

Titre de la soumission :

Premières évaluations d'un Bureau Virtuel pour un processus de conception augmenté

Auteurs :

Stéphane Safin
Christelle Boulanger
Pierre Leclercq

Coordonnées des auteurs :

Université de Liège : Laboratoire d'études Méthodologiques Architecturales (LEMA) et LuciD Group
Bât. B52/3 Chemin des Chevreuils, 1 4000 Liège Belgique
+32.4.366.95.15 Fax : +32.4.366.95.62

Stephane.safin@ulg.ac.be

Christelle.boulanger@ulg.ac.be

Pierre.leclercq@ulg.ac.be

Résumé :

Beaucoup d'outils CAO prétendent déjà créer et manipuler directement des idées de manière digitale. Pourtant, les concepteurs utilisent encore la technique du papier-crayon dans les premières phases de conception de leurs projets. En effet, les outils CAO existants contraignent la créativité par un encodage fastidieux et une rigueur de traits qui laissent peu de place à l'ambiguïté. Une interaction plus spontanée entre l'homme et l'ordinateur est nécessaire en conception assistée. Pour répondre à ce besoin, nous avons développé un outil d'aide à la conception intégré, basé sur un Bureau Virtuel : le concepteur est assis devant un bureau traditionnel et peut créer et manipuler les dessins et des modèles générés à partir de ces derniers. Cet article décrit nos observations d'un concepteur lors d'une expérience sur l'utilisation du Bureau Virtuel. Cette expérience montre que les aspects immersifs de notre système modifient la relation entre le concepteur et son modèle et, de ce fait, génèrent un nouveau type d'interaction augmentée.

Mots clés :

Processus de conception augmenté, interaction homme machine en conception, modèle basé sur l'esquisse, modèle auto-généré, ingénierie du bâtiment.

Logiciel Utilisé :

Microsoft Word X pour Mac

Forme de participation :

Article de recherche long

Thèmes

Applications et expériences

Premières évaluations d'un Bureau Virtuel pour un processus de conception augmenté

Stéphane Safin

Christelle Boulanger

Pierre Leclercq

Université de Liège
LuciD Group
1 Chemin des Chevreuils
B52/3 - B4000 Liège
[prénom.nom]@ulg.ac.be

RESUME

Beaucoup d'outils CAO prétendent déjà créer et manipuler directement des idées de manière digitale. Pourtant, les concepteurs utilisent encore la technique du papier-crayon dans les premières phases de conception de leurs projets. En effet, les outils CAO existants contraignent la créativité par un encodage fastidieux et une rigueur de traits qui laissent peu de place à l'ambiguïté. Une interaction plus spontanée entre l'homme et l'ordinateur est nécessaire en conception assistée. Pour répondre à ce besoin, nous avons développé un outil d'aide à la conception intégré, basé sur un Bureau Virtuel : le concepteur est assis devant un bureau traditionnel et peut créer et manipuler les dessins et des modèles générés à partir de ces derniers. Cet article décrit nos observations d'un concepteur lors d'une expérience sur l'utilisation du Bureau Virtuel. Cette expérience montre que les aspects immersifs de notre système modifient la relation entre le concepteur et son modèle et, de ce fait, génèrent un nouveau type d'interaction augmentée.

MOTS CLES : Processus de conception augmenté, interaction homme machine en conception, modèle basé sur l'esquisse, modèle auto-généré, ingénierie du bâtiment.

ABSTRACT

Many CAD tools already allow to create and manipulate directly ideas in a digital way. However, designers still use the pen and paper technique during the early design phase of their projects. Indeed, existing CAD tools constraint the creative work. There is a need for a spontaneous human computer interaction in design computing. In order to answer to this need, we develop an integrated aided design tool based on an Virtual Desktop. The designer sits in front of a classical desktop where s/he can

create and manipulate drawings and generated models. The paper relates the observations made from an experiment about the use of the Virtual Desktop by a designer. That experiment demonstrates that the immersive aspect of our system interface modifies the relation existing between the designer and his/her model and, this way, it generates a new type of augmented interaction.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: J.6 [Computer Applications] Computer aided engineering/Computer aided design

GENERAL TERMS: Design, Performance, Experimentation

KEYWORDS: Augmented design process, Human Computer Interaction in Design, sketch based modelling, self-generated model, building engineering.

