

Impact d'un environnement d'esquisses virtuelles et d'un modèle 3D précoce sur l'activité de conception architecturale

Impact of a virtual sketches environment and a 3D preliminary model on architectural design activity

Stéphane SAFIN (1), Pierre LECLERCQ (1), Françoise DECORTIS (2)

(1) *Lucid Group* (Lab for User Cognition and Innovative Design), Faculté des Sciences Appliquées, département d'Architecture, Université Liège, Belgique

(2) *IKU* (Unité de Recherche Interactions, Knowledge, Usage), Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, Université Liège, Belgique
(prénom.nom)@ulg.ac.be

Résumé. Dans cet article, nous tentons de comprendre, d'une part, dans quelle mesure un système de nouvelle génération basée sur l'esquisse fournit une aide à la conception architecturale et, d'autre part, quelles transformations de l'activité peuvent être anticipées. Notre étude qualitative exploratoire consiste en la comparaison de l'activité de conception architecturale préliminaire de trois étudiants architectes dans une situation papier-crayon et avec deux versions du logiciel EsQUIsE sur un Bureau Virtuel de conception. Nos observations montrent (1) que la présence d'un modèle 3D autogénéré fournit un outil de vérification de volumes du bâtiment, (2) que l'environnement d'EsQUIsE, par ses contraintes d'utilisation, implique des modifications dans la nature des représentations créées par l'architecte et (3) qu'il existe plusieurs démarches de « conception en superposition » qui sont en partie structurées par l'environnement de conception.

Mots-clés. Esquisse numérique, conception assistée par ordinateur (CAO), activité de conception, conception architecturale.

Abstract. In this article, we try to understand to what extent a new generation sketch based system could support architectural design. We also try to anticipate transformations of such activity. Our qualitative and exploratory study draws a comparison between three preliminary architectural design activities: one student in a paper-pencil situation and two with different versions of EsQUIsE software on a design virtual desktop. Our observations show three major results. (1) The auto-generated 3D model provides a useful feature for checking the volumes of the building. (2) The EsQUIsE environment, through its usage constraints, implies modifications in the nature of the representations created by the architect. (3) Several “design superposition” approaches exist, partly structured by the design environment.

Keywords. Digital sketches, computer assisted design, design activity, architectural design.

1 Introduction

La réalisation d'un projet architectural comprend de nombreuses étapes, fait appel à différents acteurs et utilise des ressources et représentations variées (Prost, 1992). Si la plupart de ces étapes sont puissamment outillées par de nombreux logiciels, l'étape de conception préliminaire est paradoxalement toujours caractérisée, pour la plupart des architectes, par un travail d'esquisse sur papier. Comment garder la souplesse de cet outil naturel qu'est le crayon, sorte de prolongement de la main, tout en profitant des potentialités offertes par l'outil informatique ?

La réponse que nous proposons est le logiciel EsQUIsE (Leclercq, 1999 ; Leclercq et Juchmes, 2002) et l'environnement du Bureau Virtuel (Safin *et al.*, 2005). Développés par une équipe multidisciplinaire à l'Université de Liège, ces prototypes s'inscrivent dans la mouvance de technologie invisible (Norman, 1998). Il s'agit d'un environnement composé d'un module d'interprétation d'esquisses architecturales qui permet à l'architecte de créer librement son bâtiment à l'aide d'un stylo électronique sur une table horizontale et qui apporte en temps réel une série d'aides à l'évaluation d'éléments de conception. Le prototype actuel permet la génération automatique d'un modèle 3D du bâtiment en créant des esquisses sur calques virtuels.

Dans quelle mesure cet outil diffère-t-il dans son usage du papier et du crayon ? Quelles transformations de l'activité peut-on anticiper avec un tel système ? Notre travail, exploratoire dans un premier temps, vise à investiguer l'apport de ce type de représentations précoces à l'activité de conception. En particulier, l'insertion d'EsQUIsE dans une pratique professionnelle soulève deux questions principales que nous allons examiner ici.

- Quelle est l'utilité et l'usage du modèle 3D autogénéré ? S'il est sollicité durant la conception, permet-il l'émergence ou l'évaluation de solutions pour la conception ?
- Quel est l'impact de cette nouvelle technologie sur l'activité de conception ? Partant de l'hypothèse que le travail structuré par calques et la présence du modèle 3D influencent la conception en superposition, c'est-à-dire la manière dont les niveaux du bâtiment sont structurés les uns par rapport aux autres, nous investiguerons cette question qui n'est pas, à notre connaissance, traitée spécifiquement dans la littérature.

Pour répondre à ces deux questions, nous proposons de structurer ce texte de la manière suivante. Dans un premier temps, nous définirons et préciserons la conception architecturale et l'activité de conception, le rôle de l'esquisse et de la CAO dans les étapes préliminaires de ce processus créatif et nous présenterons le concept d'esquisse augmentée, développé dans notre laboratoire. Suivront une description d'EsQUIsE et du Bureau Virtuel, ainsi qu'une formalisation des questions que leur usage soulève. Les modalités de l'étude comparative qualitative de trois activités de conception que nous avons menées et les observations qui en découlent seront ensuite décrites. Enfin, nous conclurons et discuterons la portée de ces résultats en relation avec le développement de nos prototypes.

2 Problématique

2.1 L'activité de conception architecturale

Le travail d'un architecte débute par la prise de connaissance d'une demande de la part d'un client et se termine par la construction ou la rénovation d'un bâtiment. Le projet architectural, qui s'inscrit dans une durée allant de quelques semaines à quelques années, souffre aujourd'hui d'une fragmentation dans son déroulement. Ce découpage, dû à une attribution légale des responsabilités, implique différentes étapes mobilisant des représentations de nature variée et l'utilisation de multiples outils, informatiques ou non (Figure 1).

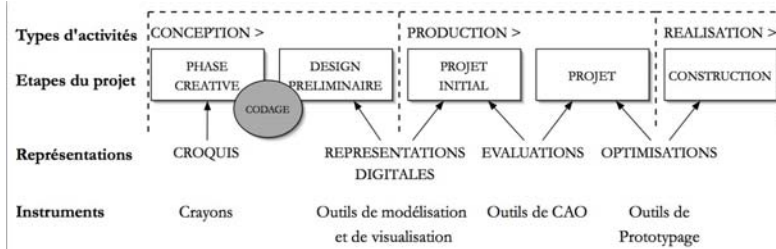


Figure 1. Etapes du projet architectural

La première étape est une étape créative au cours de laquelle l'architecte génère des idées en même temps qu'émergent des contraintes et des critères qui concourent à cerner le problème architectural auquel il s'attaque (Leclercq, 2005). Alors que l'ensemble des étapes ultérieures du projet sont largement outillées par l'informatique, celle-ci repose encore en grande partie sur des esquisses papier-crayon. Au terme de cette phase de recherche conceptuelle, l'architecte construit, via une étape de codage souvent fastidieuse, les premières représentations digitales afin d'étudier la faisabilité de la solution envisagée. Ensuite se déroulent plusieurs étapes de production visant la définition précise du bâtiment, c'est-à-dire la résolution géométrique exhaustive et la paramétrisation complète de l'objet architectural en vue de construire des plans communicables aux différents acteurs du projet. Enfin, la phase de construction consiste, pour l'architecte, en une supervision du chantier. Cette distinction entre conception créative et production d'ingénierie est essentielle dans la mesure où l'objet de ces activités, les processus cognitifs mobilisés, les représentations créées et les instruments utilisés sont de nature différente.

La conception en tant qu'activité cognitive générale intervenant dans de nombreux domaines professionnels (informatique, mécanique, architecture...) a été étudiée comme un processus de résolution de problèmes mal structurée (Simon, 1999), comme une activité émergente d'une interaction riche avec un contexte particulier (Schön, 1983) ou, plus récemment comme une activité de construction de représentations (Visser, 2006). Dans cette dernière perspective en particulier, la conception serait une activité opportuniste (Visser, 2006) constituée de cycles réguliers de génération et d'évaluation de solutions mettant en jeu différents processus cognitifs (Darses *et al.*, 2004).

Si ces approches génériques de la conception nous renseignent de façon très précise sur les processus cognitifs mobilisés, nous estimons qu'à des fins de développement de systèmes d'aide, celle-ci doit avant tout être étudiée en rapport au domaine, au métier dans lequel elle s'inscrit.

La conception architecturale a ainsi été étudiée pour ses spécificités. Lebahar (1983) décrit les premières étapes de la conception par une articulation entre représentations internes (modèle mental) et externes (esquisses et notes) dans une mouvance progressive de réduction de l'incertitude. Sur base d'un diagnostic architectural, consistant à réunir et à formuler les différentes contraintes susceptibles d'être exprimées spatialement en vue de structurer le problème, le concepteur crée une « base graphique de simulation ». Celle-ci servira de point de départ de la recherche de l'objet par simulation graphique, c'est-à-dire l'expression spatialisée et l'évaluation d'un certain nombre d'hypothèses visant à réduire l'incertitude. L'esquisse est un moyen de simulation, mais elle contient aussi quantité d'informations organisées. L'architecte opérant ses choix est sujet à l'émergence de nouvelles représentations inattendues. Il laisse ses esquisses imprécises afin de ne pas empêcher l'apparition de ces déclencheurs. La réduction constante de l'incertitude liée au problème architectural agit en parallèle à une définition et une précision croissantes de l'objet architectural. Les nouvelles solutions envisagées et testées viennent s'intégrer aux dessins au fur et à mesure jusqu'à une précision géométrique complète.

Par ailleurs, il nous paraît intéressant de comprendre la conception architecturale en tant qu'activité humaine instrumentée. Celle-ci est dirigée vers un objet, matériel ou abstrait, et médiatisée par des artefacts (Vygotsky, 1930). Plusieurs analyses du travail ont mis en évidence le rôle cognitif déterminant joué par les artefacts dans l'activité. Les artefacts sont plus que de simples aides périphériques à la cognition. Par les représentations externes qu'ils véhiculent, ils deviennent des ressources environnementales pour l'action (Hutchins, 1990, 1995a, 1995b). Ces représentations ont des propriétés diverses selon Zhang et Norman (1994). Elles constituent des aides mnémoniques, elles apportent de l'information qui peut être directement perçue et utilisée sans être interprétée et formulée explicitement. Elles ancrent et structurent le comportement cognitif et changent la structure d'une tâche en la rendant plus simple. La technologie utilisée pour une pratique donnée, dans un contexte donné, n'implique donc pas une relation mécanique d'entrée et sortie entre l'homme et la machine. Une description beaucoup plus riche de la situation de l'utilisateur est nécessaire pour la conception et l'évaluation des outils (Nardi, 1996). L'approche instrumentale (Rabardel, 1995) décrit plus précisément cette relation sujet-objet-artefact. Ainsi, le terme d'artefact est redéfini pour faire place à la notion d'instrument, concept bi-polaire à composantes matérielle et d'usage. L'artefact devient un instrument lorsqu'il s'inscrit dans un usage « en tant que moyen qu'il [le sujet] associe à son action » (Rabardel, 1995). De même, les personnes modifient les outils et les ajustent en fonction de leurs conditions et besoins spécifiques. En outre, l'instrument devient un outil de médiation réflexive, qui concerne le rapport du sujet à lui-même, médiatisé par l'instrument (Folcher et Rabardel, 2004). L'activité instrumentée se voit donc construite par le sujet et est immanquablement modifiée par l'insertion d'une nouvelle technologie. C'est précisément cette construction et ces modifications de l'activité qui nous intéressent ici.

En effet, si l'activité du projet architectural est dirigée vers un objet architectural (le bâtiment) et est médiatisé par différents types de dessins, on peut comprendre l'activité de conception comme dirigée vers un objet esquisse (ou vers des représentations digitales en fin de conception et dans les phases de production) et médiatisée par différents instruments. Examinons d'abord les caractéristiques de ces composantes de l'activité de conception architecturale instrumentée, tels qu'elles existent aujourd'hui.

