La projection intégrée au Sketchpad III : origine en devenir d'un terrain critique de l'infographie

Projection built into Sketchpad III: Origin of a critical field in computer graphics

Julien Rippinger*

Laboratoire AIICe, Faculté d'architecture La Cambre-Horta de l'Université libre de Bruxelles

Résumé. Le dessin d'architecture traditionnel repose sur la technique de projection : des lignes invisibles ou abstraites traversent un plan sur lequel leurs traces deviennent la représentation d'un objet. L'infographie associe les techniques d'informatisation et de communication avec la représentation graphique et devient une source de transformation de la technique de projection. L'analyse des programmes pionniers Sketchpad et Sketchpad III développés au MIT Lincoln Laboratory en 1963 expose cette transformation du rôle de la projection. La problématique spécifique de la représentation d'objets à trois dimensions permet de cerner des choix qui ont automatisé et dissocié les vues projectives. Les conséquences de cette transformation seront mises en évidence par un recours au travail théorique de Robin Evans et par un retour aux notions fondamentales de la géométrie descriptive.

Mots-clés. Projection, Infographie, Sketchpad, Géométrie descriptive.

Abstract. Traditional architectural drawing is based on the technique of projection: invisible or abstract lines cross a plane on which their traces become the representation of an object. Computer graphics combine information and communication techniques with graphic representation and becomes a source of transformation of the projection technique. An analysis of the pioneering Sketchpad and Sketchpad III programs developed at MIT Lincoln Laboratory in 1963 exposes this transformation of the role of projection. The specific problematic of the representation of three-dimensional objects makes it possible to identify choices that have automated and dissociated the different projective views. The consequences of this transformation will be highlighted by a recall of the theoretical work of Robin Evans and through a return to the fundamental notions of descriptive geometry.

Keywords. Projection, Computer Graphics, Sketchpad, Descriptive Geometry.

* Corresponding author: julien.rippinger@ulb.be

1. Introduction

Dans l'ouvrage *The Projective Cast : Architecture and Its Three Geometries*, Robin Evans a entrepris une lecture historique de la représentation architecturale et exposé la projection comme une donnée essentielle dans la composition architecturale. D'après Evans, le dessin d'architecture repose sur la technique de projection : des lignes invisibles ou abstraites traversent un plan sur lequel leurs traces deviennent la représentation d'un objet (Evans, 1989). Le dessin projectif donne un accès perceptif aux formes géométriques et connecte l'architecte à son objet. *"Architectural drawings are projections, which means that organized arrays of imaginary straight lines pass through the drawing to corresponding parts of the thing represented by the drawing"* (Evans, 1989, p. 19). De plus, Evans avance l'idée d'une projection qui serait bidirectionnelle — ou plutôt jamais *unidirectionnelle* — à la fois de l'architecte vers son objet et de l'objet vers son architecte. Dans cette condition de la projection réside pour Evans la capacité créative qui combine la vision avec l'imagination architecturale.

L'infographie est l'association des techniques d'informatisation et de communication appliquées à la représentation graphique (Estevez, 2001). Du point de vue de la pratique architecturale, l'infographie a pu être perçue dans la continuité historique des techniques de représentation dont les évolutions depuis le 19^e siècle sont taxées d'instrumentalisation (Pérez-Gómez, 1983). L'utilisateur interagit avec des signes, mais ce qui est facticement appelé dessin est un contrôle visuel de l'état de données informatiques. De fait, ce que l'on appelle à ce jour « dessiner » revient à la création, la manipulation ou la computation de ces données. En ce sens, les outils infographiques sollicitent de la part de leur utilisateur deux fonctions complémentaires d'informatisation. Afin de réaliser un modèle numérique, l'encodage visuel du projet passe par l'appel de primitives graphiques (les données) ainsi que par l'attribution simultanée des informations (les métadonnées) qualitatives et relationnelles (Estevez, 2001). Littéralement, l'architecte infographique exécute son dessin en transmettant une chaîne d'instructions à un programme afin d'ordonner, sur son écran, des éléments graphiques dont il a préalablement défini les interrelations (Cache, 2010).

