

# De quelle nature sera l'esquisse ?

## *The future of sketching*

Elizabeth Mortamais\*

Laboratoire EVCAU Ensa Paris Val de Seine, 75013 Paris, France

**Résumé.** Nous revenons sur le sujet de l'Esquisse comme moment particulier de la conception, tel que questionné dans notre communication de SCAN'05, en 2005. Il s'agit ici d'entrevoir quelles mutations sont en train de se produire, ou vont se produire dans le processus de génération du projet au stade de l'esquisse dès l'instant où des outils numériques très performants en terme de calculs et d'intégration des données, de génération de forme et de présentation immédiate (de type Réalité Virtuelle) se diffusent de plus en plus largement ou vont devenir accessibles à brève échéance. L'aisance à terme, de l'usage de telles outils va-t-elle modifier l'interaction entre le ou les concepteurs et leurs productions qu'ils pourront éprouver en situation d'énaction ? Le panel d'acteurs du projet va-t-il muter notamment avec l'avènement d'outils de ce type, disponibles pour le grand public ? Le processus de conception en sera-t-il modifié ? La nature de l'esquisse comme stade initial fondamental en sera-t-elle changée ?

**Mots-clés.** Disparation, énaction, open-source, présentation, processus, réalité virtuelle.

**Abstract.** We propose to go back to the topic about Sketch as a particular moment of conception, as questioned in our communication in SCAN'05, in 2005. It is a question here of glimpsing which mutations are occurring, or are going to occur, in the design process, at the sketching stage, in this particular time, when high-performance digital tools in terms of calculations and data integration, form generation and immediate presentation (of Virtual Reality type) are disseminate more and more widely or will become accessible in a short term. Will the ease to use these tools ultimately change the interaction between the designer (s) and his, her, (or their) productions, which he, she (they) will be able to experience in a situation of *enaction*? Will the project stakeholders panel change in particular with the advent of tools of this type, available to the general public? Will the design process mute? Will the nature of the sketch as a basic initial stage be transformed.

**Keywords.** *Disparation, enaction, open-source, presentation, process, virtual reality.*

---

\* Corresponding author: [emortamais@gmail.com](mailto:emortamais@gmail.com)

## 1. Introduction

En 2005, dans le cadre de SCAN'05 j'ai écrit et co-signé un article intitulé «La spécificité des outils numériques dans l'Esquisse comme explorateurs de la pensée complexe.»

Il semble pertinent quinze ans plus tard dans le cadre d'un SCAN consacré à un aller-retour entre prospective et histoire, de revenir sur ce sujet pour les mêmes raisons qui ont poussé à l'écriture du premier texte, à l'époque. L'esquisse est en effet un moment majeur de la conception qui crée les conditions initiales d'existence du projet ultérieur, « un processus dans le processus » comme précisé dans le propos de 2005. Nous avons acté le fait que les outils de re-présentation avaient eu une influence sur les productions architecturales passées ( il en avait été ainsi de la perspective qui se révélait être bien plus qu'un simple outil neutre - Edmont Couchot 1998.) Nous avons émis l'hypothèse que les outils dont nous disposions désormais non seulement permettaient mais amplifieraient l'avènement de la pensée complexe, dans le temps du processus et les méthodes d'élaboration de l'esquisse, en en modifiant la portée, la nature, et les contenus. Il semblait alors raisonnable de pouvoir avancer que l'usage des outils numériques nécessitait des adaptations de la pensée même.

Qu'en est-il aujourd'hui ? Le regard d'amont vers l'aval et inversement de l'aval vers l'amont, nous permet-il d'avoir une vue plus précise de ce qui est en train de se produire ? Nous allons construire, pour l'occasion, un regard *disparate* (focales différant selon Gilles Deleuze, 1968) qui nous permettra d'acquérir une vision plus en profondeur de la situation. Une façon aussi, peut-être, de préciser certains attributs de la pensée complexe. Au-delà de l'introduction de la complexité, ou mieux même au coeur de la complexité, l'hypothèse est ici que s'opère désormais un déplacement dans la nature même de l'esquisse, des méthodes et des acteurs qui la font advenir. Mais aussi des productions qui peuvent en être issues.