INTRODUCTION

La plupart des outils CAO prétendent déjà créer et manipuler directement des idées de manière digitale. Cependant, ces outils n'aident pas réellement le concepteur dans les premières phases de conception, c'est-à-dire au moment où les grandes lignes du projet sont définies et où les options décisives sont choisies [2], [6] et [14]. Une première explication à cette lacune est l'interface utilisateur. En effet, ces outils impliquent un encodage fastidieux de données précises, qui est seulement possible lorsque le projet a largement été défini [11]. De plus, ces systèmes placent l'utilisateur dans un espace circonscrit : leurs gestes se limitent à des mouvements et clics de souris et leurs interactions sensorielles à une simulation visuelle et auditive passive. Une seconde raison est liée à l'utilisation des esquisses généralement présentes au début du processus de conception. L'esquisse est utilisée comme un espace de simulation graphique : les éléments à la base du projet esquissés dans les tous premiers dessins sont progressivement transformés jusqu'à ce que la solution complète soit atteinte [7]. Chaque esquisse représente un état intermédiaire entre la première esquisse floue et la solution de conception définitive.

Dans la pratique actuelle, les conceptions préliminaires sont essentiellement créées sur papier avant d'être converties en représentation dans le système de CAO. Pourquoi les concepteurs préfèrent-ils encore l'esquisse papier crayon aux outils informatiques au début du processus de conception ? Il y a trois différences essentielles qui expliquent cette utilisation du papier crayon, selon Mc Call *et al.* [13]. La première est que le papier-crayon implique une certaine abstraction et ambiguïté qui correspond bien à l'état du projet encore peu développé à la phase de l'esquisse. Les dessins digitaux, aux contours rigoureux, sont considérés comme plus finis et moins créatifs que les esquisses traditionnelles, floues et réalisées à main levée. Les concepteurs ont besoin de liberté, d'ambiguïté et d'imprécision pour créer rapidement les objets qu'ils ont en tête [1]. La deuxième raison est que la conception est un processus non destructif dans lequel les dessins successifs sont progressivement transformés jusqu'à la solution finale, alors que les outils CAO sont plutôt utilisés pour produire des objets qui peuvent être manipulés (modification, destruction, etc). Et enfin, la troisième raison est que, lorsqu'il esquisse son projet, le concepteur produit un large éventail de dessins interreliés, alors que les systèmes CAO construisent un modèle unique, isolé du processus global.

De plus, l'esquisse n'est pas une simple externalisation de l'image mentale du concepteur, elle est aussi un champ d'exploration heuristique dans lequel le concepteur découvre de nouvelles interprétations de son propre dessin, lui offrant d'autres perspectives de solution [5].

Dès lors, une interaction plus spontanée entre l'homme et l'ordinateur est nécessaire en conception assistée et particulièrement en composition architecturale. Et l'utilisation d'une interface basée sur l'esquisse ne devrait pas être conçue comme une amélioration de l'interaction homme-machine, mais comme un moyen d'intégrer l'assistance dans le cœur du processus de conception [11]. Pour répondre à ce besoin, nous développons un outil d'aide à la conception intégré, basé sur un Bureau Virtuel. Notre environnement est composé d'une solution matérielle et logicielle qui offre (i) l'aspect naturel de l'esquisse digitale à main levée, (ii) la capacité d'interpréter le dessin et de générer spontanément un modèle sémantique 3D et (iii) une manipulation du modèle et une évaluation directe des performances (appliquée ici en ingénierie du bâtiment). Suivant le courant de l'ordinateur invisible, le Bureau Virtuel offre un espace de travail réactif. En effet, le concepteur assis devant un bureau traditionnel et muni d'un stylo, bénéficie de la simplicité d'utilisation d'un espace de travail naturel, tout en utilisant des aides virtuelles, enrichissant l'aspect créatif de son travail. Ainsi, le système est composé de deux pôles : le pôle « réel » par le développement d'interactions naturelles et la métaphore du bureau d'architecte, et le pôle « virtuel » par l'interprétation de ses esquisses digitalisées et la présence des évaluateurs.

Nous sommes dans un contexte de virtualité augmentée [3]. En effet, la réalité – ici le stylo électronique accompagné d'une équerre ou latte réelle – est un moyen d'interaction familier qui rend l'interaction plus naturelle en entrée. L'environnement complet est en lui-même une situation d'usage courant constitué d'un bureau traditionnel.

Le Bureau Virtuel est basé sur le logiciel EsQUIsE, qui est un prototype de capture et d'interprétation d'esquisses architecturales, que nous avons développé afin de permettre à l'architecte de concevoir librement son bâtiment à partir d'esquisses digitalisées et de bénéficier d'une réelle aide dans l'évaluation du produit de la conception. En concevant ce logiciel, Leclercq et Juchmes [11], ont développé le concept d'interface absente : pour ne pas rompre le processus créatif, l'interface doit s'effacer pour n'apparaître que lorsque le concepteur requiert explicitement son aide. L'interface EsQUIsE est donc développée dans le but de posséder quatre caractéristiques particulières :

