

Le croquis synthé-numérique

Pierre Leclercq et Catherine Elsen

Lucid Group, Université de Liège
pierre.leclercq@ulg.ac.be

Résumé : Cet article propose une réflexion relative au croquis synthétique utilisé en conception architecturale. Après avoir rappelé sa définition, nous illustrons et détaillons les caractéristiques de cette production graphique, intermédiaire entre l'esquisse conceptuelle et le plan net. Nous montrons ensuite l'intérêt à considérer cette production graphique spécifique comme un mode d'interface privilégié avec le monde numérique en conception. Le logiciel prototype IC&C - Interaction par Croquis de Composition - est ensuite succinctement décrit pour démontrer l'innovation et la pertinence de ce concept et montrer son niveau d'opérabilité actuel en DAO architecturale.

Mots-clés : Modes de représentation graphique, sémantique graphique, interprétation automatique de croquis, restructeur géométrique.

1 Introduction : les dessins architecturaux à main levée et le croquis synthétique

En tant qu'outil privilégié par les architectes dans leur travail créatif, l'esquisse architecturale a déjà été beaucoup étudiée tant par le monde des concepteurs que par la communauté scientifique.

1.1 Etat de l'art

De nombreux auteurs ont déjà mené des réflexions poussées sur le croquis d'architecte. Plusieurs ont étudié le rôle de l'esquisse à main levée dans l'activité de conception architecturale en tant que ressource pour l'action et que moyen pour penser. Citons l'analyse de l'aspect exploratoire par le tracé [Graves, 1981], la médiation des pensées et leur "revisite" [Lawson, 1997], les découvertes inattendues [Suwa et al., 2000] ou encore la nature des transformations engendrées par l'esquisse au cours de la conception [Goldschmidt, 1991]. Ces auteurs se sont essentiellement attachés à comprendre les processus, stratégies et ressources liées à la conception créative.

D'autres ont étudié l'esquisse en cherchant à créer des modèles globaux de l'activité de conception. Citons Lebahar qui a montré que la réduction progressive de l'incertitude du modèle mental du bâtiment pouvait être mise en parallèle avec la précision croissante des esquisses [Lebahar, 1983]. Darses s'est basée sur l'esquisse pour décrire les étapes de la conception depuis l'idée jusqu'à un produit fini [Darses & al, à paraître]. Enfin, le rôle de l'esquisse comme support à la création de

référentiels communs et à la communication en conception collaborative a été décrit dans [Detienne & al, 2007].

Certains auteurs se sont attachés à comparer l'esquisse aux modèles informatisés, montrant les conséquences du non respect des caractères abstrait et ambigu de l'esquisse. Citons, par exemple, McCall qui a souligné les limites des outils de DAO qui imposent la construction d'un modèle graphique unique et explicite [McCall & al, 2001] ou Goel qui a montré l'impact négatif de la sur-structuration du dessin électronique sur la créativité [Goel, 1995]. Avec une plus approche globale, Estevez décrit les transformations du métier d'architecte observables avec l'introduction des nouvelles technologies de l'infographie [Estevez, 2001].

Le support de l'esquisse a été étudié par Boulanger, Safin & Decortis, qui ont comparé la nature du papier réel et du papier digital et identifié leurs caractéristiques importantes en relations avec les différentes activités graphiques de l'architecte [Boulanger & al, 2005].

Peu d'évaluations ont été menées jusqu'ici à propos des nouveaux systèmes à interface-esquisse. Signalons que nous avons toutefois déjà montré que ces nouveaux systèmes, avec leurs contraintes et leurs atouts, peuvent impliquer de nouvelles stratégies mais aussi apporter de nouveaux et intéressants modes d'interaction entre les concepteurs et les représentations externes auto-générées [Safin & al, à paraître en 2007].

1.2 Position de notre réflexion

Ce papier s'intéresse à un type particulier de croquis : celui que nous qualifions de croquis synthétique et qui se situe entre l'esquisse et le plan net. Il s'agit d'un dessin effectué à main levée, qui est dit planaire dans le sens où il est exécuté exclusivement en deux dimensions. Il représente un plan, une coupe ou une élévation en projection parallèle. Il ne concerne donc pas les vues en perspective (même parallèles).

Il consiste en un dessin synthétique, rapidement effectué. Son objectif principal la communication avec un pair.

C'est ce rôle particulier de support à la communication, qui le destine à l'expression synthétique d'une intention, qui nous motive à l'étudier plus en détail : serait-il possible de nous en servir comme interface privilégiée en modélisation architecturale numérique? Ne s'agit-il pas là en effet d'un moyen intéressant à développer comme mode de communication avec les outils logiciels de la conception?

L'objectif de cet article est de formuler des réponses à ces questions et de montrer, à travers la présentation succincte d'un prototype logiciel, le niveau d'opérabilité de cette proposition.

2 Exemples de croquis synthétiques

Deux usages très courants du croquis synthétique vont immédiatement éclairer le lecteur sur le type de production graphique que nous visons ici : le dessin surligné et le dessin de relevé.

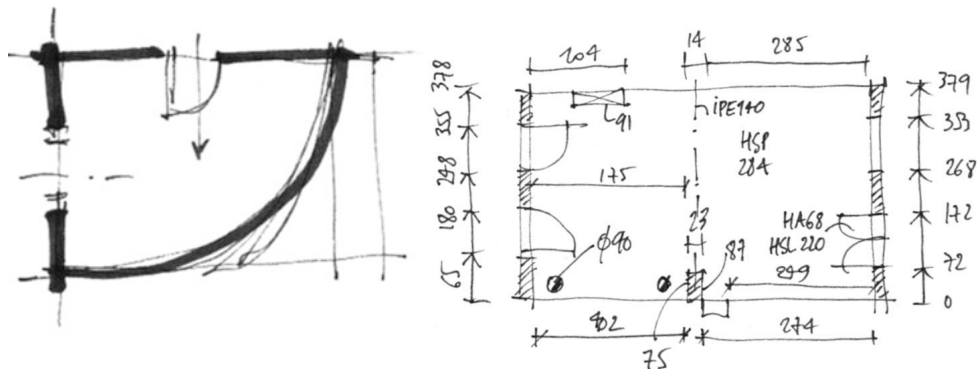


Figure 1 - Extraits d'une esquisse surlignée (gauche) et d'un relevé (droite).