## 2. De la re-présentation à la présentation

Parmi les performances que nous avons relevées et qui caractérisaient alors, selon nous, l'apport des techniques numériques, se plaçaient des fonctions comme la mémorisation, des opérations comme la reproduction, la répétition, la simulation, les incrustations, les hybridations, et les interfaces 2D-3D.

Certains d'entre ces dispositifs apparaissent aujourd'hui définitivement dépassés parce que banals, ou inutiles, ou englobés dans des processus plus larges, des applications plus performantes. Ainsi la répétition, comme la reproduction, une des premières opérations utiles dans le travail de l'agence, qui nécessite souvent de reprendre un projet pour l'adapter aux demandes du client, ou à de nouvelles informations apparues tardivement, apportaient un gain de temps précieux pour repartir d'un document en le modifiant pour le faire évoluer. Aujourd'hui la singularité de cette fonction semble avoir disparue, incluse dans un ensemble de protocoles de travail beaucoup plus vaste. De même, les interfaces 2D-3D qui furent longtemps l'objet d'un processus laborieux à l'aide des outils informatiques dont disposaient les agences, ne sont-elles plus qu'une opération banale<sup>1</sup>. Ces deux points notamment sont particulièrement clairs avec l'avènement des logiciels du BIM.

La simulation, qui nécessitait un long temps de calcul pour interfacer les données, les visualiser, en calculer les effets, a pris une place très significative dans le processus de travail, à la fois par la performance des outils qui allègent les temps d'exploration et de calculs et par la précision des données qui sont utilisées et intégrées.

Par la puissance conjuguée des machines et des données, la simulation en vient à prendre une place névralgique dans le processus de travail. Avant même la conception d'un bâtiment, il est devenu possible d'en préfigurer et visualiser l'emplacement, les contraintes, les contours, gabarits, caractéristiques.

<sup>1</sup> Voir notamment S. Porada, SCAN'05 (2005), p. 5.

Au point parfois d'être en mesure de déterminer totalement la forme bâtie générale, ou certains dispositifs architecturaux, avant même d'avoir émis le moindre concept architectural singulier : ainsi des logiciels comme *CityEngine* préfigurent les contraintes urbaines environnementales d'un projet. Des logiciels de simulation dynamique tel *ArchiWizard* analysent, voire proposent, des configurations bâties répondant à des normes d'éclairage, thermiques, de sécurité (des personnes et des biens) etc.

Et l'on constate depuis longtemps déjà la constitution d'un réseau d'applications au sein d'une même société, ou des collaborations entre des sociétés pour fournir des services qui articulent des outils destinés à des objets différents en termes d'échelles (de l'échelle géographique à l'échelle d'un détail de bâtiment par exemple) et opérant selon des objectifs différents (analyse et visualisation de données, tests, élaborations formelles, calculs etc.)

Ainsi *CityEngine (Esri)* permet désormais de produire des scènes de réalité virtuelle ou d'exporter vers des applications comme *Unreal Engine (Epic Game)*. Et ce logiciel est apte à recevoir et exporter des fichiers vers d'autres logiciels comme *Maya, Revit, Rhino*.

Les exportations de résultats d'un logiciel de simulation vers des logiciels de production comme *Revit*, ou *Rhino*, comme dans le sens inverse plus communément admis, démontrent la fluidité possible des passages d'un outil à l'autre, d'un type d'exploration (simulation thermique par exemple) vers un autre (génération de formes avec *Rhino* et *Grasshopper* par exemple), d'une conversion dans les deux sens, et ici particulièrement pour notre exposé, dans le sens de la simulation vers un codage analytique qui permet le partage d'un projet avec d'autres acteurs (dans le cas du BIM notamment).

La recherche incessante de compatibilité entre les logiciels, comme ci-dessus, même si elle n'est pas totalement réalisée à l'heure actuelle, rendra de plus en plus poreuse la frontière entre différents stades du processus de conception.