2.2 Instruments pour le dessin : Crayons et outils de CAO

Malgré l'abondance sur le marché d'outils de conception assistée par ordinateur (CAO), les architectes commencent encore leurs projets en accordant une préférence au papier et au crayon. Le transfert de leur production vers un outil informatisé se déroule généralement à la fin du processus créatif. Si les logiciels de CAO sont de puissants outils de production, permettant des évaluations précises et une vérification de la cohérence géométrique, ils ne sont pas à l'heure actuelle des supports efficaces à la conception. Ce phénomène pourrait, selon Goel (1995), être imputé au haut niveau de précision et au manque d'ambiguïté que ces outils digitaux exigent et qui freinent la liberté et l'abstraction nécessaires aux phases précoces de la conception. Dessiner à l'aide d'outils de CAO implique, à partir d'un panel de possibilités définies dans un menu, de sélectionner un outil, placer et positionner l'objet dans le canevas et définir les opérations à exécuter sur l'objet. Ces outils reposent sur un mode d'interaction requérant une explicitation complète des actions à effectuer¹. Cette façon de travailler s'écarte des environnements traditionnels – crayon, papier ou tableau – dans lesquels l'utilisateur choisit un outil et traduit ses idées librement, sans être contraint à des modalités de travail prédéfinies. À l'inverse cependant, les systèmes digitalisés offrent des avantages sur le papier-crayon tels que des facilités d'enregistrement et de stockage, durabilité et permanence, méthodes rapides de recherche pour des éléments stockés (MacGown *et al.*, 1998).

Dans le domaine de l'architecture, le dessin est souvent considéré par les architectes comme un outil versatile, permettant tous les styles et toutes les compositions. La représentation sur papier offre une grande clarté à la conception. Selon Graves (1981), la tension des lignes sur le papier possède une prégnance qui décrit des possibilités qui ne pourraient être imaginées seulement dans la pensée. L'importance des représentations utilisant le papier est encore soulignée par Lawson (1997) pour qui le dessin papier-crayon médiatise et facilite les pensées. Les idées de conception émergent comme le résultat de cette interaction. Le concepteur peut de la sorte externaliser sa pensée. Tout en dessinant, le concepteur réfléchit à ce qui est représenté. Il construit des hypothèses et les vérifie par une exploration graduelle d'un ensemble d'idées de conception dans un processus d'essais et erreurs.

2.3 Objets de la conception : esquisses et dessins digitaux

Trois différences essentielles expliquent l'utilisation préférentielle du dessin à main levée en comparaison avec les représentations digitales (McCall *et al.*, 2001).

- Le croquis est *abstrait et ambigu*, donc adapté à des étapes peu développées d'un projet. Les dessins digitaux, aux contours rigoureux, sont considérés comme plus finis et moins créatifs que les esquisses traditionnelles, floues et réalisées à main levée (Brown, 2003). Les concepteurs ont besoin de liberté, d'ambiguïté et d'imprécision pour créer rapidement les objets qu'ils ont en tête (Aliakseyeu, 2002).
- La conception est un *processus non destructif* au cours duquel les dessins sont progressivement transformés jusqu'à ce qu'une solution finale soit atteinte, alors que les logiciels de CAO impliquent une suppression des éléments préalables en cours de conception.
- Enfin, lorsqu'il esquisse son projet, le concepteur produit une *large collection de dessins inter-reliés*, alors que les systèmes de CAO construisent un modèle unique, isolé du processus global.

¹ AutoCAD ou Form-Z en sont des exemples très parlants (Schweikardt et Gross, 2000).

Alors que les représentations digitales possèdent un caractère univoque, l'esquisse est suffisamment floue pour permettre l'émergence de découvertes inattendues (Verstijnen *et al.*, 1998). Les croquis, externalisations de la pensée du concepteur, permettent de représenter des états intermédiaires de l'objet architectural. Mais outre cette fonction de présentation et de conservation de l'information, ils jouent véritablement un rôle médiateur entre le concepteur et sa solution. Ils sont des artefacts cognitifs au sens de Norman (1991), permettant d'étendre les capacités cognitives de l'individu. Ils sont de riches supports à la créativité : grâce au caractère ambigu du dessin, de nouvelles idées peuvent émerger de la visite d'esquisses préalables. L'architecte garde donc volontairement une imprécision à l'esquisse pour éviter un enfermement trop rapide dans une solution unique et pour se préserver une marge de manœuvre en cas d'imprévus au cours de son processus.

Les études scientifiques de l'esquisse ont également permis la description des opérations qui émergent de la production d'esquisses successives, notamment les *transformations latérales*, où le mouvement passe d'une idée à une autre idée légèrement différente, et les *transformations verticales* qui traduisent le mouvement d'une idée vers une version plus détaillée de la même idée (Goel, 1995). Goel montre aussi que, grâce à leur densité syntaxique et sémantique ainsi que leur ambiguïté, les esquisses à main levée jouent un rôle important dans l'activité exploratoire. Il suggère que les propriétés du dessin à main levée facilitent les transformations latérales et préviennent des fixations précoces.

L'esquisse de conception possède des caractéristiques graphiques différentes des représentations digitales produites par des logiciels de CAO (Leclercq et Elsen, 2007 ; Leclercq, 2005). On observe que les traits de l'esquisse sont peu variés (types de pointillés, couleurs, épaisseur...) et qu'ils sont d'une grande imprécision. Le dessin est incomplet et c'est via une accumulation de traits parfois redondants que la forme émerge. Plusieurs solutions au problème architectural coexistent souvent sur un même croquis. Ce type de dessin présente un caractère extrêmement personnel qui limite sa compréhension par une autre personne. Au contraire, les plans nets construits sur outils de CAO sont tout à fait complets et précis. Ils contiennent une représentation unique de l'objet architectural. Les traits utilisés sont très variés et entièrement codifiés. Le dessin est parfaitement communicable et construit dans ce but.

2.4 Systèmes d'aide à la conception innovants : enjeux d'une aide à la conception préliminaire

Bien que l'architecture dispose de modules logiciels de calculs très efficaces en vue d'évaluer le comportement et la performance du bâtiment, ceux-ci n'interviennent que très tard dans le processus de définition du bâtiment, comme l'illustre la figure 1. Alors que les architectes décident toujours de débiter leur travail sur papier, comment peut-on les aider tôt dans leur activité ? Afin de répondre à cette question, plusieurs outils d'assistance à la conception préliminaire en architecture ont été développés depuis plusieurs décennies.

L'origine des systèmes graphiques interactifs est généralement située en 1963 avec le prototype Sketchpad (Sutherland, 1963). Ce système, révolutionnaire pour l'époque, définit les principales caractéristiques des applications graphiques interactives qui ne se développeront pourtant qu'une vingtaine d'années plus tard. Bien que ce système ait principalement défini les fonctions traditionnelles des

logiciels de DAO (zoom, modélisation par contraintes, etc.) l'utilisation du *light pen* en fait aussi le premier système de manipulation directe de dessins.

Au début des années 70, la plateforme HUNCH est développée au MIT (Negroponte, 1972 ; Hérot, 1976). Il s'agit du premier système supportant le dessin d'esquisses architecturales à main levée. HUNCH fonctionne en temps réel et envisage, déjà à l'époque, la plupart des problématiques qui sont encore d'actualité dans les systèmes actuels : notamment l'interprétation de croquis perspectifs, le surlignage, la création d'un modèle topologique du bâtiment.

Les années 80 sont marquées par l'apparition des interfaces WIMP (*Windows, Icons, Mouse, Pointing*). Cette période voit le développement et la progressive démocratisation des outils de CAO comme Autocad, Archicad ou AllPlan. Peu d'attention est alors portée sur la conception préliminaire. Quelques recherches sont cependant menées, comme Pavlidis et Van Wyk (1985) qui propose un système de remise au net d'une esquisse en inférant les contraintes graphiques (parallélisme, perpendicularité,...) entre les objets composant le croquis.

Vers le milieu des années 90, alors que presque tous les bureaux d'architecture sont largement informatisés, le constat de l'échec des logiciels de CAAO à assister les premières phases de conception entraîne un regain d'intérêt pour les interfaces à stylo, notamment dû aux nouveaux périphériques de capture disponibles sur le marché.

Différents paradigmes vont alors être développés pour amener l'ordinateur dans les premières phases de conception. Nous en distinguons trois.

Les environnements digitaux utilisant l'analogie avec les outils traditionnels de l'architecte

Ces outils ne proposent pas d'interpréter le travail de l'architecte mais simplement de transposer dans un environnement informatique les outils traditionnellement utilisés en conception préliminaire : papier, crayons, gomme, feutres, calques, etc.

Les « *translucent patches* » (Kramer, 1994) insistent sur l'utilisation de la transparence et proposent une métaphore informatique du calque. *Electronic Paper* (Aliakseyeu *et al.*, 2006) propose un environnement multimodal alliant geste et dessin pour supporter les activités de conception comme la manipulation et l'annotation d'images.

Les outils d'interprétation de croquis 2D

The Electronic Cocktail Napkin (Gross, 1994) et les différentes applications qui lui ont été associées par la suite, permettent l'interprétation de diagrammes et de croquis simples pour différentes applications comme l'accès à une base de cas architecturale. Avec *Structural Sketcher* (Pranovich *et al.*, 2002), l'architecte développe son projet à partir « d'unités graphiques » du type *grilles, contours, circulations*, etc. tandis que le système interprète les relations et maintient la cohérence du modèle lors de l'évolution du projet. Bien que ce système ne travaille pas avec des croquis à main levée, les unités graphiques sur lesquelles il se base sont des concepts utilisés en conception préliminaire.

Les outils de modélisation 3D adaptés à la conception préliminaire

L'interaction avec les outils de modélisation 3D n'est généralement pas suffisamment fluide pour être exploitable de manière efficace en conception préliminaire. Plusieurs outils ont donc cherché d'autres modes d'interaction.

DDoolz (de Vries et Achten, 2002) par exemple est basé sur l'agencement de volumes simples tandis que le modèleur commercial Sketchup associe des techniques de modélisation 3D et de dessin 2D. Étendant cette approche, Wetzel *et al.* (2007) proposent d'utiliser des opérateurs architecturaux plutôt que géométriques pour manipuler les objets dans le modèleur 3D.

La solution que nous proposons s'inscrit à la fois dans ces trois catégories. EsQUIsE est en effet un logiciel d'interprétation d'esquisses en plan annotées à main levée qui permet la construction en temps réel d'une maquette virtuelle du bâtiment, puis de naviguer dans le modèle 3D. EsQUIsE se positionne ainsi volontairement dans la phase amont du processus de conception.

Les technologies utilisées dans les phases de production reposent encore sur une définition exhaustive de l'objet architectural, ce qui rend impossible leur utilisation dans les phases précoces de la conception. Or à ce stade, les problèmes survenant peuvent soit contraindre à abandonner le projet, soit forcer à une approche corrective du bâtiment. Par exemple, un excès de vitrages sur une façade exposée du bâtiment peut impliquer des problèmes de surchauffe. Si ce problème est détecté trop tard, compte tenu des ressources déjà engagées, l'architecte ne pourra, dans le meilleur des cas, qu'adjoindre un système de climatisation étendu ou, dans le pire des cas, se verra refuser l'obtention du permis nécessaire et sera contraint d'abandonner le projet. Plus le projet avance, plus les erreurs – potentiellement présentes à l'étape de l'esquisse – s'avèrent coûteuses (Perrin, 1999). Dès lors l'enjeu est d'insérer des évaluateurs performants du bâtiment au cœur même de la conception dès les premières esquisses.

Pour y parvenir, nous avons défini le concept d'esquisse augmentée (Leclercq, 2005). Celui-ci consiste à offrir un environnement naturel au concepteur pour dessiner, en gardant le caractère spontané du croquis de conception, tout en tirant parti de la puissance de calcul de l'ordinateur pour interpréter ses esquisses et ainsi apporter des aides à la conception dans les étapes préliminaires de celle-ci.

Comme nous le verrons, la réponse que nous tentons d'apporter s'inscrit dans un système de réalité mixte, permettant des interactions entre un environnement réel (le dessin d'esquisse) et un environnement virtuel (l'interprétation et l'évaluation du bâtiment). La philosophie de ces systèmes est d'accroître les capacités de l'utilisateur à percevoir des données ou à exécuter des tâches sans le couper de son environnement physique en brisant la frontière réel/virtuel (Dubois, 2001). Or, cette frontière est particulièrement marquée dans la succession des productions graphiques de l'architecte. Notre solution s'inscrit dans la mouvance de la technologie invisible en insistant sur la fluidité entre les mondes réels et virtuels (Norman, 1998 ; Russell *et al.*, 2005). Appliqués au domaine de l'architecture, les concepts de *simplicité* (la complexité doit rester au niveau de la tâche et non au niveau de l'outil), de *versatilité* (les appareils doivent être conçus pour encourager des interactions créatives et nouvelles) et de *plaisir* (les outils doivent être plaisants et amusants) prennent une signification particulière que nous avons tenté de traduire dans le prototype que nous présentons.