Le dessin surligné est le fruit de l'étape de clôture d'une esquisse de conception : à l'issue de sa réflexion, le concepteur indique, pour lui même ou pour un collaborateur, quels éléments figurent au mieux la solution graphique qu'il faut retenir des multiples dessins sous-jacents. Il crée généralement ce croquis synthétique sur un nouveau calque, superposé à ses dessins précédents, ou, plus efficace encore, en surlignant directement ceux-ci à l'aide d'un marqueur plus fort ou plus gros.

Le relevé est, lui aussi, un croquis de type synthétique : il permet de représenter graphiquement à moindre coût la configuration planaire d'un lieu ou d'une façade par exemple. Le plan de relevé collectionne les indications utiles à l'exécution du plan net qui sera dressé "aux instruments" (au sens large), souvent par un autre collaborateur. Exécuté dans des conditions inconfortables de travail in situ, le relevé est généralement produit en une fois et avec des moyens fort simples (une feuille de carnet unique et un crayon, parfois un stylo-bille à 4 couleurs).

3 Caractérisation

Pour exploiter les caractéristiques de ce type particulier de croquis, il est nécessaire de bien les définir. Pour ce faire, reprenons les principaux caractères du tracé graphique en plan et mettons en relief ceux du croquis synthétique vis-à-vis des deux autres productions qui l'entourent : l'esquisse conceptuelle et le plan net.

3.1 Caractères de l'esquisse conceptuelle

Rôle

L'esquisse conceptuelle soutient le processus de conception. Elle supporte l'exploration de solutions potentielles en vue de favoriser une solution spatiale qui réponde potentiellement au mieux à l'ensemble des contraintes, façonnant l'intention combinée des Maîtres d'ouvrage et Maître d'oeuvre. L'esquisse est avant tout un outil de réflexion ouvert et facilitant l'émergence des idées.

Principe de genèse

Supportant le processus créatif, l'esquisse doit pouvoir suivre le flux rapide de pensée du concepteur. Elle est donc basée sur le principe d'économie pour permettre à son auteur de rapidement générer les éléments graphiques utiles à sa réflexion. Pour offrir cette efficacité, elle joue le registre de l'implicite : les traces dessinées ne sont significatives que pour celui ou celle qui les a produites. Ce registre pose évidemment le problème de communicabilité de l'esquisse mais il offre par contre une souplesse de production qui facilite la multiplication d'alternatives. L'implicite de l'esquisse est aussi la source d'une grande ambiguïté de lecture. Dans son contexte exploratoire, celle-ci favorise la ré-interprétation et donc la créativité.

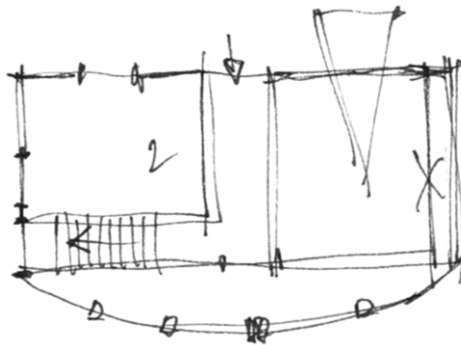


Figure 2 - Extrait d'une esquisse de conception.

Approche graphique

Suivant ce principe d'économie, l'approche graphique empruntée dans le travail initial en esquisse peut être qualifiée de formelle. En effet, dans l'esquisse conceptuelle, il est davantage question de gérer les formes floues et des proportions architecturales que des dimensions strictes. Certes, certaines dimensions sont bien sûr inévitables mais elles sont le plus souvent liées à une échelle implicite. Quelconque et non déclarée (sa valeur peut dans les faits être le 1/182e par exemple) cette échelle spontanée est observable (Leclercq 1994) et surtout remarquablement constante dans

les esquisses professionnelles (ce qui n'est pas le cas dans les productions de novices par exemple, qui généreront parfois des croquis à échelles multiples ou variables). On peut donc dire qu'il s'agit bien de générer et de manipuler des formes. Le contrôle de cette production formelle est d'ailleurs essentiellement visuel et conditionné par la possibilité topologique de pouvoir la dessiner. L'échec d'une configuration se révèle par l'incapacité du concepteur à la tracer : "ça ne marche pas".

Contenu

En termes de contenu, l'esquisse conceptuelle est très pauvre. En corollaire à son caractère d'efficacité, elle se compose d'un grand nombre de traits génériques : peu de variabilité est observée dans leurs modes de tracés (traits continus sans particularité de style) mais, par contre, une grande imprécision les qualifie (traits de brouillon). Alors que beaucoup de ces traits ne sont pas terminés - le dessin est généralement incomplet - ils sont largement redondants. Leur accumulation participe d'ailleurs à la simulation puis à l'émergence de la forme recherchée.

Les annotations et les cotations sont généralement peu nombreuses en esquisse. Cette absence est logique dans le contexte hautement personnel de ce type de production graphique. Elles n'apparaîtront d'ailleurs éventuellement que dans la phase finale de l'esquisse, précisément lorsqu'il s'agira d'en communiquer le contenu.

De la même manière, les symboles sont très peu usités, sinon toujours sous une forme graphique très dégénérée et peu reconnaissable par un tiers. L'ensemble du plan constitue en effet une trace partielle de l'image en ébauche dans la mémoire du concepteur. Destiné à supporter un travail à court terme, l'esquisse conceptuelle n'est jamais encombrée d'information qualitative puisqu'elle est destinée à être "ré-exploitée" rapidement (une heure, un jour, rarement plus d'une semaine, sinon elle sera justement déclinée en croquis synthétique pour être transmissible, même à soi-même).

3.2 Caractères du plan net

Rôle

Le plan net supporte clairement un rôle de communication. Il permet même la communication définitive : muni de cette représentation particulière, un entrepreneur ou un artisan dispose de l'information nécessaire pour réaliser le produit qui y est décrit. Ce type de plan est donc un outil de description explicite du produit.

