utilisateurs non spécialistes en fouille de données (d'après les présentations que nous avons pu en faire avec de vrais experts du domaine, voir section 4). Le tube peut être vu comme une métaphore perçue de manière immédiate par l'utilisateur. Tous les attributs sont visualisés simultanément ce qui permet de les comparer entre eux, mais aussi de détecter les valeurs manquantes. L'axe du tube représente le temps : la perception de l'écoulement du temps est donc très intuitive (nous verrons dans la section 3.5) que l'utilisation d'un écran stéréoscopique y contribue de manière significative). En naviguant à l'intérieur du tube, la perspective donne des effets visuels très intéressants : les données temporellement proches de la position de l'utilisateur dans l'espace 3D sont agrandies par rapport à celles qui se situent plus loin dans le temps et cet effet est accentué par la stéréoscopie dans DataTube2. Il en résulte donc un effet de "focalisation" (zoom) sur les instants proches et de conservation du contexte sur les instants suivants plus éloignés. L'utilisateur peut regarder le temps s'écouler et voir ce qui suit un événement, ou bien, en se retournant, voir ce qui précède un événement.

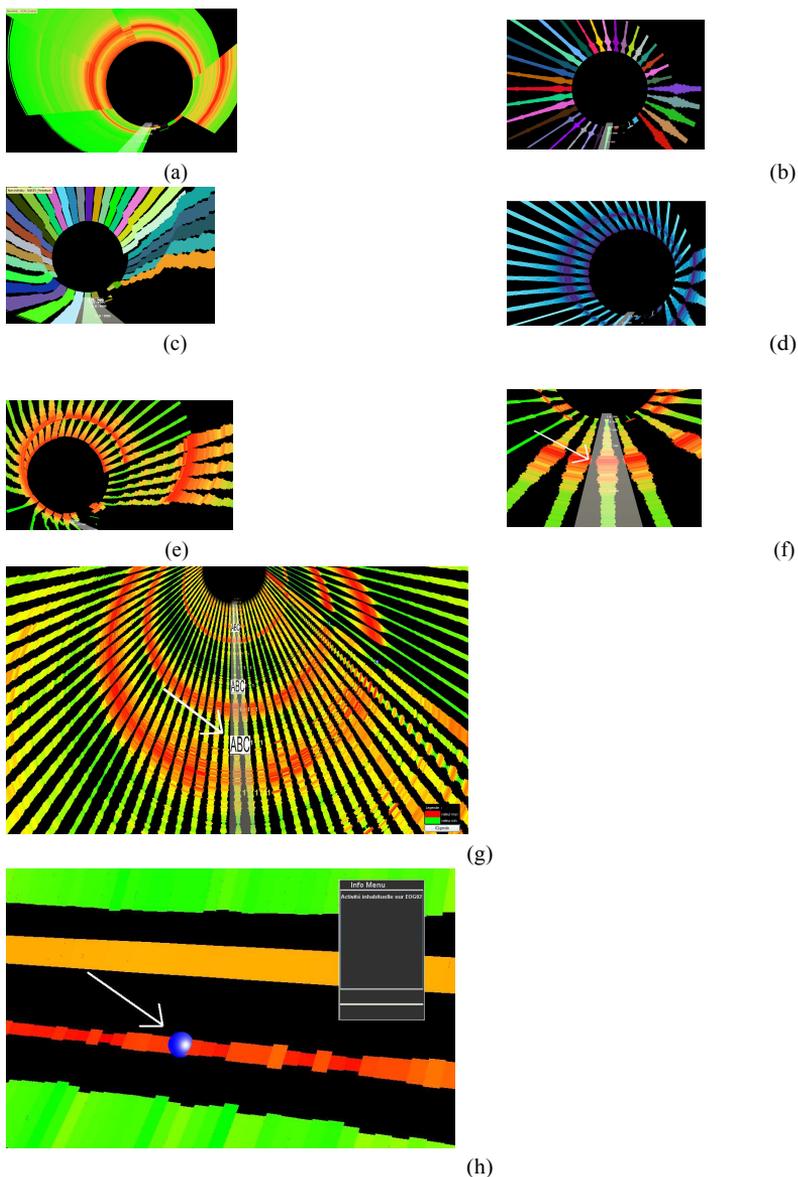


Fig. 3. Représentation des données par couleur (a), largeur (b), hauteur (c), en combinant couleur et largeur (d), couleur, largeur et hauteur (e). En (f) est représenté l'axe temporel. En (g) et (h), des exemples d'annotations ont été ajoutés dynamiquement

3.2 Extensions de la visualisation

Initialement, DataTube ne proposait qu'un seul mode de visualisation des données (facettes dont le niveau de gris dépend des valeurs de la variable correspondante). Nous avons donc proposé plusieurs modes de visualisation des valeurs $A_i(t_j)$

(voir figure 3) :

- par couleur : $A_i(t_j)$ est représentée par une face de taille constante dont seule la couleur va varier. Pour fixer la couleur, l'utilisateur peut choisir 3 couleurs qui correspondent aux valeurs minimum, médiane et maximum des données (par exemple Vert/Orange/Rouge). Le choix des couleurs peut dépendre du domaine traité,
- par largeur : la largeur des facettes représente les $A_i(t_j)$. L'utilisateur peut fixer l'amplitude maximale de cette largeur (par rapport à la place disponible sur le tube pour A_i),
- par hauteur : la hauteur des facettes varie en fonction de $A_i(t_j)$, ce qui peut donner des effets d'ondulation. Par contre, cette hauteur doit être faible sous peine de générer des occlusions, et l'utilisateur a la possibilité dans ce cas de contrôler l'opacité des facettes.

Ces modes de visualisation peuvent être combinés et permettent, suivant le type de données et le domaine traité, de faire apparaître des informations différentes, en particulier des combinaisons comme couleur et largeur (voir figure 3(d) et (e)), où le même attribut est représenté.

Les valeurs manquantes étant souvent présentes dans les bases de données réelles, nous considérons qu'elles représentent une absence d'événement dans l'intervalle de temps considéré. Nous avons donc fait le choix de les représenter par défaut dans une couleur donnée. Dans nos exemples, le fond de la visualisation étant noir, nous avons adopté cette couleur pour les valeurs manquantes dans toutes nos visualisations.

Nous donnons ensuite la possibilité à l'utilisateur d'ajouter un axe temporel pour représenter explicitement le temps, ce qui n'existait pas dans DataTube. Il n'y avait donc pas de moyen de se repérer temporellement dans la visualisation. Dans DataTube2, cet axe prend la forme d'un "chemin" composé de dalles, où chaque dalle représente un instant t_j (voir figure 3(f) et (g)). Ce chemin est placé initialement en bas et à l'intérieur du tube. Les dalles sont transparentes de manière à laisser percevoir les données situées en dessous d'elles. De plus, un label de type texte indique périodiquement à quel instant correspond une dalle. Ces dalles sont cliquables pour sélectionner un instant donné et le mettre en valeur par rapport aux autres. Enfin, l'utilisateur peut rajouter des annotations sur cet axe (voir section suivante).

3.3 Nouvelles interactions

En ce qui concerne la navigation dans la visualisation, l'utilisateur est initialement placé à l'extrémité de l'axe du tube et avec le regard vers l'intérieur du tube : il obtient ainsi une vue globale de toutes les données. Cette vue permet de voir par exemple les grandes tendances, les groupes de variables similaires (voir section 4) et les données manquantes. L'obtention d'un zoom se fait par effet de perspectives et par déplacement de l'utilisateur : les parois du tube sont proches de l'axe central, ce qui permet à l'utilisateur de les atteindre rapidement et d'observer localement les variables avec beaucoup de détails. Les déplacements ont lieu de manière classique (centrés sur l'utilisateur).

En ce qui concerne la sélection de données, chaque facette du tube est cliquable. Un clic gauche permet d'afficher en haut et à droite de l'écran le nom de l'attribut, l'instant considéré et la valeur $A_i(t_j)$. Un clic droit permet de mettre en avant (vers l'axe du tube) l'ensemble des facettes correspondant à A_i . Ainsi tout l'ensemble des valeurs d'un attribut peut être mis en avant pour le distinguer des autres et pouvoir l'observer en détail sans le confondre avec ses voisins.

L'utilisateur peut ajouter dynamiquement des annotations dans la visualisation. Ainsi il peut stocker des notes ou des repères relatifs aux informations et connaissances extraites, ou encore marquer un événement particulier afin de mieux en observer les causes ou conséquences. L'utilisateur peut aussi s'en servir pour faire une présentation interactive des résultats devant un ensemble de personnes. Comme le montre les figures 3(g) et (h), ces annotations prennent la forme d'un élément graphique comme une image choisie par l'utilisateur ou comme un repère visuel (sphère). Ces annotations peuvent être placées sur une facette du tube ou bien sur une dalle de l'axe temporel. On peut associer à ces annotations un lien (Web), un son ou encore un texte affiché dans une fenêtre (affichage contextuel).

3.4 Réorganisation des attributs similaires

L'ordre dans lequel sont présentés les variables autour du tube est important car il peut contribuer à faire apparaître des informations primordiales dans les données : il s'agit par exemple de découvrir des groupes de variables au comportement similaire, et de représenter de manière proche des groupes qui se ressemblent. Afin de résoudre ce problème nous avons utilisé un algorithme de classification qui réordonne la séquence de variables de manière à placer côte à côte les variables qui se ressemblent. Ce problème est bien connu en visualisation notamment dans le cas de la visualisation de matrices [Bertin 1977] [Jain et al. 1999] (voir [Climer and Zhang 2006] pour des travaux récents dans le domaine). Sa résolution implique la définition d'une mesure de similarité (ou de distance) entre les éléments à ré-ordonner, puis le choix d'un algorithme de réorganisation. Nous avons développé des approches heuristiques et génétiques pour ce problème notamment dans le cadre de visualisation de cubes OLAP [Sureau et al. 2009]. Dans ce travail sur DataTube2, nous donnons les résultats obtenus avec un algorithme standard dans ce domaine (BEA pour "Bond Energy Algorithm", [McCormick et al. 1972]). Cet algorithme utilise la mesure de similarité suivante entre deux variables :

$$ME(A_i, A_j) = \sum_{t=1}^k [A_i(t) * A_j(t)]$$

Elle est appelée "measure of effectiveness" et prend des valeurs maximales lorsque les deux variables sont identiques. BEA fonctionne de la manière suivante : il part d'une liste d'attributs notée L qui est initialement vide. Il commence par sélectionner deux attributs au hasard et les ajoute à L. Ensuite, il choisit parmi les attributs restants celui qui est le plus proche des attributs déjà dans L en considérant toutes les positions d'insertion possibles. Une fois que tous les attributs sont placés, le tube est réorganisé suivant l'ordre indiqué par L. Cette heuristique est déterministe et sa complexité est en $O(n^2)$.

Il est aussi possible de réorganiser les attributs en ne considérant qu'une partie des données dans le calcul de la similarité. Pour cela, l'utilisateur sélectionne un intervalle de temps donné. Ceci permet de ne pas tenir compte de certaines zones non intéressantes ou bruitées, mais surtout de vérifier si des comportements proches dans l'intervalle considéré le sont également à d'autres instants (corrélation).

3.5 Visualisation en stéréoscopie et intégration dans VRMiner

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la perception de l'écoulement du temps dans DataTube2 est liée à l'axe du tube et à l'effet de perspective et de profondeur. Sur un écran 2D, notre visualisation ressemble à un disque et seuls les déplacements permettent d'avoir une idée de la forme tubulaire. Même si des effets d'opacité auraient permis de simuler la profondeur, nous avons opté pour une visualisation sur des écrans stéréoscopiques afin que la perception réelle de la 3D renforce la sensation de profondeur du tube et donc de l'écoulement du temps. Également, la navigation en 3D implémentée classiquement par une combinaison clavier/souris peut être améliorée pour l'utilisateur en utilisant des dispositifs adaptés. Nous avons donc intégré DataTube2 dans notre plateforme de fouille de données en réalité virtuelle VRMiner [Azzag et al. 2005]. VRMiner comporte initialement un grand écran stéréoscopique (écran polarisé) rétro-éclairé pour plusieurs utilisateurs et du matériel pour l'interaction (Flock of birds d'Ascension Technology Corporation, Wiimote de Nintendo, SpacePilot de 3DConnexion, gants de données d'Essential Reality). A ce jour (article en cours de préparation), VRMiner peut fonctionner sous des environnements matériels plus légers dans le cadre d'une utilisation limitée à un utilisateur. Il s'agit par exemple d'utiliser un écran LCD 3D (modèle récent et bon marché type Samsung avec lunettes actives Nvidia). Dans ce poste mono-utilisateur, le SpacePilot est, en conjonction avec la souris, le périphérique de commande le plus approprié.

A la suite de cette implémentation, nous avons constaté que l'intégration de DataTube2 dans VRMiner permet d'améliorer la visualisation et d'augmenter les interactions et l'immersion dans les données. Ainsi, à l'aide de la visualisation stéréoscopique, on constate que la perception de la profondeur est importante en particulier pour bien appréhender l'écoulement du temps.

Il est intéressant de mentionner un travail précédent où des données temporelles de type log ont été visualisées en réalité virtuelle [Scullin et al. 1995]. La visualisation utilisée est un "scatter plot 3D" dans lequel de nombreux graphiques sont représentés (tous ceux que l'on peut obtenir en combinant par triplet jusqu'à $n = 10$ variables). Cependant, malgré l'utilisation de la transparence, cette visualisation engendre beaucoup d'occlusions. Du point de vue de l'application visée, les objectifs des auteurs étaient plus l'étude des performances des serveurs que l'analyse du comportement des utilisateurs. Ce système a été implémenté dans l'environnement CAVE [Symanzik et al. 1996] ainsi que dans des environnements plus légers utilisant des écrans CRT.

Bases	Nature des données	# valeurs	n	k
Polytech-Init	Log d'un site Web (documents et images)	1 447 839	9 463 éléments	153 jours
Polytech	Log d'un site Web (documents seuls)	563 668	1148 pages	491 jours
Antsearch	Log d'un serveur Web (plusieurs sites Web)	66 875	107 pages	625 jours
EEG	Electro-encéphalogrammes	67 136	64 électrodes	1049 × 2 ms
CONSO	Consommation d'une denrée (données confidentielles)	365 000	1000 individus	365 jours
BIOMED	Mesures d'un appareil à l'hôpital (glycémie)	30000	600 patients	selon le patient

Table I. Bases de données réelles testées avec les paramètres de visualisation (n, k).

4. RESULTATS SUR DES BASES REELLES

4.1 Données réelles étudiées

Les premiers tests de DataTube2 que nous ne décrivons pas ici ont porté sur des données réelles classiques telles que des cours de la bourse similaires à celles utilisées dans le seul test publié de DataTube initial, ainsi que sur des séries de l'INSEE.

Ensuite, nous avons appliqué notre visualisation aux différentes bases de données réelles présentées dans la table I avec, pour toutes les bases (sauf CONSO), un expert du domaine à qui nous avons montré les résultats obtenus. Comme nous le mentionnons dans la conclusion, nous sommes également en train d'implémenter DataTube2 chez un industriel dans le cadre de l'étude de l'évolution temporelle d'un système complexe. Les caractéristiques de ces données sont présentées dans la table I, et certaines d'entre elles faisant l'objet d'un accord de confidentialité, nous ne pouvons pas donner autant de détails que nous le souhaiterions.