3 EsQUIsE et le Bureau Virtuel de conception

Le Bureau Virtuel et EsQUIsE forment un système d'aide à la conception architecturale au stade de l'esquisse. Toute unité de traitement de l'information disparaît de la vue et de la conscience des utilisateurs afin de ne pas interrompre le flux créatif de l'architecte. Deux idées principales sont à la base du développement

de ce logiciel d'interprétation d'esquisses architecturales : d'une part, permettre à l'architecte de créer librement son bâtiment à partir d'esquisses numériques et, d'autre part, apporter des aides à l'évaluation précoce de sa conception. Une description des caractéristiques principales d'EsQUIsE et du Bureau Virtuel nous permettra de comprendre la mise en pratique de ces idées².

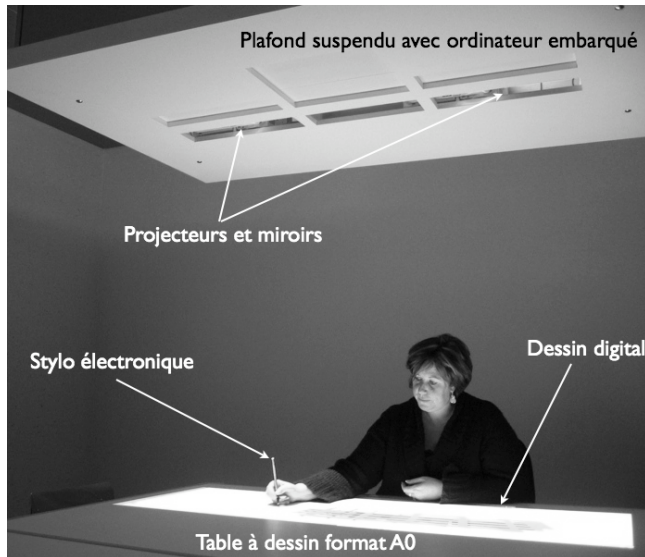


Figure 2. *Bureau Virtuel*

Le Bureau Virtuel (figure 2) se compose d'une table digitale de format A0 s'apparentant à une table à dessin traditionnelle. 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. Un plafond suspendu accueille l'unité centrale ainsi que deux projecteurs destinés à l'affichage de l'image de travail sur la table.

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.

Grâce à un système d'infographie floue, le module de saisie permet de reconnaître de manière séquentielle les traits dessinés (figure 3) et leur assigne différentes propriétés. De même, les légendes écrites sont reconnues et interprétées. Ces informations alimentent la construction, en temps réel, d'un modèle géométrique du dessin en cours.

² Nous donnons ici une description succincte du logiciel *EsQUIsE*, du Bureau Virtuel et de leurs caractéristiques techniques. Pour une description plus complète, voir Leclercq (1999, 2004), Leclercq et Juchmes (2002), Juchmes *et al.* (2004, 2005) et Safin *et al.* (2005). Voir aussi le site web du Lucid Group : <http://www.arch.ulg.ac.be/Lucid>

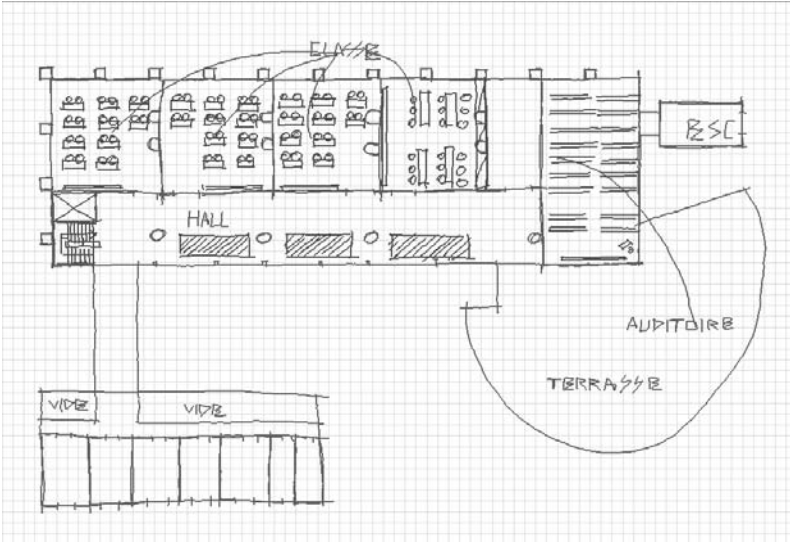


Figure 3. Dessin à main levée sur EsQUIsE

Le second module, dit d'interprétation, est chargé de traduire l'information géométrique issue de la saisie en un modèle fonctionnel de l'objet dessiné. L'outil reconnaît ainsi différents éléments comme les espaces-fonctions, les murs ou encore les annotations. Par exemple, un cercle, en fonction du contexte, pourra être interprété comme une pièce ronde, comme une colonne ou encore comme la lettre « o ». Le mécanisme de reconnaissance est réalisé par un système multi-agents en mesure de choisir le plus probable des scénarios de reconnaissance potentiels. Ceci se passe sans que le concepteur en soit informé en vue de ne pas perturber son action.

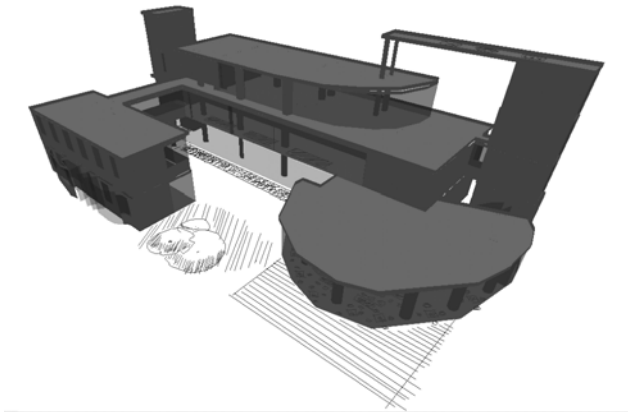


Figure 4 : Modèle 3D autogénéré par EsQUIsE

Enfin, une série d'évaluateurs alimentés par le modèle fonctionnel sont disponibles à la demande du concepteur. Le système est capable par exemple de construire un modèle en trois dimensions pour visualiser la forme du bâtiment

(figure 4), d'en calculer la performance thermique en temps réel et de donner une estimation des besoins énergétiques (en termes de chauffage et de climatisation).

La figure 5 présente la dernière version de l'interface du logiciel, qui se veut aussi épurée que possible.

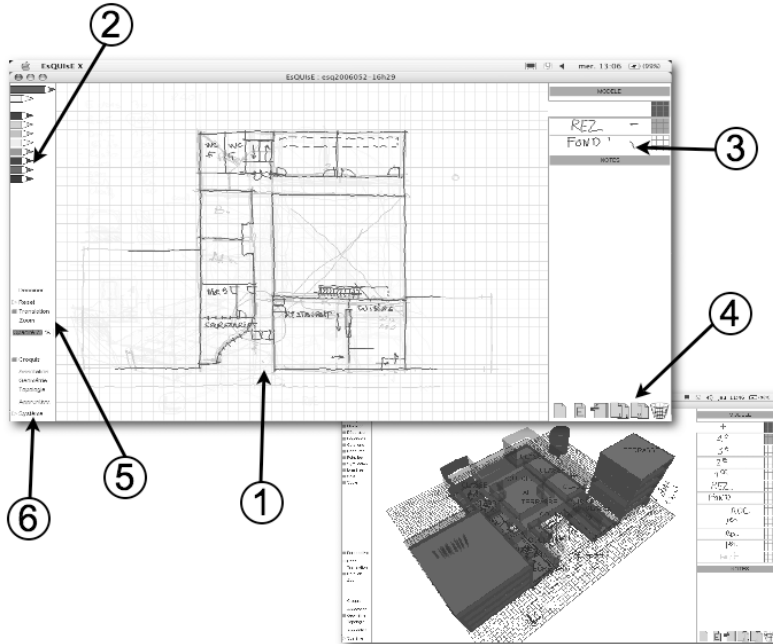


Figure 5. Interface EsQUIsE version 2

Une zone large (1) permet le dessin sur des calques virtuels à l'aide d'une palette de crayons et d'une gomme virtuels (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.

Notons que cette interface correspond au deuxième prototype d'EsQUIsE. Le premier prototype, qui a aussi été utilisé dans cette étude, répond à la même logique mais possède quelques différences : les plus significatives concernent la permanence du modèle 3D et la disposition de la zone des calques. Dans le prototype 1, le modèle 3D est présent dans une fenêtre séparée du croquis, ce qui permet l'affichage du croquis et de la 3D en même temps. Dans le deuxième prototype, la 3D et le croquis sont deux modes de la même zone de travail, ce qui empêche leur

affichage simultané. La zone des calques est présentée de manière horizontale en bas de la zone de travail dans la première version, et de manière verticale dans la deuxième (zone (3) dans la figure 5).

Ce prototype, en développement depuis plusieurs années, est régulièrement testé dans différents contextes. Aux dires des différentes personnes l'ayant essayé – architectes, étudiants ou utilisateurs tout-venant – ce prototype possède un grand intérêt et répond à de réels besoins en architecture. Néanmoins, ces réflexions ont émané de courtes séances de tests et n'étaient basées sur aucune étude d'usage réelle. Des remarques implicites de ces « testeurs » ont émergé des questions que les développeurs de l'équipe se posent. A savoir, nous nous interrogeons sur la réelle utilité de ce dispositif pour une tâche de conception dans sa globalité. Nous cherchons aussi à comprendre les inévitables modifications de l'activité que ce système peut induire, afin de continuer le développement dans une voie qui soit ancrée dans le contexte de l'activité de conception et qui puisse réellement servir l'architecture.

4 Méthode

Comme nous l'avons envisagé précédemment au sujet du croquis, nous envisagerons l'ensemble des relations du triangle sujet-objet-instrument avec EsQUIsE, en comparaison avec les activités outillées par le papier-crayon.

- Nous cherchons à comprendre l'usage qui est fait du modèle en trois dimensions autogénéré. En quoi sert-il l'activité ? Comment les usages de ce modèle 3D s'inscrivent-ils par rapport aux autres représentations décrivant le bâtiment comme les coupes, élévations ou dessins en perspective (relation Sujet – Instrument) ?
- Tout système implique nécessairement un certain nombre de contraintes notamment relatives à l'objet de l'activité. Par l'ouverture du champ des possibilités qui sont offertes au sujet, les contraintes sur la finalisation de son action ou sur les modalités d'existence de l'instrument, l'objet de l'activité va en partie être modifié (Rabardel, 1995). Dans le cas qui nous occupe, nous cherchons à comprendre si l'introduction d'EsQUIsE et du Bureau Virtuel change la nature des esquisses de conception (relation Instrument-Objet).
- L'introduction d'une nouvelle technologie fait émerger de nouvelles formes d'activité. Nous cherchons ici à savoir si des organisations émergentes de l'activité de conception découlent de l'introduction d'EsQUIsE et du Bureau Virtuel. Partant du postulat qu'une représentation 3D autogénérée a sans doute un impact direct sur la façon dont les étages du bâtiment sont conçus les uns par rapport aux autres, nous nous intéressons particulièrement à ce que nous appelons la « conception en superposition ». Les différents étages d'un bâtiment doivent en effet présenter une certaine cohérence entre eux qui implique l'interdépendance de leur conception. Quelles stratégies les architectes mettent-ils en place pour assurer cette cohérence ? Quelles ressources utilisent-ils pour ce faire ? Ce thème, spécifique à l'architecture n'a, à notre connaissance jamais été traité comme tel dans la littérature. Notre étude ambitionne donc de comprendre cette activité spécifique et d'évaluer comment l'environnement du Bureau Virtuel et d'EsQUIsE la modifie et la structure (relation Sujet-Instrument-Objet).

Pour répondre à ces trois questions, nous avons choisi un dispositif d'analyse qualitative de comparaison de l'activité de conception de trois étudiants de dernière année de la filière ingénieur architecte³. Ceux-ci ont été observés dans trois situations différentes, dont les caractéristiques sont synthétisées dans le tableau suivant.

Situation	Papier-crayon	Prototype 1	Prototype 2
Participant	Participant 1	Participant 2	Participant 3
Outils	Calques réels et crayons	Calques virtuels et palette graphique EsQUIsE	Calques virtuels et palette graphique EsQUIsE
3D	Pas de modèle 3D	Modèle 3D permanent	Modèle 3D sur demande

Tableau 1. *Situations observées*

La première situation, en tant qu'environnement naturel, sert de situation de référence. Les deux autres permettront d'identifier l'impact de la 3D ainsi que de l'environnement EsQUIsE. Les situations 2 et 3 diffèrent par le degré de présence du modèle. Dans la situation « Prototype 1 », le modèle est présent en permanence, dans une fenêtre coexistant avec celle des croquis, alors que dans la situation « Prototype 2 », l'utilisateur doit choisir entre l'affichage de ses croquis et celui du modèle.