Le plan net est conçu pour faciliter sa lecture : par un système standardisé et partagé par tous les professionnels (normes), il est sensé lever toute ambiguïté dans la transmission de son message.

Principe de genèse

Le plan net ne peut contenir d'incertitude. Il fournit donc une description validée géométriquement : en formes, en configurations et en dimensions. Il est construit en tant que représentation cohérente du produit qu'il décrit et ne laisse théoriquement place à aucune interprétation (même si l'on sait que, par souci de rentabilité, les plans nets en circulation ne sont cependant jamais aussi finis qu'ils devraient l'être).

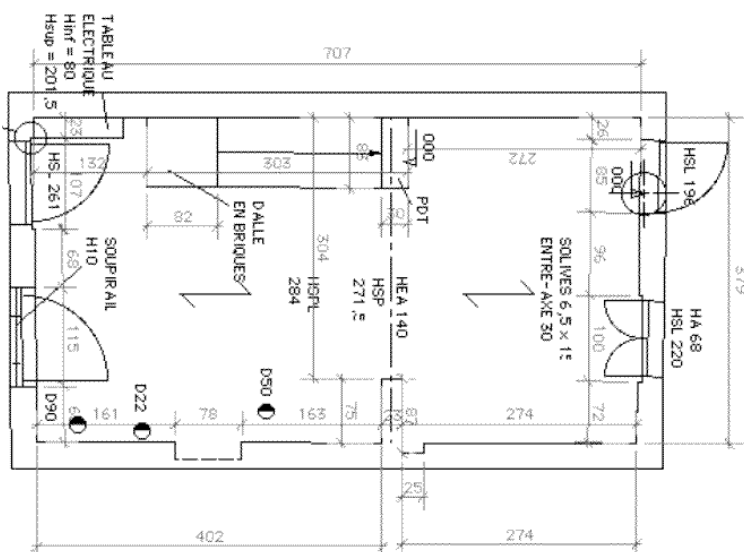


Figure 3 - Détail d'un plan d'exécution classique.

Approche

On parlera donc d'approche constructive pour le plan net : le produit est défini complètement et explicitement. Son principe est celui de la complétude. Construit exclusivement aux instruments, son contrôle est assuré au niveau de la cohérence géométrique : les propriétés dimensionnelles de ses éléments graphiques (lignes, contours, surfaces) sont validées par construction. En particulier, l'outil traditionnel de dessin numérique (DAO) lie de façon biunivoque leur représentation graphique et leurs propriétés (les cotes d'un élément s'adaptent à toute modification de sa forme et réciproquement).

Contenu

Le contenu d'un plan net est forcément hautement codifié. Très précis, tout-à-fait complet, il ne comporte que des éléments finis, cotés et à parfaitement à l'échelle.

Les traits figurent sur l'épure avec de multiples déclinaisons de types : pointillés courts, pointillés longs, traits d'axe, traits de coupe, quatre épaisseurs standard, une

dizaine de hachures normées composent déjà le plus élémentaire des plans d'exécution.

Les annotations sont choisies et comptées pour garder le message le plus clair possible. Elles complètent le dessin des seules données descriptives que celui-ci ne peut rendre. En vue de permettre la lecture sans manipulation du plan, toutes les annotations sont écrites dans le même sens et selon une typographie bien codifiée.

Les cotations sont précises et données dans le respect inflexible de l'échelle. Les cotes sont redondantes pour faciliter différents types de lecture (saisie directe de la dimension d'un détail ou d'un tout) en veillant à imposer le moins de déduction possible à son utilisateur : tout calcul nécessaire est en effet une source d'erreur qui peut introduire de l'incertitude dans ce document qui l'insupporte.

Les symboles sont très nombreux dans un plan net : par leur figuration standard (chaque corps de métier a développé ses normes), ils évitent l'ambiguïté tout en encombrant le moins possible le plan.

Chaque élément du plan net est donc bien orienté dans le sens d'une communication efficace.

3.3 Caractères du croquis synthétique

Rôle

Le croquis synthétique constitue le dessin-charnière entre l'esquisse de conception et le plan net de communication. Il joue un rôle de communiquant d'intention : il poursuit l'objectif de produire un dessin non résolu mais parfaitement exploitable, par un tiers ou par soi-même.

Principe de genèse

Par rapport à l'esquisse conceptuelle, il réduit l'incertitude puisqu'il figure le tracé à retenir après une phase exploratoire. Mais il reste au niveau de l'intention car il ne constitue pas en tant que tel une résolution géométrique. Il valide en effet l'option formelle d'un point de vue topologique mais pas d'un point de vue dimensionnel. Ce fait est particulièrement observable dans les croquis de relevé : conditionnés par le format unique de papier, le croquis de relevé sur site adapte l'échelle à la surface de dessin disponible. Cette adaptation s'exécute d'ailleurs souvent selon des principes d'anisotropie en fonction de la quantité d'information à faire figurer sur les différents éléments du dessin.

Approche

On considérera donc que le croquis synthétique adopte une approche fonctionnelle : il s'agit de figurer et de valider le principe d'une configuration spatiale sans avoir la possibilité ou la volonté de la régler complètement d'un point de vue dimensionnel. Adoptant le principe d'efficacité, il compose un message déclaratif, explicite mais non complet. Il apporte une résolution géométrique mais en aucun cas, il n'en garantit la

cohérence; il en exprime seulement l'objectif : liberté d'interprétation est laissée à celui qui l'exploitera.

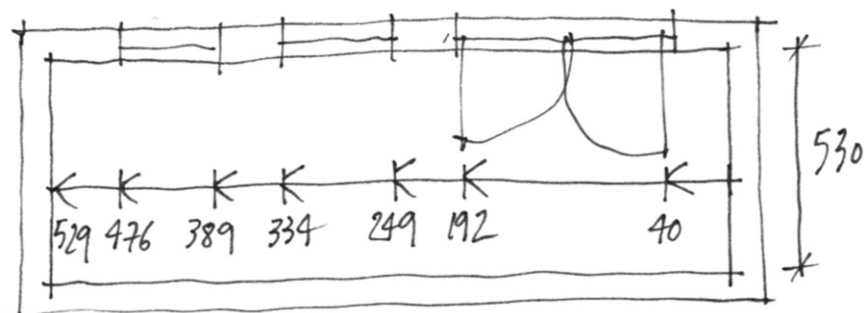


Figure 4 - Relevé d'un local avec une échelle anisotrope, conditionné par l'information utile : la forme réelle du local est carrée.