4.2 Visualisation des accès à un site Web

4.2.1 Approches connexes. La fouille de données d'usage du Web est un bon champ d'expérimentation pour les approches visuelles et interactives car les données sont de nature hétérogène, en volume important, et tout le processus d'extraction de connaissances est tourné vers l'utilisateur final, qui n'est pas nécessairement un informaticien ou un expert en fouille de données. Il est donc important de proposer dans ce cadre des visualisations faciles à apprendre et permettant aussi une présentation à d'autres personnes. Un des premiers travaux dans le domaine concerne le système Webviz [Pitkow and Bharat 1994] qui affiche un graphe de pages Web où les liens entre les pages sont colorés en fonction des visites qu'elles ont reçues. Ce type de représentation a été utilisé dans bien d'autres travaux comme par exemple dans le système VisVIP [Cugini and Scholtz 1999] qui complète le graphe de pages par une courbe reliant les pages et symbolisant la navigation d'un internaute, ainsi que par des colonnes en chaque noeud symbolisant le temps passé sur chaque page. MIR [Kizhakke 2000] est l'une des rares représentations utilisant une métaphore : le site Web est une ville dont chaque bâtiment représente une page, et la navigation d'un utilisateur est

représentée par les déplacements d'un avatar dans la ville. Notons également qu'il existe des visualisations dynamiques de log qui présentent les données comme une séquence de représentations [Minar and Donath 1999] [Skog and Holmquist 2000], charge alors à l'utilisateur de mémoriser les instants précédents (raison principale pour laquelle nous n'avons pas retenu ce type d'approche).

Parmi les méthodes qui peuvent traiter les plus grands volumes de données, nous mentionnons à nouveau TimeTube [Chi et al. 1998] où les accès à 7588 pages Web sont représentés sous une forme arborescente. Ce système peut donc représenter la structure du site Web mais le temps y joue un mineur : seulement quelques instants différents sont visualisés. DataJewel [Ankerst et al. 1996] utilise une représentation de type calendrier où chaque jour est rempli par des pixels représentant les événements (accès à telle page, utilisation de tel navigateur). Ce système utilise une métaphore aisément compréhensible (calendrier) mais cependant il ne permet pas de représenter facilement l'absence d'événements (aucune visite sur une page) ou encore de comparer entre eux les accès aux pages. Enfin, nous mentionnons une utilisation des cartes de Kohonen [Benabdeslem et al. 2002]) où les pages sont regroupées entre elles selon leur co-occurrence dans la navigation des utilisateurs. Notre approche se situe dans cette catégorie de méthodes où la priorité est donnée au traitement de grands volumes de données et à la découverte de connaissances avec un algorithme de classification.

Pour finir, il est important de mentionner les approches commerciales s'appuyant sur des représentations classiques comme par exemple Google Analytics. Ces outils sont très efficaces pour représenter l'activité d'une page, l'activité globale d'un site, l'origine des utilisateurs, etc. Cependant, si le site comporte beaucoup de pages, il est impossible de représenter leur activité simultanément (comme le fait TimeTube par exemple). De plus, l'orientation "grand public" de ces outils fait que, si l'on veut détecter des groupes de pages aux activités similaires, cela est impossible car le temps d'exécution d'un algorithme de classification côté serveur et à grande échelle est rédhibitoire.

4.2.2 Données traitées. Nous avons appliqué DataTube2 à différents logs obtenus à partir de sites Web réels (voir table I). La base "Polytech" contient un total de 1148 pages du site de Polytech'Tours (www.polytech-tours.fr). Le log a été traité de manière à extraire seulement les pages correspondant à des documents (pages html, php et asp). Les impacts sur ces pages ont été mesurés sur une période de 491 jours (plus de 500000 impacts). La base "Polytech-init" concerne le même site sur une période antérieure sans qu'aucun prétraitement n'ait été appliqué, ce qui ajoute principalement toutes les images (qui font chacune l'objet d'une requête lors du chargement d'une page Web). Ce log va être utilisé pour tester les limites de notre méthode. Enfin, la base "Antsearch" représente les accès aux différents sites hébergés par le serveur www.antsearch.univ-tours.fr. Tous les tests mentionnés dans la suite ont été réalisés sur un ordinateur standard (MacBook Pro, Intel Core Duo à 2.4GHz, RAM de 4Go).

Bases	Temps visualisation	Temps classification	Efficacité classification
Polytech	1.4 s	22.5 s	1.19
Polytech-Init	34 s	8 min.	1.03
Antsearch	407 ms	234 ms	1.39

Table II. Temps d'exécution (visualisation, classification) et efficacité relative de la classification (ratio après/avant de la somme des similarités entre variables successives).

4.2.3 *Evaluation quantitative.* Dans un premier temps, nous avons évalué quantitativement les performances de DataTube2 en ce qui concerne les temps d'exécution et l'efficacité de la réorganisation. Ainsi nous avons représenté dans la table II les temps d'exécution nécessaires pour la visualisation et pour la classification des données avec BEA. On constate que le temps de construction de la visualisation est tout à fait correct (implémentation en Java/Java3D). BEA ayant une complexité quadratique, on remarque que pour la plus grande base (Polytech-init) le temps nécessaire est de l'ordre de 8 minutes. Même si ce temps est beaucoup plus long que celui nécessaire à la construction de la visualisation, il reste cependant acceptable pour un tel volume de données. Dans cette même table II nous avons évalué quantitativement la performance de BEA en terme de classification. Pour cela, nous mesurons la qualité d'une classification des variables en faisant la somme des similarités entre variables successives prises 2 à 2. Plus cette somme est élevée, plus les variables voisines dans la représentation se ressemblent en termes de comportement au cours du temps. Initialement, les pages sont ordonnées par la date de leur première visite (ce qui correspond dans notre cas à la date de création). On constate que BEA améliore cette disposition initiale de manière significative. Cela se confirme également dans le cadre de l'évaluation utilisateur (voir section 5). Pour la base Polytech-init, le ratio mesuré n'est pas très important car les données sont très éparées (la similarité initiale entre les pages est très élevée car de nombreuses valeurs sont à 0).

Nous avons ensuite utilisé la base Polytech-init pour tester jusqu'à quel volume de données peut aller l'implémentation actuelle de DataTube2. Notons tout d'abord que pour toutes les autres bases testées, les interactions ont été parfaitement fluides pour l'utilisateur (nous n'avons pas mesuré précisément le nombre d'affichages par seconde mais à l'utilisation aucun problème de cet ordre ne s'est posé pour ces bases). Pour visualiser Polytech-init, les pages ont été ordonnées par leur date de création. L'aspect global de la visualisation ressemble donc à une sorte de spirale. Avec ce volume de données (environ 1.5 million de valeurs affichées), les interactions telles que les déplacements sont limités du fait de la lenteur de l'affichage (de l'ordre d'un affichage par seconde). Cette représentation doit donc être plutôt considérée comme statique même si on peut obtenir plusieurs points de vue sur les données. Nous espérons dans le futur pouvoir améliorer l'implémentation de DataTube2 afin de dépasser cette limite d'affichage.

4.2.4 *Découverte de connaissances et retour de l'expert.* Nous présentons ici des résultats pouvant typiquement être extraits avec DataTube2. Dans toutes les visualisations, nous avons représenté visuellement le nombre d'impacts par jour avec une couleur allant du vert (peu d'impacts) au rouge (grand nombre d'impacts).

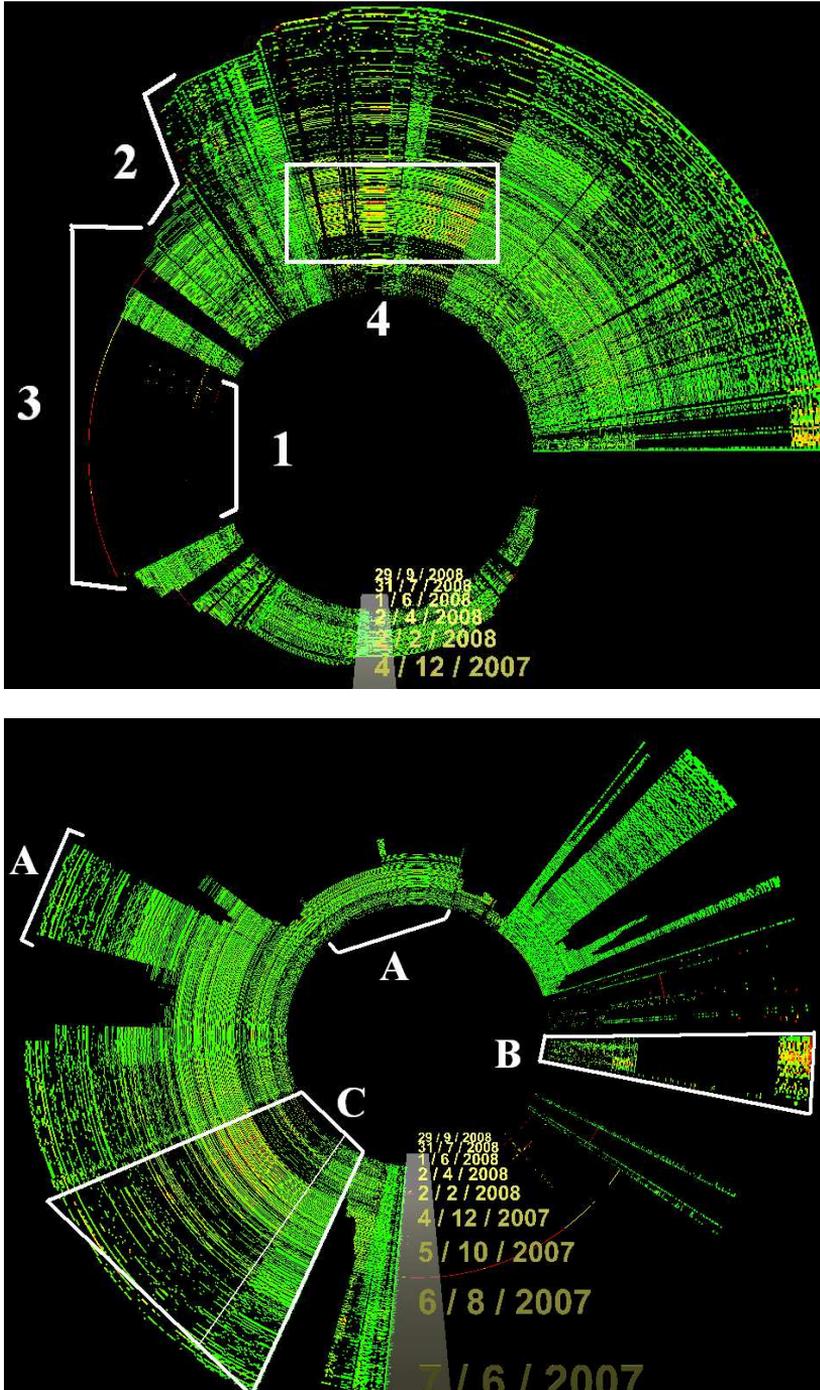
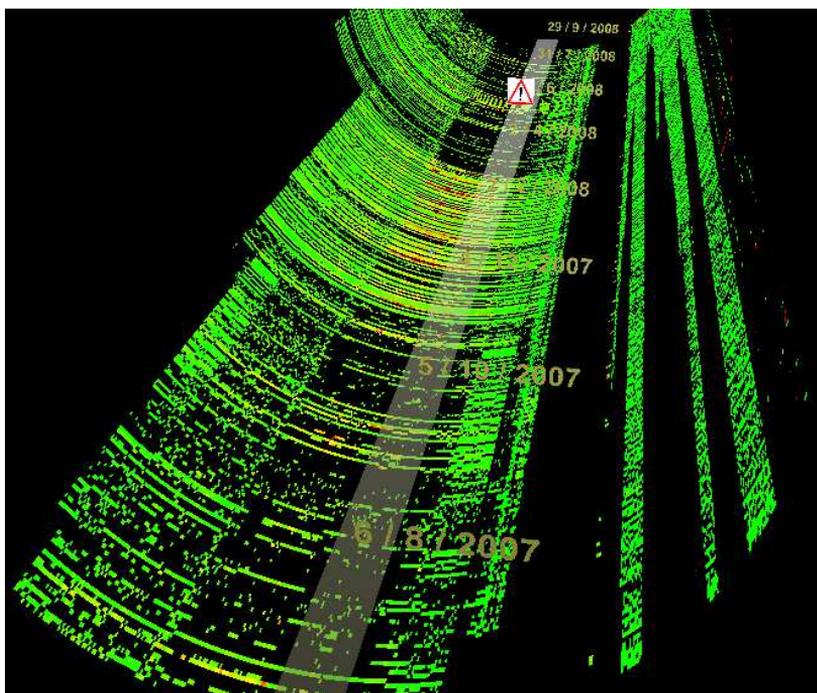
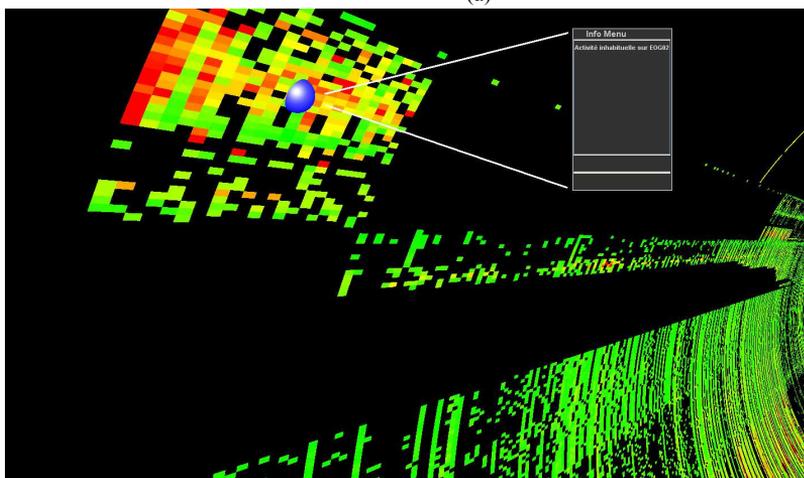


Fig. 4. Illustration de l’algorithme de classification sur la base Polytech : la première visualisation (haut) représente les pages triées par leur date de création, alors que la deuxième représente les pages à l’aide de l’algorithme de classification (voir section 4.2.4 pour plus d’explications).



(a)



(b)

Fig. 5. En (a), zoom sur la base Polytech, et en (b) un exemple de niveau de détail élevé.

Tout d'abord, l'utilisateur obtient une vue globale de toutes ses données comme sur la figure 4. En haut de cette figure, les pages sont ordonnées par leur date de création, ce qui donne cet effet de spirale. Il est très facile de détecter les pages qui, après leur création, n'ont plus fait l'objet de beaucoup de visites (voir la zone

marquée "1" sur la figure). Il est possible également de détecter les périodes où aucune page n'a été ajoutée au site (voir la zone "2"), ou au contraire les périodes où de très nombreuses pages ont été ajoutées (voir zone "3"). Dans cette figure, la zone "4" correspond à des pages qui, pendant un intervalle de temps donné, ont reçu plus de visites que les autres.