Depuis leur apparition, les outils infographiques ont pris plus d'ampleur et leur influence sur la conception apparaît aujourd'hui indéniable tant ces nouvelles pratiques de dessin se distinguent des méthodes traditionnelles. Avec une attention à la projection, comprise comme un outil de l'idéation architecturale, cet article propose d'analyser comment le dessin du passé se distingue de celui du présent.

2. L'image calculée

2.1 Le Sketchpad

L'origine de l'infographie est communément attribuée à Ivan Sutherland. Développé en 1963 au sein du MIT Lincoln Laboratory, le Sketchpad est le programme pionnier de l'infographie. Valant à son auteur le Turing Award 25 années plus tard, ce programme est le résultat d'une thèse de doctorat menée sous la direction de Claude Shannon. L'objectif étant un programme qui cherche à faciliter la communication entre l'utilisateur et l'ordinateur (Sutherland, 1963a). Pour ce faire, Sutherland a fait usage de deux inventions existantes et complémentaires : un écran cathodique, virtuellement rendu tactile via un stylo électronique. Le programme de Sutherland est finalement ce qui permettra de dessiner par

et sur ces nouveaux médias. *"The Sketchpad system uses drawing as a novel communication medium for a computer"* (Sutherland, 1963a, p. 9). Du fait qu'on trace des figures, le dessin devient un moyen — c.-à-d. un langage accessible aux humains — pour transmettre de l'information de nature assez particulière à une machine. *"Sketchpad stores explicit information about the topology of a drawing. If the user moves one vertex of a polygon, both adjacent sides will be moved. If the user moves a symbol, all lines attached to that symbol will automatically move to stay attached to it"* (Sutherland, 1963a, p. 9). Le Sketchpad peut aujourd'hui être considéré comme une invention essentielle pour comprendre la transformation de la représentation architecturale et la pratique du dessin infographique. Construire un dessin au Sketchpad correspond à encoder ou à modifier un *input*, puis à vérifier un *output* visuel des données transmises et nécessaires au programme pour faire ce même dessin. En bref, *"[the] construction of a drawing with Sketchpad is itself a model of the design process"* (Sutherland, 1963b, p. 510).

2.2 Le Sketchpad III

Toujours en 1963, le travail déterminant de Sutherland devient la fondation du programme Sketchpad III, réalisé pour une thèse de master par Timothy Johnson. Soucieux d'améliorer la communication homme-machine, Johnson se base sur les principes programmatiques développés par Sutherland et se concentre sur l'apport d'une troisième dimension au dessin communiqué à la machine (Johnson, 1963a). Diverses publications utilisent par erreur une photographie de Johnson en train de manipuler le Sketchpad III pour illustrer l'invention de Sutherland (figure 1). Un quiproquo sans doute engendré par la sensation de voir sur une photo de la « préhistoire de l'infographie » un objet à trois dimensions dessiné et manipulé graphiquement sur un écran d'ordinateur.

Figure 1. Photographies de Sutherland (à gauche)² et Johnson (à droite)³ sur le TX-2 en 1963.

Avec le code source, Johnson reprend directement les préceptes du Sketchpad définissant le dessin comme un réseau topologique avec des connexions contraintes, ce qui lui permet finalement de "dessiner directement en trois dimensions." Johnson jette en quelque sorte dans l'espace les concepts graphiques de Sutherland. Son travail consiste alors à développer un programme permettant un usage du TX-2 avec son écran, ses boutons-poussoirs et son stylo électronique et donnant accès aux informations sur des objets en trois dimensions. Ayant connaissance de cet héritage, nous concentrons notre

² Sutherland, "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System." p. 20.

³ Blau, Kaufman, and Evans, *Architecture and Its Image*. p. 140.

analyse sur l'usage spécifique de la projection telle qu'implémentée dans la version finale du Sketchpad III. Un usage qui se décline en deux opérations distinctes : celle de dessiner et celle d'afficher.