Contenu

Le croquis synthétique constitue une synthèse graphique. Il reste imprécis (cas de l'esquisse surlignée) ou incomplet (cas du croquis de relevé, qui se limite généralement à une zone d'intérêt localisée dans un tout.

Le nombre des traits est limité au strict essentiel (principe d'efficacité). Ces traits n'affichent que peu de variabilité dans leurs types (pointillés, épaisseur, etc.) et ne présentent pas un grand caractère de précision : dessinés à main levée, leurs intersections restent, par exemple, encore aléatoires.

Les annotations d'un croquis synthétique peuvent être nombreuses car, en plus des légendes usuelles, elles peuvent comporter une partie de la déclaration d'intention. Ce que le dessin de synthèse ne peut figurer peut être déclaré dans une annotation qui servira son interprétation en plan net. Ces annotations peuvent emprunter toutes les directions puisqu'elles sont générées librement sur un dessin orienté selon la meilleure convenance du dessinateur.

En relevé, les cotations sont souvent "juste assez redondantes". En effet, ne disposant généralement pas de système de résolution géométrique (de type distribution d'erreur sur triangulation), l'auteur du relevé préfère limiter la complexité de sa résolution manuelle. Il ne cherche pas à dresser un croquis hyper-contraint. Les conditions de travail sur site (le froid, l'humidité ou l'obscurité) ne l'incitent d'ailleurs pas au zèle. Il vise ce qu'on appellerait en structure le modèle isostatique. Par contre, il sait que l'oubli d'une cote peut l'obliger à revenir sur place. Il limite donc ce risque en prenant quelques dimensions de contrôle, typiquement les diagonales des espaces mesurés. Notons qu'une grande partie des cotations est franchement implicite : par efficacité à nouveau, des règles de parallélisme et de perpendicularité priment, jusqu'à un certain stade, sur la réalité; l'épaisseur d'un mur est jugée constante par défaut; les formes particulières sont rarement levées au point par point, etc.

L'emploi des symboles est fréquent mais il s'agit toujours de symboles personnels, donc variables et non standardisés mais tout de même interprétables par tout professionnel du bâtiment.

3.4 Synthèse

La comparaison que nous venons d'effectuer ne fait que rappeler, en les juxtaposant, des caractères bien connus par tous les professionnels. Mais, comme l'ont bien souligné Boulanger et Safin, les usages et les pratiques de croquis à main levée diffèrent grandement selon leurs objectifs [Boulanger & al, 2005]. Il était donc impératif de clairement définir l'objet de notre réflexion pour permettre au lecteur de bien situer notre question de recherche. Le tableau ci-après résume ces caractéristiques pour en permettre la lecture synthétique.

Caractéristiques	Esquisse de conception	Croquis synthétique	Plan net
Rôle descriptif	Intention	Déclaration	Explicitation
Principe	Economie	Efficacité	Complétude
Approche	Intentionnelle	Fonctionnelle	Constructive
Contrôle	Formel	Topologique	Géométrique
Contenu	Faible Personnel et peu typé	Calibré Personnel mais reconnaissable	Redondant Normé

Figure 5 - Résumé des caractéristiques du croquis synthétique vis-à-vis de l'esquisse conceptuelle et du plan net.

4 Transformation des représentations : du croquis synthétique au plan net

4.1 Problématique

Avec sa définition explicite et complète, le plan net constitue une représentation éminemment compatible avec un modèle numérique. Basée son mode digital (binaire à la source), l'informatique est en effet très performante dans l'exploitation de modèles parfaitement définis. Elle fait par là, hélas, oublier l'effort d'interprétation et de "codage" qui a été nécessaire pour numériser l'information.

Notre réflexion va donc porter sur cette étape de transformation d'une représentation à l'autre : sachant sur quels éléments se base la spécification d'un croquis synthétique (point 3), comment les exploiter pour passer à sa version nette? En d'autres termes, comment un concepteur interprète-t-il ses croquis quand il les reproduit avec des outils numériques? Comment passer d'un croquis d'intention à un

modèle stabilisé, cohérent et complet? La question corollaire étant : peut-on mener cette interprétation grâce à un système informatique à partir d'un croquis initial tracé au stylo électronique?

4.2 Le projet IC&C

Pour étudier ces questions, le Lucid Group a conduit le projet IC&C : Interaction par Croquis de Composition. Il s'agit d'un programme de recherche multidisciplinaire (ingénierie de conception, intelligence artificielle et ergonomie cognitive) qui poursuit aussi l'objectif appliqué de développer un prototype logiciel démontrant l'opérabilité de ce type de transformation dans le champ de l'architecture.

Scénario

Le scénario auquel IC&C se propose de répondre se résume comme suit : supporter la mise à jour de plan *as built*, c-à-d mettre au point un outil de relevé capable de capturer sur site un croquis dessiné à main levée et d'interpréter celui-ci en temps réel en un dessin CAD, résolu et mis à l'échelle. Un retour visuel de l'interprétation et de ses difficultés de résolution doit permettre à l'utilisateur de percevoir immédiatement ses manquements, erreurs et ratés, inévitablement commis dans le tracé de son croquis. Informé sur place de ces incohérences graphiques ou scripturales, l'utilisateur pourra ainsi bénéficier d'une rentabilité fortement accrue sur ses inconfortables tâches de relevé et d'encodage numérique.