Dans l'image du bas de la figure 4, l'algorithme de réorganisation a été utilisé pour placer côte à côte les pages à l'activité similaire. On peut ainsi noter les différences entre l'image du haut (pages ordonnées selon la date de création) et celle du bas. L'algorithme de classification a tendance à regrouper les pages 1) créées à la même période, et 2) ayant ensuite une activité similaire. De nombreux groupes peuvent ainsi être identifiés, avec par exemple les deux groupes notés "A" sur la figure. Ensuite, des groupes plus spécifiques peuvent être identifiés. Les groupes "B" correspondent à des pages qui, après une période initiale de forte activité, n'ont reçu aucune visite, pour être de nouveau visitées ensuite. Le Webmestre peut ainsi détecter par exemple les pages temporairement inaccessibles. Enfin, le groupe de pages "C" est intéressant : il peut être subdivisé en deux sous groupes très homogènes que BEA a placé côte à côte dans la visualisation.

A partir de la vue globale, l'utilisateur peut obtenir des détails sur les données de log, aussi bien à un niveau intermédiaire qu'élevé. Par exemple, la figure 5(a) illustre un niveau de détail intermédiaire obtenu lorsque l'utilisateur se rapproche d'une partie de la visualisation. Dans la figure 5(b) nous illustrons un niveau de détail plus élevé encore pour un groupe de pages et un intervalle de temps donnés. Les données deviennent alors localement très précises. Même si en pratique cela ne semble pas avoir gêné les expérimentateurs, il faut noter que le contexte est cependant perdu en partie et que la localisation de la zone détaillée par rapport à l'ensemble fait appel à la mémorisation des déplacements qu'a pu faire l'utilisateur. Dans les perspectives de ce travail, nous comptons étudier comment remédier à cela si besoin, peut être en ajoutant une représentation miniature du tube.

Les Webmestres des sites concernés ont pu également tester DataTube2 avec leurs données de log, et nous avons pu ainsi recueillir leurs remarques. Ils ne connaissaient pas cette visualisation : nous avons donc constaté qu'une quinzaine de minutes ont suffi pour expliquer la structure de la visualisation (forme tubulaire, codage couleur des variables, axe temporel), ensuite les principales interactions (déplacements, sélections) et enfin ce qu'effectue l'algorithme de réorganisation. Ils ont été capables de détecter les informations mentionnées précédemment. Ils ont été particulièrement intéressés par la visualisation globale des données. Ils ont pu reconnaître certains groupes de pages (i.e. "Actualités", "Presse", "Galerie", "Cours", etc) d'après le regroupement effectué et la mise en lumière de comportements similaires. Pour la base Polytech, le Webmestre a étudié plus particulièrement l'influence de la période de fin des études/vacances/reprise des études sur les visites du site. Enfin, l'utilisation de l'environnement de réalité virtuelle a été bien perçue par les utilisateurs, notamment en ce qui concerne la présentation des données (voir section 5).

Enfin, par rapport aux deux visualisations mentionnées dans l'état de l'art et qui sont les seules à notre connaissance à pouvoir visualiser de grands volumes de

données de log, notons que DataTube2 visualise beaucoup plus de pages que DataJewel [Ankerst et al. 1996] (limité à quelques pages) et au moins autant de pages et beaucoup plus d'instantanés que TimeTube [Chi et al. 1998] (7500 pages, limité à quelques instantanés). En effet, nous avons également visualisé 9463 pages sur 153 jours en utilisant une échelle heure par heure, ce qui représente près de 1 500 000 valeurs.

4.3 Exploration d'électro-encéphalogrammes

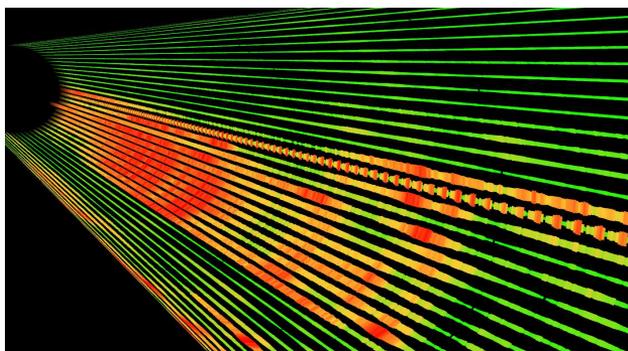
L'équipe Vieillesse et Mémoire du laboratoire Langage, Mémoire et Développement Cognitif (UMR 6215, Université de Poitiers et Université de Tours) nous a fourni des données issues d'électro-encéphalogrammes illustrant par des courbes la réaction de 64 zones du cerveau à des stimuli visuels [Fay et al. 2005]. Les données représentent donc l'évolution des 64 électrodes dans le temps, ici sur une durée de 2 secondes par pas de 2 ms. Notre objectif est d'évaluer l'intérêt de DataTube2 pour ce type de données et notamment la performance de l'algorithme de regroupement décrit précédemment. Ce regroupement est une information importante pour les experts du domaine traité.

Sur la figure 6(a) nous pouvons voir directement l'évolution de chaque électrode par rapport aux autres, les comparer grâce au regroupement effectué et évaluer les zones du cerveau actives lors de la réception d'un stimulus (ici l'apparition d'une image devant les yeux), ainsi que les répercussions sur les autres électrodes. La visualisation DataTube2 permet de voir directement les relations entre les électrodes et les signaux du cerveau, contrairement aux courbes couramment utilisées, visibles sur la figure 6(b). La figure 6(c) montre l'état des électrodes lorsque le patient cligne de l'œil et donc les zones actives du cerveau.

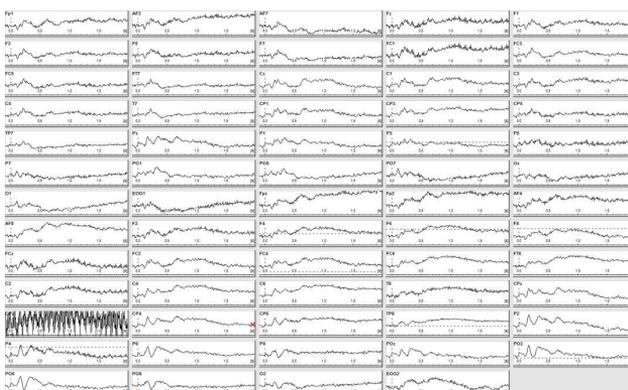
Les données fournies sont des données de tests et nous pourrions par la suite tester cette visualisation et la faire valider par les utilisateurs concernés avec des données complètes. Cependant lors de la présentation de la visualisation d'EEG à ces utilisateurs nous avons pu constater, comme pour les informaticiens précédents, que la prise en main de la méthode est relativement facile et rapide. Le plus appréciable dans cette méthode est de pouvoir visualiser et comparer les activités de toutes les électrodes très facilement contrairement au recueil de courbes qu'ils utilisent classiquement (figure 6 (b)).

4.4 Autres données testées

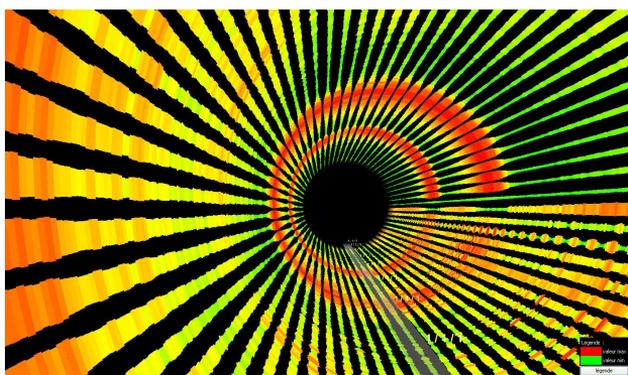
Nous avons appliqué DataTube2 sur les autres bases de données mentionnées dans la table I. Pour la base CONSO, il s'agit de représenter la consommation quotidienne d'une denrée pendant un an par 1000 personnes différentes. DataTube2 a permis de découvrir des comportements liés aux jours de la semaine mais également aux périodes de vacances comme par exemple celles liées aux différentes zones A, B ou C. Pour la base BIOMED (voir figure 7), il s'agit de représenter les mesures faites de la glycémie sur un ensemble de 600 patients (collaboration avec le Dr. Pierre Kalfon, Service de Réanimation au Centre Hospitalier de Chartres, et la société LK2). L'objectif de la visualisation est de fournir un aperçu initial des données, afin de contribuer à un projet plus vaste, le contrôle automatique de l'injection d'insuline chez des patients en réanimation



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Electro-encéphalogrammes obtenus lors d'un stimulus visuel en (a), application d'origine en (b), effet d'un clignement de l'oeil en (c)

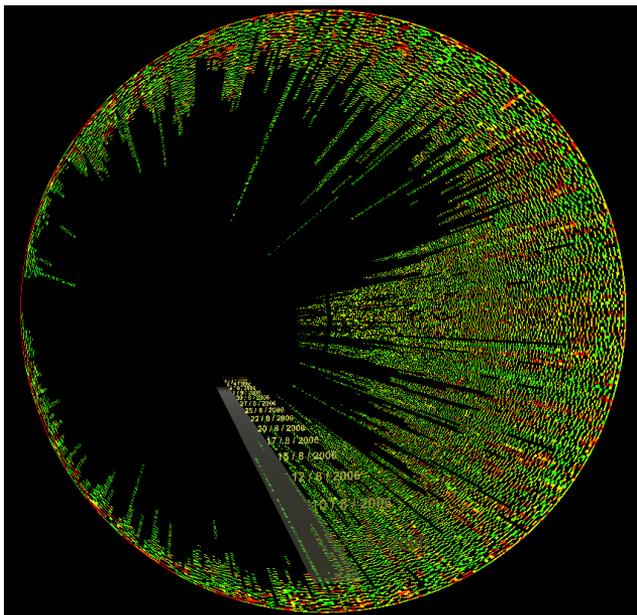


Fig. 7. Représentation de la glycémie pour 600 patients au cours de leur séjour dans un service de réanimation.

5. EVALUATION UTILISATEUR

5.1 Généralités sur le protocole utilisé

Nous avons réalisé une évaluation utilisateur afin de mieux quantifier l'intérêt de DataTube2. Dans notre cadre de la fouille visuelle de données, une telle évaluation consiste à définir des tâches à accomplir et les données correspondantes, à recruter des utilisateurs qui connaissent déjà les principes de la fouille de données, et à définir quelles versions de DataTube2 tester et quel logiciel "concurrent" utiliser.

Les tâches à accomplir ont été choisies parmi celles rencontrées couramment en fouille de données. Pour chacune d'elles, il a fallu également définir des données à utiliser ainsi qu'un critère permettant de quantifier la qualité de la réponse de l'utilisateur (en plus du temps de réponse). Nous avons choisi les trois tâches suivantes (voir les trois sections qui suivent) :

- la première tâche consiste à identifier le nombre de classes de variables présentes dans les données,
- la deuxième tâche consiste à détecter des variables dont le comportement temporel les isole des autres (des "outliers"),
- la troisième tâche consiste à trouver deux variables absolument identiques.

Nous avons recruté des utilisateurs ayant un minimum de formation en informatique, en Statistiques et en Fouille de données afin qu'aucune

incompréhension globale ne vienne perturber l'évaluation. Nous avons donc fait appel à 20 étudiants en Informatique de l'Université de Tours, âgés de 20 à 33 ans, et avec un niveau d'étude allant de bac+3 jusqu'au Doctorat.

Nous avons utilisé deux versions de DataTube2, avec ou sans BEA, afin de tester l'impact de la réorganisation sur la résolution des tâches précédentes. La stéréoscopie est utilisée dans les deux cas avec un écran 3D de 21 pouces. Afin d'éviter un apprentissage trop long des déplacements avec l'utilisation du SpacePilot (nous ne pouvons pas "bloquer" les utilisateurs pendant plus de 45 minutes), les déplacements sont restreints le long de l'axe du tube, ce qui doit être suffisant pour résoudre les tâches que nous avons définies.

Pour effectuer des comparaisons, nous avons cherché un logiciel qui soit déjà maîtrisé par les utilisateurs et qui utilise si possible une représentation matricielle 2D des données. Nous avons donc sélectionné un tableur, en utilisant les possibilités de coloration des cases. Ce tableur peut donc représenter la matrice des données en 2D avec des codes couleurs (voir figure 8(c)). L'utilisateur peut se déplacer en 2D et faire des zooms. La réorganisation n'étant pas une fonctionnalité du tableur celle-ci n'est pas utilisée.

Nous avons donc 3 méthodes à tester (DataTube2 avec ou sans BEA, tableur), et pour cela nous avons défini globalement le protocole suivant :

- (1) L'utilisateur remplit un questionnaire préalable sur son niveau en Informatique, son expérience de la 3D (cinéma, jeux, écrans, matériel de navigation, programmation),
- (2) On explique à l'utilisateur les principes de la fouille de données temporelles sur un exemple de données fournies par Google sur la grippe H1N1 (effectifs par région et en fonction du temps). Les trois tâches sont expliquées sur ces données ainsi que les trois représentations testées, DataTube2 avec ou sans BEA et le tableur. Nous nous assurons également que la personne perçoive correctement la stéréoscopie,
- (3) Les trois tâches sont réalisées en mesurant le temps de réponse, le critère de qualité associé et le nombre de réponses exactes. Pour chacune d'elle, on choisit un seul logiciel à tester, selon une randomisation permettant, à la fin, d'avoir au moins 6 tests de chaque logiciel pour chaque tâche et de faire en sorte que chaque utilisateur ne teste jamais deux fois la même base ou deux fois le même logiciel,
- (4) L'utilisateur répond à un questionnaire d'évaluation, jugeant de manière comparative le tableur et DataTube2, et plus généralement l'utilisation de DataTube2.

5.2 Détection du nombre de classes

Cette tâche consiste à faire trouver par l'utilisateur le nombre de classes de variables présentes dans les données. Pour obtenir le jeu de données correspondant, nous générons 3 variables temporelles différentes, et nous les dupliquons jusqu'à obtenir une visualisation avec 20 variables. Trois classes sont donc définies dans ces données avec respectivement 4, 6 et 10 variables (voir figure 8). Tous les membres d'une classe sont identiques afin de ne pas créer trop d'ambiguïté ou de variabilité dans les réponses des utilisateurs, car la

classification est un processus subjectif. Le critère utilisé pour quantifier la réponse de l'utilisateur vaut 1 si la réponse donnée est "3" (réponse juste), puis 0.5 pour les réponses "2" ou "4", et 0 pour toutes les autres réponses.

Les résultats sont présentés dans la table III(a). Du point de vue de la qualité des résultats, on peut dire que les utilisateurs arrivent à bien résoudre cette tâche avec les trois méthodes, mais on note cependant un avantage pour DataTube2 où les utilisateurs commettent moins d'erreur qu'avec le tableur. La réorganisation avec BEA n'apporte sur cette tâche pas de bénéfice significatif en terme de qualité des résultats, par contre, le temps de réponse est clairement divisé par deux avec BEA. Si l'on tient compte des deux critères (qualité, temps), DataTube2 se comporte mieux que le tableur.