De ce fait, le passage au tamis du projet d'une esquisse « grossière », à tout le moins sans échelle, sans mesure précise, vers un résultat fin, progression jadis classique et habituelle, cette progression granulométrique univoque comme on pourrait la qualifier, semble de moins en moins obligatoire et surtout pertinente. La précision des données qui peuvent présider aux stades initiaux d'information du projet dans le cas d'usage de certains des logiciels de simulation sur le marché, est probablement aussi fine, voire plus fine dans certains cas, que les données issues du projet final. En revanche si le principe d'un tamisage est une image qui reste valide, il s'exerce sur d'autres critères : les données abstraites sont converties en données si ce n'est concrètes, du moins visuelles et formalisées.

### **3. L'introduction de la réalité virtuelle dans le processus**

Mais cela va plus loin : la simulation s'exerce aussi désormais à l'aide de la Réalité Virtuelle qui propose une immersion dans ce qui n'a pas encore de matérialisation physique. En faisant abstraction du coût des équipements, qui va évidemment s'abaisser progressivement, cette immersion pourra s'effectuer à différents stades du projet. Bientôt, comme évoqué ci-dessus, ces outils ne seront pas seulement des moyens de confirmer ou du moins de vérifier en aval ce qui a été pensé en amont, mais des outils de conception très amont. C'est une hypothèse que nous relayons ici.

Au-delà des outils cités plus haut, de nombreux autres sont sur le marché ou font l'objet de recherche, notamment le déplacement d'objets par la pensée<sup>2</sup>.

Dans la communication de 2005 nous avons rappelé les propos d'Edmond Couchot (1998) qui précisait que le dispositif technique en général impose un sujet appareillé, sujet-ON et la conception suppose un concepteur singulier, un sujet-JE.

---

2 Notamment travaux Inria, équipe Aramis.

Quel que soit le dispositif technique parmi ceux qui sont évoqués ici en matière de réalité virtuelle, il s'y produit une hybridation de plus en plus complexe entre dispositif technique et intentions, c'est à dire les desseins encore en gestation du concepteur.

La configuration sujet-ON+sujet-JE s'en trouve redéfinie. En effet, cette hybridation, jadis laborieuse dans le monde de la simulation, devient, ou est en passe de devenir aisée, à l'aide de dispositifs faisant de la place à des comportements plus intuitifs ( par exemple Hyve 3D<sup>3</sup>). Cette hybridation devient de ce fait stratégique, voire majeure, proposant des processus de plus en plus intuitifs eux aussi, et autorisant l'ouverture d'un champs perceptif, cognitif de plus en plus étendu, à tout le moins différent. Le passage de la re-présentation à la présentation peut alors tendre à abolir, pour le praticien, la barrière entre intuition et visualisation, voire corporéisation de cette intuition.

Ce passage est déjà réalisé dans le monde des productions artistiques numériques depuis de nombreuses années (Couchot, 2003) et le public est désormais habitué à vivre ses expériences dans des expositions d'art numérique, trop nombreuses pour être citées.

Mais ceci va désormais au delà et touche non seulement la réception mais la fabrication de l'oeuvre : le « toucher » qui s'exerce dans le cas, notamment de *Hyve 3D*, produit en effet ce que Annie Luciani appelait « canal gestuel sensorimoteur(...) une voie motrice et perceptive. » (1996, p.81.). Mieux même, l'expérience kinesthésique, émotionnelle, qui est à l'oeuvre dans le dispositif, construit un nouveau registre de références, un nouveau régime de pensée pour le processus de conception. Une techno-esthétique particulière s'en suit, puisque de la feuille de calque à l'écran d'ordinateur, puis à celui de la tablette, le support de travail se déplace immédiatement dans (et non plus sur) un espace virtuel en trois dimensions convoquant des formes, mais aussi des ambiances, et mettant en place des situations dans lesquelles le concepteur lui-même est intégré comme acteur et visiteur.

Ceci confirme, ici modestement, la validité et la puissance de l'énaction telle que développée par Francisco Varela (1993). Edmont Couchot à ce sujet précise : « La cognition dépendrait (...) non pas de représentations mentales préexistantes, mais des expériences multiples découlant du fait d'avoir un corps doté de capacité sensorimotrices plongé dans un milieu avec lequel il interagit. » (2012, p.28.).

