

***Une nouvelle approche informatique :**
à la confluence du manuel et du numérique au début du processus de design

Tomás Dorta

École de design industriel, Université de Montréal

tomas.dorta@umontreal.ca

Résumé. Un nouveau paradigme est proposé pour l'utilisation de l'informatique appliquée dans la conception en design industriel. Contrairement à l'approche actuelle, ce paradigme incite à un nouvel usage de l'ordinateur qui saurait mettre en valeur les expertises et capacités du designer. Vu que l'outil informatique s'adapte mal à l'idéation, surtout au début du processus, les avantages de l'ordinateur sont présentement limités à des fins de présentation alors qu'ils devraient aussi servir pour le design en soi.

Pour résoudre un problème de design, le concepteur doit rechercher l'objet à travers une simulation graphique et manuelle adaptée à la démarche de sa pensée, donc partir de l'abstrait, l'ambigu et l'imprécis et se diriger vers un modèle qui se concrétise et devient plus précis à la fin du processus. Actuellement, les solutions informatiques exigent une finition et une précision qui contraignent l'intention créative, permettant toutefois une perception et un esthétisme réalistes et rapides mais questionnables. Par ailleurs, l'interface informatique doit s'adapter à la cognition et à l'ergonomie de l'utilisateur, sans entraver sa démarche par des interactions avec le système qui détournent son attention de la tâche en cours. De plus, le travail de simulation informatique exige à tout moment une compréhension géométrique prématurée, qui restreint la liberté du designer, à l'inverse des outils traditionnels comme l'esquisse à main levée et la maquette.

Ce paradigme est expliqué et argumenté à travers deux techniques qui marient les avantages des méthodes traditionnelles (esquisses et maquettes) aux méthodes informatiques : la maquette hybride et la réalité virtuelle dessinée.

Mots clés. processus de design: prototypage rapide; maquettes; esquisses; modélisation 3D.

Introduction

Cette recherche est surtout une remise en question de l'usage actuel de l'informatique en design industriel. Ce questionnement vise l'usage de l'informatique, principalement lors des premières étapes du processus de conception alors que l'activité créatrice est plus importante et l'ordinateur plus limitatif. De nos jours, l'informatique est plutôt utilisée comme un outil de présentation que de design. Bien que la visualisation informatique ait amélioré la communication des formes complexes pour le designer lui-même et dans un groupe de travail (Dorta, 2001), la plupart des tâches de conception et la prise de décisions sont réalisées à travers des outils analogues traditionnels comme l'esquisse et la maquette. Il est donc essentiel de proposer de nouvelles approches pour vraiment profiter des avantages de l'informatique dans l'activité de conception.

Par ailleurs, un nouveau type de designer semble se distinguer dans la pratique. Celui spécialisé en informatique, comme si l'outil informatique avait besoin d'un autre utilisateur que le designer typique. Est-ce que ces solutions informatiques sont

* Colloque : *L'esthétique. Des beaux-arts à l'acceptabilité sociale en design industriel ou du jugement dans l'art au discernement dans le problème de la cité* (ACFAS 2005), 12 mai, Université de Québec à Chicoutimi.

bien adressées aux designers ? La complexité de l'outil et l'approche choisie pour l'intégrer en design fonctionnent-elles bien ? La plupart de solutions informatiques proposées en design viennent d'autres disciplines et sont efficaces pour d'autres types de tâches. En utilisant l'informatique de cette façon, sommes-nous en train d'affecter le résultat du processus de conception ? Si auparavant les outils manuels traditionnels avaient leurs propres limites, est-ce que le design actuel est aussi limité par ce nouvel outil informatique ? Voilà certaines questions auxquelles cette réflexion tentera de répondre.

La nouvelle approche est proposée à travers deux techniques, une porte sur le design de l'espace et l'autre sur la maîtrise de la forme : la réalité virtuelle dessinée (RVD) (Dorta, 2004) et la maquette hybride (MH).

L'informatique actuelle = précision

L'ordinateur exige actuellement de la part du designer une précision et une finition de l'idée en gestation qui peuvent contraindre sa créativité. La philosophie des interfaces de plusieurs logiciels 2D et 3D demandent une précision de la forme et de ses dimensions qui interpellent l'image mentale initiale que le designer a de la solution, et ce, dès le début du processus de conception. Cela arrive trop tôt dans la démarche, car les idées sont encore des incertitudes quant au problème à traiter (Lebahar, 1983).