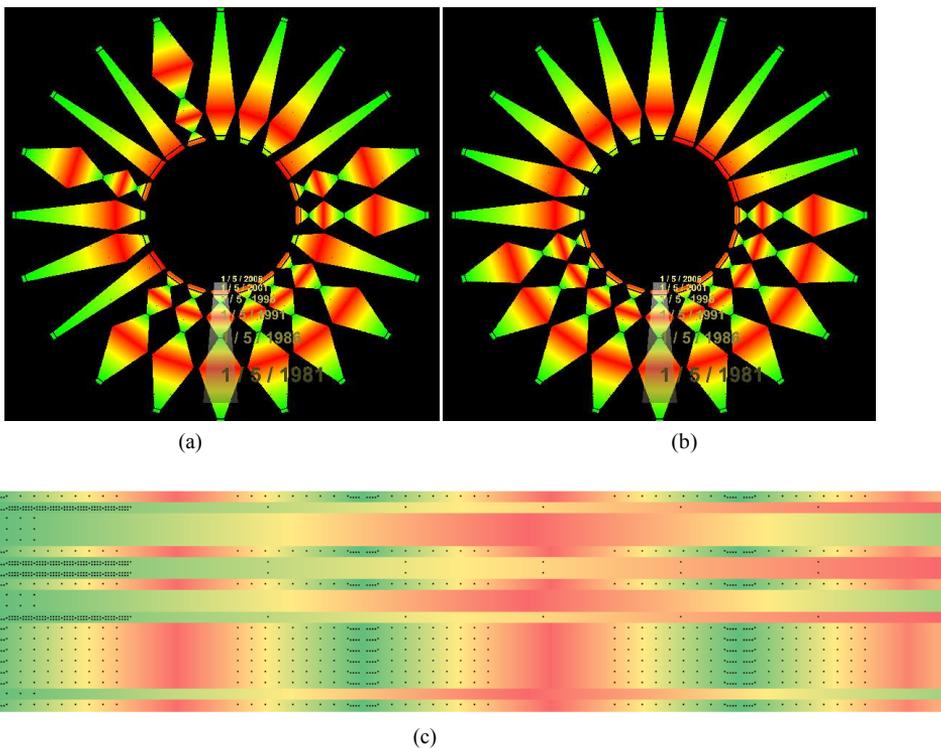


Fig. 8. Base de données utilisée pour le test sur la détection des classes de variables, avec en (a) la visualisation DataTube2 sans BEA, avec BEA en (b), et dans le tableur en (c).

5.3 Détection des variables aberrantes

Pour cette tâche, nous avons généré 17 variables au comportement "régulier" réparties en trois classes de 4, 5 et 8 variables. Au sein d'une même classe, toutes les variables sont identiques. Puis nous avons ajouté 3 variables au comportement "aberrant" par rapport aux trois classes précédemment définies.

Méthode	Temps	Qualité	Nb réponses exactes
DataTube2 sans BEA	44.0 (47.5)	1.00 (0.00)	7/7
DataTube2 avec BEA	19.8 (12.2)	0.83 (0.40)	5/6
Tableur	43.3 (35.6)	0.78 (0.39)	5/7

(a) identification du nombre de classes

Méthode	Temps	Qualité	Nb réponses exactes
DataTube2 sans BEA	33.6 (15,0)	0.66 (0.21)	1/6
DataTube2 avec BEA	37.7 (21.9)	0.80 (0.26)	4/7
Tableur	43.7 (16.4)	0.52 (0.28)	1/7

(b) détection des variables aberrantes

Méthode	Temps	Qualité	Nb réponses exactes
DataTube2 sans BEA	50.1 (27.8)	0.75 (0.43)	5/7
DataTube2 avec BEA	38.8 (41.5)	1.00 (0.00)	7/7
Tableur	105.3 (56.2)	0.25 (0.41)	1/6

(c) détection de deux variables identiques

Table III. Résultats obtenus par DataTube2 et le tableur pour les trois tâches (a) nombre de classes, (b) variables aberrantes, (c) deux variables identiques. Les valeurs sont en moyenne sur 6 ou 7 utilisateurs, les valeurs entre parenthèses sont les écarts-types. Les temps sont indiqués en seconde.

L'objectif de l'utilisateur est de détecter ces trois variables. Pour quantifier la qualité de la réponse, on définit un score qui vaut 1 si les trois variables sont trouvées par l'utilisateur, et sinon on enlève de cette valeur 1 des pénalités de 0.33 pour chaque variable aberrante non trouvée et de même pour chaque variable mentionnée mais qui n'était pas aberrante.

Dans la table III(b), on constate que cette tâche est plus difficile que la précédente, car il y a moins de réponses exactes. Le meilleur score de qualité est obtenu par DataTube2 avec BEA. En effet, la réorganisation a tendance à regrouper les variables des classes, puis à placer ensemble les variables aberrantes, ce qui permet de les identifier très nettement. Le tableur obtient le plus mauvais score de qualité. En observant plus finement les résultats, on constate que le tableur est la seule méthode pour laquelle une variable régulière a été mentionnée comme aberrante. En termes de temps de réponse, DataTube2 se comporte mieux que le tableur, mais pas de manière aussi significative que dans l'expérience précédente.

5.4 Détection des variables identiques

Nous générons cette fois une base de données avec 20 variables toutes différentes entre elles sauf un couple de variables totalement identiques. L'objectif de l'utilisateur est de trouver ces deux variables. Les résultats sont présentés dans la table III(c). En ce qui concerne la qualité, on constate qu'avec le tableur la tâche est très mal résolue par les utilisateurs. DataTube2 est donc nettement meilleur

que le tableur, et on constate un avantage avec l'utilisation de BEA car les deux variables identiques sont placées côte à côte. Les temps de réponse observés permettent d'aboutir à la même conclusion.

Question	Réponse pour tableur	Réponse pour DataTube2
Lecture des caractères	2.55 (1.14)	2.40 (0.80)
Se repérer les données	2.45 (0.88)	2.40 (1.09)
Facile à utiliser	4.75 (0.55)	4.05 (1.09)
Le plus intéressant	2.80 (1.23)	4.35 (0.87)
Le mieux adapté pour présentation	2.35 (0.98)	4.55 (0.68)

Table IV. Résumé des réponses données par les utilisateurs en ce qui concerne la comparaison entre le tableur et DataTube2. Les valeurs sont en moyenne sur 20 utilisateurs, les valeurs entre parenthèses sont les écarts-types.

Question	Réponse pour DataTube2
DataTube2 est frustrant ou satisfaisant	4.30 (0.92)
DataTube2 est ennuyeux ou stimulant	3.95 (0.60)
DataTube2 est rapide	3.95 (0.75)
DataTube2 est fiable	3.90 (0.78)

Table V. Résumé des réponses données par les utilisateurs en ce qui concerne DataTube2.

5.5 Questionnaire final et conclusion sur ces tests

Comme mentionné précédemment, le protocole se termine par un questionnaire d'évaluation. Pour toutes les questions, les réponses possibles vont de 1 à 5. Une première série de questions concerne la comparaison entre le tableur et DataTube2. Les résultats (voir table IV) montrent que les deux méthodes sont jugées de manière comparable en termes de lecture des informations, de positionnement dans les données et de facilité d'utilisation, mais ces résultats montrent aussi que DataTube2 est plus intéressant que le tableur notamment pour la présentation des données à d'autres personnes. On retrouve ici l'attrait des méthodes fondées sur la 3D quand il s'agit de présenter des informations, un point qui est crucial en fouille de données. En effet, dans les applications réelles, les résultats d'une analyse doivent généralement être présentés à des décideurs, et la forme de cette présentation a une grande importance.

Une deuxième série de questions a concerné DataTube2 seul (voir table V). Les réponses données par les utilisateurs montrent qu'ils jugent positivement DataTube2.

Globalement, l'évaluation utilisateur présentée ici confirme ce que nous avons pu relever dans les résultats de la section 4. DataTube2 est une visualisation facilement compréhensible qui améliore la résolution de tâche de fouille de données temporelles, à la fois en terme de temps et de qualité. Le côté "attrayant" de DataTube2 est également important à noter.

6. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons tenté d'apporter une contribution à la visualisation interactive de grands volumes de données temporelles. Pour cela, nous avons étendu une méthode de visualisation existante mais n'ayant pas été testée dans des conditions réelles et avec des données en volume conséquent. Les extensions réalisées ont porté notamment sur l'amélioration de la visualisation et des interactions, sur l'utilisation d'un affichage stéréoscopique en réalité virtuelle, ainsi que sur la réorganisation des attributs par similarité. Nous avons essayé de rendre cet outil le plus complet et le plus opérationnel possible, ce qui nous a permis de l'appliquer à plusieurs bases de données réelles. En ce qui concerne les résultats, nous traitons des ensembles de données plus conséquents que les approches visuelles concurrentes, en proposant un regroupement des variables similaires ainsi qu'un passage intuitif d'une vue globale vers des vues détaillées. L'évaluation utilisateur a confirmé les bonnes propriétés de cette représentation.

Parmi les perspectives, nous souhaitons repousser les limites du nombre de données visualisées par amélioration des méthodes d'affichage. Egalement, l'affichage des couleurs et plus généralement le codage attributs/facettes peut être amélioré en proposant à l'utilisateur des échelles non linéaires (pour la coloration par exemple). Ainsi, des méthodes de distorsion pourraient être appliquées sur les couleurs afin de faire apparaître des phénomènes qui sont invisibles à l'échelle globale. Nous testons aussi d'autres algorithmes de réorganisation pour améliorer les résultats de BEA et apporter différentes solutions à l'utilisateur. Cela concerne à la fois la définition de nouveaux algorithmes, d'autres mesures de similarité, par exemple pour des données symboliques avec des distances entre séquences, mais aussi la prise en compte d'une structure hiérarchique dans les variables temporelles. Pour ce dernier point, nous avons constaté plusieurs fois cette demande de la part de nos partenaires : pour les Log, il peut s'agir de la structure arborescente du site, pour les EEG, le positionnement de l'électrode sur le crâne, etc. DataTube2 pourrait donc être complétée par un affichage radial d'un arbre en son centre, à la demande de l'utilisateur, afin de matérialiser des groupes imbriqués de variables. De nouveaux algorithmes de réorganisation hiérarchiques devront être définis, car BEA ne traite que des données tabulaires.

Ces premiers résultats, soumis aux experts des différents domaines (logs Web et EEG), ont montré que la visualisation permettait une analyse rapide des données pour une personne non initiée. De plus, l'aspect 3D ajoute un aspect attractif pour la présentation des résultats à des clients ou demandeurs qui ne sont pas les analystes premièrement concernés. Notre but est maintenant de la développer pour la rendre encore plus intuitive et de la soumettre à un plus grand nombre d'utilisateurs pour traiter des données à plus grande échelle (logs web sur une ou plusieurs années et EEG concernant des études psychologiques en cours de réalisation). Nous sommes également en train de tester DataTube2 dans un cadre industriel concernant l'étude du comportement temporel de systèmes électroniques complexes.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Lucie Angel, Badiaa Bouazzaoui et Michel Isingrini

(équipe Vieillesse et Mémoire du laboratoire Langage, Mémoire et Développement Cognitif, UMR 6215, Université de Poitiers et Université de Tours) pour nous avoir fourni les données d'EEG, ainsi que Pierre Kalfon et Gilles Rafalli (Service de Réanimation de l'Hôpital de Chartres, et société LK2) pour les données sur la glycémie. Nous remercions Simon Assani, Romain Lucas et Florian Sureau pour leur aide dans l'implémentation de DataTube2.

RÉFÉRENCES

- Ankerst, M. 2000. Visual data mining. Ph.D. thesis, Faculty of Mathematics and Computer Science, University of Munich. ISBN 3-89825-201-9.
- Ankerst, M. 2001. Visual data mining with pixel-oriented visualization techniques. *Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Visual Data Mining*.
- Ankerst, M., Jones, D., Kao, A., and Wang, C. 1996. Datajewel: Tightly integrating visualization with temporal data mining. *ICDM Workshop on Visual Data Mining*.
- Ankerst, M., Keim, D., and Kriegel, H. 1996. Circle segments: A technique for visually exploring large multidimensional data sets. *Proc. IEEE Visualization '96, Hot Topics 96*.
- Antunes, C. and Oliveira, A. 2001. Temporal data mining: An overview. *KDD Workshop on Temporal Data Mining*.
- Azzag, H., Picarougne, F., Guinot, C., and Venturini, G. 2005. Vrminer: A tool for multimedia database mining with virtual reality. *Processing and Managing Complex Data for Decision Support*, 318–339.
- Benabdeslem, K., Bennani, Y., and Janvier, E. 2002. Visualization and analysis of web navigation data. In *Springer ICANN: International Conference on Artificial Neural Networks*. 486–491.
- Bender-deMoll, S. and McFarland, D. 2006. The art and science of dynamic network visualization. *Journal of Social Structure*, 7(2).
- Bertin, J. 1977. La graphique et le traitement graphique de l'information. *Nouvelle Bibliothèque Scientifique*.
- Carlis, J. and Konstan, J. 1998. Interactive visualization of serial periodic data. *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 29–38.
- Chi, E., Pitkow, J., Mackinlay, J., Pirolli, P., Gossweiler, R., and Card, S. 1998. Visualizing the evolution of web ecologies. *Proceedings of the Human Factors in Computing Systems*, 400–407.
- Chi, E., Pitkow, J., Mackinlay, J., Pirolli, P., Gossweiler, R., and Card, S. 1998. Visualizing the evolution of web ecologies. *Proceedings of the Human Factors in Computing Systems*, 400–407.
- Climer, S. and Zhang, W. 2006. Rearrangement Clustering: Pitfalls, Remedies, and Applications. *The Journal of Machine Learning Research* 7, 919–943.
- Cugini, J. and Scholtz, J. 1999. VISVIP: 3D visualization of paths through web sites. *Database and Expert Systems Applications, 1999. Proceedings. Tenth International Workshop on*, 259–263.
- Daassi, C., Dumas, M., Fauvet, M., Nigay, L., and Scholl, P. 2000. Visual exploration of temporal object databases. *proc. of BDA00 Conference*, 24–27.
- Fay, S., Isingrini, M., Ragot, R., and Pouthas, V. 2005. The effect of encoding manipulation on word-stem cued recall: an event-related potential study. *Cognitive brain research* 24, 3, 615–626.
- Francis, B. and Pritchard, J. 2003. Visualisation of historical events using lexis pencils. *Case Studies of Visualization in the Social Sciences* 30.
- Hackstadt, S. T. and Malony, A. D. 1994. Visualizing parallel program and performance data with ibm visualisation data explorer. M.S. thesis.
- Hébraïl, G. and Debregeas, A. 1998. Interactive interpretation of kohonen maps applied to curves.

- Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI press, Menlo Park, 179–183.*
- Jain, A., Murty, M., and Flynn, P. 1999. Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys (CSUR) 31, 3*, 264–323.
- Kandogan, E. 2000. Star coordinates: A multi-dimensional visualization technique with uniform treatment of dimensions. *IEEE Symposium on Information Visualization 2000*, 4–8.
- Keim, D., Ankerst, M., and Kriegel, H. 1995. Recursive pattern: A technique for visualizing very large amounts of data. *Proceedings of the 6th conference on Visualization '95*, 279–286.
- Kizhakke, V. 2000. MIR: A tool for visual presentation of web access behavior. Ph.D. thesis, University of Florida.
- McCormick, W., Schweitzer, P., and White, T. 1972. Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique. *Operations Research 20, 5*, 993–1009.
- Minar, N. and Donath, J. 1999. Visualizing the crowds at a web site. *CHI'99 Late Breaking Papers*.
- Minard, C. 1861. Carte figurative des pertes successives en hommes de l'armée française dans la campagne de russie 1812-1813.
- Muller, W. and Schumann, H. 2003. Visualization methods for time-dependent data-an overview. *Simulation Conference, 2003. Proceedings of the 2003 Winter 1*, 737–745.
- Otjacques, B. 2008. Techniques de visualisation des informations associées à une plate-forme de coopération. Ph.D. thesis, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Institut d'Informatique, Namur, Belgique.
- Pitkow, J. and Bharat, K. 1994. WEBVIZ: A Tool for World-Wide Web Access Log Visualization. *Proceedings of the First International World Wide Web Conference*, 271–277.
- Scullin, W. H., Kwan, T. T., and Reed, D. A. 1995. Real-time visualization of world wide web traffic, Symposium on visualizing time-varying data.
- Skog, T. and Holmquist, L. 2000. Webaware: Continuous visualization of web site activity in a public space. *Poster at CHI'2000*.
- Sureau, F., Bouali, F., and Venturini, G. 2009. Optimisation heuristique et génétique de visualisations 2d et 3d dans olap : premiers résultats. *RNTI, 5ème journées francophones sur les entrepôts de données et l'analyse en ligne (EDA'09)*, 62–75.
- Symanzik, J., Cook, D., Kohlmeyer, B. D., and Cruz-Neira, C. 1996. Dynamic statistical graphics in the cave virtual reality environment. In *Proc. Dynamic Statistical Graphics Workshop*. 41–47.
- Theron, R. 2006. Hierarchical-Temporal Data Visualization Using a Tree-Ring Metaphor. *Lecture Notes in Computer Science 4073/2006*, 70–81.
- van Wijk, J. and van Selow, E. 1999. Cluster and calendar based visualization of time series data. *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization*, 4–9.
- Wattenberg, M. 2002. Arc diagrams: visualizing structure in strings. *Information Visualization, 2002. INFOVIS 2002. IEEE Symposium on*, 110–116.
- Weber, M., Alexa, M., and Muller, W. 2001. Visualizing time-series on spirals. *Information Visualization, 2001. INFOVIS 2001. IEEE Symposium on*, 7–13.



Fatma Bouali est Maître de Conférences en Informatique à l'Université de Lille 2 et membre du Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours. Elle s'intéresse à la fouille visuelle de données et plus particulièrement dans le cadre des données multidimensionnelles (OLAP) et des données complexes.



Frédéric Plantard est Ingénieur en Informatique et a obtenu son Master de Recherche en 2009 au Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours. Il travaille actuellement dans le secteur privé comme Ingénieur en Réalité Augmentée à Paris. Ses centres d'intérêt scientifiques sont la Réalité Virtuelle, les algorithmes biomimétiques et les mathématiques.



Amina Bouseba est ingénieure en Informatique et a obtenu son Master Recherche en 2010 au Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours. Elle est actuellement en Master 2 SIAD (Systèmes d'information et analyse décisionnelle) à l'Université de Tours.



Gilles Venturini est Professeur en Informatique et membre du Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours. Il dirige l'équipe Fouille visuelle de données et algorithmes biomimétiques. Ses centres d'intérêt portent de manière générale sur l'interface entre l'expert du domaine et les outils de fouille de données, et plus précisément sur les visualisations interactives et en réalité virtuelle de données complexes dans le domaine biomédical, et sur l'acquisition de données 3D. Il est membre du comité de pilotage de l'association Extraction et Gestion des Connaissances. Il est président de la Société Francophone de Classification.

Uncertainties in complex dynamic environments

Hasmik Atoyan, Jean-Marc Robert, Jean-Rémi Duquet

► **To cite this version:**

Hasmik Atoyan, Jean-Marc Robert, Jean-Rémi Duquet. Uncertainties in complex dynamic environments. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2011, 2 (1), pp.1-24. hal-01059152

HAL Id: hal-01059152

<https://hal.inria.fr/hal-01059152>

Submitted on 29 Aug 2014

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

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

Uncertainties in complex dynamic environments

HASMIK ATOYAN

École Polytechnique de Montréal

JEAN-MARC ROBERT

École Polytechnique de Montréal

JEAN-RÉMI DUQUET

Lockheed Martin Canada

Résumé : L'utilisation de systèmes d'aide à la décision (SAD) dans les environnements dynamiques complexes amène presque inévitablement l'opérateur humain à devoir faire face à plusieurs types d'informations incertaines. Il est alors essentiel pour les concepteurs de systèmes humain-machine : (i) de bien comprendre les différents types d'incertitudes qui peuvent exister dans les systèmes humain-machine qui font partie des environnements complexes, (ii) de connaître leurs impacts sur la confiance de l'opérateur dans les systèmes et sur son processus de décision, et (iii) d'avoir des lignes directrices pour savoir comment présenter des informations incertaines dans les interfaces utilisateurs. Il est aussi essentiel pour eux d'avoir une vue d'ensemble des étapes, des niveaux et des types d'automatisation de systèmes, et de connaître leurs impacts possibles sur la création de différents types d'incertitudes. Cet article traite de ces sujets et vise à aider les chercheurs et les praticiens à contrôler les incertitudes dans les environnements complexes.

Mots clés : Incertitudes, stratégies de raisonnement, lignes directrices, présentation d'informations incertaines.

Abstract: The utilization of Decision Support Systems (DSS) in complex dynamic environments leads the human operator almost inevitably to having to face several types of uncertainties. Thus it is essential for system designers to clearly understand the different types of uncertainties that could exist in human-machine systems of complex environments, to know their impacts on the operator's trust in the systems and decision-making process, and to have guidelines on how to present uncertain information on user interfaces. It is also essential for them to have an overview of the different stages, levels, and types of system automation, and to know their possible impacts on the creation of different types of uncertainties. This paper investigates these topics and aim at helping researchers and practitioners to deal with uncertainties in complex environments.

Key words: Uncertainties, reasoning strategies, guidelines, uncertain information presentation.

1. INTRODUCTION

In the past, sometimes human operators could not perform their tasks effectively because of a lack of information. Today the problem is often the opposite: they are overwhelmed with information. The development of new technologies and their increasing use allow one receiving a vast amount of dynamic information. The human operator needs to monitor and assess this information, understand the current situation, infer possible future implications, and finally make decisions. For example, an air defence operator needs to monitor and analyze the information received from radars, and decide whether to engage a potentially hostile aircraft; or a risk analyst of financial market needs to evaluate various financial data and decide whether to buy or sell blocks of stocks. The situation is similar in medical diagnostics where the quantity of information is more than any single physician can absorb.

Decision Support Systems (DSS) can help human operators to handle the information overload, and support them in situation assessment and decision-making tasks. DSS help to organize the data in a meaningful way, analyze and correlate the information and make decisions more efficiently. Nevertheless, the deployment of automated systems does not necessarily simplify the operator's task and guarantee a better performance. It can have both positive and negative effects on human performance. It can lead to skills degradation, reduced situation awareness, and complacency (or overtrust) in the system. Many of these problems and of the accidents that can occur are discussed by [Sheridan and Parasuraman 2006] in their review of human-automation interaction.

There is another challenge that the DSS can pose to human operators. The automation can expose and even create several types of uncertainties, especially in dynamic complex environments. It is evident that people cope with uncertainties in data on a daily basis. They understand that the information upon which decisions are made could be incomplete, imprecise, and the decisions could be based on guesses and assumptions. However, in situations where the information is used to make high-risk decisions, the comprehensive understanding of data uncertainties and the quality of their presentation to the operator are vital.

In their discussions on visualization of uncertainties [MacEachren et al. 2005] stated that little had been done to understand the components of uncertainties and their relationships to domains, users and information needs, to assess the impact of visual depiction of uncertainties on decision-making process and decision outcomes, or to address the challenge of depicting multiple forms of uncertainties in the same display. They emphasized that "comprehensive guidelines for representing uncertainty do not yet exist" and that more research was needed to address all these questions. Riveiro [2007] emphasized that "most of the developed techniques to present uncertainties do not include a perceptual and cognitive analysis or user evaluation that validates their usefulness."

In this paper we identify and classify the different types of uncertainties that could be present in complex environments, we analyze them from a human factors perspective, and we examine their impacts on the operator's trust in the systems and decision-making process. Since uncertainties are often related to automation, we also present an overview of the different stages, levels and types of system automation and their possible impact on the creation of different types of uncertainties. Finally, we propose system design guidelines for helping human operators to cope with uncertainties. The goal of the paper is to help researchers and practitioners to deal with uncertainties in complex environments.

2. DIFFERENT TYPES OF UNCERTAINTIES

In order to understand how to design systems that could help the operators to cope with uncertainties we need to identify the types and sources of uncertainties.

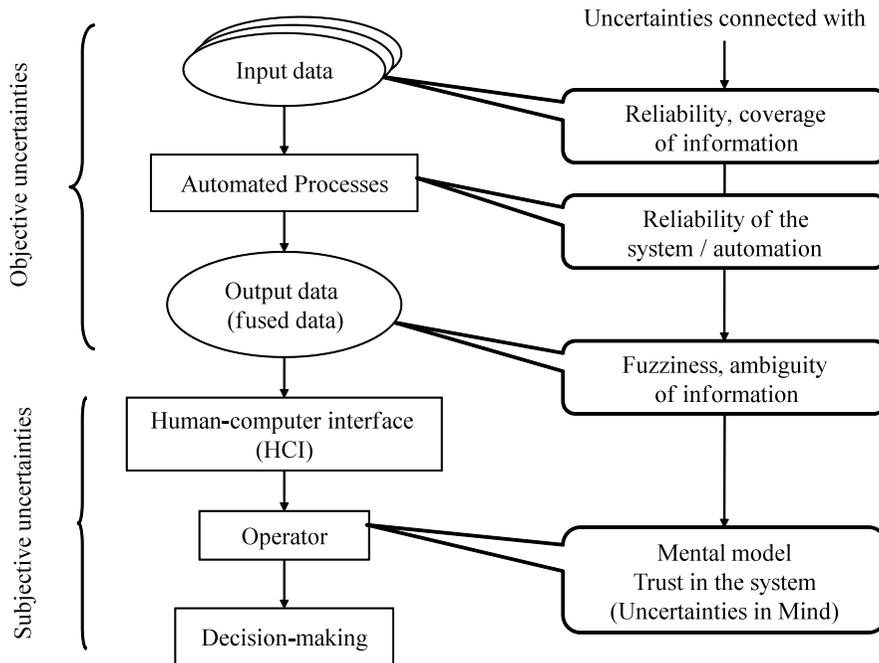


Figure 1. Different types of uncertainties

There are different types of uncertainties that could surface during the decision-making process. In Figure 1 we show the two types of uncertainties that can be distinguished in complex dynamic systems, namely objective and subjective uncertainties [Atoyan et al. 2009]. The objective uncertainties include those that are connected with the system itself, namely:

- Uncertainties connected with the input data, i.e. the information that is received from different sources by the system. For example, in military domain it could be information received from the radars, from human intelligence sources, from different coalition forces, etc. All this information will have different levels of precision, reliability, and credibility.
- Uncertainties connected with automated processes. There will always be a set of conditions (e.g., system malfunctions, environmental conditions, etc.) under which the automation can yield incorrect results [Wickens and Xu, 2002]. Hence, the automated systems have different levels of reliability.

- Uncertainties connected with the fused output data. This output is the correlation of the received information which is a statistical average. The fused output could be the likelihood of future events or ambiguous information (for example, 30 % chance that there is a target and 70% that there is not).

As it is shown in Figure 1, another type of uncertainty that shows up in decision-making tasks is the subjective uncertainty, i.e. uncertainty in the mind of the operator. There are always differences in how people perceive and process the information, which in turn affect the operator's decisions and actions. These differences are due to such subjective elements as the operator's expectations, mental model and trust.

In the following section we present a detailed analysis of these different types of uncertainties.

2.1. Uncertainties Associated to Data Acquisition

The uncertainties in data acquisition are examined and discussed by different authors [Riveiro 2007], [Sager et al. 2007], [Griethe and Schumann 2005], [Thomson et al. 2005]. They could be associated to:

- The lack of precision of data acquisition sources and methods;
- Information processing and transformation of information (e.g., errors or reduction of precision during information processing);
- Inconsistency between the information from different sources;
- Temporal delay between occurrence and information acquisition, etc.

Humans expect that automated systems should perform in a near perfect way [Dzindolet et al. 2003]. And if they are not aware of the system possible errors (because of information imprecision or errors in system during information processing) it could trigger a rapid decline of trust in the system [Dzindolet et al. 2003], [Madhavan and Wiegmann 2004]. This may hinder the operator in making the right decision.

2.2. Uncertainties Associated to Data Fusion

In order to handle the uncertainties and the missing or conflicting data, different probabilistic methods are being applied during the information fusion process. The data from multiple sources are combined (integrated) by utilizing different reasoning algorithms and presented to human operators. The data integration process can contain several types of uncertainties.

[Klir and Wierman 1999] divide uncertainties associated with data integration into two categories: fuzziness (implies elements for which it is not possible to decide if they belong to certain category or subset) and ambiguity (lack of agreement and difficulty to discriminate between the elements of a category). These sources of uncertainty can be reduced by the fusion process (e.g. reduced fuzziness), but they remain part of the fused information products and can even become more prevalent in the end system. For example, in military systems the end results may include estimated list of identity options (e.g. 40% hostile target vs. 60 % friendly target) with associated likelihood or evidence of conflicting sensor data, etc. All these situations represent new types of uncertainties that had not been

necessarily present in the initial data but that need to be brought to the attention of the decision maker.

If the operator is used to fuse the data mentally then there would be new challenges for him/her if the reasoning of the system is different from his/her usual reasoning process. The reasoning of the automated system can become a black box for the operator and create another type of uncertainty for him/her.

2.3. Uncertainties associated to system reliability

Automation can vary in level, starting from lower level of automation where it presents only the relevant data to fully automation where the operator is not involved in decision processes. [Sheridan and Verplank 1978] have proposed the following scale of levels of automation (LOA):

1. Human does it all;
2. Computer offers alternatives;
3. Computer narrows alternatives down to a few;
4. Computer suggests a recommended alternative;
5. Computer executes alternative if human approves;
6. Computer executes alternative, human can veto;
7. Computer executes alternative and informs human;
8. Computer executes selected alternative and informs human only if asked;
9. Computer executes selected alternative and informs human only decides to;
10. Computer acts entirely autonomously.

The automation can differ in type and complexity, from simply organizing the information sources to integrating them in some summary, to giving advices and recommended choices, or even to providing course of action. Therefore, [Parasuraman et al. 2000] have proposed an extension of the LOA concept. They proposed four information processing stages where each stage can have its own LOA. The four stages (also called “types” by many authors) are:

1. Information acquisition: collection and filtering of information (processing, preprocessing of data);
2. Information analysis: integration of information in a form of inference or diagnosis (integration, diagnosis, and inference, occurring prior to the point of decision);
3. Decision and action selection: selection among decision alternatives;
4. Action implementation: execution of chosen action.