Principes de fonctionnement

La métaphore utilisée pour supporter la tâche visée est celle du carnet de croquis. Deux raisons ont naturellement justifié ce choix. Elle fut sélectionnée d'abord parce qu'elle respecte évidemment les usages professionnels : les architectes sont formés à la maîtrise du dessin synthétique, à ses rôles, à ses codes et à ses procédures de réalisation. Cette métaphore minimise donc l'effort d'adaptation nécessaire et elle réduit considérablement la période d'apprentissage liée à toute méthode (logicielle) nouvelle. La seconde motivation réside dans la possibilité actuelle d'exploiter de nouveaux dispositifs matériels en émergence sur le marché actuel : ceux de la technologie du stylo électronique.

a) Interaction homme-machine

Au sein de l'équipe multidisciplinaire de réalisation du prototype, les ergonomes ont défini les principes d'interaction homme-machine, en respectant les principes que nous avons proposés auparavant dans le cadre de nos précédents travaux sur l'esquisse augmentée [Leclercq 2005] : établis sur base d'une approche participative et itérative, ils ont orienté la conception de l'outil considérant ses trois contraintes de portabilité, de fonctionnement en temps réel et, bien sûr, du travail à main levée. Les cadres conceptuels exploités sont issus de la théorie de l'activité et l'approche instrumentale. La méthodologie mise en oeuvre ne fait pas l'objet de cet article mais est décrite dans [Boullanger & Decortis, 2005].

Comme il s'agit de proposer une interface naturelle, proche des modes de communication utilisés entre deux architectes, le dispositif est basé sur l'exploitation combinée du tracé graphique au crayon et de la communication verbale. On considère donc cet outil comme équipé d'une interface multimodale : muni d'une reconnaissance du dessin, des annotations scripturales et des annotations vocales, il assure le caractère spontané de la communication entre le dessinateur et le système.

b) Interface logicielle

En corollaire à l'analogie du carnet de croquis qui a été retenue, l'interface logicielle se veut extrêmement simple : elle est principalement composée d'un espace de dessin entièrement ouvert, couvrant toute la surface de travail et permettant d'utiliser le stylo électronique en toute liberté. Le dessinateur y trace ce qu'il souhaite - traits, légendes, cotes, liens, symboles - et quand il veut. Aucune préséance n'est en effet imposée dans le déroulement des actions : l'utilisateur travaille de la façon la plus naturelle qui soit. Quelques couleurs et une gomme forment son plumier électronique. Il dispose d'un calque de fond sur lequel peuvent être affichés et manipulés un plan préexistant, un document photographique ou scanné.

Le système de reconnaissance vocale permet en plus de capturer tout énoncé de cote ou de légende utile au relevé et de l'attacher, sémantiquement parlant, aux éléments graphiques désignés : la valeur prononcée sera automatiquement attribuée à la longueur du local désigné par exemple.

La simplicité de l'interface logicielle se retrouve aussi dans le faible nombre de commandes proposées. Les fonctions habituelles de zoom, translation, rotation, mise à échelle, etc. sont disponibles dans certaines conditions très limitées afin d'éviter les pièges classiques de la DAO. Par exemple, la feuille virtuelle n'est pas infinie pour que le dessinateur "ne perde pas" son croquis suite à des déplacements importants de sa fenêtre de vue. Ou encore, la fonction de zoom est réduite à un effet "loupe" qui double temporairement la résolution pour affiner une partie du croquis mais qui ne permet pas les agrandissements multiples, qui sont toujours propices à une surenchère de détails s'avérant illisibles en zoom neutre.

c) Interface matérielle

Le dispositif matériel utilisé pour le développement et pour le prototype final est bien sûr l'ardoise digitale, composée d'un écran LCD anti-reflet, de dimension respectable et recouvert d'une dalle digitale transparente saisissant la position du stylo électronique qui l'utilise. Même si elle présente encore de nombreuses limitations, elle offre l'énorme avantage d'être tout à fait portable donc utilisable sur chantier. Les défauts qu'elle présente encore aujourd'hui - poids, surchauffe et autonomie - sont bien sûr appelés à disparaître progressivement.

d) Système d'interprétation

Pour conférer cette liberté d'action à son utilisateur, le logiciel est conçu sur base d'un système multi-agents original. Sans entrer dans les détails d'implémentation (ils sont donnés dans [Azar & al, 2006], [Juchmes & al, 2005], [Juchmes & Leclercq, 2004]) décrivons-en simplement le principe de fonctionnement.

Les agents sont des petits modules informatiques autonomes qui sont chargés chacun de travailler sur une tâche particulière de reconnaissance. Chaque action effectuée par l'utilisateur - comme le dessin d'un trait, d'une lettre, d'un symbole ou la prononciation d'un mot-clef - est capturée et proposée simultanément à tous les agents selon une technique de bus-agent. Chaque agent choisit de prendre ou de ne pas prendre cette information selon qu'elle correspond à ce qu'il attend pour effectuer sa tâche. Prenons, par exemple, un agent chargé de repérer le tracé de lettres. Il ne prendra pas en charge l'arrivée d'un tracé dont la taille dépasse celle de grands caractères. Par contre, si cette caractéristique et toutes les autres qualifiant l'ensemble graphique proposé sont compatibles avec celles d'une lettre, il va "prendre option" sur cet élément : par un système de sémaphore, il signale aux autres agents que cet élément l'intéresse et il commence à l'analyser. En suivant des règles prédéfinies et liées aux marges d'erreur propres au travail à main levée, il confronte ce tracé à ses connaissances, qui sont, dans ce cas, relatives à la description de toutes les lettres de l'alphabet. S'il peut rapprocher le tracé d'une lettre particulière avec une certitude suffisante, il annonce le résultat de son travail sur le bus agent. Imaginons : "ce tracé figure un A". Tous les agents intéressés par le tracé concerné comparent alors la performance de leur reconnaissance. Par exemple l'agent chargé de reconnaître le symbole d'une flèche qui, orientée vers le haut, pourrait ressembler visuellement à un "A". L'agent qui assure le plus haut degré de certitude pour son résultat est finalement celui qui étiquettera le tracé. Cette étiquette peut alors être exploitée par d'autres agents : pour poursuivre notre exemple, l'agent de reconnaissance des mots va accueillir de "A" et le placer dans son panier où, imaginons, attend déjà un "C". Si le "CA" est suivi des lettres "V" et "E", l'agent des mots va à son tour annoncer reconnaissance de la légende "CAVE" au système.