C'est précisément ce qui est en passe de se développer. Ce sont les « outils pour le geste », ou « objets pour le geste » que Annie Luciani entrevoyait en 1996 lorsqu'elle disait : « L'idée que je défends ici est que les outils pour le geste n'existent pas encore vraiment et que nous sommes à l'aube de leur nécessité sociale, qu'il s'agira là d'une avancée majeure du siècle à venir... » (1996, p.80.). Nous y sommes presque.

#### **4. Form finding : un processus en mutation ?**

William Mitchell (1990), notamment, avait théorisé le processus de conception, particulièrement deux modes procéduraux distinctes : *Form making* et *Form finding*. Si le premier mode est relatif à un processus intuitif qui recherche une forme avant toute intégration de données objectives (tel un programme, ou des contraintes environnementales), cette forme dictant ensuite la sélection et l'intégration des données extérieures, le second *Form finding* se propose d'opérer par intégrations successives de données (données externes au concepteur, et données internes), et s'appuie sur une démarche de représentation (diagrammes par ex) les incluant progressivement pour bâtir une forme.

---

3 Hyve 3D permet de dessiner, de façon très intuitive, à l'aide de ses doigts traçant (moyennant un apprentissage simple de conventions d'usage de ses gestes) par l'intermédiaire d'un écran, tablette ou téléphone, des formes qui sont immédiatement inscrites dans la scène en 3D qui se déploie en face de soi. Ici pas de casque, pas de lunettes.

Nous nous intéressons ici plus spécifiquement au second, *Form finding* bien que les deux modes soient concernés par les mutations ci-dessus évoquées. Plus précisément, reprenons par exemple un ensemble de diagrammes de Mitchell, tels qu'ils figurent dans l'ouvrage de 1990 (p119-120) dans le chapitre *Design operations* (voir Fig 1).