2.2.1 Afficher

L'écran du TX-2 est divisé en quatre parties (figure 1 à droite, et figure 2).⁴ Le quadrant en haut à droite représente l'objet en perspective et les trois autres en projection orthogonale. Le modèle 3D existe en tant que structure de données comportant la valeur des coordonnées de chaque vertice, qui sont organisés selon leur appartenance aux lignes tracées.⁵ Afin de pouvoir représenter ces données à trois dimensions sur la surface de l'écran, elles doivent être modifiées, autrement dit, projetées sur cette surface. À cet égard, Johnson fait usage des matrices d'application linéaire développées par Lawrence Roberts travaillant au Lincoln Laboratory.⁶ La projection proprement dite est ici une application d'algèbre linéaire — une généralisation de la géométrie adaptée au traitement numérique de l'information. En résumé, pour générer l'image à afficher, les données du modèle sont multipliées avec deux matrices : une matrice pour les trois projections orthogonales et une matrice pour la projection en perspective. Pour l'affichage des trois vues en projection orthogonale est successivement modifiée la partie rotation de la matrice en question afin d'appliquer conceptuellement une rotation à 90 degrés au modèle affiché.

Figure 2. Dessin exécuté sur le Sketchpad III à partir du design d'une chaise en fer forgé conçue par Ann Johnson, l'épouse de Timothy.⁷

⁴ À part la perspective, la disposition des projections orthogonales correspond à la *third-angle projection*. Il s'agit d'une variation de la méthode européenne de géométrie descriptive, alors définie comme *first-angle projection*, introduite en Amérique du Nord au début du 19^e siècle. Cette convention prétendument plus logique redispone la vue en plan au-dessus de la vue frontale et la vue latérale à côté de la vue frontale.

⁵ Johnson a modifié la structure des données de Sutherland en rajoutant la troisième coordonnée z. Cette structure de données est basée sur le travail de Douglas Ross et Jorge Rodriguez (Ross & Rodriguez, 1963).

⁶ Une matrice de transformation linéaire permet d'obtenir les coordonnées de l'image d'un point en appliquant (par multiplication) la matrice aux coordonnées de ce point. La matrice implémentée au Sketchpad III est de dimension 4x4 et combine les opérations de rotation, translation, mise à l'échelle et de la projection perspective.

⁷ Johnson, "Sketchpad III, Three Dimensional Graphical Communication with a Digital Computer." p. 37.

2.2.2 Dessiner

Si la perspective est idéale pour exprimer la profondeur et ainsi les trois dimensions de l'objet, elle s'avère inefficace pour un dessin de précision. Les tests le confirment : *"one view is insufficient, two views are permissible, three views are desirable, and four views are useful"* (Johnson, 1963a, p. 40). Pour dessiner dans la troisième dimension, Johnson développe le *Pen Space Location Program*, qui repose sur les trois représentations en projection orthogonale.⁸ La saisie dans une des vues à l'aide du stylo électronique définit d'abord une coordonnée de profondeur comme constante et détermine ainsi un plan de traçage. Une ligne peut ensuite être tracée dans ce plan dans une des deux autres vues. Afin de tracer en vraie grandeur⁹, il préconise à l'utilisateur du Sketchpad III de faire le choix d'une vue orthogonale et d'y opérer des rotations sur l'objet — ce qui revient à modifier la matrice de transformation — jusqu'à un point où le plan de traçage cherché est parallèle au plan de projection de la vue choisie.

Figure 3. Rotations consécutives d'un parallélépipède rectangle autour des axes perpendiculaires aux quadrants visuels. Ici, la vue en perspective (en haut à droite de chaque quadrant) correspond à la projection conique de la vue frontale (en bas à gauche).¹⁰

2.3 La projection automatique

Pour adapter le Sketchpad à la troisième dimension, Johnson fait usage de projections afin d'afficher le modèle numérique et dispose ses images calculées suivant les préceptes du dessin technique et de la géométrie descriptive. Cette approche rend possible une réactualisation des quatre vues après chaque modification de l'objet. *"If the plan and the two elevations are drawn, the perspective view of the object will "automatically" appear in its quadrant. Likewise, the consequences of any change the designer makes with his light pen in any one of the four quadrants are "automatically" shown in the other three quadrants"* (Coons, 1966, p. 12). Cette automatisation de la projection induit une dissociation entre l'objet tel qu'il existe dans la mémoire du Sketchpad III et de l'image affichée sur l'écran. Autrement dit, les différentes vues géométrales sont mises en relation de par leur orientation à 90 degrés les unes par rapport aux autres, mais conceptuellement

⁸ Pour le fonctionnement du stylo électronique même, voir (Stotz, 1963).

⁹ En projection, la grandeur d'une ligne est dite vraie si sa taille dans le plan de projection correspond à sa taille dans l'espace.