If we compare these stages with data fusion process, then the first stage of automation is related to input data and the data fusion output could not only be information analysis but also decision and action selection or actions implementation.

Higher are the level and stage of automation higher are the operators’ concerns about the reliability of the system. It is possible for the operator to observe the process of information acquisition, i.e. stage 1, even if he/she is not relying on it [Yeh and Wickens 2001]. At this stage the raw data are still available, so here the operators can balance their attention between the raw data and automation [Wickens et al. 2000]. In contrast, it is not possible for the operators to observe action implementation, i.e. the stage 4, unless they are relying on it [Lee and Moray 1992]. Uncertainties in reliability of the system might increase the

probability that the operator will disagree with the system results, resulting in its distrust and disuse of the system [Atoyan 2006].

When the operators are aware of the automation faults or imperfections, they can more carefully calibrate their allocation of attention (automation stages 1 and 2) or be prepared for incorrect system actions (automation stages 3 and 4) due to imperfect automation [Wickens and Xu 2002]. The importance of feedback to an operator about automation errors was also shown in studies conducted by [Simpson 1992] in the domain of naval Command and Control systems. The same findings have been shown by [Dzindolet et al. 2003]. They found that providing operators with information about the conditions in which an automated aid is likely to make errors leads to an improved task performance.

2.3.1. Adaptive and Adaptable Automation

An important issue with regard to human-automation interaction is the role of automation during system operations. To improve the human-automation performance the use of adaptive and adaptable automation has been proposed by different authors [Miller and Parasuraman 2007], [Miller et al. 2005], [Kaber and Endsley 2004], [Moray et al. 2000] and [Opperman 1994]. In adaptive or adaptable automation the types and levels of automation are not fixed, but dynamic. They may change during the system operations. However, there is a difference between adaptive and adaptable automation.

In adaptive automation the decisions to invoke automation or to return automated task control back to human is defined by the system. For example when high human workload is detected or when a human is not responding appropriately, automation can switch to a higher level and become less dependent on the operator.

In contrast, in adaptable systems the operator retains the authority to invoke or change the automation. Here the operator is in charge and decides how much automation to use, and can change the LOA when necessary. [Miller and Parasuraman 2007] argue that the adaptable automation can lead to the same benefits as adaptive automation while avoiding many of its pitfalls. According to various authors the adaptive automation raises the issue of human acceptance of such a system. Many users may be unwilling to accept the system driven adaptation. These adaptive changes performed by the system may increase the system's unpredictability to the user [Billings and Woods 1994]. Unpredictability of the automation behaviour will add more uncertainties for the operator with regard to the system behaviour.

By keeping the operator active in charge of how much and what kind of automation to use and when to use it, we keep the operator "in the loop" and develop appropriate level of trust in the system [Atoyan et al. 2006], [Atoyan 2006], [Dzindolet et al. 2003], which means trust that is neither too high nor too low. Both overtrust and undertrust can compromise the safety and profitability of the system [Atoyan et al. 2006], [Lee and See 2004], [Parasuraman and Riley 1997].

2.4. Uncertainties Associated to State of Mind

Uncertainties in decision-making process could be formed by the mental models of individuals. Mental models are psychological devices used to describe how individuals structure and explain the world around them. Mental model is a key factor in determining how individuals will behave in any situation. Human mental model is qualitatively different

from computer based models. Human mental model contains not only information but also other psychological variables that humans will use to structure and interpret the world around them. This includes subjective elements such as belief and personal bias, group influence, cultural expectations. In fact, these subjective elements mostly interfere during abnormal situations [Merriitt 2000].

Decision-makers have certain mental models about the system with which they interact. These mental models comprise the operators' understanding of system objective(s), its functionalities and the logic of system decision making. If the logic of the system reasoning is not consistent with the mental model of the operator on how the system makes decision than several uncertainties will be created in the mind of the operator. This will impact operator's trust in the system. Operator might consider the system untrustworthy even if the system reliability will be high [Dzindolet et al. 2003]. This will impact operator's performance, and could also cause disuse of the system.

Nevertheless, even if the system reasoning will be consistent with the mental model of the operator, human decision-maker will always assess, and thus internalize a subjective notion of the uncertainty represented by the data fusion output. And as with assessments of subjective probabilities, this subjective factor may be impacted by the manner in which the information is presented [Bisantz et al. 2002]. Therefore, it is important to analyze the user expectations regarding to information presentation.

To design DSS that are well adapted to users' mental model, we need to understand the human reasoning and expectations with regard to the system and information presentation. In the next two sections we present discussions on human and system reasoning and presentation of uncertain information.

3. REASONING STRATEGIES USED BY HUMAN DECISION MAKERS AND AUTOMATED SYSTEMS

To get more insight on the consistency between human and system reasoning, first we need to define and analyse various reasoning strategies used by humans and by automated systems, and then to establish commonalities and divergences between them.

3.1. Classical Decision-Making Strategies

Human decision makers have a toolbox of different heuristics. When facing a problem, an individual must choose an appropriate reasoning strategy for a given situation. These strategies can be classified as compensatory and non compensatory.

Compensatory strategy is the processing in place when a good value of one attribute can compensate a poor value of another (e.g. the car has a high price but low gas consumption). In compensatory strategy, multiple attributes of a particular option are considered before another alternative is examined. Compensatory strategy of human reasoning is close to normative reasoning used in decision aid systems.

During *non-compensatory* reasoning the values of several alternatives on a single attribute are processed before the information of another option is examined. In case of non-compensatory reasoning, people do not make trade-offs between the attributes and often do not assess all the attributes but only the most important ones, and choose the option where the attribute has the highest value.

Examples of non-compensatory strategies are LEX (Lexicographic Strategy), SAT (Satisficing Strategy), EBA (Elimination by Aspects), MCD (Majority of Confirming Dimensions), etc. Examples of compensatory strategies are WADD (Weighted Adding Strategy) and EQW (Equal Weight Strategy). When facing what strategy to implement, the decision maker evaluates the present tools, the benefits and costs, the available time, and selects the one that is best fitted to solve the problem. People also can use a combination of strategies [Payne and Bettman 2001].

Results associated to compensatory and non-compensatory strategy selection

Several authors have studied strategy selection depending on different environmental and task variables. Some of these results are presented in Table 1.

The utilization of the compensatory or non-compensatory strategy can depend on the manner in which the graphical display is organized. People can use a less important cue simply because it is more salient in the display [Jarvenpaa 1989]. Hence, the strategy applied by the operator is not always the best, it can be adapted to the information presentation.

We can conclude that the decision strategies utilized by decision-makers depend on such factors as the task, context demands, needed accuracy, personal differences, time constraints, level of risk involved, experience, knowledge of different strategies, and presentation of information. Any changes in these factors can cause changes in the strategy. However, it is not guaranteed that the strategy utilized by the operator is optimal, since the operator could have adapted himself/herself to the one provided by the system, or she/he could have limited experience with alternative strategies

Table 1. Factors affecting the choice of strategy.

Strategy	Factors affecting the choice of strategy
Compensatory (requires high level cognitive resources)	<ul style="list-style-type: none"> • When multiple attributes are presented simultaneously [Lurie and Mason 2007]. • When facing a decision problem involving two or three alternatives [Lurie and Mason 2007]. • Linguistic presentation of attribute values leads to lesser compensatory processing than the numerical presentation of values [Stone and Schkade 1991]. • The interactive visualization tools (enabling the user to restructure the information environment; i.e. when the computer allows users to interact with plots, changing parameters, querying, zooming and linking plots) aim at lowering the cognitive load and can lead to more extensive compensatory processing and more accurate decisions [Eick and Wills 1995]. • The WADD strategy is robust in terms of accuracy across a

Strategy	Factors affecting the choice of strategy
	variety of decision environments. This strategy is especially efficient when there are negative correlations between attributes [Payne and Bettman 2001]. <ul style="list-style-type: none"> • In the case of conflict between the attributes people use more extensive processing strategies. They apply less selective and more alternative-based processing and their decision accuracy is higher [Lurie and Mason 2007].
Non-compensatory (requires moderate level cognitive resources)	<ul style="list-style-type: none"> • When only a few attributes are presented simultaneously [Lurie and Mason 2007]. • When facing complex multi-alternative decision tasks, people tend to use non-compensatory strategies, such as SAT and EBA [Johnson et al. 1989]. • During time-constraint situations, the compensatory strategy is less accurate than other non-compensatory strategies because the processing is shortened. The EBA strategy is remarkably robust to variations in time pressure [Payne and Bettman 2001].

3.2. Coping with Uncertainties in Naturalistic Settings

In real world context there are deviations from classical mechanistic models of problem solving [Klein 1998]. Formal analytical models can yield optimal solutions with great precision and rigor, however, they can also be inefficient owing to the cognitive effort which they require, their poor compatibility with the non-analytic cognitive processes which decision makers typically use [Hammond 1993]. People tend to deviate systematically from the rational choice model even when presented with relatively simple tasks [Kahneman et al. 1982].

Naturalistic Decision-Making (NDM) is an attempt to understand how people make decisions in real-world contexts that are meaningful and familiar to them. [Orasanu and Connolly 1993] list eight factors which they claim characterize naturalistic settings. These factors are:

- Ill-structured problems;
- Uncertain, dynamic environments;
- Shifting, ill-defined, or competing goals;
- Multiple event feedback loop;
- Time constraints;
- High stakes;
- Multiple players;
- Organizational goals and norms.

NDM models do not attempt to predict which option will be implemented, but describe the cognitive processes of proficient decision makers. Studies of the decision-making process of experts have yielded that typically they make decisions by various forms of

matching (i.e. “Perform action A because it is appropriate for situation S”) and not by concurrent choice (i.e. “Perform action A because it has superior outcomes to its alternatives”) [Lipshitz 1994].

[Lipshitz and Strauss 1997] examined 102 cases where decision makers were facing uncertainties such as inadequate understanding of the situation, incomplete information, and presence of conflicting alternatives. They call this RAWFS heuristic (Reduction, Assumption based reasoning, Weighing pros and cons, Forestalling, and Suppression). To cope with these uncertainties, decision makers used five strategies:

- Reduction (trying to reduce uncertainty; e.g. collecting additional information);
- Assumption-based reasoning (relying on knowledge and imagination to fill in gaps, or make sense of factual information);
- Weighing pros and cons of at least two competing alternatives (comparing the merits of competing alternatives);
- Forestalling (preparing a course of action to counter potential negative contingencies, (e.g. building reserves or preparing a worst-case option);
- Suppressing uncertainty (e.g. by ignoring it or by “taking a risk”). This option is the last resort.

Most NDM models assume some level of expertise in the field, not necessarily that of an expert, but definitely not that of a novice. Analyzing the experimental results of different studies related to differences between expert and novice decision makers, [Lipshitz and Cohen 2005] conclude that:

- Experts are more likely than novices to build stories, to step back and evaluate the story, and if necessary to build an alternative story;
- Novices are more likely than experts to use checklists;
- Experts are more likely than novices to take certain specific types of information into account: this includes big picture components that affect the intention of actors;
- Experts are more likely than novices to consider the amount or time available for decision making and to adjust the time taken accordingly.

While working in complex environments, the human decision makers can always face situations where time constraints, high stakes, multiple players, ill-structured problems, and uncertain dynamic situations are present. It means that the operators, especially the experienced ones, will usually apply informal naturalistic approach. During regular situations when the environmental circumstances will allow utilization of analytical formal reasoning, the human operator will usually apply formal mechanistic reasoning strategy. This strategy will be used by novice operators in most situations and by experienced operators in new unanticipated situations.

Another important issue to be noted is that the operator should always be aware of potential uncertainties. NDM approach always mentions the importance of right situation awareness, that the decision maker should already have assimilated all the relevant information when the decision has to be made rather than being given the relevant information only at that time. This suggests that uncertainty should be presented continuously and not only when the decision has to be made.

3.3. Reasoning Algorithms

The comprehensive understanding of the algorithms used by the automation may support the operator not only to identify how the system arrives to decisions, but also why the automation might make an error [Atoyan et al. 2006], [Dzindolet et al. 2003]. It is understandable that in many cases the operator's background knowledge in mathematics could be insufficient to understand the probability models and theories utilized in the algorithms. Hence, the system should provide the operator with the general logic and comprehensive instructions of the inference that is being utilized. Furthermore, taking into consideration the importance of the mental model in decision-making tasks, it would be preferable to select an algorithm with minimum mismatches with the human reasoning in the given context. The lesser the mismatch between the automation and human reasoning, the lower the operator's cognitive load will be.

DSS developers use different algorithms to develop automated systems. For example, the probabilistic methods largely used in DSS applications are Bayesian inference, Dempster Shafer (D-S) inference, and fuzzy logic. Most Artificial Intelligence applications use the model of neural network (NN). Each method has its own characteristics, advantages and disadvantages. We describe some of them.

- The computational model of NN is very efficient in classification, novelty detection, and data processing (as filtering, clustering) tasks. However, its disadvantage is that the reasoning process of the system, the relation between the input and output variables remains a blackbox for the operator.
- The method of fuzzy logic is a new way of expressing probability. It is an organized and mathematical method of handling inherently imprecise concepts. The concept of "coldness" cannot be expressed in an equation. Fuzzy logic is the same as "imprecise logic".
- Bayesian networks and D-S inference both allow representation of knowledge in uncertain domains. Bayesian networks normally need a complete knowledge of real world to build a correct model. They require prior probabilities for every single event (i.e. rigorously defined numbers that reflect how often an event will happen if an experiment is performed a large number of times). Bayesian method is restricted to the classical notion of probabilities, it does not use a specific state called "unknown", and it considers that something (some event) either is or is not true.
- For D-S no prior probability is required. However, it requires masses (the initial knowledge of the system) to be assigned to the various alternatives. D-S also allows the computation of the higher and lower bounds of beliefs (belief and plausibility). It explicitly allows for an undecided state of our knowledge.

[Koks and Shalla 2005] compare Bayesian and D-S inferences and state that "Unlike Bayes theory, Dempster-Shafer theory explicitly allows for an undecided state of our knowledge. It can of course sometimes be far safer to be undecided about what a target is than to decide wrongly and act accordingly with what might be disastrous consequences".

Choosing between different algorithms is not trivial, there could be several tradeoffs. In order to decrease the mismatch between the reasoning of automation and the reasoning of the human, one has to analyze the environmental and task constraints, the user characteristics and the reasoning strategies, and select the reasoning algorithm from a human factors perspective, i.e. that will best match to that particular profile.

4. INFORMATION PRESENTATION AND DECISION-MAKING

Information presentation has a strong impact on the decision-making processes [Lurie and Mason 2007], [Gilovich et al. 2002], [Bisantz et al. 2002], [Kahnman and Tversky 2000], [Gigerenzer, 1994]. For instance, more vivid visual information is likely to be acquired and processed before less vivid information [Jarvenpaa 1990], [Mandel and Johnson 2002]. Humans can process more information when it is presented graphically rather than in textual form [Tegarden 1999]. It is easier to detect interactions between different features in graphical displays than in verbal descriptions [Holbrook and Moore 1981]. Analysing different visualization techniques, Lurie and Mason [2007] assert that:

- When visualization includes both text-based and graphic information, the latter receives greater weight;
- Presentation of information in both graphical and tabular formats leads to higher performance in terms of decision speed and accuracy compared with the case of either graphic or tabular formats alone;
- Vivid information is more likely to be overweighted by novice than by expert users, and the superiority in the priority for graphical versus text-based representation is likely to depend on the decision maker's expertise.