De la façon dont les interfaces informatiques sont conçues, le designer est entravé dans sa démarche en se concentrant sur l'outil, plutôt que sur sa tâche de design (Norman, 1998 ; McCullough, 1996). À travers des actions structurées de la souris avec les commandes montrées dans les menus des logiciels, le designer est forcé de prendre des décisions prématurées, exigeant une précision inappropriée en comparaison avec les techniques d'esquisse sur papier (Gross, et al., 1996).

Dans les principes de base de l'informatique graphique, lorsqu'elle était de plus en plus populaire et accessible à différentes disciplines, un des principes les plus importants était celui de connaître l'utilisateur (Hansen, 1971). Or, la plupart du développement informatique est réalisé sans tenir compte des besoins spécifiques des designers. Les designers sont alors obligés de jouer un rôle passif et adopter des solutions qui répondent à d'autres contextes et de les adapter à leurs demandes.

Cela a pour résultat que les interfaces utilisées sont inappropriées au design. L'emphase n'est pas sur la création mais sur la réponse aux exigences et caprices des commandes (Raskin, 2000). Tous les avancements en termes d'interactivité et de visualisation 3D sont dilués par la complexité de ces commandes (paramètres, valeurs par défaut, attributs, etc.). De plus, nous sommes actuellement en train de proposer de nouvelles solutions logicielles et nous interagissons encore avec la souris et le clavier. En outre, les exigences géométriques pour la proposition de la forme 3D dans ces logiciels sont prématurées pour la réalisation de certaines actions, surtout au début du processus. Ces logiciels étant élaborés sur une géométrie euclidienne, plusieurs éléments de la visualisation (vues orthogonales et présentations en fil de fer) doivent être décodés, limitant la facilité de la compréhension de la forme proposée (Dorta et Lalande, 1998).

Par leur précision et la quantité de paramètres à contrôler, les solutions informatiques sont malgré tout bien adaptées pour la préparation de présentations pour les clients avec des rendus photos-réalistes, un traitement de la lumière et des matériaux. Elles sont également idéales pour la fabrication de prototypes finis, avec la réalisation de plans techniques et le contrôle numérique. Néanmoins, elles sont moins adaptées pour une exploration initiale de la solution de design qui serait libre et imprécise comme avec l'esquisse à main levée ou la maquette de travail.

Designer spécialisé contre designer ordinaire

L'ensemble des exigences nécessaires pour bien se servir des logiciels d'illustration, de modélisation et d'animation a fait en sorte que sur le marché de travail, une nouvelle catégorie de designer expert en informatique semble de plus en plus se distinguer. Dans d'autres disciplines ce type de professionnels existe déjà, comme les cyber-architectes très à l'aise avec la conception numérique et capables de proposer des projets qui, cependant, existent seulement dans le monde virtuel (Campbell, 1996).

Il est vrai, qu'il existe des spécialistes de différents outils, comme des maquettistes professionnels et des illustrateurs. Toutefois, dans le langage du design, la réalisation de maquettes et d'esquisses est courante et nécessaire et à laquelle s'ajoute la représentation informatique. Mais il semble y avoir une exigence particulière avec l'ordinateur, à cause de sa complexité. La question soulevée est : les outils ou les moyens de conception méritent-ils une spécialisation ? Doivent-ils plutôt être acquis et maîtrisés comme véhicules du langage du concepteur pour trouver des solutions ? Évidemment, ils doivent être maîtrisés et utilisés par tous les designers, et non par un groupe d'experts.

Le designer doit être expert principalement dans la tâche de conception, dans la recherche de l'artefact qui convient à son contexte, et non dans l'outil de représentation de l'idée. L'outil doit être adapté à cette démarche et doit la nourrir et la faciliter sans l'affecter. L'activité principale du designer doit demeurer la recherche de l'artefact et non la manipulation de l'outil.