- *Etre adaptative* : D'une manière générale, c'est à l'ordinateur de s'adapter aux modes de travail du concepteur et aux caractéristiques floues de ses esquisses. Le système est par exemple capable de reconnaître les contours des locaux même si ceux-ci ne sont pas fermés et sont tracés de façon asynchrone.
- *Etre transparente* : le système n'exige pas de procédure de dialogue pré-établie. Le concepteur compose librement pendant qu'un agent informatique surveille et interprète son dessin. Le logiciel reconnaît les actions du concepteur au travers du contexte, plutôt que d'obliger ce dernier à déclarer explicitement son intention. Par exemple, le système n'attend pas que l'utilisateur marque le début et la fin du tracé d'une hachure, par appui sur un bouton ou sélection d'une commande par menu. L'observation du contexte (le dessin tout entier en pleine réalisation) permet au système de repérer qu'une hachure est en cours sans qu'elle soit signalée par le dessinateur. Le système doit pouvoir être pris en main sans devoir connaître son fonctionnement.
- *Etre naturelle* : la philosophie est de garder la simplicité et la polyvalence du papier et du crayon.
- *Etre doté d'un sens commun* : dans un dessin de conception, il y a une multitude d'informations non spécifiées. L'esquisse est par nature incomplète. L'ordinateur doit être capable de compléter ces informations de manière contextuelle, plutôt que d'appliquer aveuglément des règles standardisées. Le logiciel est par exemple capable d'assigner des caractéristiques technologiques aux parois sans que celles-ci n'aient besoin

d'être spécifiées, en tenant compte de la température de consigne des locaux qu'elles séparent.

DEVELOPPEMENT DU BUREAU VIRTUEL

Les objectifs qui ont mené au développement du bureau virtuel étaient de disposer d'un environnement de travail d'une taille comparable à celle d'une table à dessin, ainsi qu'une surface de dessin en haute définition (de l'ordre de 4 points par millimètre carré) et d'offrir un environnement naturel de conception, sans souris ni clavier, proche des conditions de travail créatif des architectes. Un autre objectif était d'avoir un environnement informatique transparent, sans fils ni calibrage.

Deux versions du bureau virtuel ont été développées. Plusieurs choix techniques ont dû être effectués pour garantir l'utilisabilité du système : au niveau de la table, du système de projection et du système de capture.

Choix de la table

L'idée de départ était d'avoir une projection par le dessous de la table. Les tests ont montré que ces dispositifs n'étaient pas adaptés, vu l'encombrement des projecteurs au niveau des jambes, empêchant l'installation confortable de l'utilisateur sur une table de travail horizontale. Les planches de travail inclinées ne conviennent pas non plus, car durant l'activité de conception, il y a généralement un étalement de nombreux documents papiers nécessaires au travail. Un whiteboard a donc été préféré, et installé horizontalement afin de fournir une table de travail la plus simple possible.

Choix du système de projection

Dans la première version du bureau virtuel, un projecteur était installé dans le plafond suspendu, avec un miroir « normal ». Afin de garantir une surface de travail plus grande, deux projecteurs ont été installés dans la deuxième version. Le défi consistait à gérer un seul écran sur deux projecteurs différents et de garantir une précision optimale du trait. Pour pallier aux problèmes de décalage d'image, le miroir a été remplacé dans la deuxième version par un miroir métallique sans vitre évitant la diffraction des rayons lumineux due aux changements air/verre/air. Afin d'éviter les excès d'ombres liés à une projection par le plafond, les projecteurs et le miroir ont été placés de telle manière que la projection soit inclinée sans que l'utilisateur ne rentre dans la pyramide de projection (figure 1).

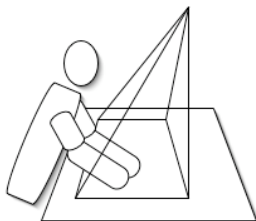


Figure 1 : Position de l'utilisateur par rapport à la projection.

Choix du système de capture

La première version du bureau virtuel était composée d'un système de positionnement par triangulation infrarouge et ultrason (Mimio). Deux difficultés ont mené à son remplacement. D'une part le pointeur, beaucoup plus gros que les outils habituels de dessin, est relativement difficile à manipuler et ajoute de grandes zones d'ombre sur le dessin. D'autre part, le système a une précision de l'ordre du centimètre, ce qui est évidemment beaucoup trop peu fiable pour le tracé d'esquisses architecturales. Dans la deuxième version, un stylo digital à solénoïde a été choisi. Il représente plusieurs avantages : il est beaucoup plus fin et ne pose pas de problèmes d'ombres. Il ne nécessite pas d'alimentation en énergie ce qui réduit son poids et son encombrement. Il est plus équilibré et plus facile à manipuler. En outre, il est beaucoup plus précis que le stylo mimio. Il correspond donc parfaitement aux caractéristiques d'un stylo courant.