¹⁰ Johnson, "Sketchpad III, Three Dimensional Graphical Communication with a Digital Computer." p. 8.

elles ne sont pas rabattues dans le même plan. Chacune des projections est le résultat d'un traitement de données indépendant effectué à partir du modèle numérique unique. L'utilisateur ne modifie que le modèle de l'objet et non le dessin proprement dit, qui en est la représentation en pseudo temps réel.

En vue de notre analyse du Sketchpad III, la critique d'Evans envers l'automatisation de la projection semble ambiguë : *"projection has been incorporated into so many electronic and mechanical processes that it no longer needs much space to think spatial relations out this way, and there seems little point in making anyone do so when it can be done instantaneously with such exactitude and facility in a black box"* (Evans, 1989, p. 19). En d'autres mots, une automatisation de la projection ampute nos capacités à pouvoir penser sur des corps géométriques à trois dimensions. Cette critique contraste fortement avec les capacités du Sketchpad III pourtant capable de faire voir et de manipuler une géométrie à trois dimensions. Dans ce sens, notre analyse met en évidence que l'automatisation de la projection n'est en finale que le déplacement de l'objet du dessin de la représentation vers le modèle. L'utilisateur du Sketchpad III travaille sur un modèle indépendant des projections qui le lui rend visuellement accessible — autant pour le contrôle en *output* que pour une saisie en *input*. Dans ce sens, les images en projection ne sont pas constitutives de l'objet à trois dimensions, mais ne sont toujours qu'une résultante de celui-ci.

2.4 La projection irréalisable

Il est intéressant de noter que le travail de Sutherland et de Roberts n'est parvenu à Johnson qu'au cours de ses recherches par une invitation au Lincoln Laboratory et l'accès au TX-2. Initialement, en ayant comme cible de simples dessins d'objets filaires et transparents, Johnson s'inspirait directement de la géométrie descriptive. *"Because of years of experience using descriptive geometry, work began with pen and paper methods in mind"* (Johnson, 1963a, p. 19). Suivant ces préceptes et avant de commencer la version décrite ci-dessus du Sketchpad III, Johnson tenta alors de développer un programme différent. L'hypothèse de recherche reposait sur un logiciel capable de compiler en mémoire un objet à trois dimensions à partir de deux projections orthogonales dessinées par l'utilisateur sur l'écran. *"The approach was to draw two views and store each view as related two-dimensional information. The program was to compile this information into a three-dimensional description"* (Johnson, 1963a, p. 19). Les deux vues géométrales dont il est question sont interprétées comme deux fragments de données qui de par leur corrélation définissent un objet à trois dimensions. Contrairement au Sketchpad III, le modèle serait la résultante constamment mise à jour des deux projections orthogonales.

Si les premières tentatives de dessiner avec ce programme-compileur ont fait abandonner à Johnson cette voie de recherche,¹¹ la question demeure active dans le domaine de la conception paramétrique depuis (Requicha & Voelcker, 1982 ; Nagendra & Gujar, 1988). Le but initial d'imiter une méthode de dessin par accumulation de projections s'est transformé en un problème algorithmique d'interprétation de dessins géométraux (Wang & Latif, 2003). Quand Johnson mentionnait le dessin technique et la géométrie

¹¹ Les deux causes étaient les corrections manuelles d'erreurs demandées par l'utilisateur sur les interprétations faites par le programme ainsi que le temps de calcul nécessaire pour recompilier les informations de l'objet à trois dimensions après chaque modification d'une des deux projections. À cet égard, il est intéressant de noter que Johnson tentait de compiler les objets tridimensionnels à partir de seulement deux projections et non à partir de trois. Son abandon après l'échec de cette voie de recherche contraste ainsi avec son invitation au Lincoln Laboratory et l'accès au Sketchpad de Sutherland.

descriptive, il faisait référence à un usage pratique des “*pen and paper methods.*” Nous supposons ainsi que pour Johnson la question ne se réduit pas à la propriété des projections à fournir des données pour générer un objet à trois dimensions, mais bien aux notions empiriques de ces méthodes de dessin.