C'est comme si l'informatique était devenue une rhétorique de l'objet de design et non sa créatrice. C'est un outil pour le discours du designer, mais pas nécessairement le terrain d'idéation. D'ailleurs, il faudrait s'attarder davantage sur la manière dont cet artefact est représenté par ordinateur. Il s'agit d'une illusion, d'une image esthétique, mais la réalité, comme est-elle? Plusieurs solutions proposées semblent limitées par la maîtrise des commandes et des logiciels utilisés pour les représenter. Est-on confronté au même problème qu'avec les outils traditionnels ?

La force de l'analogie : l'artisan

Le designer possède un ensemble de compétences déjà acquises pour travailler l'objet tridimensionnel et l'espace. Comme l'artisan, il a déjà manipulé certains matériaux et, avec l'aide de ses mains et de la vision stéréoscopique, il peut saisir la forme correctement. Lors de sa formation et durant sa pratique, plusieurs techniques d'expression graphique s'ajoutent également à sa gamme d'outils pour esquisser les idées.

Dans l'ensemble, il s'agit d'un travail manuel où l'abstraction des images à l'écran est validée par des manipulations directes et des sensations haptiques dans un travail interactif psychomoteur. L'image visuelle devient plus forte lorsque les résultats d'une activité psychomotrice sont intégrés avec ceux d'une observation visuelle (Furness, 1987). La connexion de l'image mentale avec le fonctionnement psychomoteur produit une image physique : le dessin. Cela est possible grâce à un réseau fermé composé de la représentation graphique, la vue, l'image mentale et la main (Lasseau, 1980). Selon Furness, le processus créatif est amélioré lorsque les trois processus (visuel, mental et psychomoteur) sont actifs.

L'interface du crayon sur papier et la construction de maquettes de travail est plus directe et facile que l'ordinateur pour un travail créatif. On dit souvent que les esquisses réalisées par ordinateur et la modélisation informatique sont plus lentes que l'imagination humaine. La créativité dépend de la vitesse et de la facilité d'utilisation du système (Klercker, 1995).

Dans le monde analogue, contrairement au numérique, deux outils traditionnels sont très importants pour les activités de conception tôt dans le processus : le média graphique ou l'esquisse à main levée, et le média physique ou la maquette de travail.

L'esquisse

Les caractéristiques générales des esquisses à main levée sont qu'elles sont abstraites, ambiguës et imprécises (Gross, et al., 1996). En utilisant des éléments abstraits, la spécification des détails peut être repoussée. L'abstraction est un processus de simplification de la réalité. L'ambiguïté, pour sa part, permet de maintenir plusieurs possibilités ouvertes pour la sélection ou l'identification ultérieure d'un élément. L'ambiguïté aide le designer à découvrir de nouvelles idées car elles peuvent souvent être mal interprétées et offrent une information incomplète (Park, 1996). L'imprécision permet alors de prolonger la prise de décision pour ce qui est du positionnement et des dimensions exactes des éléments.

L'esquisse est un outil de visualisation et de simulation graphique rapide et intuitif qui n'a pas encore été remplacé. Goel (1994) argumente que les représentations d'esquisses supportent la cognition du designer d'une manière plus efficace que les formes plus précises et finies. L'esquisse cherche l'exploration et la communication des idées géométriques tridimensionnelles. Aussi, il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance spatiale pour dessiner. On obtient facilement des changements et la précision n'est pas nécessaire à l'expression d'une idée (Zelevnik, et al., 1996).

Le dessin est un système de simulation graphique (Lebahar, 1983). Il permet de représenter des idées par des objets graphiques. En manipulant ces objets, le designer va construire et détruire, placer et déplacer, reconstruire, décider et déterminer les dimensions de l'objet. Cette simulation lui donne la possibilité de transformer son image mentale avant qu'elle ne soit construite. Au fur et à mesure que la recherche de l'objet approche sa finition, la connaissance du concepteur s'accroît en quantité et en précision. Les dessins vont se préciser pour définir toutes les parties de l'objet.

Par ailleurs, en comparaison avec les plans détaillés, l'esquisse contient la pensée et les délibérations du designer, lors des premières étapes du processus (Dirk, et al., 1995). Lockard (1973) argumente que dessiner à main levée permet à notre cerveau de voir l'information, la comprendre et y répondre. En analysant les esquisses d'architectes, Schön (1985) dit qu'ils sont une réflexion en action.