ESQUISE

Le logiciel EsQUISE est composé d'un module de saisie graphique et d'un module d'interprétation qui permettent de construire un modèle architectural destiné à alimenter une série d'évaluateurs selon le processus suivant : Pour simplifier, décrivons le logiciel EsQUISE en trois modules. Une description plus complète et plus technique de ce programme, en particulier de la technologie multi-agents qui constitue la base de son fonctionnement, peut être obtenue dans nos précédents articles [7], [9], [10], [11], [12].

Module d'acquisition

Le rôle du module d'acquisition consiste à analyser le signal fourni par le stylo électronique pour segmenter et catégoriser tous les traits effectués. Ce module synthétise le flux de données brutes issues du stylo puis, par l'analyse de leurs caractéristiques formelles et de leurs positionnements relatifs, il construit une représentation interne de la structure du dessin. La principale contrainte pesant sur ce module est bien sûr l'exigence du temps réel. Pour y répondre, l'analyse est menée en deux phases. Pendant que le stylo se déplace sur la surface digitale, le système capture son mouvement. Aussitôt que la pointe est levée, le système exploite le très court laps de temps disponible avant que celle-ci ne revienne en contact avec la surface digitale, pour effectuer les fonctions de synthèse et de classification du trait terminé. La fonction de synthèse consiste en une série de filtres successifs destinés à extraire l'information caractéristique des traits, réduire autant que possible la somme de données envoyées par le stylo tout en conservant l'apparence la plus fidèle possible vis-à-vis de la ligne d'origine. Cette représentation allégée est uniquement réservée à l'interprétation du système : l'utilisateur ne voit et ne travaille qu'avec ses propres tracés initiaux.

La fonction de classification, fondée sur une technique combinée de segmentation (distinguer et composer des

paquets de traits qui "fonctionnent ensemble") et de catégorisation (classement des ensembles de traits selon leurs critères caractéristiques). Outre quelques symboles particuliers (hachures, coloriages, traits pointillés, surlignés, etc.), le système multi-agents qui opère se concentre aussi sur le repérage des légendes manuscrites, qu'il identifie et localise sur le croquis. Le coeur du système de classification est un modèle géométrique du dessin construit en analysant le réseau de relations établies entre les traits dessinés. Ces relations comprennent l'inclusion, l'intersection, la proximité et la superposition des lignes composant les contours. Puisque l'esquisse est, par nature, imprécise, nous avons développé une approche dite "d'infographie floue", qui étend les capacités des techniques classiques de l'infographie à la gestion de taux d'erreur compatibles avec le geste humain. Cette infographie permet, par exemple, d'évaluer le point d'intersection de deux droites tracées à la main, qui ne sont donc ni droites ni peut-être qui ne se croisent.

Module d'interprétation

La tâche du module d'interprétation consiste à traduire le modèle géométrique issu du croquis en un modèle fonctionnel du bâtiment conçu. Celui-ci est généré à partir des propriétés sémantiques collectées. Des traits composent des contours, qui sont traduits en locaux. D'autres traits ont été identifiés comme lettres composant des légendes. Celles-ci sont complétées par les informations implicites liées au sens de ces légendes, telles que connues par le système. Par exemple, le mot "bain", traduit sur le croquis la fonction que l'architecte attribue à l'espace désigné. Le contour dans lequel ce mot s'inscrit devient donc un espace-fonction dans le modèle architectural, flanqué de paramètres caractéristique pour ce local : 24° de température de consigne, haut taux d'humidité et niveau de bruit moyen. Ces paramètres, attribués sans autre intervention du concepteur, sont à leur tour utilisés par le système pour fixer les choix technologiques : les traits séparant les contours sont traduits comme parois séparant les locaux. Ceux-ci étant caractérisés, peuvent déduire leur propre composition technologique afin de moduler au mieux, selon les règles de l'art, les flux de chaleur et d'humidité qui traversent ces parois. Opérant de même avec les caractéristiques géométriques des locaux (hauteurs sous plafond par exemple), le système est donc capable de composer lui-même, et en temps réel, un modèle complet et cohérent du bâtiment en cours de création, à partir des quelques croquis que dessine l'architecte.

Modules d'évaluation

Ce modèle de bâtiment peut alors être utilisé comme entrée pour diverses évaluations. La principale est bien entendu la génération de la maquette 3D, dans laquelle le concepteur peut effectuer une promenade virtuelle et vérifier une première approche du rendu des volumes et des

espaces qu'il a imaginés. EsQUIsE peut aussi utiliser ce modèle pour évaluer les performances énergétiques du futur bâtiment et ainsi renseigner le concepteur sur l'opportunité de ses choix. Simulant le gisement solaire, connaissant les températures de consigne pour chaque local et la composition de chaque paroi, ce second évaluateur peut estimer les besoins de chauffage et de climatisation que le bâtiment nécessitera.

EXPERIENCE

Le dispositif a été testé en situation réelle, avec les objectifs d'évaluer l'utilisabilité du système par une approche ergonomique, d'une part, et d'explorer une première fois les aspects liés à l'immersion dans l'environnement du bureau virtuel, d'autre part.