Ordering the cues from the most to the least important helps to create display conformity with the user expectations and facilitates building a coherent story that explains the evidence, and thus facilitates the decision making [Adelman et al. 1996], [Liebhaber and Feher 2000], [Perrin et al. 2001].

[Payne et al. 1999] found that even though a great deal of information may be available, human processing limitations require selectivity. The overload with too much information may trigger a utilization of simplifying heuristics, where the user can fail to focus the attention on important information. Hence, it is essential to define the information that is most critical for the user to achieve the objectives of the task. [Eick and Wills 1995] found that an interactive display enabling the user to restructure the information environment may support information acquisition that more closely reflects the decision maker's pre-existing preferences or knowledge structures. All these should reduce the cognitive load and improve the decision quality.

4.1. Visualization of Uncertainties

As we mentioned above, the operator should always be aware of existing uncertainties. Otherwise, he/she has to check the validity of the data all the time. [Andre and Cutler 1998] found that if uncertainties are not presented, the operator tends to adopt risky behavior. They assert that operators have a tendency to ignore hidden/implicit decision criteria when they are not visually presented.

To date, there has been limited research on how to present uncertainties to support the decision-making process, particularly in object identification tasks. Uncertainties can be presented by different modalities; [Basapur et al. 2003] investigated the impact of visual (color coding), auditory (tones) and haptic (vibration) modalities of presentation of uncertain information on performance, trust and workload. The experimental results revealed that the overall workload was the same for all modalities. However, the haptic modality resulted in higher physical workload, and the auditory created higher level of frustration. Measures of

level of trust were similar for all modalities in the beginning, but did tend to decrease over time, indicating that participants began to more clearly recognize the uncertain nature of the information they were receiving.

4.1.1. Graphical Presentation of Uncertainties

Graphical representations seem to grasp attention very quickly. Hence, in uncertain situations where the focus or key elements of the decision may change quickly, the utilization of graphical representation could be more efficient to direct the intentional processes than other means. One candidate graphical representation is the use of *blurred or degraded graphical images*. [MacEachren 1992] suggested using blurred lines to indicate uncertain boundaries and blurred images to indicate uncertainty in a type of land cover. Such a technique may be useful in conveying uncertainty because the manipulation of the image (e.g. through blurring or fuzziness) corresponds in a natural way to the level of uncertainty regarding the data. In his book [Norman 1988] discusses the advantage of natural mappings in the design of displays. Findings of [Lind et al. 1995] show similar results. They found that pilots' estimates of weather hazards increased as the graphical distortion increased. [Bisantz et al. 2002] propose that presenting uncertainty on information visually through blurred icons could provide the operator with a quick understanding of the level of threat and uncertainty relative to that threat. Then, the system can provide more information upon the demand of the decision maker. So far, there has been no empirical investigation on the usefulness of this technique. Figure 2 presents an example of blurred icons.



Figure 2. Example of the blurred icon approach

The investigations of the U.S. Navy air threat assessment [Liebhaber and Feher 2000] revealed the navy officers' preferences for graphical presentation, namely for graphical bars (Figure 3) when the provided information includes uncertainties. The officers felt that threat assessment is a fuzzy concept, therefore it should not be indicated in numbers. Numbers, in their opinion, implied false sense of accuracy and the graphical format can support in avoiding that false sense of precision.

Linguistic representation of uncertainties consists in using words such as “likely” “probable” “unlikely”. Such representation can be described as vague representation of uncertainty, compared to precise representation such as numeric probability values [Wallsten 1990], [Wallsten and Budescu 1995]. These authors showed that there are individual differences in the manner in which people both interpret and generate linguistic expressions of probability values. [Dila and Stone 1997] found that the decision maker's agreement on cue weights and judgment consensus are higher with cue information stated in words rather than in numbers, since appropriately chosen words can more directly convey the risk implications of information cues. They also found that linguistic presentation of

information increased the time required to acquire cue information relative to numeric representation.

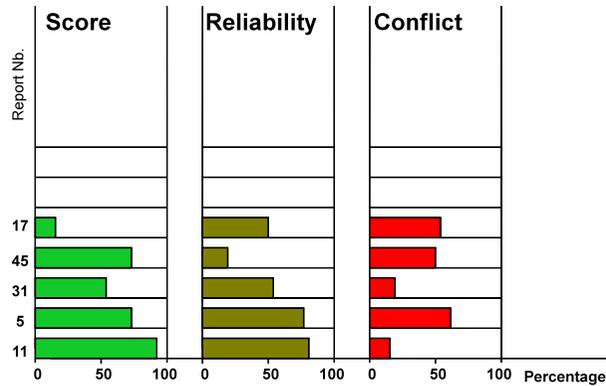


Figure 3. Examples of graphical bars used for target identification in intelligence analysis (score of the information correlation result for the target; reliability of the information; correlation conflict)

Some researchers have found that the performance on frequentist versions of problems was superior to non-frequentist versions, i.e. presenting uncertain information in a *frequency format* (e.g., 1 out of 10) rather than in a *probability format* (e.g., .1) improves the participants' performance [Cosmides and Tooby 1996], [Gigerenzer and Hoffrage 1995]. They connect this effect with the fact that frequentist reasoning mimics the type of probability information people can gather naturally. On the other hand, the experimental results of [Bisantz and Kirlik 1998] on identification of aircraft identity revealed better performance for probability format, especially if the operator has task-related experience. This is inconsistent with the results of previous authors. [Bisantz and Kirlik 1998] assert that it could be connected with the differences of experimental conditions.

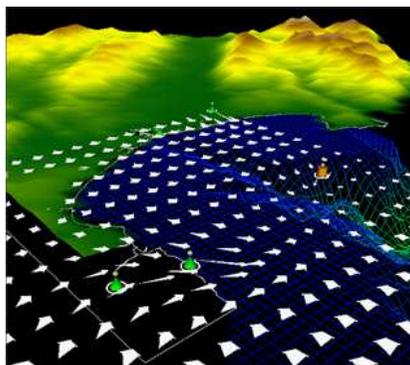


Figure 4. Examples of glyphs of winds and ocean currents (Reproduced with permission)

So far, the research on graphical presentation of uncertainty has been mainly conducted in the domain of geographical information systems. [Pang et al. 1997] suggested the use of glyphs (graphical forms such as arrows or vertical lines) to display the uncertain data (Figure 4). Providing information uncertainty directly in the glyph can allow other graphical dimensions (color, texture) to be utilized for other purposes.

Table 2 shows examples of presentation of uncertainties in four different formats, in the domain of probabilistic reasoning. The numerical, frequentist, and linguistic formats can be used in visual and auditory presentations.

Table 2. Examples of presentation of uncertainties in four different formats

Formats	Examples
Graphical	See Figure 2
Numerical	0.1; .1; 1/10; 10 %; ; 1÷100, etc.
Frequentist	1 out of 100
Linguistic	Likely, Possible, Unlikely Low, Medium, High; etc.

In their discussions relative to the state of art of visualization of uncertainties [MacEachren et al. 2005] assert that little has been done to understand, assess the impact of visual depiction of uncertainties on decision-making process, decision outcomes or to address the challenge of depicting multiple forms of uncertainties in the same display. They emphasize that “comprehensive guidelines for representing uncertainty do not yet exist” and more research is needed to address all these questions.

5. UNCERTAINTIES AND DECISION-MAKING

The discussion above shows that the uncertainties have different characteristics at different stages of automation. Figure 5 presents the relation between uncertainties and different stages of automation.

At the stage of information acquisition (input data) uncertainties are connected with:

- Quality of information, i.e. the precision, accuracy and reliability of information received by different sources (e.g., the radars have different levels of precision, the intelligent sources have different levels of reliability, etc.).
- Missing information, i.e. the information that is required for decision making but is not available (e.g., in military domain it can be the lack of information about the target platform; in medical domain it can be the missing information about the patients family history, etc.)
- Reliability of the system automation can vary in reliability, therefore the level of uncertainty with regard to the system will depend on the level of reliability of the system.

At the stages of information analysis, decision selection and action implementation uncertainties are connected with:

- Fused output of the system, i.e. the correlated output of the received information, which is a statistical average.
- Operator's understanding of the system reasoning, i.e. understanding the logic of the system.
- Reliability of the system.

Finally, there are subjective uncertainties or uncertainties in the mind of the operator. They are connected with:

- Consistency between the presented information and the operator's expectations;
- Consistency of the system logic with the operator's reasoning;
- System reliability and the operator's mental models, expectations and trust in the system.

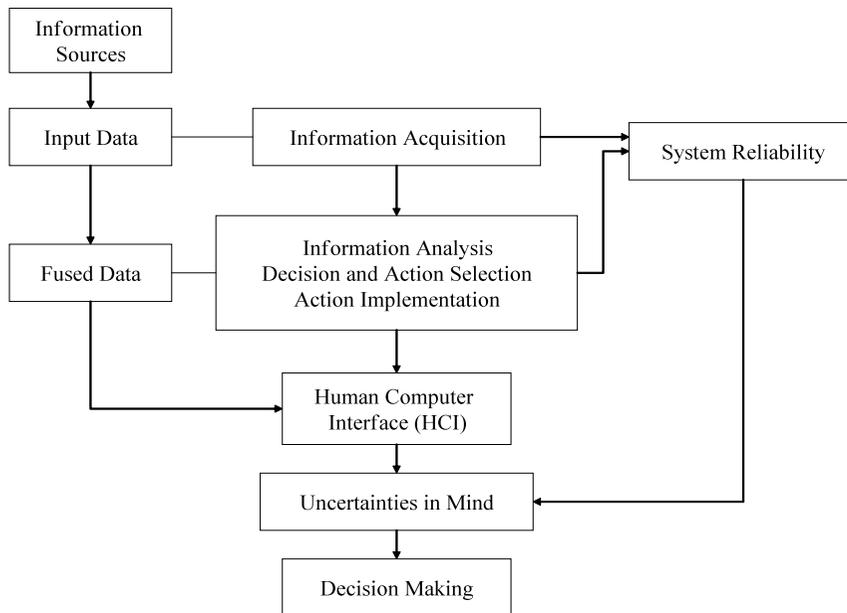


Figure 5. Uncertainties associated to complex systems

6. HIGH LEVEL DESIGN GUIDELINES FOR COPING WITH UNCERTAINTIES

Uncertainties in complex systems should be analyzed not only for deciding how to present them on human-computer interfaces but more importantly for designing fundamental aspects of the system such as the reasoning algorithm selection, the traceability of the input

information, the information relative to the data precision, and the levels and stages of automation.

Based on a review of several theoretical, empirical and analytical studies which present different types of uncertainties in systems and the challenges that they can create for the operators, we propose several system design guidelines to help operators to cope with uncertainties. The guidelines are organized in four groups on issues related to input data, output data, automated processes, and human-computer interface.

Input data

1. Provide information on data precision, reliability and credibility, on possible errors connected with data processing or information transformation, and on the missing data.

This will reduce the uncertainties that the operators could face while monitoring the system. If the operators are aware of incompleteness, imprecision of the data, system errors, or that data are missing they can develop a control strategy to compensate for such errors. The knowledge of uncertainties in input data will also help to develop an appropriate level of trust towards the automated system.

2. Provide an access to raw data, their accuracy, precision and reliability at all stages and levels of automation.

This does not mean visualization of this information on the main display at all stages of automation. Nevertheless, it is important for the operator to know that if needed he/she can trace this information. The danger of unavailability of raw data is that the operators have no other choice but to either totally rely (misuse) on automation or ignore it (disuse).

Output data

3. Find means to show the operator the reasoning of the system, the logic of the fusion process in a way that will be understandable to him/her. For example, in target identification task this can be done by providing the operator the attributes that are being fused (speed, altitude, platform ... of the target). If the fusion uses also the environmental context then provide the information used (region, hostile or friendly forces around, etc.) for this level of the fusion.

This will help the operator to understand how the system arrives to decisions and will reduce the uncertainties in the mind of the operator associated to data fusion output. The automation will be more trusted if the operator understands the algorithms underlying the automation.

4. Identify the reasoning strategy/strategies utilized by the human operator in the decision-making process, and try to adapt the reasoning logic of the algorithm to the reasoning utilized by the human operator. Cognitive task analysis is an efficient method to reveal the reasoning of the operator. It can reveal the key information needed by the operators during their reasoning while performing the tasks. It can help to understand whether operators prefer to get a final answer "X% hostile and Y% neural" or answer with the option of unknown such as "X% hostile, Y% neural and Z% unknown (see section 3.3).

The lesser the mismatch between the reasoning methods of the system and of the human decision maker, the lesser the resulting subjective uncertainties for the latter.

Automated processes

5. Provide information about automation faults, imperfection, or the conditions in which an automated aid is likely to make errors.

This can help the operators to calibrate their allocation of attention or preparation for incorrect actions to automation imperfection. This will also help to reduce uncertainties in the operator's mind with regard to system reliability and help to develop appropriate level of trust in the system. Note that higher are the stages and levels of automation higher are the levels of uncertainties created by the system.

6. Adaptable automation can help to reduce uncertainties in the system.

This approach can help to implement automation at all stages and levels but at the same time help the operator be in charge of how much and what kind of automation to use. This will support the operator to avoid unpredictability of the system. When people are in control of automation, they can participate in the decision-making process and intervene when needed. This will reduce the uncertainties. It will also help to develop an appropriate level of trust in the system.

Human-computer interface

7. Present uncertainty continuously, not only when a decision has to be made.
8. Enable the user to restructure the information. For example, allow the user (especially the expert user) to re-organize the information of the display (e.g., provide a filter to display all information or only information needed for the context).
9. Support not only structured (mechanistic) models of decision-making but also the intuitive (naturalistic) judgment of human operators
10. Support the compensatory information processing strategy in case of small amount (e.g., two or three) of alternatives. Interactive visualization tools can lead to more compensatory processing and more accurate decisions. Different representations of each cue lead to more of a compensatory processing strategy in decision-making than the presentation of all cues in the same manner.
11. Support non-compensatory strategy in case of complex, multi-alternative decision tasks. Linguistic presentation of attribute values leads to less compensatory processing than the numerical presentation of values.
12. Define the most important cues utilized by human operators for the task, and order them by importance to the decision maker. Make sure that less important cues are not more salient.
13. Decision makers' agreement on cue weights and judgment consensus is higher for linguistic presentation than for numeric presentation. Appropriately chosen words can more directly convey the risk implications of information cues.
14. Since uncertainty is a fuzzy concept, its graphical or linguistic (e.g. low, medium, high) presentation can support the operator to avoid the false sense of precision. However, note that decision makers can both interpret and generate linguistic expressions of probability values differently because of individual differences between them. People base their interpretation of linguistic probabilities on their experience with the meaning of the linguistic expressions.