4.3 L'intérêt de l'approche SMA pour les croquis synthétiques

Par cette description très simplifiée, on devine tout l'intérêt de recourir à un système multi-agents pour gérer efficacement des tâches de reconnaissance : à l'instar des mécanismes gérant la reconnaissance humaine, un SMA collectionne les indices pertinents, fabrique progressivement des scénari, en évalue la performance et annonce la proposition la plus plausible. Le tout est réalisé sans système de contrôle général du processus, ce qui est évidemment intéressant face à l'impossibilité de définir a priori un tel processus pour une tâche aussi floue et complexe que la reconnaissance de croquis à main levée.

On se souvient par ailleurs de l'intérêt à travailler avec le croquis synthétique dont le principe a été présenté ci-avant : tel qu'utilisé dans la communication entre concepteurs, le message se concentre sur la description de l'intention et son auteur en limite le contenu aux éléments strictement nécessaires. Le croquis synthétique offre donc peu de redondance mais beaucoup d'imprécision (l'expression d'un concept ou le tracé d'un relevé sont des représentations initiales) et d'incomplétude (ils ne s'économisent et ne détaillent que les éléments utiles).

On comprend aussi l'opportunité de proposer le contenu d'un croquis synthétique à un système de reconnaissance multi-agents : la concision du premier est parfaitement

compatible avec les capacités du second. En juxtaposant le croquis synthétique et son interprétation temps réel, la figure 5 illustre la performance combinée des brigades d'interprétation graphique, de lecture des annotations et de reconnaissance vocale.

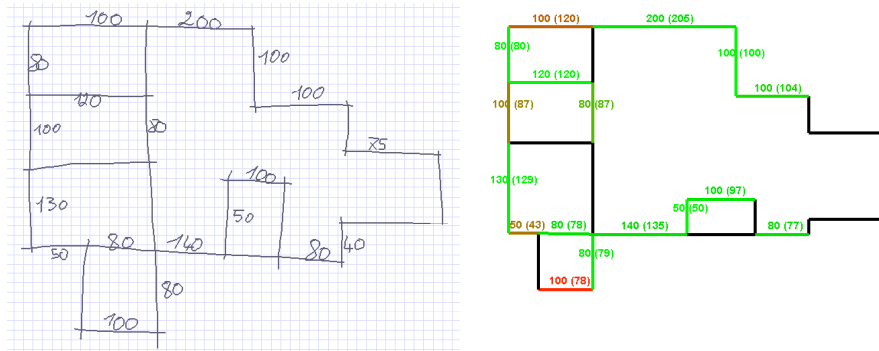


Figure 5 - Un croquis synthétique élémentaire et son interprétation par le SMA d'IC&C.

5 Constitution du modèle graphique

Les performances de reconnaissance du SMA ne sont cependant pas suffisantes pour composer l'intention graphique. En effet, identifier les traits, les annotations et les cotes fournies par le dessinateur ne s'apparente qu'à une problématique d'interface. Au-delà de la reconnaissance factuelle des éléments qui composent le dessin, il s'agit donc de les assembler en un modèle graphique cohérent. Cette représentation intermédiaire, qui existe dans l'esprit du dessinateur et qu'il s'agit de reconstituer dans la mémoire du système logiciel, est le lieu de la reconstruction, c-à-d de la mise en correspondance entre les éléments. et de la validation géométrique du dessin. Après avoir résolu la problématique de la reconnaissance des composants graphiques d'un croquis à main libre, il s'agit donc de résoudre un second problème : celui de la détection des principes graphiques mis en oeuvre.

5.1 Trois approches de résolution

Pour réaliser cette reconstruction, IC&C développe trois approches relativement différentes, chacune basée sur un principe caractéristique : (i) un moteur de contraintes géométrique, analogue à ceux mis en oeuvre en conception mécanique, (ii) un moteur d'alignement qui privilégie une trame orthogonale et (iii) un moteur original qui procède par composition, comme l'effectue le dessinateur chargé de la mise au net du dessin.

Dans cet article nous nous concentrerons sur cette troisième approche. Mais montrons d'abord rapidement pourquoi les deux premières ne sont pas utilisables en reconstruction de croquis architecturaux.

Un moteur de contraintes géométriques

La première approche choisie pour effectuer la reconstruction a consisté à implémenter un moteur de contraintes : considérant toutes les contraintes géométriques qui lient chaque élément du dessin aux autres, ce système cherche à minimiser l'erreur globale et à la répartir sur l'ensemble de la représentation. Très utile dans la génération de formes en conception de pièces mécaniques par exemple, cette technique apporte assurément la meilleure solution géométrique qu'il est théoriquement possible d'atteindre. Par contre, même en intégrant des contraintes d'ordre topologique pour forcer le processus à respecter l'intégrité du dessin initial, la solution obtenue n'est pas de nature à satisfaire l'architecte. En effet, la distribution des erreurs apporte des modifications aux cotes qu'il a explicitement indiquées : la longueur d'un mur relevée à 3m 80 peut se voir adaptée à 3m 84 sans raison autre que le rééquilibrage dimensionnel induit par une erreur effectuée ailleurs dans le plan. L'utilisateur obtient donc un plan objectivement plus "juste" mais qui ne reprend pas les mesures qu'il attend. Pour cette raison de décalage entre les données d'entrée et les coordonnées de sortie calculées, cette approche n'a pu être validée, dans le contexte de relevé architecturaux.