Dispositif

Nous avons comparé deux concepteurs dans deux conditions distinctes : l'un réalisant le projet de manière traditionnelle avec des outils papier crayon ; l'autre travaillant sur le Bureau Virtuel. Chaque concepteur a été observé par deux types d'observateurs : un étudiant architecte et un psychologue du travail. Les activités ont été intégralement filmées en deux vues : une vue frontale permettant d'appréhender l'ensemble de l'espace, et une vue en plongée permettant de suivre la création des dessins.

Consigne et protocole

L'objectif de l'activité est de concevoir les plans d'une école, dans un laps de temps maximum de 4 heures. Les consignes sont les mêmes pour chacun des étudiants. Les contraintes particulières de ce bâtiment sont :

Une contrainte urbanistique : les toitures devaient être planes, ceci afin que le logiciel EsQUIsE puisse malgré ses limites actuelles interpréter les croquis pour en faire une maquette¹. Des contraintes liées au terrain et aux étages : un arbre remarquable et une « marche » faisaient partie du terrain. Des contraintes précises en termes d'adjacence et de surfaces des différents espaces.

Environnement classique papier/crayon

Le concepteur n'a pas de consigne particulière, si ce n'est un espace de dessin, permettant la récolte vidéo du processus. Il dispose de feuilles de papier, d'un rouleau de papier calque, de plusieurs crayons et surligneurs, ainsi que de lattes, d'une équerre et d'une calculatrice.

¹ En effet, la construction de la maquette se fait actuellement par extrusion. Il s'agit en réalité de 2,5D : les plans sont projetés verticalement de manière fixe. Il n'est donc pas possible de visualiser des toits en pente, ni de paramétrer la hauteur des étages.



Figure 2 : Activité papier/crayon

Bureau Virtuel avec le logiciel EsQUIsE

Le concepteur interagit avec l'environnement du bureau virtuel de conception, sur lequel tourne le logiciel EsQUIsE. Il dispose d'un stylo digital, avec une palette virtuelle permettant l'utilisation de plusieurs couleurs. Un seul évaluateur – la maquette 3D – est enclenchée en permanence. Il a la possibilité d'utiliser d'autres outils, comme une latte et une équerre.



Figure 3 : Activité Bureau Virtuel

Analyses

Les données vidéo ont été analysées par des ergonomes – psychologues du travail en vue de répondre aux objectifs de l'expérience.

Cette analyse est essentiellement exploratoire. Plusieurs critères ont néanmoins été définis pour guider les observations vidéo :

- Une définition des modalités d'interactions : comment l'utilisateur interagit avec le système (papiers ou calques virtuels) ? Les interactions sont-elles fluides/flexibles ?
- Une exploration des aspects liés à l'immersion dans le bureau virtuel. Il s'agit principalement d'une analyse des gestes prenant place dans les deux environnements.
- Une observation centrée sur l'interface. Elle comprend une analyse par moments critiques, permettant de voir quelles sont les difficultés liées à l'interface. Elle comprend aussi une analyse par focus attentionnel, pour comprendre à quels moments l'attention de l'utilisateur est portée sur le système plutôt que sur le contenu de sa conception, en vue de renforcer l'aspect naturel de l'interface.
- Une analyse de l'usage du modèle 3D construit en temps réel par le logiciel. A quel moment ce modèle est-il utilisé et dans quels buts ?

RESULTATS

Modalités d'interaction

Au sujet de l'utilisation du bureau virtuel, nous avons pu faire les conclusions suivantes. D'une part, l'appréhension du système par l'utilisateur semble naturelle : il se sent très rapidement dans le bureau virtuel. Le temps d'apprentissage du maniement du système n'excède pas une demi-heure. D'autre part, même si la résolution de la projection est moins bonne que sur une tablette, les esquisses comportent le niveau de détail nécessaire. On remarque cependant que l'échelle du dessin est plus grande. La comparaison des activités nous a montré l'importance de la flexibilité de l'environnement de conception.

Le système papier/crayon est très flexible. Une série de crayons et stylos peuvent être utilisés, les supports (papier calque, et papier) ne sont pas limités dans leur taille ou leur nombre. Il permet un agencement très simple des calques, ces derniers pouvant être retournés, déplacés très simplement à la main. Dans le bureau virtuel, certaines interactions peuvent a priori sembler contraignantes :

- Seul un type de support est à la disposition du concepteur : le calque virtuel.

- Le concepteur peut modifier la taille de la fenêtre reprenant tous les calques, mais pas la taille de chacun des calques.

- Les calques sont toujours « attachés » ensemble et il n'est pas possible d'effectuer une translation d'un calque par rapport à un autre.