15. Linguistic presentation of information can increase the time required to acquire cue information relative to numeric representation.
16. Graphical distortion (e.g., less resolution) to present uncertainties can improve performance. This technique corresponds in a natural way to convey the level of uncertainty regarding the data.
17. Presenting uncertain information in a frequency format rather than in a percentage format could improve the performance. However, performance on the probability estimation could be better in the latter format for users with task related experience.
18. Design systems and procedures that can minimize the effect of individual cultural variability with regard to uncertainty management. Analysis of the user profile (e.g., education background, work experience, work domain, etc.) will reveal the user's preferences and expectations.
19. Provide adequate training. It is not always possible to fit the presentation to the cognitive model of the decision maker. In these cases the operators need an appropriate training that will help them to change their mental model. Provide the operators the right training to understand system's goals, functionalities, reasoning procedures, possible shortcomings, anomalies and goal conflicts, and develop the right cognitive model towards the system. In the training include diverse sets of anomalous scenarios that show potential pitfalls and error prone problem areas. That will help the operators to learn from possible errors. Training can also help the operators for the perception of probabilistic presentation of fusion results.

7. CONCLUSION

Poorly designed automation can increase uncertainties in the system. These uncertainties will create additional uncertainties in the operator's mind and are likely to increase cognitive workload, reduce situation awareness, and affect human performance. The presentation of uncertain information to human operators in complex environments is a challenge. In light of theoretical, empirical and analytical studies, we gave several human factors guidelines to help operators to cope with uncertainties and help designers to develop systems that could mitigate the impact of uncertainties on human performance. Yet, more research is needed. We need to better understand the impact of uncertain information at different levels and stages of system automation. We need empirical data on the operator's reactions towards different formats of presentation of uncertain information as a function of the operator's level of expertise and culture, of the task, of the application domain (e.g., defence, medicine, business), and of the context (e.g., risk level, time pressure).

REFERENCES

- Adelman, L., Bresnick, T., Black, P.K., Marvin, F.F., and Sak, S.G. 1996. Research with Patriot air defense officers: Examining information order effects. *Human Factors*, 38, 250-261.
- Andre, A.D. and Cutler, H.A. 1998. Displaying uncertainty in advanced navigation systems. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting*, Santa Monica, CA, 31-35.

- Atoyan, H., Robert J.-M., and Duquet J.-R. 2009. Comprehension of uncertainties in decision support systems. Proceeding of the IESM'2009, Montréal, Canada, 13-15 May.
- Atoyan H., Duquet J.-R., and Robert J.-M. 2006. Trust in New Decision Aid Systems. In Actes de la Conférence IHM06, April 18-21, Montreal, QC, Series, ACM Press, 133, 115-122.
- Atoyan, H. 2006. How to support trust in complex systems. Master's thesis, École Polytechnique de Montréal. 125 p.
- Basapur, S., Bisantz, A. M., and Kesavadas, K. 2003. The Effect of Display Modality on Decision-Making in Uncertainty. Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society.
- Billings, C. E. and Woods, D. D. 1994. Concerns about adaptive automation in aviation systems. In R. Parasuraman and M. Mouloua (Eds.), Human performance in automated systems: Current research and trends. Mahwah, NJ: Erlbaum. 264–269.
- Bisantz, A.S., T. Kesavadas, P. Scott, D. Lee, S. Basapur, P. Bhide, C. Sharma, and E. Roth. 2002. Holistic Battlespace Visualization: Advanced Concepts in Information Visualization and Cognitive Studies. Technical Report to the Center for Multisource Information Fusion, University of Buffalo.
- Bisantz, A.M. and Kirlik, A. 1998. Investigating the Effects of Problem Format and Task Related Experience on Evidential Reasoning. In Proceedings of HICS'98, March 22-24, Dayton, Ohio.
- Cosmides, L. and Tooby, J. 1996. Are humans good intuitive statisticians after all? Rethinking some conclusions from the literature on judgement under uncertainty. *Cognition*, 58, 1–73.
- Dilla, W.N. and Stone, D.N. 1997. Representations as Decision Aids: The Asymmetric Effects of Words and Numbers on Auditors Inherent Risk Judgments *Decision Sciences*, 28 (3), 709–743.
- Dzindolet M., Peterson, S.A., Pomranky, R.A., Pierce, L. G., and Beck, H. P. 2003. The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human Computer Studies*, 58(6), 697-718.
- Eick, S. and Wills, G. 1995. High Interaction Graphics, *European Journal of Operations Research*, 81, 445–459.
- Gigerenzer, G. and Hoffrage, U. 1995. How to improve Bayesian reasoning without instruction: Frequency formats. *Psychological Review*, 102(4), 684 - 704.
- Gigerenzer, G. 1994. Why the distinction between single-event probabilities and frequencies is important for psychology (and vice versa). In G. Wright & P. Ayton (Eds.), *Subjective Probabilities*, 129 - 161. Chichester: John Wiley and Sons.
- Gilovich, T., Griffin, D., and Kahneman, D. (Eds.). 2002. *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Griethe, H. and Schumann, H. 2005. Visualizing uncertainty for improved decision making. Proceedings of the 4th International Conference on Perspectives in Business Informatics Research, University of Skovde, Sweden.
- Hammond, K.R. 1993. Naturalistic Decision Making from a Brunswikian Viewpoint: Past, Present, Future. In Klein, G.A., Orasanu, J., Calderwood, R. and Zsombok, C.E. (Eds.). *Decision Making in Action: Models and Methods*, 205-227, Norwood, CT: Ablex.

- Holbrook, M. B. and Moore, W.L. 1981. Feature Interactions in Consumer Judgments of Verbal Versus Pictorial Presentations, *Journal of Consumer Research*, 8 (June), 103–113.
- Jarvenpaa, S.L. 1990. Graphic Displays in Decision Making: The Visual Salience Effect, *Journal of Behavioral Decision Making*, 3 (October–December), 247–62.
- Jarvenpaa, S.L. 1989. The Effect of Task Demands and Graphical Format on Information. In *Processing Strategies. Management Science*. 35, No. 3 (March), 285-303.
- Johnson, E.J., Meyer, R.J., and Ghose, S. 1989. When choice models fail: Compensatory representations in negatively correlated environments. *Journal Marketing*, 26, 255-270.
- Kaber, D.B. and Endsley, M. 2004. The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5, 113–153.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (Eds.). 2000. *Choice, values, and frames*. Cambridge: Cambridge University.
- Kahneman, D., Slovic, P.A., and Tversky, A. 1982. *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University.
- Klein, G. 1998. *Sources of power: How people make decisions*. Cambridge, MA: MIT.
- Klir, G.J. and Wierman M.J. 1999. *Uncertainty-Based Information: Elements of Generalized Information Theory*. Physica-Verlag/Springer-Verlag, Heidelberg and New York.
- Koks, D. and Challa, S. 2005. An Introduction to Bayesian and Dempster-Shafer Data Fusion. DSTO–TR–1436, 2005, AR No. AR–012–775, November.
- Lee, J.D. and See, K.A. 2004. Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors*, 46, 50-80.
- Lee, J. D. and Moray, N. 1992. Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35, 1243-1270.
- Liebhauer, M.J. and Feher, B. 2000. Air Threat Assessment: Research, Model, and Display Guidelines. In *Proceedings of the 2000 Command and Control Research and Technology Symposium*. Naval Postgraduate School, Monterey, CA.
- Lind, A. T., Dershowitz, A., Chandra, D., and Bussolari, S. R. 1995. The effect of data link-provided graphical weather images on pilot decision making. In *IFAC proceedings*.
- Lipshitz, R. and Cohen, M.S. 2005. Warrants for prescription: analytically and empirically based approaches to improving decision making. *Human Factors*, 47(1), 121-130.
- Lipshitz, R. and Strauss, O. 1997. Coping with Uncertainty: A Naturalistic Decision Making Analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processing*, 69, 149-163.
- Lipshitz, R. 1994. Decision Making in Three Modes. *Journal for the Theory of Social Behavior*, 47-66.
- Lurie, N.H. and Mason, C.H. 2007. Visual Representation: Implications for Decision Making. *Journal of Marketing*, 71 (January), 160-177.
- MacEachren, A.M., Robinson, A., Hopper, S., Gardner, S., Murray, R., Gahegan, M., and Hetzler, E. 2005. Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. *Cartography and Geographic Information Science*, 32, 139-160.
- MacEachren, A.M. 1992. Visualizing uncertain information, *Cartographic Perspective*, 13, 10 - 19.

- Madhavan, P. and Wiegmann, D.A. 2004. A New Look at the Dynamics of Human-Automation Trust: Is Trust in Humans Comparable to Trust in Machines? Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Mandel, N. and Johnson, E.J. 2002. "When Web Pages Influence Choice: Effects of Visual Primes on Experts and Novices," *Journal of Consumer Research*, 29 (2), 235–45.
- Merritt, A. 2000. Culture in the Cockpit. Do Hofstede's Dimensions Replicate? *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 31, 3, 283-301.
- Miller, C. and Parasuraman, R. 2007. Designing for flexible interaction between humans and automation: Delegation interfaces for supervisory control. *Human Factors*, 49, 57-75.
- Miller, C., Funk, H., Goldman, R., Meisner, J., and Wu, P. 2005. Implications of Adaptive vs. Adaptable UIs on Decision Making: Why "Automated Adaptiveness" is Not Always the Right Answer. In Proceedings of the 1st International Conference on Augmented Cognition, Las Vegas, NV, July, 22-27.
- Moray, N., Inagaki, T., and Itoh, M. 2000. Situation adaptive automation, trust and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 44–58.
- Norman, D. A. 1988. *The Psychology of Everyday Things*. New York: Basic Books.
- Opperman, R. 1994. *Adaptive user support*. Hillsdale, NJ; Erlbaum.
- Orasanu J. and Connolly T. 1993. The reinvention of decision making. In Gary A. Klein, Judith Orasanu, Roberta Calderwood, and Caroline E. Zsombok, editors, *Decision Making in Action: Models and Methods*, 3–20. Ablex Publishing Corporation.
- Pang, A.T, Wittenbrink, C.M, and Lodha, K. L. 1997. Approaches to uncertainty visualization. *The Visual Computer*, Vol. 13, No. 8, 370–390, November, 1997.
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. and Wickens, C.D. 2000. A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30, 426-432.
- Parasuraman, R. and Riley, V. 1997. Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39, 230-253.
- Payne, J.W. and Bettman, J.R. 2001. Preferential choice and adaptive strategy use. In G. Gigerenzer and R. Selten (Eds.). *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox*. MIT Press, 123-145.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., and Schkade, D. A. 1999. Measuring Constructed Preferences: Towards a Building Code. *Journal of Risk and Uncertainty*, 19, 243-270.
- Perrin, B.M., Barnett, B.J., Walrath, L., and Grossman, J.D. 2001. Information order and outcome framing: An assessment of judgement bias in a naturalistic decision making context. *Human Factors*, 43, 227-238.
- Riveiro, M. 2007. Evaluation of uncertainty visualization techniques for information fusion. *Information Fusion*, 2007 10th International Conference, 9-12 July 2007, Quebec, 1 – 8.
- Sager, L., Grier, R.A., Jackson, C., Levchuk, Y, and Stelzer, E. 2007. Visualization techniques for revealing uncertainty to decision makers. *Proceedings of Human Systems Integration Symposium 2007*, Annapolis, MD
- Sheridan, T.B. and Parasuraman, 2006. R. Human-automation interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 1, 89-129.

- Sheridan, T.B. and Verplank, W.L. 1978. Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. MIT Man-Machine Systems Laboratory, Cambridge, MA, Technical Report.
- Simpson, A. 1992. HCI issues in trust and acceptability. Defence Evaluation and Research Agency, Report No. DRA TM (CAD5) 92018, November.
- Stone, D. and Schkade, D. 1991. Numeric and Linguistic Information Representation in Multi-attribute Choice. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 49, 42-59.
- Tegarden, D. P. 1999. Business Information Visualization, *Communications of the Association for Information Systems*, 1 (4).
- Thomson, J., Hetzler, B., MacEachren, A., Gahegan, M. and Pavel, M. 2005. A typology for visualizing uncertainty. In *Visualization and Data Analysis 2005*. Proceedings of the SPIE, SPIE, IS &T, San Jose, CA, 5669, 146-157.
- Wallsten, T. S. and Budescu, D. V. 1995. A review of human linguistic probability processing: General principles and empirical evidence. *The Knowledge Engineering Review*, 10(1), 43 - 62.
- Wallsten, T. 1990. The costs and benefits of vague information. In R. M. Hogarth (Ed.), *Insights in Decision Making*, 28 – 43, Chicago: University of Chicago.
- Wickens, C. D. and Xu, X. 2002. Automation Trust, Reliability and Attention HMI 02 03, AHFD-02-14/MAAD-02-2, AHDF Technical Report.
- Wickens, C. D., Gempfer, K. and Morphew, M. E. 2000. Workload and reliability of predictor displays in aircraft traffic avoidance. *Transportation Human Factors*, 2, 99-126.
- Yeh, M. and Wickens, C. D. 2001. Display signalling in augmented reality: Effects of cue reliability and image realism on attention allocation and trust calibration. *Human Factors*, 43, 355–365.



Hasmik Atoyan is a human factors consultant at Cognitive Group Inc. in Montreal, Quebec, Canada. Her work consists in applying human factors knowledge to the optimization of business processes, and to the improvement of user interfaces and the overall user experience. Mrs. Atoyan holds a Master's degree in Industrial Engineering (Cognitive Ergonomics) from École Polytechnique de Montréal, and is a Ph.D. student in the same program. She also had completed a B.A. in physics and a Master's degree in biophysics at Yerevan State University (Armenia). She worked as human factors specialist at Lockheed Martin Canada and CAE Professional Services. Her research interests are concerned with decision making in complex systems, operator's trust in new automated systems, and presentation of uncertainties in complex systems. She has several publications in journals and proceedings of international conferences and NATO workshops.



Jean-Marc Robert is full professor in Industrial Engineering at Polytechnic School of Montreal, and Director and founder of the Research Laboratory on Human-Machine Interaction at Polytechnic. He holds a B.A. and Master's degree in Psychology from the University of Montreal (Canada), a doctorate in Psychology (Cognitive Ergonomics) from University Paris V (France), and he has completed post-doctoral studies in Human Factors Engineering at NASA-Ames Research Center (California). He teaches Cognitive Ergonomics and Human-Computer Interaction to a multidisciplinary student body at Polytechnic. His research works are concerned with the themes of Accessibility, Usability, and User Experience with interactive systems in different application domains. They address questions related to user centered design, cognitive task design, collaborative work, interaction with mobile systems, and the use of virtual reality. Dr. Robert is the author of more than 170 scientific publications. He is reviewer for numerous scientific journals and conferences.



Jean-Rémi Duquet is a Staff Member at Lockheed Martin Canada, where he has worked for 15 years in the area of military Command and Control, mostly with the Research and Development department and currently as part of the Software and Systems Engineering organization. He has been involved in a variety of projects, ranging from small R&D analyses and software technology demonstrators to large engineering projects, on which he worked in close collaboration with defense scientists and military subject matter experts. His research activities include collaborating with university researchers and co-supervising industrial graduate students in the area of Human Factors Engineering. Dr. Duquet holds a Ph.D. in Physics from Laval University (Québec, Canada), and is the author or co-author of 20 scientific publications.