L'impossibilité de se sentir à l'intérieur de l'espace et de ne pas pouvoir éviter l'abstraction spatiale pour comprendre des formes et des relations complexes tridimensionnelles sont des problèmes du dessin pour la génération des objets 3D (Lansdown, 1994). Il existe aussi une tricherie inconsciente sur les proportions de l'objet, due à l'imprécision de la représentation, à l'irrespect de l'échelle humaine et à l'angle de vision de l'observateur.

La maquette

Le modèle à échelle est un outil très efficace pour expérimenter les formes qui seront présentées en grandeur réelle. Il peut être construit à n'importe quelle échelle, même en vraie grandeur comme en design industriel, ce qui implique la possibilité d'un travail de conception direct sur la maquette. Cela signifie que la prise de décisions et la validation de formes, des détails et des textures de l'objet est faite directement sur l'objet de design. Le fait de pouvoir toucher l'objet et sentir ses formes à travers des matériaux et techniques malléables permet d'améliorer cette démarche créative.

De plus, il s'agit d'une forme 3D qui est manipulée et étudiée dans le monde réel 3D, permettant ainsi de maîtriser la recherche formelle et les proportions sans l'intermédiaire des images à l'écran de l'ordinateur. Par ailleurs, étant malléable, la

maquette permet l'exploration libre des géométries avec ses ambiguïtés et ses imprécisions tout comme avec l'esquisse, mais sans limitation prématurée des idées. La maquette assure aussi que certaines questions demeurent sans réponse, laissant encore une marge de flexibilité, en plus de donner un lieu visuel explicite pour les décisions qui restent à prendre.

D'une part, le toucher est très important dans la perception humaine. Il permet de comprendre véritablement une géométrie 3D. La perception haptique est utilisée en combinant des perceptions tactiles (peau) et kinesthésiques (muscles et articulations). Cette définition a été établie car pour palper et percevoir des objets réels grâce au toucher, il est nécessaire des deux stimulus tactile et kinesthésique (Kurze, 1997). Même en proposant une grande variété de méthodes interactives graphiques, très peu de techniques de modélisation basées sur l'ordinateur ont permis aux modeleurs de concevoir directement avec leurs meilleurs boîtiers à outils : les mains (Dachille et al., 1999).

D'autre part, la vision prend évidemment beaucoup de place dans notre perception, et presque n'importe quelle tâche peut se réaliser à l'aide de la vision seulement. Cependant, utiliser intuitivement et naturellement un autre sens comme le toucher donnera un résultat plus intéressant (Tan, 2000). Pour illustrer ceci, prenons l'importance de la coordination des yeux et des mains pour la réalisation d'une tâche comme la sculpture. La continuité visuelle d'un crayon numérique sur l'écran est dépassée par l'expression d'un modèle 3D avec une continuité visuelle et tactile, cette fois sans commandes, sinon avec le toucher.

Enfin, parmi les problèmes les plus importants des maquettes on retrouve l'effet Gulliver (Porter, 1979) qui est ressenti lorsque l'échelle est trop petite, et ceux qui sont liés aux changements de la forme et des proportions. Ils sont éventuellement plus difficiles à gérer qu'avec l'esquisse.

Les techniques proposées

Nous proposons l'usage des outils analogues traditionnels mariés aux avantages de l'ordinateur, en contournant les problèmes informatiques et en se concentrant ainsi sur l'utilisateur et sur la tâche de création. L'idée est de sortir l'information de l'ordinateur lorsqu'il a atteint ses limites, pour la traiter à la main et avec les techniques acquises, et puis la réintégrer au système informatique pour profiter de ses avantages en termes de visualisation et traitement de la forme.

Quelques recherches exploratoires portant sur l'intégration des deux modes (analogue et numérique) ont amorcé cette réflexion dans le cadre des ateliers de design (Hebert, 1995 ; Burry, 1998 ; Bermúdez et King, 1998 ; Angulo et Vásquez de Velasco, 2003 ; Schnabel, et al., 2004). Toutefois, il est primordial d'offrir des techniques d'intégration structurées qui vont soutenir cette exploration pour la forme et l'espace.