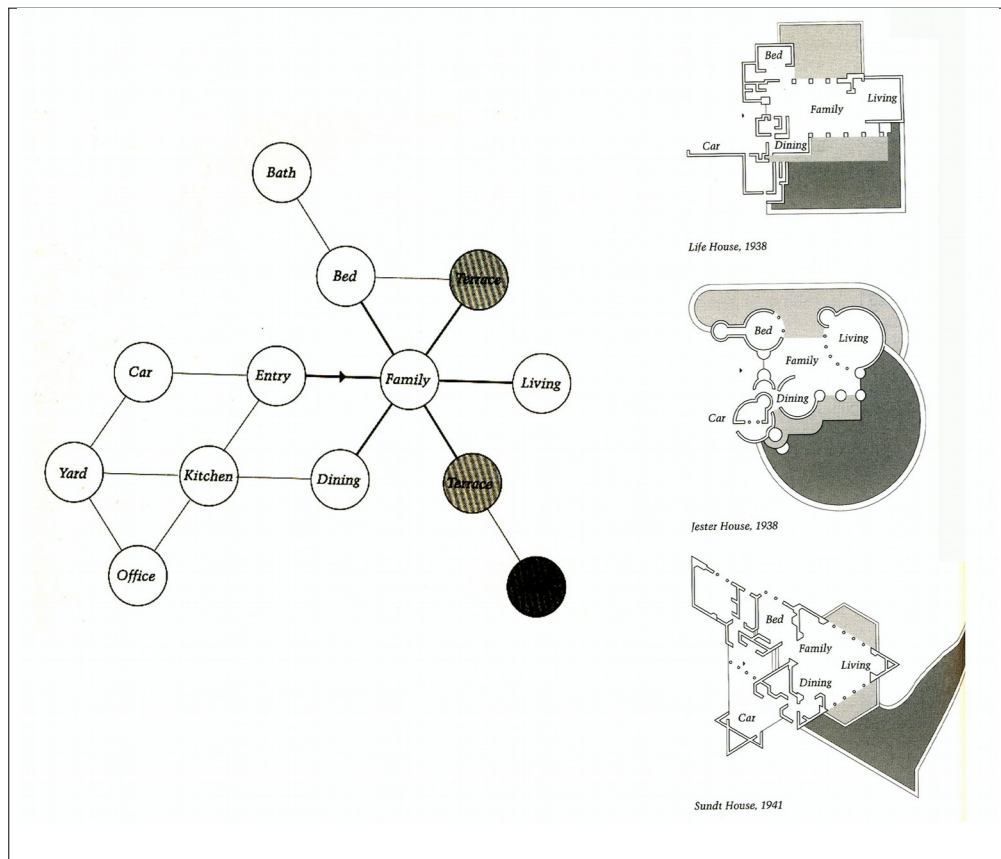


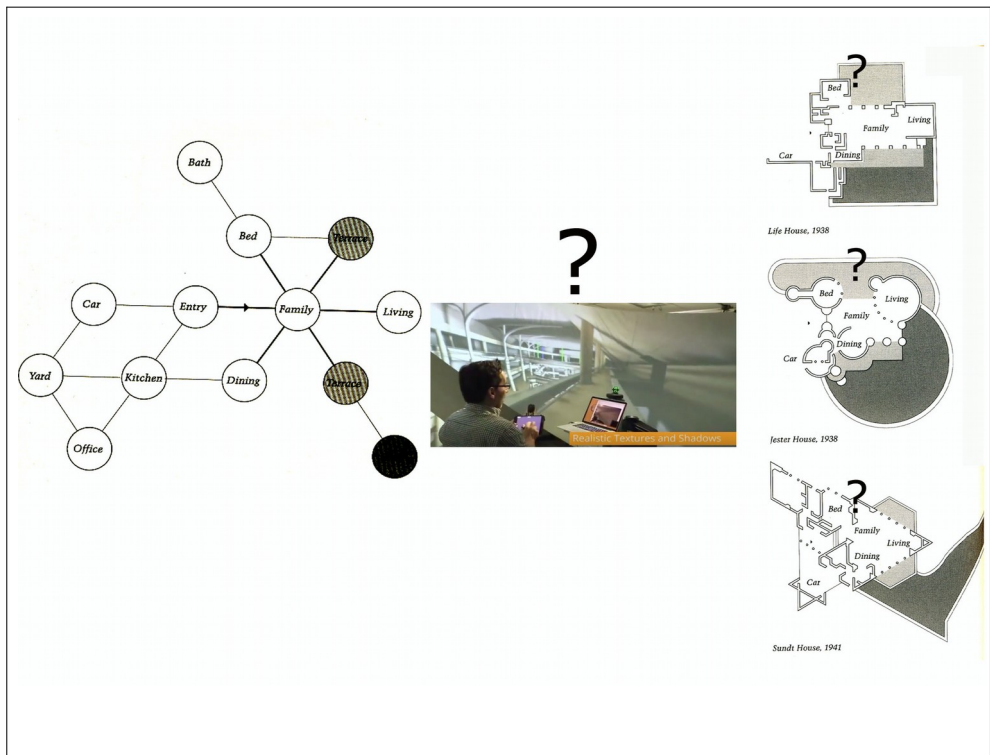
Figure 1. diagrammes tirés de Mitchell (1990).

Le diagramme de gauche prescrit les relations entre les différents locaux d'une maison, tandis que les documents graphiques dans la colonne de droite donnent à voir trois réponses formelles de Frank Lloyd Wright pour ce même diagramme programmatique. Une forme de répétition pour «...répéter les mêmes arguments, mais chaque fois repris sous un angle différent, et, en quelque sorte, arrangés selon la demande.» comme le précise Anne Cauquelin (2015, p.53).

Mitchell qualifie néanmoins les trois réponses de « non linear continuous transformations » (1990, p.116.). La thématique du carré long est utilisée pour la première maison, celle du cercle pour la seconde, celle du triangle pour la troisième.

L'impératif de contiguïté du diagramme est respecté, en laissant une marge d'interprétation pour le concepteur. Le diagramme en question s'attache à traduire par des bulles et des liens, des enjeux programmatiques fonctionnels et qualitatifs. Il ne renseigne pas sur des altimétries, ni sur d'autres exigences qualitatives ou environnementales. Les plans qui correspondent aux différentes interprétations sur la thématique de géométries élémentaires formulent des réponses dans les deux dimensions traditionnelles, anciennes. On pourrait, en repartant de ce même diagramme, formuler des réponses en trois dimensions, ce qui serait déjà l'accès à une autre complexité.