4.1 Choix des participants

Les participants sont des étudiants en fin de formation. Ils ont tous la même expérience des tâches de conception, ce qui permet d'éviter un biais éventuel lié à la forte variabilité de l'expertise, comme on la trouverait chez des architectes professionnels qui ont chacun développé des pratiques très différentes. En outre, confrontés à de nombreux projets de nature similaire au cours de leurs cinq années d'études, ces étudiants peuvent être considérés comme un public expert pour la tâche concernée.

4.2 Tâche

Nous avons fait le choix d'un problème architectural simplifié mais réaliste, accessible aux étudiants de dernière année. L'observation d'activités de conception *in situ* s'avère en effet compliquée et coûteuse, tant cette activité est distribuée dans le temps et dans l'espace.

La tâche proposée aux étudiants ingénieurs architectes est la conception préliminaire d'une école secondaire professionnelle de deux cent quarante élèves. Proposé depuis dix ans, cet exercice pédagogique est représentatif d'un problème de conception courant rencontré par les architectes dans leur pratique, tout en étant adapté à des étudiants, dans la mesure où il s'agit ici d'une conception préliminaire ne faisant pas appel à l'ensemble des compétences de gestion des architectes professionnels. Les contraintes particulières du bâtiment à concevoir, décrites dans un cahier des charges donné en guise d'énoncé, sont de plusieurs ordres. Certaines sont liées au terrain (Figure 6) : un arbre remarquable et un décrochement

³ La formation d'architecte en Belgique est possible via deux filières : par des écoles supérieures d'architecture ou par une formation universitaire d'ingénieur civil. Les étudiants qui ont participé à l'expérience terminent la formation d'ingénieur civil architecte.

important dans le relief du terrain (marche) et ce, afin de susciter une réflexion sur la superposition des niveaux du bâtiment. D'autres sont des contraintes précises d'adjacence et de surface des différents espaces, classiquement rencontrées dans ce type de programme architectural. Enfin, une contrainte urbanistique a été ajoutée : les toitures doivent être horizontales⁴. L'exercice est calibré de sorte qu'il puisse être réalisé dans un laps de temps maximum de quatre heures.

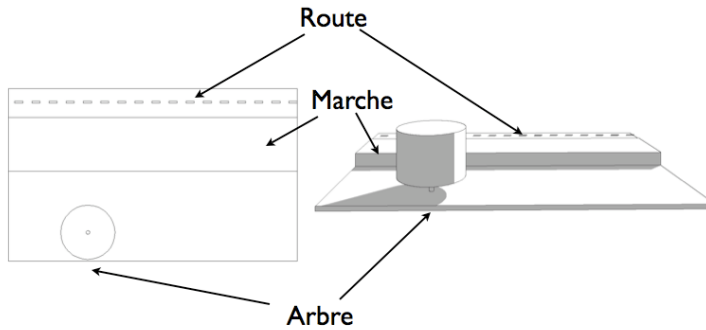


Figure 6. Schéma du terrain comprenant l'emplacement de la route, la marche et l'arbre remarquable. En plan (à gauche) et en perspective (à droite).

4.3 Dispositif

L'exercice est précédé d'une séance de préparation visant dans un premier temps à présenter les tâches et consignes de l'exercice, ensuite à effectuer une démonstration du Bureau Virtuel et d'EsQUIsE ainsi qu'à fournir l'occasion de se familiariser avec l'environnement pendant une demi-heure. L'objectif de l'exercice à proprement parler est de réaliser une version préliminaire du bâtiment suffisamment complète pour inclure les concepts principaux. La gestion des temps de pause est laissée aux étudiants. Il est demandé aux concepteurs de « parler tout haut » c'est-à-dire d'exprimer en permanence leurs « pensées brutes » sans chercher un discours construit ou même cohérent.

Chacune des activités est observée et intégralement filmée par deux caméras, l'une en vue frontale pour appréhender l'ensemble de la scène et l'autre en vue plongeante afin de capturer la création des dessins. Les figures 7 et 8 montrent ces dispositifs d'observations.

Dans l'environnement papier-crayon (figure 7), le concepteur dispose de feuilles de papier, d'un rouleau de papier calque, de plusieurs crayons et surligneurs ainsi que de lattes, équerres et d'une calculatrice. Dans les deux autres situations (figure 8), les concepteurs travaillent sur le Bureau Virtuel, chacun utilisant une version du logiciel EsQUIsE (Prototype 1 et Prototype 2). Ils disposent tous deux d'un stylo digital et d'une palette virtuelle permettant l'utilisation de plusieurs couleurs. Lors de ces séances, le concepteur travaille seul. Les autres personnes présentes sur les photos sont des observateurs étudiants architectes et ergonomes.

⁴ Cette dernière contrainte qui est cependant réaliste, a été mise en place afin que le logiciel EsQUIsE puisse interpréter les esquisses pour en faire un modèle 3D correct. En effet, la construction du modèle se fait actuellement par extrusion verticale. Il s'agit en réalité de 2,5D : les plans sont projetés verticalement de manière fixe. Il n'est donc pas possible de générer des toits en pente.



Figure 7 : *Environnement papier-crayon*



Figure 8 : *Environnement du Bureau Virtuel*

4.4 Traitement des données

Le choix méthodologique du traitement de données porte sur une approche de type qualitative. L'idée est, à l'instar de Mac Gown *et al.* (1998) ou de Suwa *et al.* (1998), d'accorder une préférence à une analyse qui porte sur un nombre limité de participants mais basée sur une compréhension de l'activité de conception dans ses détails. Cette méthodologie permet de rencontrer la visée exploratoire de nos questions de recherche.

Le traitement consiste en l'analyse approfondie des vidéos et des productions graphiques issues des activités, soit environ dix heures d'enregistrement vidéo (trois heures à trois heures trente par activité, pauses exclues).

- Afin de comprendre la conception en superposition, nous identifions, dans le cours de l'activité, les niveaux du bâtiment sur lesquels le concepteur travaille. Le travail sur ces différents niveaux est regroupé sur des lignes du temps, qui permettent d'appréhender la façon dont l'activité se déroule chronologiquement.
- Pour l'usage des représentations tridimensionnelles, nous notons les moments de tracé des coupes, des élévations et des dessins en perspective, ainsi que des manipulations du modèle 3D autogénéré. Ces deux derniers types d'actions sont aussi intégrés dans les lignes du temps.
- Enfin, une analyse des productions graphiques présentes sur les différents calques – virtuels ou réels – nous permet de caractériser les multiples dessins, notamment les différences observables suivant les environnements. Les dimensions qui nous intéressent sont celles que nous avons décrites au point 2.3, à savoir la complétude du dessin, la variabilité, la précision et le degré d'accumulation des traits ainsi que la coexistence de plusieurs solutions.
- Sans prétendre à une analyse exhaustive des protocoles verbaux, nous relevons quelques unes des verbalisations spontanées qui nous semblent éclairantes sur certains sujets.

5 Résultats

Les trois premières parties des résultats consisteront en une description de chacune des activités observées. Elles seront chacune subdivisées en une identification des outils utilisés (pôle instrument), une analyse des productions graphiques (objet de l'activité), un schéma du déroulement de l'activité sous forme de lignes du temps et une première mise en lumière des démarches de conception en superposition. La partie suivante traitera spécifiquement de ce point via une

analyse comparative des trois activités. La dernière partie des résultats concernera l'utilisation du modèle 3D dans ces activités.

5.1 Situation 1 : Environnement papier-crayon

Outils

Dans l'environnement papier-crayon, nous observons que le concepteur utilise un nombre important de calques ainsi que plusieurs crayons, stylos, marqueurs et surligneurs. Les papiers et calques utilisés sont de tailles différentes, principalement les calques, découpés à partir d'un rouleau. Il utilise aussi une latte, une équerre et une calculatrice.

Productions graphiques

L'activité est caractérisée par la production d'une succession de dessins de brouillons qui sont régulièrement mis au net. Ces esquisses de brouillon, dessinées exclusivement au crayon, comprennent effectivement les caractéristiques de l'esquisse de conception : peu de variabilité et peu de précision dans les traits, incomplétude du dessin, accumulation de traits et coexistences de plusieurs solutions. En outre, de nombreuses annotations sont présentes (cotations, notes, calculs...).

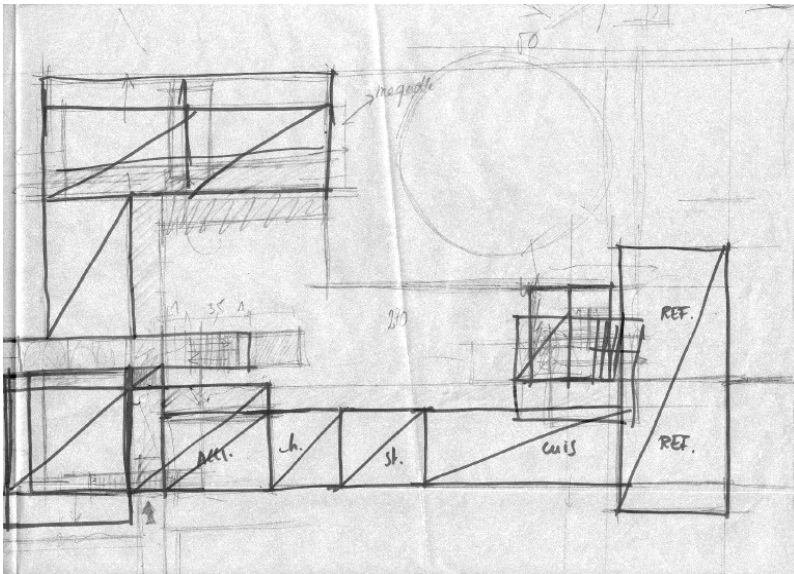


Figure 9. Plan du rez-de-chaussée dans la situation 1

Lors des mises au net, le concepteur utilise des marqueurs de différentes couleurs. Le dessin se différencie : 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 esquisses nettes servent ensuite de base à de nouvelles esquisses de brouillon. Ainsi, ces deux types de productions graphiques coexistent sur les mêmes calques. Le processus de mise au net consiste à choisir, parmi l'ensemble des traits présents sur l'esquisse de brouillon, lesquels sont déterminants pour arrêter temporairement une solution.

Le bâtiment conçu comporte trois niveaux : un niveau inférieur sous le décrochement, un niveau 0⁵ et un niveau supérieur. Il comporte deux ailes : une réservée aux classes et l'autre (sur la marche) allouée aux services administratifs et commodités.

La figure 9 montre la dernière version du rez-de-chaussée. On peut y voir la coexistence de traits épais aux marqueurs (mise au net) et de nombreux traits fins au crayon (brouillon)

Déroulement de l'activité

Le déroulement de l'activité de conception en superposition se schématise comme suit (figure 10).

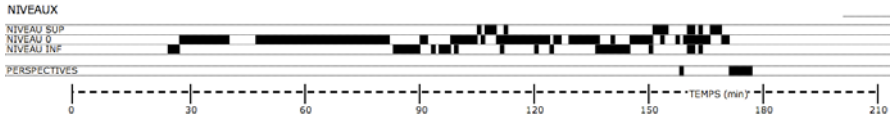


Figure 10. Déroulement de l'activité papier-crayon

En ce qui concerne la conception en superposition, cette activité s'organise en trois périodes bien distinctes.

- **Un travail sur l'énoncé.** Globalement, on remarque que les productions graphiques des vingt cinq premières minutes ne concernent aucun des étages. Il s'agit d'une première période au cours de laquelle le concepteur commence par l'annotation de la feuille d'énoncé et par l'appropriation et l'organisation des informations relatives au bâtiment. Les surfaces de chaque espace sont calculées et l'encombrement total des différents espaces est évalué.
- **Un travail sur le rez-de-chaussée.** On observe ensuite une longue période de travail exclusivement sur le rez-de-chaussée (jusqu'à quatre-vingt minutes). Une première esquisse de la forme du bâtiment est créée à partir d'un concept de positionnement autour de l'arbre remarquable. Plusieurs versions de cette esquisse sont produites et corrigées dans cette première étape de conception. Cette formalisation initiale du bâtiment n'est envisagée qu'au niveau du rez-de-chaussée et servira de base à la conception de l'ensemble du bâtiment. Les décisions majeures sur l'agencement des espaces et la disposition du bâtiment sont prises lors de cette période. Une fois l'agencement des principaux espaces décidé, le concepteur réalise un premier plan à l'échelle. Il s'agit d'une mise au net et à l'échelle des esquisses conceptuelles de l'étape précédente. Le travail se termine par une série de décisions concernant le niveau supérieur.
- **Un travail sur les trois niveaux.** On observe ensuite que les dessins produits concernent les trois niveaux jusqu'au terme de l'activité. En fait, le concepteur dessine trois versions de l'ensemble du bâtiment, grâce à un travail en parallèle sur plusieurs plans des étages. Entre chacune de ces versions, les esquisses de la version précédente sont remises au net. Cette mise au net des esquisses a un rôle particulier : chacune des versions du bâtiment démarre par la mise au net de la version précédente. A noter que le concepteur termine son activité par un dessin en perspective du bâtiment afin d'en vérifier sa volumétrie.