Dans la représentation de l'artefact de design, il existe deux éléments importants. D'une part, l'extérieur de l'objet perçu à travers une forme articulée et esthétique, qui répond à certaines proportions. Cette forme doit être travaillée avec des outils qui permettent d'y toucher et de sentir les détails et ses courbes. Idéalement, il s'agirait de sculpter la forme. D'autre part, lorsque l'artefact a un intérieur habitable, cet espace doit être conçu de l'intérieur. On doit être capable de l'habiter et de sentir ses proportions.

1) La maquette hybride (la forme)

Elle consiste à travailler sur les deux modes de représentation (analogue et numérique) en modifiant le modèle 3D à travers des procédés analogues (pâte à modeler, argile,

etc.) et numériques (transformations affines, opérations booléennes, etc.). Il s'agit d'un cycle d'itérations aller-retour fréquentes et continues entre le virtuel et le réel, à travers la numérisation 3D et le prototypage rapide (PR), pour profiter des avantages des deux modes de représentation.

Pour illustrer l'approche intégrant la maquette hybride, considérons un designer qui entreprend la modélisation formelle d'un artefact tel qu'une souris d'ordinateur. Il pourrait débiter son exploration en manipulant un bloc de glaise qu'il modifie manuellement pour arriver à une première idée. Ce concept est ensuite numérisé et visualisé à l'écran, et dès lors le designer emploie des techniques propres au mode numérique pour appliquer des effets de symétrie bilatérale et effectuer des opérations booléennes telles que des soustractions ou des additions de formes. Le retour au mode analogue se fait par l'entremise du prototypage rapide. L'objet créé est relativement malléable et peut aisément être modifié, sculpté par soustraction (découpe, perçage, ponçage, etc.) ou addition de matière (glaise, carton, styromousse, etc.). La forme évolue de cette façon et reprend le chemin vers le mode numérique pour y être traitée par les outils qu'on y trouve. L'objectif de cette démarche est de profiter des avantages qu'apportent chaque mode numérique et analogue, de façon répétée, en laissant au designer le choix de la méthode qu'il juge la plus appropriée pour une action particulière.

2) *La réalité virtuelle dessinée (l'espace)*

Cette technique utilise l'ordinateur pour construire un gabarit panoramique (360°) qui, une fois imprimé, devient la base graphique où le designer réalise ses esquisses à main levée. Cette image panoramique dessinée est ensuite numérisée et visualisée à travers la technique informatique QuickTime Virtual Reality (QTVR) (Chen, 1995). Ici l'image est placée autour du point de vue de l'observateur, ce qui permet à l'utilisateur de diriger son regard de façon interactive en cliquant sur l'image pour la déplacer dans toutes les directions. La vue panoramique déforme la perspective pour l'adapter à un cylindre, qui une fois fermé par la technique QTVR, permet l'utilisateur d'observer de multiples perspectives correctes (non-déformées).

Comme première étape, le designer modélise les formes 3D de base dans un logiciel qui permet la vue panoramique. Ces formes de bases vont devenir les références graphiques des lignes en fil de fer de l'image panoramique imprimée. Pour ajouter plus de lignes à ce gabarit graphique, il est possible de mailler les objets. Une fois le gabarit imprimé, le designer utilise la technique d'esquisse à main levée la plus maîtrisée. Le designer utilise les lignes de référence des formes de base dans le gabarit pour guider et contrôler les proportions et la projection du dessin. Une fois l'image numérisée, le logiciel QTVR est utilisé pour la visualisation.

L'artisan assisté par ordinateur

L'informatique est intégrée dans le processus de design, mais sans que l'on comprenne exactement où elle est vraiment efficace. Les modèles 3D et le PR entrent dans le processus grâce à l'utilisation des logiciels de modélisation pour valider les aspects fonctionnels et techniques (précision et vitesse), mais non pour des raisons de design. Ces techniques n'ont pas été créées pour supporter les tâches d'idéation ou de conceptualisation. D'autre part, ces techniques sont utilisées principalement lors des dernières étapes du processus et pour communiquer l'idée au client. De plus, malgré leurs avantages, les techniques traditionnelles comme l'esquisse sont amoindries ou mal intégrées au travail avec les nouvelles technologies. Le designer ne doit pas voir les deux démarches (numérique et analogue) comme étant distinctes. De cette façon, les limitations de chaque approche sont amoindries : l'interface ou la complexité de la

modélisation dans le cas de numérique et le temps de réalisation et les erreurs de dimensions dans le cas de l'analogue. Ainsi, la représentation 3D du projet est menée par des critères de design et non par des critères de fabrication.