3. L’image déductive

3.1 La géométrie descriptive

Gaspard Monge (1746 - 1818) a systématisé un savoir-faire en un langage graphique capable de “*représenter avec exactitude, sur des dessins qui n’ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse*” et, à partir de ces représentations, de “*déduire de la description exacte des corps tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives*” (Monge, 1799, p. 2). La géométrie descriptive repose sur des projections orthogonales de corps sur des plans de projection et de constructions graphiques dans ces mêmes plans (figure 4). Ces tracés ne se rapportent qu’indirectement à l’objet de l’épure et sont les indices de la construction et des transformations géométriques appliquées sur celui-ci. Tout en étant devenue un savoir-faire abstrait, la géométrie descriptive hérite d’une qualité essentielle de la stéréotomie : l’outil de dessin conjugue une méthode capable de définir un corps dans l’espace en même temps qu’il donne la clé de lecture de la géométrie de ce corps. Autrement dit, le dessin de nouvelles formes est simultanément l’outil de leur analyse.

Figure 4. À gauche, planche première du cours de géométrie descriptive de Gaspard Monge, 1799. À droite, planche 36 du traité de stéréotomie de Charles-François-Antoine Leroy, 1870.

3.2 La projection heuristique

Afin d'illustrer les propriétés susdites, nous étudions l'exercice suivant extrait du cours de Monge. La question porte sur l'intersection d'une perpendiculaire et d'un plan et fait état d'une exposition succincte de la méthode et des principes déductifs enseignés. Ce faisant, il s'agit de préciser le concept de projection en décrivant le lien entre le rôle de la géométrie descriptive — héritée de la stéréotomie — et ses propriétés matérielles mises en œuvre par le dessin.

Figure 5. À gauche, épure de l'intersection d'une perpendiculaire et d'un plan, figure 6 de la deuxième planche du cours de géométrie descriptive de Gaspard Monge, 1799. À droite, projection oblique de la même épure dessinée par l'auteur.

Le point recherché est g : projection verticale de l'intersection entre la perpendiculaire projetée en d et D , et le plan dont les traces sont AB sur le plan horizontal et BC sur le plan vertical. Le raisonnement de Monge est le suivant : si l'on conçoit que la perpendiculaire se trouve dans un plan vertical α (alpha), le point recherché doit se trouver quelque part sur l'intersection entre ce plan α et le plan ABC donné. Il suffit alors de trouver cette intersection. D'abord, nous dessinons l'intersection du plan α avec le plan vertical, ce qui permet de trouver la projection verticale du point f . Ensuite, fe est la projection verticale de l'intersection du plan ABC et du plan α . Enfin, en prolongeant d sur fe , on trouve la projection verticale du point g duquel on trace subséquemment la projection horizontale sur la projection horizontale D de la perpendiculaire.

À l'image de sa capacité particulière à pouvoir spatialiser des problèmes mathématiques, Monge a développé un système qui permet de réaliser des constructions euclidiennes classiques directement dans les plans de projections (Andersen, 2007). En faisant usage de l'interdépendance entre la projection verticale et la projection horizontale, matérialisée par la charnière de leur intersection nommée ligne de terre, ces constructions en plan se rapportent constamment à un corps dans l'espace (Sakarovitch, 1998). L'exécution de ces constructions correspond à de véritables algorithmes graphiques ayant pour but d'effectuer des opérations sur des corps géométriques dans l'espace, comme la rotation ou le rabattement. Ensuite, dans une épure, les opérations exécutées par le dessin

restent visibles et font partie intégrante de l'image. De cette manière, ces traces participent à la compréhension de l'objet représenté.

4. Conclusion

L'analyse des deux programmes Sketchpad a permis de soulever une série de questions spécifiques à la technique projective. Il a ainsi été mis en évidence une transformation du dessin en outil de communication orienté vers la machine ainsi que l'automatisation de la représentation à des fins de contrôle des informations encodées. Plus particulièrement, on observe comment ce contrôle du modèle tend à privilégier la perspective et d'autant plus l'indépendance *de facto* des vues en projection orthogonale. Je tends ainsi à admettre qu'au sein de l'outil infographique, la projection comme technique se serait transformée en une fin en soi — véritable moment de rupture avec des techniques traditionnelles du dessin projectif.