On peut donc constater une distinction entre une période de définition des grandes lignes conceptuelles qui prennent place sur un seul niveau, suivie

⁵ Notons que c'est le concepteur lui-même qui situe le niveau 0 au-dessus de la marche.

d'itérations (trois versions) d'un travail de résolution sur les trois niveaux en parallèle.

Démarche observée

Nous pouvons observer que tout au long de l'activité, le concepteur procède par bouclage. Régulièrement, il effectue un certain nombre d'essais sur une partie du bâtiment, puis évalue les répercussions des nouveaux éléments sur d'autres parties du bâtiment et sur les autres niveaux préalablement définis. Les changements opérés entraînent de nouvelles contraintes à prendre en compte pour la conception des autres parties. Ainsi, il procède à de nombreux allers-retours entre les différentes zones du bâtiment et entre les différents niveaux, principalement dans la seconde moitié de l'activité. Chaque changement induit des contraintes qui impliquent des modifications dans d'autres parties ou sur d'autres étages, qui elles-mêmes induisent de nouvelles contraintes à résoudre. Ce mécanisme se déroule de la même manière avec les nombreux plans de détail réalisés. Les décisions prises sur ces plans de détail sont reportées par propagation sur les plans d'ensemble.

À des moments clés, il remet l'ensemble de ses décisions au net sur de nouveaux calques. Ces calques mis au net serviront de base à la suite de la conception.

Situation 2 : Bureau Virtuel et EsQUIse première version (Prototype 1)

Outils

Dans cette situation, le concepteur travaille principalement avec le stylo de couleur rouge de la palette graphique. La couleur noire – la seule interprétée par le logiciel – est utilisée uniquement à des fins de mise au net. La gomme digitale est aussi utilisée sur certains dessins.

Productions graphiques

On voit rapidement apparaître une distinction entre deux types de dessins, répartis sur des calques spécifiques.

- Des esquisses de brouillon. Correspondant aux esquisses de conception observées dans la situation papier-crayon, ces esquisses sont tracées exclusivement en rouge et sont réparties sur des calques « brouillons » (figure 11). Elles sont des lieux privilégiés d'exploration. De nombreux traits, souvent imprécis, se superposent et sont rarement effacés. De nombreuses solutions et concepts coexistent. De nombreuses annotations et dessins de détails sont présents sur ces calques.
- Des esquisses « propres » et mises au net. Ces dernières apparaissent plus soignées que les premières. Les traits sont plus droits et plus précis. Chaque trait représente une paroi et chaque paroi est représentée uniquement par un trait. Elles sont toutes présentes sur des calques « nets » (un par niveau) et tracées exclusivement en noir (figure 12). Sur ces calques, le concepteur utilise fréquemment la gomme digitale. Ce n'est qu'en fin d'activité que le concepteur annote ses calques « nets » avec des traits de couleur rouge, principalement pour nommer les espaces définis et pour ajouter des éléments secondaires importants (escaliers, mobilier...).

La figure 11 est un exemple de calque de brouillon. La figure 12 montre le calque net de la dernière version du rez-de-chaussée. Le bâtiment comporte quatre niveaux, un sous-sol (au pied de la marche), le rez-de-chaussée et deux niveaux

supérieurs. Un bloc central, contenant les classes, sépare la cour de récréation en deux. Les autres fonctions du bâtiment sont situés du côté rue, sur la marche.

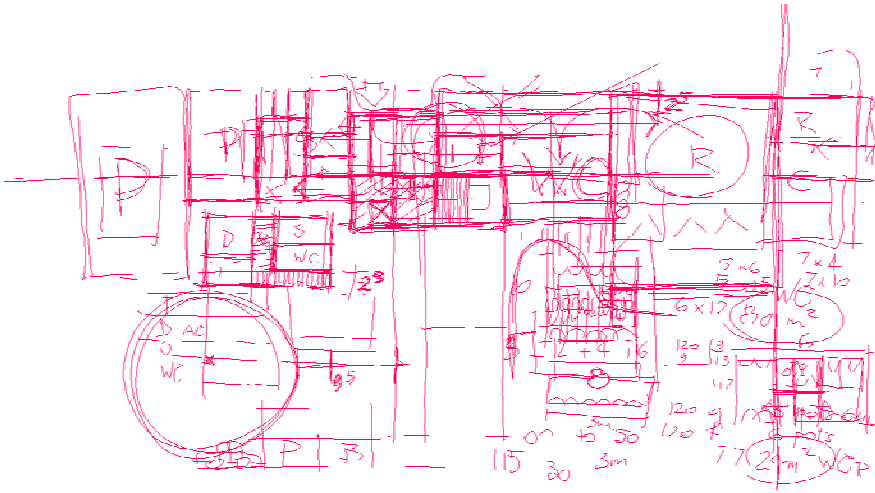


Figure 11. Plan digital du rez-de-chaussée et annotations sur calque « brouillon » dans l'activité Prototype 1

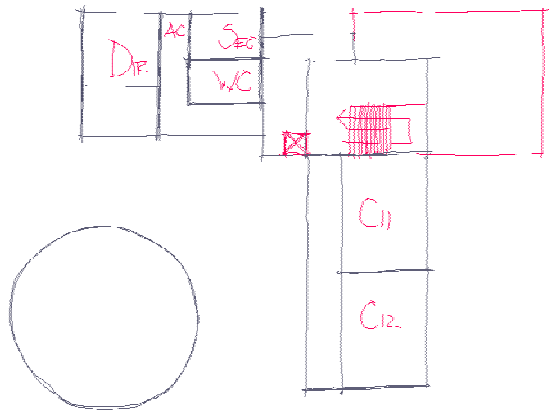


Figure 12. Dernière version du premier étage sur calque « net » dans l'activité Prototype 1

Déroulement de l'activité

Le déroulement de l'activité de conception en superposition peut être schématisée comme suit (figure 13).

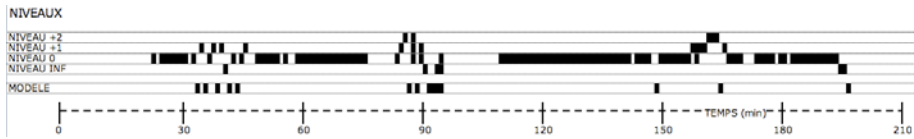


Figure 13. Déroulement de l'activité Prototype 1

- Au sein de cette activité se distinguent des périodes de nature différente.
- **Travail sur l'énoncé.** Cette activité commence aussi par la création d'un support rassemblant les informations pour la structuration et la planification du bâtiment : le calque « fond de plan ». Ce calque, au départ une planification de la répartition des surfaces (liste des pièces et des surfaces, graphe d'adjacence...) sera régulièrement utilisé tout au long de la conception comme aide-mémoire et complété de nouvelles informations. Le concepteur pose ensuite sa première hypothèse de répartition des pièces entre les différents étages et détermine la surface au sol du bâtiment.
 - **Travail sur le rez-de-chaussée.** La majeure partie de l'activité est un travail sur le rez-de-chaussée. On observe sur la figure 13 plusieurs longues périodes de travail sur le rez-de-chaussée uniquement. C'est lors de ces périodes que prend place l'essentiel du travail de recherche conceptuelle. Ce travail se fait exclusivement sur des calques de brouillon. Peu de calques sont utilisés et chacune de ces périodes correspond à une nouvelle version du rez-de-chaussée.
 - **Travail sur tous les niveaux du bâtiment.** A trois reprises, particulièrement visibles sur la figure 13, le concepteur travaille pendant un court instant sur l'ensemble des niveaux du bâtiment. En réalité, le concepteur met au net ses esquisses (avec la couleur noire, interprétée par le logiciel), sur de calques « nets ». Cette mise au net lui permet d'afficher un modèle 3D cohérent. A chacune de ces périodes, il manipule le modèle 3D. A noter que les mêmes calques nets sont conservés durant toute la conception. Ils ne sont ni supprimés ni remplacés, leur contenu est effacé et modifié.

C'est ainsi que se succèdent en plusieurs boucles des périodes de travail sur le rez-de-chaussée et sur l'ensemble des niveaux. Très tôt, le concepteur esquisse la forme du bâtiment en fonction de la surface par étage pour en évaluer l'encombrement. Rapidement ensuite, il met au net cette première forme sur les différents calques correspondant aux étages et manipule le modèle 3D en vue d'estimer principalement la pertinence de la localisation du bâtiment dans l'espace disponible et de vérifier le volume de la structure. Il travaille ensuite longuement sur le rez-de-chaussée avant d'effectuer une mise au net et de manipuler le modèle 3D. Deux autres versions de brouillon du rez-de-chaussée mèneront à des périodes de mise au net sur l'ensemble des niveaux.

Démarche observée

Le concepteur procède aussi par essais et erreurs. Néanmoins, on ne retrouve plus ce mécanisme de propagation de contraintes observé dans l'activité précédente (voir 5.1.). Ici, les décisions prises sur des calques de brouillon du rez-de-chaussée concernent souvent plusieurs parties du bâtiment, comme la localisation du couloir, similaire dans les différents niveaux. En fait, les contraintes sont toutes esquissées au brouillon sur un calque unique – du rez-de-chaussée – durant les longues périodes de travail sur ce niveau. Ces contraintes ne sont reportées sur l'ensemble du bâtiment qu'aux périodes de travail sur tous les niveaux. Lors de ces périodes, le concepteur redessine sur plusieurs calques « nets » ce qu'il a décidé préalablement

sur un seul calque « brouillon ». En fait il esquisse sur des plans du rez-de-chaussée les informations nécessaires au dessin de l'ensemble des niveaux du bâtiment.

5.3 Situation 3 : Bureau Virtuel et EsQUIse deuxième version (Prototype 2)

Outils

Les outils utilisés sont les mêmes que dans l'activité précédente : stylos digitaux et calques virtuels. Ici aussi la majorité du travail se fait en couleurs. La couleur noire, interprétée, n'est utilisée qu'à des moments précis et sur des calques particuliers.

Productions graphiques

Comme dans l'activité précédente, on observe ici l'émergence d'une différenciation entre deux types d'esquisses réparties sur des calques « brouillons » en couleurs et des calques « nets » en noir. Les annotations en couleurs sur calques « nets » sont cependant plus fréquentes et apparaissent plus tôt dans cette activité que dans la précédente : « *Je vais garder le noir pour quand c'est très important* ».

Le bâtiment comprend trois niveaux, mais cette fois, le rez-de-chaussée est défini par le concepteur comme l'espace au pied de la marche. La figure 14 montre un calque net, avec un calque de brouillon visible en transparence. Dans cette configuration, les dessins nets et de brouillon sont visuellement mêlés, tout en étant inscrits sur des supports différents, les calques spécialisés.

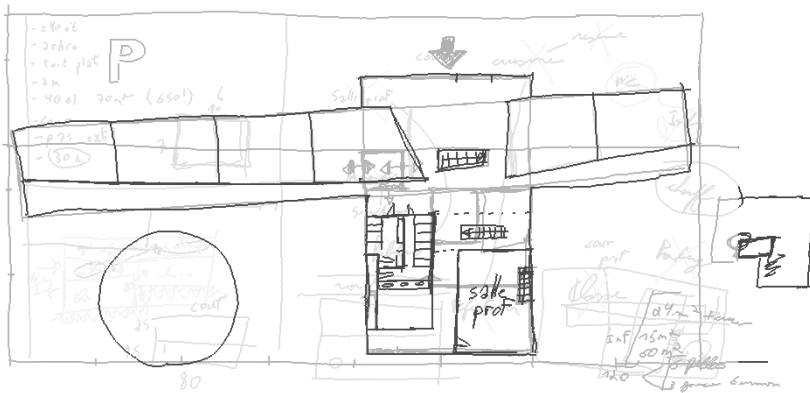


Figure 14. Esquisse digitale du premier étage du bâtiment sur calque 'net' avec un calque 'brouillon' en transparence, dans l'environnement Prototype 2

Le bâtiment est constitué d'un bloc central scindant la cour de récréation en deux et comprenant l'ensemble des espaces-fonctions, à l'exception des classes. Ces dernières sont situées dans deux ailes du bâtiment, sur la marche dans un axe légèrement décentré par rapport à celle-ci. Notons aussi que dans cette activité, le concepteur situe le rez-de-chaussée au pied de la marche du terrain.