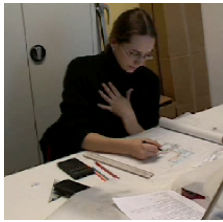
- Un seul type de stylo est disponible (pas de surligneurs...)

Il apparaît néanmoins que la création d'un calque est très simple (un clic) et leur ordre de superposition est modifiable tout aussi simplement en faisant glisser les icônes des calques. Dans cette activité, le concepteur travaille principalement avec le stylo de couleur rouge. La couleur noire – la seule interprétée par le logiciel – est utilisée uniquement à des fins de mise au net. On voit donc rapidement apparaître dans cette activité une forme de spécialisation des calques : des calques « brouillon » en rouge, et des calques « nets » en noirs. Ces derniers apparaissent plus soignés que les premiers : les traits sont plus droits, chaque trait représente un mur et chaque mur est représenté uniquement par un trait. Sur ces calques, le concepteur utilise fréquemment la gomme digitale. Ce n'est qu'à la fin de l'activité que le concepteur annotes ses calques « nets » avec des traits de couleur rouge.

Immersion

Un point essentiel de la comparaison entre les deux activités réside dans les modalités de l'exploration des esquisses par le concepteur. L'exploration des dessins est en effet un élément important de la conception architecturale. Avoir de nouveaux points de vue sur le dessin permet l'émergence de découvertes inattendues [15] et de ce que Goel [4] appelle « transformations latérales », c'est-à-dire un mouvement d'une idée vers une autre.

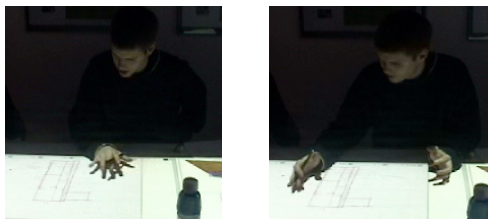
Dans les deux activités, les esquisses sont explorées par les architectes. Il y a des mouvements sur la feuille de papier, permettant d'exprimer des intentions, notamment en termes de circulation dans le bâtiment et de dynamique de l'espace. Néanmoins, ces explorations importantes pour la formalisation et l'expression des idées non graphiques revêt un aspect différent sur les deux types de supports. Dans l'activité sur papier, les esquisses sont explorées à l'aide du stylo : certains éléments sont pointés pour les mettre en évidence dans le raisonnement de l'architecte et le stylo est souvent en mouvement pour explorer les circulations dans l'espace ou certains concepts dynamiques.



Figures 4 : Exploration par pointage sur papier/crayon

Dans l'activité sur le bureau virtuel, si ces modalités d'explorations sont présentes, on remarque aussi un beaucoup plus grand investissement corporel dans le dessin : à plusieurs reprises, c'est l'ensemble de la main qui permet l'expression d'un mouvement et l'utilisation des deux mains permet la délimitation d'un espace ou l'expression d'une intention liée à une surface (voir figures 5 et 6). Ceci peut être expliqué, d'une part, par la taille du dessin plus grande dans le bureau virtuel, mais aussi, d'autre part, par l'aspect immersif du système. En effet, plusieurs facteurs facilitent l'immersion dans le bureau virtuel :

- La luminosité de la surface de travail, contrastée avec l'environnement plus sombre de la pièce.
- L'aspect « englobant » de l'environnement, où le concepteur est placé entre une table et un plafond suspendu, dans un espace délimité et explicitement dédié à la conception.
- La présence d'une maquette dynamique en trois dimensions en couleurs, de grande taille, ajoutant une forme de spécialisation de l'espace de travail et un aspect original retenant l'attention de l'utilisateur dans le système.



Figures 5 et 6 : Exploration par mouvement de la main sur bureau virtuel et délimitation d'un espace avec les deux mains

Ergonomie de l'interface

Les observations ont permis de soulever plusieurs problèmes liés à l'interface EsQUIsE.

Tout d'abord, sur ce système, la maquette 3D se construit en temps réel. Les calques doivent être placés dans le bon ordre dans la zone d'agencement des calques (zone d'onglets étalée de manière horizontale au dessous de la zone de dessin) pour constituer les étages : l'étage inférieur doit être placé à gauche de la zone et l'étage supérieur à droite. De plus, pour travailler avec un fond de plan (avoir un calque de travail et un calque en transparence), les calques doivent aussi être agencés dans un certain ordre dans cette zone des calques : le calque visible en transparence est automatiquement celui à droite du calque actif. Ceci mène à un problème d'incohérence dans la disposition des calques : le calque visible en fond de plan à un moment donné est l'étage supérieur sur la maquette. Ceci ne correspond pas aux habitudes de travail des architectes, se basant bien plus souvent sur un étage inférieur pour le design d'un étage. Cet aspect pose problème plusieurs fois dans notre expérience.