Suivant la première voie de recherche de Johnson — formulée à partir des principes de la géométrie descriptive —, les objets sont déterminés par l'accumulation de projections orthogonales qui, par la suite, sont compilées automatiquement. Dans la version finale de Sketchpad III, les projections se sont transformées en des fenêtres ouvertes sur les objets — ou plutôt sur les informations définissant ces objets — dont l'image est le résultat d'une projection opérée par calcul automatique. On serait ainsi face à une sorte de retournement du rôle de la projection, un passage d'une technique capable de définir par des opérations en deux dimensions une géométrie qui en a trois, vers une technique capable d'afficher l'aspect d'une géométrie à trois dimensions sur une surface qui n'en a que deux.

La question de la projection se présente comme un élément central d'une approche critique face à l'outil infographique. Les réflexions émergentes vont jusqu'à questionner les finalités mêmes de ces outils — relativement à un outillage traditionnelle. Le contrepoint offert par un retour à la géométrie descriptive a permis de relever que voir n'est pas nécessairement comprendre. Et que la compréhension géométrique spatiale s'opère par voie de construction graphique reposant sur un usage de la projection qu'on pourrait qualifier d'heuristique. De ce point de vue, il faut aujourd'hui questionner l'apparente aisance offerte par les outils infographiques. Sans mettre en question leurs avantages, on remarque que ces outils induisent une transformation de la technique projective, ou du moins de certains concepts matériels de celle-ci : la connexion entre le dessin et l'objet, les plans de projections interdépendants comme support aux constructions euclidiennes, ainsi que la valeur de la trace comme une empreinte constituante de l'objet représenté.

Bibliographie

- Andersen, Kirsti. (2007). *The Geometry of an Art: The History of the Mathematical Theory of Perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer.
- Cache, Bernard. (2010). *Projectile*. London: Architectural Association.
- Coons, Steven. (1966). "Computer-Aided Design." *Design Quarterly*, 66/67, 6–13. Minneapolis, Minneapolis : Walker Art Center.
- Estevez, Daniel. (2001). *Dessin d'architecture et infographie : l'évolution contemporaine des pratiques graphiques*. Paris : CNRS Éditions.
- Evans, Robin. (1989). "Architectural Projection." *Architecture and Its Image*, 18–35.
- . (2000). *The Projective Cast: Architecture and Its Three Geometries*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
- Johnson, Timothy Edward. (1963a). "Sketchpad III, Three Dimensional Graphical Communication with a Digital Computer." M.S. Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- . (1963b). "Sketchpad III: A Computer Program for Drawing in Three Dimensions." In *Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference - AFIPS '63*, 347–353. Detroit, Michigan: ACM Press.
- Monge, Gaspard. (1799). *Géométrie descriptive : leçons données aux Écoles Normales, l'an 3 de la République*. Sceaux : Éditions Jacques Gabay, 1989.
- Nagendra, I.V., and U.G. Gujar. (1988). "3-D Objects from 2-D Orthographic Views—A Survey." *Computers & Graphics* 12, 111–14.
- Pérez-Gómez, Alberto. (1983). *Architecture and the Crisis of Modern Science*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
- Requicha, A. A. G., and H. B. Voelcker. (1982). "Solid Modeling: A Historical Summary and Contemporary Assessment." *IEEE Computer Graphics and Applications* 2, 9–24.
- Roberts, Lawrence Gilman. (1963). "Machine Perception of Three-Dimensional Solids." Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology.
- Ross, Douglas T., and Jorge E. Rodriguez. "Theoretical Foundations for the Computer-Aided Design System." In *Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference - AFIPS '63*, 305–322. Detroit, Michigan: ACM Press.
- Sakarovitch, Joël. (1998). *Épures d'architecture ; de la coupe des pierres à la géométrie descriptive XVIIe-XIXe siècles*. Basel: Birkhauser.
- Stotz, Robert. (1963). "Man-Machine Console Facilities for Computer-aided Design" In *Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference - AFIPS '63*, 323–328. Detroit, Michigan: ACM Press.
- Sutherland, Ivan Edward. (1963a). "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System." Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology.
- . (1963b). "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System." In *Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference - AFIPS '63*, 329–346. Detroit, Michigan: ACM Press.
- Wang, Zhenghao, and Mohammed H. Abdul Latif. (2003) "Reconstruction of a 3D Solid Model from Orthographic Projections." In *2003 International Conference on Geometric Modeling and Graphics. Proceedings*, 75–82. London : IEEE Comput. Soc.