Déroulement de l'activité

Le déroulement de cette activité est schématisée dans la figure 15.

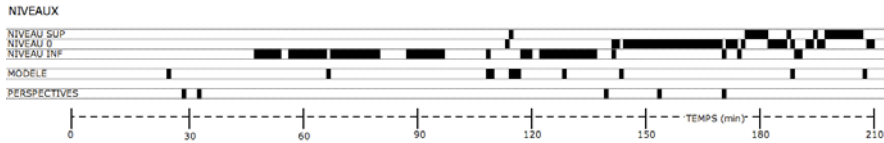


Figure 15. Déroulement de l'activité Prototype 2

- A nouveau, nous pouvons identifier trois types de périodes.
- **Travail sur l'énoncé et premières ébauches.** Durant la première période (environ 45 minutes), le concepteur s'approprie l'énoncé et structure les informations essentielles sur le calque « fond de plan » qu'il consultera fréquemment durant l'ensemble de l'activité. Ce calque lui servira également d'aide-mémoire pour vérifier l'ensemble des éléments de l'énoncé. Il explore aussi la forme générale du bâtiment, via plusieurs essais en plans et en coupes.
 - **Travail sur un seul niveau.** Une longue partie de l'activité concerne un travail sur le rez-de-chaussée. Il change fréquemment de calque pour résoudre des problèmes spécifiques (alignement de la façade...) à l'aide de représentations alternatives (plans de détails, esquisses simplifiées, coupes...). Le rez-de-chaussée défini, c'est le premier étage qui occupera majoritairement le concepteur (après 135 minutes), principalement pour l'aménagement intérieur de cet espace. Enfin, le deuxième étage sera aménagé, dans une période plus courte, en fin d'activité.
 - **Travail sur l'ensemble des niveaux.** Ici le concepteur, comme dans l'activité Prototype 1, travaille sur les calques au net, un par niveau. Il met au net sur tous les étages, ce qu'il a préalablement esquissé sur le calque « brouillon » d'un seul étage. Ici aussi ces périodes sont accompagnées de manipulations du modèle 3D en vue de vérifier le volume.

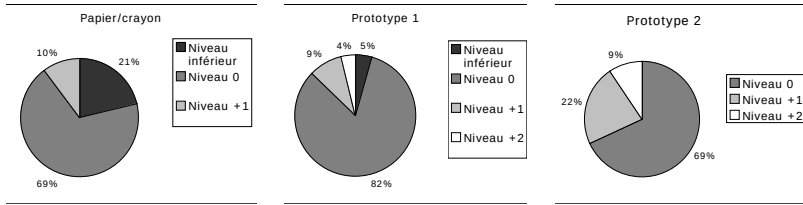
Dans cette situation, on retrouve donc le même type de déroulement que pour l'activité Prototype 1. La première période est la structuration de l'énoncé et la détermination de la forme globale du bâtiment. Ensuite, nous pouvons observer de longues périodes de travail sur un niveau (rez-de-chaussée, premier puis deuxième étage) ponctués de périodes de travail sur l'ensemble des niveaux.

Démarche observée

On observe ici le même type de démarche que dans la situation précédente. Le concepteur réalise des essais sur un seul calque d'un seul niveau qui sert ensuite de support à l'ensemble des décisions. Celles-ci sont reportées sur tous les calques et les niveaux via une mise au net à des moments clés, accompagnée d'une visualisation du modèle 3D. Ces périodes de recherche se basent tour à tour sur des niveaux différents.

5.4 Conception en superposition

Il nous apparaît intéressant de comparer l'activité dans ces trois situations afin de mieux cerner le déroulement de la conception du point de vue de la superposition, en fonction de l'environnement dans lequel le concepteur évolue. Une comparaison du temps de travail sur les niveaux dans les trois activités est visible en figures 16, 17 et 18.



Figures 16, 17, 18. Proportion du temps de travail sur les différents étages du bâtiment

Pour chaque activité, il existe un niveau de base, le rez-de-chaussée, qui mobilise beaucoup plus de temps pour la conception. La conception du niveau de base mobilise plus de temps car il s'agit de l'étage le plus complexe au point de vue des circulations. Notons toutefois que ce niveau de base correspond à des réalités différentes : pour les situations papier-crayon et Prototype 1, il s'agit du niveau situé au-dessus du décrochement de terrain, alors que pour la situation Prototype 2, cela concerne l'espace situé en dessous de ce décrochement. Ceci s'explique par la prédominance accordée à l'entrée principale du bâtiment considérée, au niveau de la rue (au-dessus de la marche), ou au niveau de la cour de récréation (au pied de la marche).

Si l'on se place dans une perspective dynamique, en interrogeant le déroulement temporel de l'activité, nos observations tendent à montrer une certaine organisation temporelle émergente du travail sur les niveaux, différente dans les trois situations. Globalement, et afin d'y voir plus clair, on peut schématiser le déroulement de ces activités comme visible en figure 19.

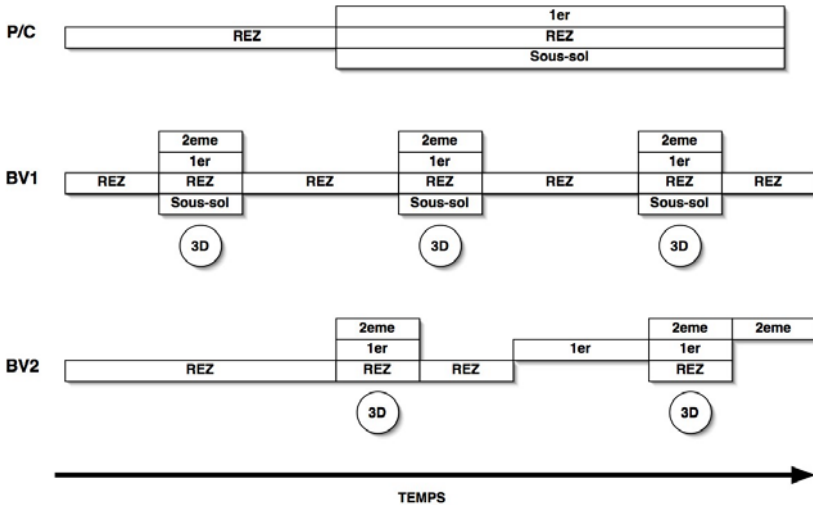


Figure 19. Schémas du déroulement des activités

Dans l'activité papier-crayon, après un long travail sur le rez-de-chaussée, le concepteur travaille en parallèle sur les différents niveaux en utilisant un calque par niveau. A deux reprises, il recopie et met au net ses esquisses sur de nouveaux calques, un par niveau, qui serviront de support à la conception d'une nouvelle version de son bâtiment. L'activité Prototype 1 est caractérisée par un travail se

déroulant principalement au niveau du rez-de-chaussée, ponctué de périodes de travail sur tous les niveaux. Dans l'activité Prototype 2, on constate un enchaînement du travail sur chacun des niveaux, entrecoupé par des périodes de travail sur tous les niveaux du bâtiment.

Sur EsQUIsE, la conception en superposition s'organise autour du modèle tridimensionnel : les périodes de travail sur l'ensemble des niveaux sont systématiquement accompagnés par l'exploration du modèle 3D. Pour aller plus loin, on peut même observer pour Prototype 1 que les périodes de construction du modèle sont les seuls moments de travail sur les étages et le sous-sol. Le travail se fait sur le rez-de-chaussée et les étages ne sont développés que pour la construction du modèle. Le même type de démarche se retrouve pour la deuxième activité. La conception de l'ensemble du bâtiment est réalisée au niveau du rez-de-chaussée et l'aménagement intérieur est effectué séparément sur chacun des étages. Pour les deux activités sur le Bureau Virtuel, il n'existe qu'un seul calque pour les étages et le sous-sol et il s'agit exclusivement de calques « nets ». Par contre plusieurs calques représentent le rez-de-chaussée, à la fois des calques « nets » et « brouillon ».

Nous pouvons tirer plusieurs conclusions de cette comparaison, afin de mieux cerner la conception en superposition et l'influence d'un environnement technologique de conception sur celle-ci.

- On observe dans les trois activités une similitude concernant l'utilisation d'un niveau de base. En effet, les premières esquisses concernent uniquement un niveau du bâtiment qui, à ce stade, contient l'information nécessaire pour gérer l'emprise du bâtiment dans son ensemble.
- Des mises au net régulières permettent au concepteur d'arrêter un certain nombre de décisions. Pour l'activité papier-crayon, ces mises au net consistent en des versions supplémentaires des trois niveaux. Pour les deux activités Prototypes 1 et 2, les mises au net sont les périodes de travail sur l'ensemble des niveaux.
- Dans la situation papier-crayon, l'utilisation de ce niveau de base fait progressivement place à une conception des niveaux en parallèle où le concepteur travaille par bouclages, c'est-à-dire qu'il évalue l'impact de chacune de ses décisions locales sur les autres niveaux, créant de nouvelles contraintes qui devront être résolues. Leur résolution entraînera à son tour des impacts à évaluer sur les autres niveaux. Un processus itératif entre la création et la résolution de contraintes se met en place.
- Par contre, dans les deux activités sur le bureau virtuel, la totalité des informations concernant le bâtiment dans son ensemble est esquissée sur les calques « brouillons » du niveau de base. Ces informations sont ponctuellement recopiées sur un unique calque « net » par niveau. Cette mise au net est accompagnée d'une vérification du volume grâce au modèle 3D. Le niveau de base, support aux informations de l'ensemble du bâtiment, continue à être utilisé dans la suite de la conception. La résolution des contraintes liées à la superposition se fait directement sur un seul niveau, et des périodes de mise au net et de vérification, grâce au modèle 3D, prennent place régulièrement.
- Pour la situation Prototype 2 cependant, ce niveau de base évolue au cours du temps. Il s'agit au départ du rez-de-chaussée, puis du premier étage et enfin du deuxième étage. La dynamique reste la même que pour la situation Prototype 1 : ces niveaux seront tour à tour les supports à la résolution des contraintes sur l'ensemble du bâtiment.

5.5 Utilisation des coupes, élévations, dessins en perspective et modèle 3D

Occurrence des coupes, élévations et perspectives

Nous avons comptabilisé le nombre de coupes, d'élévations et de dessins en perspective réalisés dans chacune des activités. Les résultats sont détaillés au tableau 2.

	Papier-crayon	Prototype 1	Prototype 2
Coupes et élévations	8	0	12
Dessins en perspectives	2	0	5

Tableau 2. *Occurrence des coupes, élévations et dessins en perspective.*

Ces résultats nous invitent à plusieurs observations. Dans la situation Prototype 1, l'activité est caractérisée par l'absence totale de coupes, élévations et dessins en perspective. Pour ce concepteur, le modèle 3D contiendrait les informations nécessaires pour le travail en projection verticale et en volumes.

A l'inverse, le concepteur dans la situation Prototype 2, réalise beaucoup de coupes, élévations et perspectives. Même si nous ne pouvons exclure l'hypothèse d'une différence interindividuelle dans l'utilisation de ce type de dessins, nous pouvons interpréter cette différence par le degré de présence du modèle 3D. En effet, dans la situation Prototype 1, le modèle est visuellement présent en permanence pour la concepteur dans une fenêtre de grande taille et ce dernier doit constamment réagencer ses calques pour construire un modèle cohérent (l'agencement horizontal des onglets des calques n'étant pas facile d'utilisation dans cette première version). Son attention est donc régulièrement portée sur ce modèle et sur la superposition des calques, donc sur les aspects verticaux de son bâtiment. A l'inverse, dans l'activité Prototype 2, le modèle 3D est présent uniquement sur demande (en affichant la fenêtre 3D) et la gestion de l'ordre de superposition des calques, plus claire et cohérente, ne nécessite que peu d'attention. Dès lors, l'utilisation du modèle n'implique pas nécessairement d'allouer de grandes ressources attentionnelles aux aspects verticaux du bâtiment. Il est donc important pour le concepteur d'utiliser des coupes, élévations et dessins en perspective pour traiter des superpositions et volumes, à l'instar de l'environnement papier-crayon.