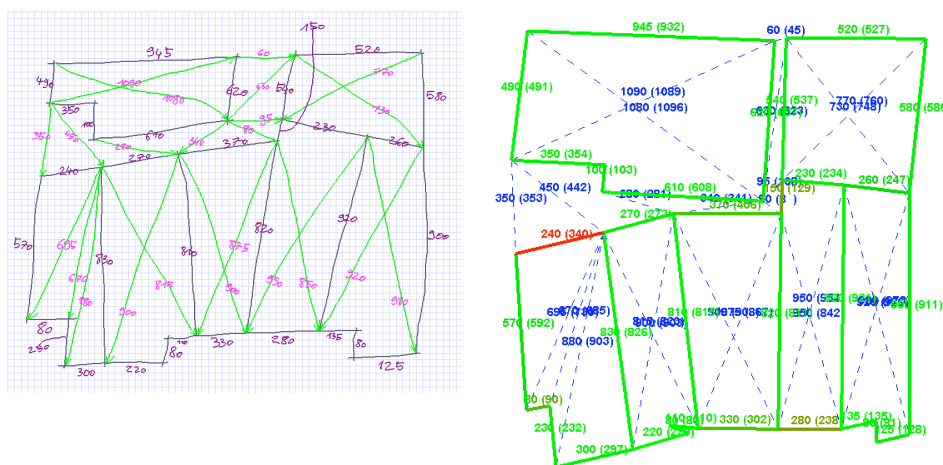


Figure 6 - Moteur de contraintes géométrique : reconstruction par répartition des erreurs.

Un moteur d'alignement

La seconde approche considère l'hypothèse d'alignement : la plupart des plans représentant l'architecture courante emprunte effectivement une référence axiale principale, qui est même souvent parfaitement orthogonale. Suivre ce postulat permet

de reconstruire très aisément une large majorité du contenu des croquis quotidiens. Il offre en outre une méthode efficace de déduction de cotes.

Il montre toutefois ses limites sur les arcs, les parties courbes irrégulières ou sur les articulations entre portions de plans qui suivent des axes référentiels différents. Il n'est donc pas pleinement utilisable en architecture.

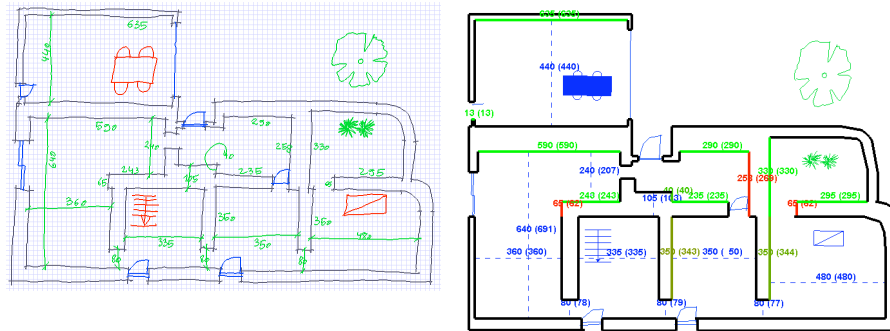


Figure 7 - Moteur d'alignement : reconstruction par alignement sur axes préférentiels.

Un moteur de composition

Le troisième moteur est un reconstruteur qui, au-delà de la triangulation classique, repose sur le paradigme suivant : dans un croquis à main levée, l'implicite est omniprésent au-delà des mesures indiquées. De nombreuses règles complémentaires régissent la composition mais elles ne sont jamais déclarées : alignements, perpendicularités et parallélismes sont massivement exploités dans la composition des plans et même des relevés. Ces règles existent par essence et sont tacitement interprétées par le dessinateur au moment de la transformation en plan net. Dans les logiciels de DAO, les procédures déclaratives contournent cet implicite : tout ce qui n'est pas donné par l'utilisateur est ignoré par le système, ce qui d'ailleurs conduit leurs interfaces à être lourdes et fastidieuses.

a) Exemples de principes graphiques implicites

Nous n'allons pas détailler ici toutes les règles implicites qui régissent la construction d'un dessin d'architecte : cela doit faire l'objet d'un article séparé car, pour élémentaires qu'elles soient, nous avons recensé plus d'une trentaine de combinaisons différentes. Pour rendre compte de la complexité de leur détection et de leur rôle fondamental sur la concrétisation du modèle graphique, illustrons notre propos par quelques exemples et contre-exemples parlants.

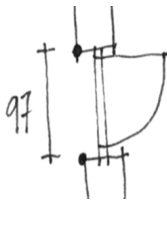

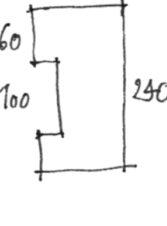


				
<p>Les deux traits liés par la cote sont implicitement alignés</p>	<p>Les trois traits sont implicitement parallèles et perpendiculaires deux à deux</p>	<p>La mesure du 3^e trait vertical gauche vaut 80 par déduction</p>	<p>Le symbole doit implicitement garder sa position relative dans le plan net</p>	<p>Les segments du bloc flottant sont implicitement positionnables par alignements</p>

Figure 8 - Exemples de principes graphiques implicites.

b) Les verrous de l'implicite

Le croquis synthétique numérique est donc face à un paradoxe important : il permet l'expression d'un système géométrique cohérent non validé (le croquis synthétique) mais il ne dispose pas de tous les moyens pour vérifier son intégrité. On pourrait suggérer qu'il se satisfasse des contraintes connues et qu'il propose une reconstruction chronologique qui suive l'arrivée des informations fournies par le dessinateur. Ce serait oublier que celui-ci est assurément la principale source d'incertitude et d'incohérence! L'objectif du système développé est même d'identifier ces ratés et manquements. Il s'agit donc de reconstruire le modèle graphique en mobilisant toutes les relations possibles qui existent entre les connaissances disponibles, déclarées ou implicites. Cela s'avère le meilleur moyen pour isoler la ou les contraintes qui s'accordent le moins avec les autres et d'interroger le concepteur sur la pertinence de celle-ci. Par exemple (figure 9), cette diagonale relie-t-elle les bons points de mesure? Sa cote est -elle correctement notée? Cet alignement est-il présent dans la réalité s'agit-il d'une simplification graphique?

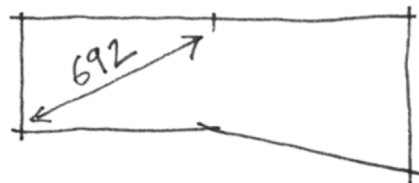


Figure 9 - Exemple d'incertitudes graphiques sur un dessin élémentaire.