L'activité de conception est ainsi en train de se dissocier des outils porteurs du langage particulier du design. Il s'agit premièrement de revenir à la source, et tout comme l'artisan, de reprendre la maîtrise des outils et deuxièmement que le designer propose lui-même des solutions plutôt que d'utiliser celles qui sont proposées par le système.

Il faudrait arrêter de faire des solutions finies dès le début du processus. C'est une recherche de la forme et de l'espace que nous visons, comme celle de l'artisan qui réalise une sculpture ou un tableau par un ensemble d'étapes empiriques et successives d'amélioration, comme le « New Modeling » proposé par Weinand (2004). Valorisons la démarche artisanale améliorée à l'aide de l'ordinateur.

Une esthétique maîtrisée

Les images et les formes sont devenues presque standardisées depuis l'avènement des logiciels spécialisés. On a l'impression que toutes les représentations sont photo-réalistes, parfaites et précises, et ce, soit à la fin du processus et même ou début de celui-ci. La qualité des artefacts proposés devrait être regardée sans la persuasion d'un rendu sans erreurs ou même truqué par une retouche de logiciel. Il faudrait s'attarder à l'« arrière » du rendu informatique et observer la démarche. C'est à cette fin que nous proposons ce nouveau paradigme.

Les intentions devraient rester ambiguës jusqu'à que le designer soit prêt à passer à une nouvelle étape. Les outils et les techniques qui permettent de faire cela doivent être adaptés à la manière de faire des concepteurs. La frontière où le virtuel devient accessible pour explorer les concepts sans décrocher des idées et de la démarche créative doit être érigée.

L'information devrait être traitée par le designer lui-même, sans crainte d'imperfection. L'ordinateur ne doit donc pas être vu comme un instrument indispensable pour agir avec les concepts : une revalorisation de l'action manuelle et la maîtrise des autres outils est suggérée.

Conclusions

Dans la nouvelle approche de l'informatique en design, l'ordinateur doit bien s'intégrer aux outils de base traditionnels pour les améliorer. Il ne s'agit pas de simuler ces outils ou des les remplacer par un équivalent numérique. Il s'agit plutôt d'utiliser les avantages de l'ordinateur pour traiter l'information et rendre plus efficaces les outils traditionnels actuels (modèles de base et esquisses), où le travail manuel est important et facile au début de l'idéation. Le designer doit se concentrer sur son travail de création, et l'outil doit être centré sur cette tâche et répondre aux exigences du designer, en plus d'être adapté aux compétences déjà acquises.

Références

- Bermúdez, J. et King, K.: 1998, Media Interaction and Design Process: Establishing a Knowledge Base, dans T. Seebohm, et S. V. Wyk (eds), *Digital Design Studios, Do Computers Make A Difference*, ACADIA 1998, Québec, pp. 7–25.
- Burry, M.: 1998, Handcraft and Machine Metaphysics, dans *Computer in Design Studio Teaching, Proceedings of 16th European Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe*, eCAADe 1998, Leuven, pp. 41–50.
- Campbell, D.: 1996, *Design in Virtual Environments Using Architectural Metaphor : A HIT Lab Gallery*, Mémoire de maîtrise, Université de Washington.