Ensuite, le bâtiment doit être créé sur plusieurs étages en parallèle. Il n'est pas possible, à partir d'un seul plan, d'avoir une projection sur plusieurs étages. Il est donc nécessaire très tôt de tracer les différents étages pour avoir une représentation volumique précoce du bâtiment.

En outre, tous les calques sont interprétés, sans possibilité de les masquer. A partir du moment où un calque contient un trait en noir, il constitue un étage dans la maquette 3D. Il n'est donc pas possible d'avoir deux versions d'un même étage sans que la maquette affiche ces deux calques. Il est donc nécessaire pour l'utilisateur de supprimer une ancienne version d'un étage pour en faire une autre. Ceci rend l'esquisse digitale différente d'une esquisse « naturelle ». En effet McCall et al, définissent l'aspect non-destructif des esquisses papier comme une de leurs caractéristiques essentielles. En outre, ce problème réduit les possibilités de travail par essais et erreurs, élément essentiel de la conception [13].

De plus, comme nous l'avons déjà évoqué au chapitre concernant les modalités d'interaction, il n'est pas possible de modifier la taille et l'agencement relatifs des calques : les dessins se superposent toujours de la même manière et ont toujours la même taille. Il n'est pas possible de décaler un calque par rapport à un autre.

Enfin, il n'existe qu'un seul type de support dans le logiciel EsQUIsE : le calque transparent, alors que l'utilisation de feuilles de papier mat est fréquente dans les autres activités. De plus, la transparence ne porte que sur un seul calque.

Usage de la 3D

La présence d'une maquette 3D dans le bureau virtuel, en immersion et présente à tout moment, incite l'utilisateur, par ses affordances, à centrer son activité autour de cette maquette. Nous observons dès lors que la

stratégie de conception revêt un aspect différent dans le bureau virtuel. La maquette y joue un rôle central, et tous les étages sont conçus ensemble, en parallèle, à l'inverse de l'activité sur papier-crayon où le rez de chaussée défini en premier, sert de fond de plan à la conception des autres étages.

DISCUSSION

Au terme de ces observations, plusieurs évolutions sont prévues pour le Bureau Virtuel et le logiciel EsQUIsE.

Evolutions du Bureau Virtuel

Afin de garantir la flexibilité du système, importante pour favoriser l'émergence d'idées et les découvertes inattendues [15], plusieurs projets sont en cours de démarrage autour du Bureau Virtuel.

Afin de renforcer le caractère naturel de l'interaction Homme-Machine du dispositif, il est nécessaire d'étendre la métaphore du bureau et de prendre en considération les gestes des mains, qui jouent un rôle important dans la manipulation des documents. C'est dans ce but que le projet IDIMAGE vise à développer les algorithmes permettant de suivre en temps réel les gestes des mains à partir d'une capture vidéo de la surface du bureau. L'objectif visé dans ce projet consiste en la spécification et la réalisation d'une interface manuelle naturelle, qui permet l'intégration complète et transparente des mouvements de mains pour la manipulation de feuilles de papier virtuelles à partir d'un dispositif de vision par ordinateur.

En outre, afin d'améliorer le système et de développer de nouvelles possibilités, nous cherchons aussi à comprendre les aspects collaboratifs de la conception: collaboration pour l'apprentissage, collaboration entre l'architecte et les différents corps de métier partenaires pour une conception intégrée, et collaboration entre un architecte et son client, via le partage d'une maquette 3D. L'objectif est de développer le bureau virtuel en vue d'une utilisation collective augmentée en co-présence ou à distance.

Evolutions du logiciel EsQUIsE

Les aspects suivants de l'interface du logiciel EsQUIsE ont été modifiés suite aux recommandations faites par les ergonomes à l'issue de cette expérience:

Le problème d'incohérence de l'ordre des calques a été résolu par une disposition verticale des calques : la disposition est plus claire pour l'utilisateur et la disposition des étages dans la maquette ne prête plus à confusion vu son aspect analogique. L'aspect analogique est aussi gardé pour la transparence des calques : ce sont effectivement les calques du dessous qui sont vus en transparence. De plus, le calque en transparence est affiché en gris dans la zone de calques pour avoir un indice redondant sur ce qui est affiché au niveau des esquisses.

Les actions sur les calques ont été multipliées : il est désormais possible de dupliquer un calque d'un simple clic.

Concernant l'impossibilité de disposer de plusieurs supports de dessin différents, un réglage de la transparence a été implémenté : il permet de rendre un calque opaque (comme une feuille de papier) translucide comme un calque ou complètement transparent.

Au niveau de la possibilité de modifier la position et la taille des calques, une fonction translation, une fonction rotation et une fonction zoom ont été implémentées. Ceci constitue une véritable augmentation du système par rapport à des supports papiers : Avec la fonction de translation, la feuille a désormais une taille infinie. Le fonction zoom permet de travailler une esquisse à la fois dans ses aspects globaux et dans ses détails les plus précis, ce qui est impossible sur papier. Si ces fonctions sont relativement classiques dans les systèmes CAO, l'originalité réside ici dans le fait que ces actions n'agissent pas sur le dessin, mais bien sur les supports (feuilles de papier virtuelles).