Utilisation du modèle 3D et des dessins en perspective

Dans les lignes du temps (figures 10, 13 et 15), il apparaît pour le Bureau Virtuel que chacune des périodes de travail sur l'ensemble des étages est accompagnée par des manipulations du modèle tridimensionnel. Pour la situation Prototype 1, les manipulations du modèle ne surviennent que lors de ces périodes afin de vérifier le volume du bâtiment. Pour Prototype 2, les manipulations sont du même ordre, si ce n'est qu'on observe des manipulations du modèle 3D dans les premières périodes de travail sur le rez-de-chaussée. Il s'agit pour le concepteur de « voir ce que la machine peut faire ». Cette différence avec Prototype 1 peut s'expliquer par le fait que dans la deuxième version du Bureau Virtuel, le modèle n'est pas présent en permanence. Le concepteur la regarde donc plus par curiosité que par intérêt pour la conception, comme en témoignent certaines de ses verbalisations spontanées (« je vais essayer de voir si on ne peut pas dessiner en trois dimensions », « c'est joli, je suis émerveillé devant la technique »).

Dans les deux activités Prototypes 1 et 2, le modèle 3D est utilisé à des fins de vérification aux périodes de mise au net. Dans l'environnement papier-crayon, ce sont les dessins en perspective qui servent à la vérification volumique en fin

d'activité. Par contre, dans l'activité Prototype 2, les dessins en perspective tracés par le concepteur sont utilisés pour exprimer des idées relatives au volume. Il s'agit donc d'une fonction d'expression différenciée de la fonction de vérification soutenue par le modèle. Il semble donc que le modèle 3D autogénéré permette une vérification rapide des informations liées au volume du bâtiment, mais n'autorise pas l'expression d'idées volumiques qui prend exclusivement place sur des esquisses, notamment sur des dessins en perspective.

Influence des modalités de construction du modèle 3D sur l'activité de conception

Au regard des observations précédentes, il apparaît clairement que le modèle tridimensionnel revêt un aspect structurant pour le déroulement de l'activité de conception en superposition (voir point 5.4.). La succession de périodes de travail sur un calque « brouillon » d'un niveau de base et de périodes de travail sur plusieurs calques « nets » de l'ensemble des niveaux semble être en partie guidée par la présence en temps réel du modèle 3D.

En effet, pour utiliser le modèle 3D, il est nécessaire d'avoir des calques relativement « propres » pour permettre la reconnaissance par EsQUIsE. Seuls les traits noirs sont interprétés. Spontanément, on observe une spécialisation des calques, certains contenant ces dessins « propres » en noir et d'autres contenant les esquisses plus « conceptuelles » en couleurs. Par ailleurs, dans la première version d'EsQUIsE (Prototype 1), il n'est pas possible de multiplier les variantes des étages au net sans devoir supprimer la variante précédente (tous les calques sont interprétés), ce qui contraint à n'utiliser qu'un calque « net » par niveau. Cette répartition des esquisses sur des calques entraîne à son tour la démarche de conception en superpositions observée. Pour obtenir un modèle 3D cohérent, il est en effet préférable de mettre au net tous les niveaux au même moment. Ainsi on observe que l'ensemble de la recherche graphique et conceptuelle prend place dans des périodes de travail sur un niveau et que la mise au net de tous les niveaux se fait au même moment, dans des périodes régulières qui sont accompagnées d'une utilisation du modèle 3D. Cette démarche de conception par boucle de travail sur un étage de base puis sur l'ensemble des niveaux semble être en partie guidée par les modalités d'interaction inhérentes à la construction du modèle 3D.

6 Conclusion et discussion

Il convient tout d'abord de préciser que, loin de prétendre à une généralisation, la démarche adoptée (approche de recherche qualitative avec peu de participants dans une tâche réaliste mais non écologique) permet de mettre en lumière un certain nombre d'éléments dans une visée exploratoire et d'inférer des recommandations générales pour le développement de futurs systèmes d'assistance à la conception sur base d'esquisses. La méthode utilisée est pertinente aussi en regard de l'état de développement du prototype, qui nécessite encore des développements avant de pouvoir être utilisé dans un bureau d'architecture.

6.1 Organisation émergente de la conception en superposition

On voit apparaître plusieurs démarches de conception en superposition. Si globalement on observe l'utilisation préférentielle d'un niveau pour concevoir l'ensemble du bâtiment, on peut néanmoins observer des différences dans la suite de l'activité :

- La première (papier-crayon) est basée sur une propagation des contraintes engendrée par des décisions locales sur chacun des niveaux dans un processus itératif.
- Dans le bureau virtuel, l'activité s'articule autour d'une succession de deux types de périodes : des périodes d'exploration sur calque de brouillon avec une esquisse comprenant les informations relatives à tous les étages ; des périodes de prise de décision consistant à sélectionner les informations pertinentes, à les recopier sur chacun des étages et à procéder à une évaluation de la solution actuelle via la maquette 3D. On voit donc émerger une distinction entre des périodes de conception exploratoire et des périodes de prises de décision d'ensemble (mise au net) et d'évaluation.

Les activités de génération et d'évaluation – en ce qui concerne la conception des niveaux les uns par rapport aux autres – ne se succèdent donc pas de la même manière. Alors qu'elles sont intrinsèquement mêlées dans l'activité papier-crayon (Visser, 2006 ; Darses *et al.*, 2004), les évaluations sur EsQUIsE prennent place à des moments bien précis et sur base d'un modèle 3D.

Néanmoins, à ce stade, il nous semble délicat d'affirmer que cette différenciation dans le déroulement des activités de conception est entièrement induite par l'environnement. Elle pourrait aussi émaner en tout ou en partie de deux « styles de conception » différents. Il nous apparaît nécessaire de poursuivre nos recherches sur la conception en superposition.

6.2 Usage de la 3D

Nos observations tendent aussi à montrer que le modèle 3D, construit en temps réel, occupe une place importante dans l'activité en regard des autres types de représentations que sont les coupes, élévations et dessins en perspective. En effet, outre le fait que ce modèle soit utilisé à des moments clés, il semble, pour l'activité Prototype 1, qu'il tende à suppléer entièrement le dessin de coupes, d'élévations et en perspective (ce qui n'est pas le cas pour l'activité Prototype 2). Malgré que nous ne puissions en tirer de conclusions définitives, cette question importante d'un remplacement du dessin en perspective par une visualisation tridimensionnelle autogénérée suppose que le modèle 3D remplisse un certain nombre de fonctions du dessin en perspective. Si ce dernier répond à deux finalités, de vérification volumique (activité papier-crayon) et d'expression d'idées en volume (activité Prototype 2), à savoir l'évaluation et la génération de concepts, quelles sont dès lors les fonctions de l'usage du modèle 3D ? S'il ne permet pas l'expression immédiate des idées (n'étant pas directement modifiable), le modèle 3D s'avère un outil puissant de vérification volumique pour l'architecte. En effet, la 3D est utilisée à des moments charnières de l'activité, lorsque le concepteur a pris un certain nombre de décisions sur tous les niveaux de son bâtiment et les retranscrit sur ses calques 'nets'. Le concepteur parcourt le modèle 3D durant ces périodes pour vérifier la cohérence de l'ensemble du bâtiment. La 3D apparaît donc comme un moyen efficace d'évaluation volumique permettant un certain nombre d'itérations et de vérifications rapides dans les phases précoces de la conception, ce qui correspond à l'objectif sous-tendant son développement.

Néanmoins, le fait que ce modèle soit généré automatiquement et électroniquement pose la question de l'acte de tracer et par là de l'externalisation de la pensée. Comme le montrent Graves (1981), Herbert (1993) ou encore Lawson (1997), tout en dessinant, le concepteur réfléchit à ce qu'il représente, construit des hypothèses, explore des possibilités, et de cette interaction émergent de nouvelles idées. Supprimer l'acte de tracer permettra-t-il au concepteur de revisiter un dessin

de la même manière ? Attribuer une caractéristique visuo-spatiale nouvelle à un élément dessiné au préalable ou généré par un logiciel est-il fondamentalement semblable ? L'importance de ce questionnement, pour le développement d'outils d'aide à la conception préliminaire, doit cependant être relativisée dans la mesure où le dessin en perspective n'est pas un support privilégié d'expression dans les phases précoces de la conception (Leclercq, 1994).

Par ailleurs, on observe dans cette étude que les contraintes liées à l'existence d'une maquette 3D ne conditionnent plus uniquement les modalités d'interaction propres à son usage. Elles fournissent un ensemble de règles implicites, qui structurent l'ensemble de l'activité de conception et incitant à une démarche différente. En effet, la multiplication des itérations sur plusieurs calques est incompatible avec une interprétation cohérente et une maquette 3D utile. La mise au net des informations de tous les niveaux doit en outre se faire au même moment, afin de disposer d'un modèle 3D cohérent et profiter de son apport pour l'évaluation, plutôt que de disposer en permanence d'un modèle trop approximatif. Le modèle 3D structure donc en grande partie la démarche de conception en superposition.

Nous ne pouvons pas exclure que le modèle soit utilisé par les participants principalement pour l'aspect « gadget ». Des études sont en cours sur l'usage de ce logiciel dans d'autres contextes appliqués du logiciel (Mayer *et al.*, 2007a, 2007b, Leclercq *et al.*, 2007). Il nous semble utile d'approfondir ces observations par une étude longitudinale dans un contexte professionnel d'architecture.

6.3 Nature des esquisses sur le logiciel EsQUIsE

Dans le Bureau Virtuel, une différenciation entre calques contenant des dessins « brouillons » et « nets » est apparue, ce qui le distingue du papier-crayon où chacun des calques contient conjointement des dessins de brouillon et des dessins au net. Cette différenciation nous semble liée aux contraintes d'usage du logiciel et du modèle 3D, qui impliquent de ne disposer que d'un calque « net » par niveau avec des traits noirs interprétés et de dessiner précautionneusement sur ces calques afin de faciliter leur interprétation par le logiciel. Néanmoins, elle met en lumière la distinction entre deux types de productions graphiques dans l'étape créative de recherche conceptuelle du projet architectural.

- **L'esquisse de simulation.** Il est nécessaire pour l'architecte de disposer d'outils de conception autorisant une recherche souple et non limitative (Lebahar, 1983). Telle est la fonction des dessins de « brouillon » spontanément créés par les concepteurs. Ces dessins sont 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. Ici, c'est le trait qui prédomine. L'exploration graphique aboutit à une large collection de traits, de laquelle émerge l'élément architectural. On ne peut établir un lien univoque entre ce dernier et la trace graphique qui le compose. Dans EsQUIsE, ces esquisses de simulation sont dessinées exclusivement en couleurs et sur des calques distincts (afin d'éviter leur interprétation par le logiciel qui se traduirait par des incohérences dans le modèle 3D : étage excédentaire, murs dédoublés...).
- **L'esquisse synthétique.** Elle est issue d'activités régulières de mises au net. La solution représentée est unique et émerge d'un choix de traits structurants parmi un nombre important de traits présents dans les esquisses de simulation. Le dessin est moins ambigu et plus conventionnel que pour ces dernières.

Chaque frontière (mur, paroi vitrée...) est représentée par un trait unique et ces frontières servent à circonscrire des espaces différenciés. Le choix du trait signifiant lors de la mise au net permet d'arrêter l'agencement des différentes espaces. Les quelques annotations servent exclusivement à nommer les espaces (classe, réfectoire...). Ici c'est donc l'agencement des espaces qui prédomine. L'esquisse synthétique est en grande partie interprétable par un autre architecte. Dans la situation sur le logiciel EsQUIsE, ces esquisses n'apparaissent que sur des calques au net et sont dessinées en noir (et donc sujets à leur interprétation par le logiciel). En outre, alors qu'il existe plusieurs versions successives dans le papier crayon, une seule version (pour chacun des niveaux) est régulièrement modifiée (effectuée en partie puis reconstruite).

Alors que sur papier-crayon ces deux types de dessins sont mêlés et se succèdent (l'esquisse conceptuelle est mise au net en esquisse synthétique, qui à son tour sert de base à une esquisse conceptuelle), ils sont distincts dans EsQUIsE et prennent place sur des calques différents. Ceci nous amène à deux conclusions. D'une part, EsQUIsE et le Bureau Virtuel sont capables d'accueillir l'ensemble des types de dessins de la phase préliminaire, aussi bien les dessins très personnels pour l'exploration graphique que des dessins plus conventionnels pour le dialogue homme-machine. D'autre part, cette étude permet de mettre en avant une distinction fondamentale entre ces deux types de dessins. Il apparaît que la mise au net n'est pas un simple recopiage d'éléments du dessin mais bien un changement de représentation : l'architecte passe d'une représentation basée sur des traits à une représentation basée sur des espaces, typiques du métier d'architecte.