- Chen, S. E.: 1995, QuickTime® VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation, dans *Proceedings of the 22nd annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM Press, New York, pp. 29–38.
- Dachille, F. D.; Qin, H.; Kaufman, A. et El-Sana, J.: 1999, Haptic Sculpting of Dynamic Surfaces, dans ACM (ed), *Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics*, Atlanta, pp. 103–227.
- Dirk, D. et Holger, R. : 1995, VRAD (Virtual Reality Aided Design) in the early phases of the architectural design process, CAAD Futures 95, Singapore.
- Dorta, T. et Lalonde, P.: 1998, The Impact of Virtual Reality on the Design Process, dans T. Seebohm, et S. V. Wyk (eds), *Digital Design Studios, Do Computers Make A Difference*, ACADIA 1998, Québec, pp. 138–161.
- Dorta, T.: 2001, *L'influence de la réalité virtuelle non-immersive comme outil de visualisation sur le processus de design*, Thèses de doctorat, Université de Montréal.
- Dorta, T.: 2004, Drafted Virtual Reality : A New Paradigm to Design with Computers, dans H. S. Lee, et J. W. Choi (eds), *Proceedings of the 9th International Conference on Computer-Aided Architectural Design and Research in Asia*, CAADRIA 2004, Séoul, pp. 829–843.
- Furness, T.: 1987, Designing in Virtual Space, dans W. Rouse, et K. Boff (eds), *System Design: Behavioral Perspectives on Designers, Tools and Organization*, North-Holland, New York, pp. 127–143.
- Goel, V.: 1994, *Sketches of Thought*, The MIT Press, Cambridge.
- Gross, M. et Do, E.: 1996, Ambiguous Intentions : A Paper-Like Interface for Creative Design, dans ACM (ed), *Proceedings of ACM Conference on User Interface Software Technology*, UIST 96, Seattle, pp. 183–192.
- Hansen, W. J.: 1971, User engineering principles for interactive systems, dans *Proceedings of the 1971 Fall Joint Computer Conference*, AFIPS Press, Montvale, pp. 523–532.
- Herbert, D. M.: 1995, Models, Scanners, Pencils, and CAD: Interactions Between Manual and Digital Media, dans *Computing in Design – Enabling, Capturing and Sharing Ideas, Proceedings of ACADIA 1995*, ACADIA 1995, Washington, pp. 21–34.
- Klercker, D.: 1995, Architects early sketching on computer Multimedia, dans *Multimedia and Architectural Disciplines, Proceedings of 13th European Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe*, eCAADe 1995, Palermo, pp. 247–256.
- Kurze, M.: 1997, Rendering Drawings for Interactive Haptic Perception, dans ACM (ed), *Proceedings of the Computer-Human Interaction Conference*, CHI 1997, Atlanta, pp. 423–430.
- Lansdown, J.: 1994, Visualizing Design Ideas, dans L. MacDonald, et J. Vince (eds), *Interacting with Virtual Environments*, Wiley, Toronto, pp. 61–77.
- Laseau, P.: 1980, *Graphic Thinking for Architects and Designers*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lebahar, J. C.: 1983, *Le dessin d'architecte*, Éditions Parenthèses, Roquevaire.
- Lockard, W.: 1973, *Design Drawing Experience*, Pepper Publishing, Tucson.
- McCullough, M.: 1996, *Abstracting Craft : The Practiced Digital Hand*, The MIT Press, Cambridge.
- Norman, D.: 1998, *The Invisible Computer*, The MIT Press, Cambridge.
- Park, H.: 1996, Digital and Manual Media in Design, dans *Education and Practice, Proceedings of 14th European Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe*, eCAADe 1996, Lund, pp. 325–334.
- Porter, T.: 1979, *How Architects Visualize*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Raskin, J.: 2000, *The Humane Interface : new directions to design interactive systems*, Addison Wesley, Boston.
- Schnabel, M.; Kuan, S. et Li, W.: 2004, 3D Transformations : 3D Scanning, Digital Modeling, Rapid Prototyping and Physical Depiction, dans H. S. Lee, et J. W. Choi (eds), *Proceedings of the 9th International Conference on Computer-Aided Architectural Design and Research in Asia*, CAADRIA 2004, Séoul, pp. 227–237.
- Schön, D.: 1985, *The Design Studio*, RIBA Publications, Londres.
- Tan, H. Z.: 2000, Haptic Interfaces, *Communications of the ACM*, 43(4), pp. 40–41.
- Angulo, A. et Vásquez de Velasco, G. P.: 2003, The Use of Three-dimensional Scanners and Plotters in Early Design Studios, dans *Proceedings of the 7th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, SIGraDI 2003, Rosario, pp. 108–110.
- Weinand, Y.: 2004, *New Modeling*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Zelevnik, R.; Herndon, K. et Hugues, J.: 1996, SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, Computer Graphics, Annual Conference, ACM.