La zone de calques a été divisée en deux : une zone où les calques sont interprétés par le système (pour construire la maquette 3D) et une zone où les calques ne sont pas interprétés, la zone « notes ». Ceci permet notamment de créer et de garder plusieurs versions du bâtiment, et de les changer très simplement dans la maquette, par simple glissement des calques vers la zone « modèle ».

Enfin, nous avons particulièrement veillé à la cohérence du système. En effet, le système comprend des fenêtres séparées pour le croquis, pour la maquette 3D et pour le graphe topologique. Ces 3 fenêtres comprennent les mêmes caractéristiques : une zone d'action sur le contenu, une zone de navigation (translation, zoom,...) et une zone pour l'appel des différentes fenêtres. Ces trois zones se situent sur la gauche de l'interface.

Les modifications de l'interface EsQUIsE et de l'environnement virtuel vont vers une augmentation du *support* de l'esquisse architecturale, vers un papier virtuel gardant les caractéristiques de polyvalence et de flexibilité du papier réel, tout en étant augmenté via une interprétation de ce qui y est tracé.

Investigations futures

L'étape suivante de nos investigations est la mise en place d'une situation contrôlée pour vérifier les aspects liés à l'immersion dans le bureau virtuel. Nous comptons mettre en place une situation de test en vue de comparer une activité sur le Bureau Virtuel et une situation avec le logiciel EsQUIsE sur une tablette-écran. Ceci nous permettra de faire des observations et tirer des conclusions liées spécifiquement aux aspects immersifs du Bureau Virtuel.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège qui a financé le Bureau Virtuel.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aliakseyeu, D. Direct manipulation interface for architectural design tools. Conference on Human Factors in Computing Systems, *CHI '02 extended abstracts on Human factors in computing systems*. Minneapolis, Minnesota, USA, 2002, pp. 536-537.
2. Aliakseyeu, D. & Martens, J-B. Physical paper as the user interface for an architectural design tool. In *Proceedings of INTERACT 2001*, Tokyo, Japan, July 2001, pp. 680-681.
3. Dubois, E. *Chirurgie Augmentée, un Cas de Réalité Augmentée; Conception et Réalisation Centrées sur l'Utilisateur*. Thèse de doctorat, université Joseph Fourier - Grenoble I, 2001
4. Goel, V. *Sketches of Thought*. Bradford-MIT Press, Cambridge, 1995.
5. Goldschmidt, G. *The Dialectics of sketching*. Design Studies, Vol. 4, 1991, pp. 123-143.
6. Gross, M. *The Electronic Cocktail Napkin, Working with Diagrams*. Design Studies, Vol. 17, 1996, pp.53-69.
7. Juchmes, R., Leclercq, P & Azar, S. A multi-Agent System for Architectural Sketches Interpretation. *Eurographics Workshop on Sketch-Based interfaces and Modeling*, Grenoble, France, 2004, pp 53-62
8. Lebahar, J. *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude*. Editions Parenthèses, Paris, 1983.
9. Leclercq, P. Interpretative Tool for architectural sketches. *First International Roundtable Conference on Visual and Spatial Reasoning in Design : computational and cognitives approaches*. MIT, Cambridge, USA, Key center for Design Computing, Sydney, Australia. 1999, pp 69-80.
10. Leclercq, P. Programming and Assisted Sketching, Graphic and Parametric Integration in Architectural Design. *CAAD Futures*, Eindhoven University of Technology, ND, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 2001.
11. Leclercq, P. and Juchmes, R. The Absent Interface in Design Engineering. AIEDAM Artificial Intelligence in Engineering Design and manufacturing. *Special issue : Human Computer Interaction in Engineering Contexts*, Vol.16, n°5, Cambridge university Press, Novembre 2002.
12. Leclercq, P. Invisible Sketch Interface in Architectural Engineering. *Graphic recognition, recent Advanced and Perspectives, Lecture Notes in Computer Science*. LNCS 3088, Springer Verlag, Berlin. 2004, pp353-363.
13. MacCall, R., Ekaterini, V. & Zabel, J. Conceptual Design as Hypersketching. In *Proceedings of the 9th Int. Conference CAAD Futures*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001, pp. 285-298.
14. Suwa, M. & Tverski, B. What Architects see in their Design Sketches : implications for design tools. In *Proceedings of ACM Conf. On Human Factors in Computing Systems CHI'96*, ACM Press, New York, 1996, pp. 191-192.
15. Suwa, M., Gero, J.C. & Purcell, T. *Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process*. Design Studies, Vol. 21, 2000, pp. 539-567