On voit que la composition d'un croquis synthétique, que l'on pourrait voir comme un problème bidimensionnel simple, s'avère en fait d'une complexité redoutable. Si l'on peut imaginer une solution pour chaque cas présenté au point 5.1.b, on comprend que celles-ci ne sont pas applicables sans connaissance précise de leur contexte, c-à-d de sa parfaite reconnaissance (issue 1). Les expérimentations que nous avons menées avec les moteurs successifs nous montrent qu'un système artificiel ne peut, à l'heure actuelle, résoudre distinctement tous ces cas de figure à la fois similaires et différents. Le recours à l'utilisateur reste donc pertinent dans le choix de l'option ou de la règle à suivre (issue 2). Ces deux conclusions nous amènent à formuler la déduction suivante : le croquis de composition assistée, appelé ici croquis synthé-numérique, est une image numérique de nature interactive. Elle renvoie donc nos questions de recherche vers les problématiques de l'IHM - interaction homme-machine - autant pour la partie amont du problème (acquisition et reconnaissance) que pour sa partie aval de l'interprétation et la résolution géométrique.

Nos travaux actuels et futurs concernent donc l'identification et l'implémentation des meilleures procédures de sollicitation de l'utilisateur. Celles-ci devront l'interpeller de façon pertinente, après s'être assurées que toutes les possibilités de reconstruction sont invalidées malgré les déductions et l'exploitation de toutes les données et principes implicites détectés.

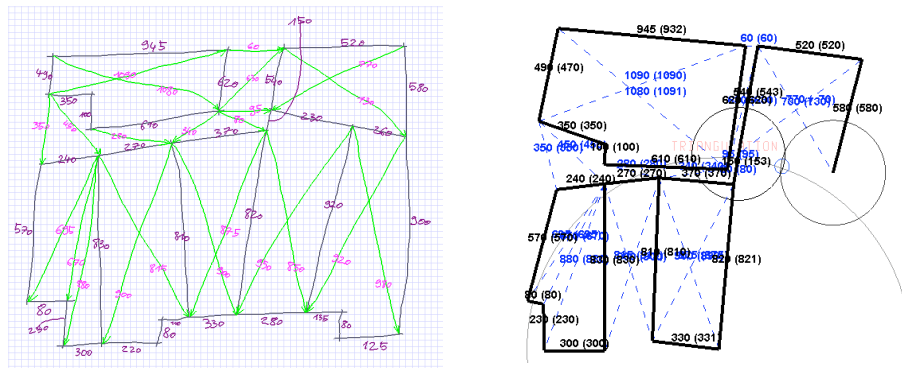


Figure 10 - Reconstruction par composition.

6 Conclusions

Par l'analyse de ses caractéristiques spécifiques, nous avons indiqué la place particulière que le croquis synthétique occupe dans la production graphique architecturale. En tant que mode graphique dédié à la communication entre concepteurs, nous avons vu qu'il est appelé à jouer un rôle très intéressant comme outil d'interaction avec le monde numérique.

La présentation du prototype logiciel prototype IC&C - Interaction par Croquis de Composition - a ensuite attesté de l'innovation et de la pertinence du concept proposé.

A travers ses atouts, dont le dote les techniques plus avancées du génie logiciel, mais aussi à travers ses actuelles limitations, dues à la grande complexité de la communication humaine, nous avons fait valoir le niveau d'opérabilité déjà atteint par le croquis synthé-numérique dans la reconstruction spontanée de plans architecturaux.

7 Remerciements

Ce projet est financé par le programme WIST - Wallonie Information Société et Technologies de la Direction Générale des Technologies et de la Recherche, Région Wallonne, 2003-2007. Il associe les équipes de l'Université de Liège (Ingénierie de conception, Génie logiciel, Traitement d'image et Ergonomie de conception) et des Facultés Polytechniques de Mons (Traitement du signal vocal). Nous remercions aussi les 9 bureaux d'études qui ont activement participé aux multiples *focus groups* utilisateurs de ce projet.

8 Bibliographie

Azar S., Couvreur L., Delfosse V., Jaspard B. and Boulanger C., 2006. *Agent-based Multimodal Interface for Sketch Interpretation*, MMSP-06 : Eighth international workshop on multimedia signal processing, British Columbia, Canada.

Boulanger & Decortis, 2005. *Outil de mise au net de relevés sur site en temps réel : Analyse de l'activité et implications pour la conception*. Proceedings of Epique 2005, Toulouse, France.

Boulanger, C., Safin, S. & Leclercq, P., 2005. *Le papier dans les environnements virtuels pour l'architecture : Quels supports pour un traitement digital de l'information?* SCAN'05 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique sur le rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique, Paris, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Val de Seine, France.

Darses F., Mayeur A. & Leclercq P., (à paraître), *Is there anything to expect from 3D views in sketching support tools?*

Détienne F., Visser W. & Tabary R. (sous presse). *Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative*. Psychologie de l'Interaction.

Estevez D., 2001. *Dessin d'architecture et infographie. L'évolution contemporaine des pratiques graphiques*. Paris : CNRS éditions.

Goel V., 1995. *Sketches of Thought*. Bradford-MIT Press, Cambridge.

Goldschmidt G., 1994. *On visual design thinking : the vis kids of architecture*. Design Studies, vol 15, pp. 158-174.

Graves M., 1981. *Le Corbusier's drawn references. Introduction to Le Corbusier's selected drawings*. Rizzoli, New York.

Juchmes R., Leclercq P. & Azar S., 2005. *A Multi-Agent System for the Interpretation of Architectural Sketches*, Special Issue of Computers and Graphics Journal, Vol. 29, No. 5, Elsevier.

Juchmes R. & Leclercq P., 2004, *A Multi-Agent System for Architectural Sketches Interpretation*, Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces, Grenoble, France.

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 synthétique*, 300 p., thèse de doctorat, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

Leclercq P., 2005. *Le concept d'esquisse augmentée*. SCAN'05 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique sur le rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique, Paris, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Val de Seine, France.

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.

Safin S., Leclercq P. & Decortis F. (à paraître en 2007). *Evaluation d'un bureau virtuel de conception et d'une visualisation 3D précoce sur l'activité de conception*. Soumis à la Revue d'Interaction Homme-Machine.

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.

,