Ceci nous amène aussi à revoir les modes d'interaction implémentés dans EsQUIsE afin de permettre la coexistence de ces deux types de dessins sur les mêmes calques. Nous pensons que le modèle du « tout-interprété » est quelque peu illusoire. En effet, si l'objectif est d'interpréter les esquisses de conception, nous pensons que l'esquisse de simulation est et doit rester personnelle. Son caractère trop ambigu et son idiosyncrasie rendent son interprétation par un logiciel extrêmement difficile. Par contre, l'esquisse au net, l'esquisse synthétique, est parfaitement interprétable et contient toute l'information nécessaire pour former le modèle du bâtiment.

6.4 Evaluation des usages : vers d'autres modalités d'interaction dans le bureau virtuel

Plusieurs éléments ressortent au niveau de l'usage et influenceront le développement des environnements.

- D'une part, il semble que l'utilisateur choisisse spontanément d'explicitier ce qu'il veut que la machine comprenne (en ne traçant qu'une partie de ses esquisses en noir – les esquisses synthétiques). Dès lors, et en corollaire à ce qui a été exposé au point précédent, nous pensons qu'il est préférable de créer des outils adaptés à cette forme d'explicitation plutôt que de tenter de comprendre à tous prix l'ensemble des dessins, par ailleurs trop ambigus (les esquisses conceptuelles). Ce choix devrait en outre grandement faciliter l'interprétation des dessins et donc la robustesse du système.
- Il semblerait aussi qu'il soit préférable de n'afficher la 3D interprétée que sur demande. En effet, cette étude tend à montrer que sa trop grande présence incite l'utilisateur à y accorder trop d'attention, au détriment d'autres types de représentations des volumes qu'il pourrait construire.

- Dans l'ensemble, le prototype est adapté et utilisable. Même si quelques bugs dus à son état de développement perturbent ponctuellement l'activité, on remarque que l'architecte peut effectuer intégralement toutes ses esquisses sur cet environnement.

7 Perspectives

Les questions soulevées dans cet article et les réponses que nous avons tenté d'y apporter nous semblent importantes pour le développement futur des outils de conception assistée basée sur le croquis. En effet, développer un outil non seulement utile et utilisable mais également simple, versatile et plaisant requiert d'analyser l'activité en profondeur pour informer le modèle de développement de l'outil. Ainsi, dans le cas concret de notre prototype EsQUIsE, plusieurs modifications ont été développées ou sont en cours de développement.

- L'ajout de surligneurs pour permettre une explicitation de l'esquisse par le concepteur. Désormais, sur base de ses esquisses brouillons, l'utilisateur peut repasser son dessin avec des surligneurs digitaux (noir pour les murs et bleu pour les fenêtres). Ceci correspond bien au principe de mise au net présent dans les différentes activités observées. En outre, ces outils de surlignage peuvent inviter l'architecte à repasser des dessins conçus sur papier réel. La frontière réel/virtuel tend à devenir de plus en plus ténue.
- Des modifications de l'interface sont intervenues : outre l'amélioration des icônes de commandes par un infographiste, les palettes d'outils et de calques ont été rendues mobiles pour permettre la personnalisation de l'espace de travail par l'utilisateur.
- Une interface gestuelle pour la manipulation à la main des calques virtuels dans le Bureau Virtuel est en cours de développement (Vandamme *et al.*, 2007). Elle permettra à l'utilisateur une plus grande flexibilité et plus de liberté dans l'organisation et la gestion de ses différents outils et calques.
- Malgré que le contenu informationnel soit comparable entre les productions graphiques sur EsQUIsE et avec papier-crayon, le rendu visuel n'est pas le même. Pour satisfaire les attentes des architectes, un module de tracé réaliste est en cours de développement. Il permettra de reproduire le comportement réel d'un crayon, par simulation de l'interaction entre une mine de graphite et le relief caractéristique d'une feuille de dessin en papier.

Remerciements

Cette recherche a été réalisée grâce au soutien du programme WIST (Wallonie, Information Science et Technologie) ainsi que du Réseau européen d'excellence Kaleidoscope dans le cadre de l'European Research Team on Learning and Technology at Work. Les auteurs remercient les chercheurs du LUCID et de IKU, Sleiman Azar, Christelle Boulanger, Vincent Delfosse, Catherine Elsen, Roland Juchmes et Geneviève Martin qui ont contribué à ce travail, Benjamin Jacobs ainsi que les étudiants qui ont participé aux évaluations. Trois lecteurs anonymes ont également contribué par leurs commentaires à améliorer ce travail. Qu'ils en soient ici remerciés.

8 Références

Aliakseyeu, D. (2002). Direct manipulation interface for architectural design tools. CHI'02 extended abstracts on Human factors in computing systems. Minneapolis, Minnesota, USA. 536-537.

- Aliakseyeu, D., Martens, J.-B., Rauterberg M. (2006). A computer support tool for the early stages of architectural design. *Interacting with Computers*, vol. 18, num. 4, 528-555.
- Brown, A.G.P. (2003). Visualization as a common design language: connecting art and science. *Automation in Construction*, vol 12, 703-713.
- Darses, F., Détienne, F., Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance. In *Ergonomie*, Falzon, P. (Ed.), Presses universitaires de France, Paris, 545-563
- de Vries, B., Achten, H.H. (2002). DDDoolz: designing with modular masses. *Design Studies*, vol. 23, num. 6, 515-531.
- Dubois, E. (2001) *Chirurgie Augmentée, un Cas de Réalité Augmentée; Conception et Réalisation Centrées sur l'Utilisateur*. Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, Grenoble I
- Folcher, V., Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. In *Ergonomie*, Falzon (Ed.), Presses universitaires de France, Paris, 251-268
- Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*. Bradford-MIT Press, Cambridge.
- Graves, M. (1981). *Le Corbusier's drawn references. Introduction to Le Corbusier's selected drawings*. Rizzoli, New York.
- Gross, M. D. (1994). The Cocktail Napkin, the Fat Pencil, and the Slide Library. In *Proceedings of Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA '94)*, National Conference, St Louis, 103-113.
- Herbert, D.M. (1993). *Architectural study drawings*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Herot, C. F. (1976). Graphical Input Through Machine Recognition of Sketches. *Proceedings of the Third Annual Conference on Computer Graphics, Interactive Techniques and Image Processing, ACM/SIGGRAPH*.
- Hutchins, E. (1990). The Technology of Team Navigation. In *Intellectual Teamwork: Social and Technological Foundations of Cooperative Work*, Galegher, J., Kraut, R.E., Egido, C. (Eds.), Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 191-220.
- Hutchins, E. (1995a). How a Cockpit Remembers its Speeds. *Cognitive Science*, vol. 19, 265-288.
- Hutchins, E. (1995b). *Cognition in the Wild*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Juchmes, R., Leclercq, P., 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., Azar, S. (2005). A freehand sketch environment for architectural design supported by a multi-agent system. Special issue of *Computers and Graphics on Calligraphic Interfaces*, vol 29, num. 6, 905-915.
- Kramer, A. (1994). Translucent Patches – Dissolving Windows. In *Proceedings of*

ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Marina del Rey, CA.

Lawson, B. (1997). *Design in mind*. Architectural Press, Oxford.

Lebahar, J. (1983). *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude*. Editions Parenthèses, Paris.

Leclercq, P. (1994). *Environnement de conception architecturale pré-intégrée. Eléments d'une plate-forme d'assistance basée sur une représentation sémantique*. Thèse de doctorat en Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique.

Leclercq, P. (1999). Interpretative tool for architectural sketches. In *Visual and Spatial Reasoning in Design*, Gero, J., Tversky, B. (Eds.), Key Centre of Design Computing and Cognition, Sydney, Australia, 69-80.

Leclercq, P. (2004). Invisible Sketch Interface in Architectural Engineering. *Graphic recognition, recent Advanced and Perspectives, Lecture Notes in Computer Science*, LNCS 3088, Springer Verlag, Berlin, 353-363.

Leclercq, P. (2005). Le concept d'esquisse augmentée. *Actes de SCAN'05 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique*. Paris, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Val de Seine, France.

Leclercq, P., Elsen, C. (2007). Le croquis synthé-numérique. *Actes de SCAN 07 : Séminaire de conception architecturale numérique*, Liège, Belgique.

Leclercq, P., Juchmes, R. (2002). The absent interface in design engineering. *AIEDAM Artificial intelligence in engineering design and manufacturing. Special issue: Human-Computer Interaction in Engineering Contexts*, Vol. 16, num. 5, 219-227.

Leclercq, P., Mayeur, A., Darses, F. (2007). Production d'esquisses créatives en conception digitale. *Actes d'IHM'07, 17e conférence francophone sur l'Interaction Homme Machine*, ICAM, Paris.

MacCall, R., Ekaterini, V., Zabel, J. (2001). Conceptual design as hypersketching. *Proc. Of the 9th Int. Conference CAAD Futures*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 285-298.

Mayeur, A., Darses, F., Leclercq, P. (2007a). Apports de la visualisation de maquettes virtuelles 3D en phase d'esquisse architecturale. *Actes d'Epique'07, Congrès de la Société Française de Psychologie*, UFR de Psychologie, Université de Nantes.

Mayeur, A., Darses, F., Leclercq, P. (2007b). Evaluation ergonomique d'une tablette graphique d'aide à la conception architecturale. *Actes de SELF'07, 42ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*, St-Malo.

McGown, A., Green, G., Rodgers, P.A. (1998). Visible ideas : information patterns of conceptual sketch activity. *Design Studies*, 19, 431-453.

Nardi, B. (1996). *Context and Consciousness : Activity Theory and Human-Computer Interaction*. MIT Press, Cambridge, MA.

Negroponte, N. (1972). HUNCH – An Experiment in Sketch Recognition. In *Environmental Design: Research and Practice*, Proceedings of the EDRA 3/ar 8 Conference, University of California at Los Angeles.

- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. In *Designing interaction: Psychology of the human-computer interface*, J. M. Carroll (Ed.). Cambridge University Press, New York.
- Norman, D.A. (1998). *The invisible computer*. MIT Press, Cambridge University Press, MA.
- Pavlidis, T., Van Wyk, C. J. (1985). An Automatic Beautifier for Drawing and Illustrations. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics archive*, num. 19, vol. 3, 225-234.
- Pranovich, S., Achten, H.H., Wijk, J.J. (2002). Towards an Architectural Design System Based on Generic Representations. In *Artificial Intelligence in Design'02*, Gero, J.S. (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 153-164.
- Perrin, J. (Ed). (1999). *Pilotage et évaluation des processus de conception*. L'Harmattan, Paris.
- Prost, R. (1992). *Conception architecturale. Une investigation Méthodologique*. L'Harmattan, Paris.
- Rabardel, P. (1995). *Les Hommes et les Technologies. Approche Cognitive des Instruments Contemporains*. Armand Colin, Paris.
- Russell, D.M. Streitz, N. A., Winograd, T. (2005). Building disappearing computers. *A special issue of Communications of the ACM on The disappearing computer, a vision of computing that is truly unremarkable*, vol. 48, num. 3, 42-49.
- Safin, S., Boulanger, C., 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*, Toulouse, septembre.
- Schön, D. (1983). *The reflexive practitioner: How professional think in action*. Basic Books, New York.
- Schweikardt, E., Gross, M.D. (2000). Digital clay : deriving digital models from freehand sketches. *Automation in Construction*, vol. 9, 107-115.
- Simon, H.A. (1999). *The sciences of the artificial* (3^{ème} ed.). MIT Press, Cambridge, MA. (Travail original publié en 1969).
- Sutherland, I.E. (1963). *SKETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*. Spartan Books.
- Suwa, M., Purcell, T., Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, vol 19, num 4, 455-483.
- Vandamme, J.F., Safin, S., Leclercq, P. (2007). Modalités d'interaction sur interface gestuelle : première évaluation des usages spontanés. *Atelier tables interactives - Actes d'IHM'07, 17e conférence francophone sur l'Interaction Homme Machine*, ICAM, Paris, France.
- Verstijnen, I.M., van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., Hennessey, J.M. (1998). Sketching and creative discovery. *Design Studies*, vol. 19, num. 4, 519-546.

Wetzel, J.-P., Belblidia, S., Bignon J.-C. (2007). Proposition d'opérateurs morpho-sémantiques pour l'assistance à la conception. *Actes de SCAN 07 : Séminaire de conception architecturale numérique*, Liège, Belgique.

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

Vygotsky, L.S. (1930). La méthode instrumentale en psychologie. In *Vygotsky aujourd'hui*, Schneuwly, B., Bronckart, J.P. (Eds.), Delachaux & Niestlé, 39-48.

Zhang, J., Norman, D.A. (1994). Representation in Distributed Cognitive Tasks. *Cognitive Science*, vol. 18, 87-122.