Qu'en est-il aujourd'hui de l'usage de ce diagramme si l'on introduit la Réalité Virtuelle, et les outils qui sont décrits ci-dessus, dans le processus ? On obtient une strate de réponses beaucoup plus complexe, enrichi de questionnements sur les ambiances, les perceptions, les interactions entre usages et configurations formelles (fig 2)



**Figure 2.** diagrammes tirés de Mitchell (1990) et capture d'écran Hyve 3D.

## 5. Qu'est-ce qui change dans la nature de l'esquisse ?

De notre point de vue, la quête (ou l'enquête) pas à pas de l'abstrait au concret de la méthode *Form Finding*, de même que la production de la forme référentielle première de *Form Making* s'en trouvent bouleversées. Que produit la techno-esthétique des outils de réalités virtuelles ? Il y a selon nous une sorte d'inversion de l'avant et l'après.

En effet, avec la réalité virtuelle, la simulation tendent à produire immédiatement un ou des artefacts de ce qui n'existe pas, et à produire des situations d'expériences sensibles et d'enrichissement cognitif qui engagent les étapes de décisions du projet.

D'autre part l'immédiateté de la pluralité des possibles augmentent les bifurcations potentielles dans le processus. Nous avons déjà noté dans notre communication de 2005 que, au contraire du schéma linéaire exposé par Mitchell (1990, p. 56.), ces bifurcations, et dans ces bifurcations, celle(s) qui étai(en)t sélectionné(e)s, possédai(en)t des boucles de rétroactions (2005, p.236.)

L'introduction de la réalité virtuelle dans le dispositif, à ce stade initial de la conception, produit une augmentation d'informations et donc un foisonnement des potentiels, un enrichissement des informations produites, puisque, est-il nécessaire de le préciser, l'esquisse produit des informations inédites.

Ce foisonnement en expansion peut devenir problématique dans la prise de décision qui doit intervenir pour avancer dans le processus.

Il y aura donc nécessité d'un apprentissage raisonné et d'une analyse rétrospective des démarches expérimentées pour éviter les échecs que peuvent provoquer l'usage non réfléchi de techniques nouvelles.

## **6. Les obstacles et les problèmes : optimisation versus invention au risque de la standardisation et de la banalisation**

Hormis ce premier écueil possible, celui d'un foisonnement trop grand d'informations à traiter à un stade très primaire du processus, ce qui peut rendre indécidable un choix pertinent, si l'expérience de la réalité virtuelle n'est pas accompagnée d'un ensemble de critères de travail et de choix, un second piège est potentiellement celui de la performativité technique et un troisième, corollaire de celui-ci, une forme de standardisation.

Nous avons indiqué ci-dessus que les outils de modélisation et simulation, en se saisissant de toutes les données disponibles sur l'environnement du projet (vent, ensoleillement, règles d'urbanisme entre autres), pouvaient permettre d'esquisser les grandes lignes d'un projet au stade initial, avant tout geste intentionnel et formel, par simple implémentation.

L'optimisation des productions, notamment de bâtiments, pour des raisons économiques, environnementales, réglementaires, est une disposition louable, mais qui peut se faire au dépend de l'invention, de la découverte d'autres solutions, impensées dans le travail de calcul.

Par voie de conséquence, le cadre technologique, le « moule technique » peut se révéler modèle fermé, s'il n'est pas questionné en permanence, et peut conduire à des impasses répétées, masquées dans l'immédiat par la performance, mais dont les effets néfastes se révéleront plus tard et à une échelle importante, compte tenu du nombre de productions efficacement réalisables et réalisées sur ce modèle performant.

Précisément le modèle, dans les contextes complexes comme ceux de la conception, doit être questionné et « modulé » en permanence (Legay 1997, p.44-50). Les automatismes, potentiellement engendrés par la pratique des outils, doivent être toujours observés avec vigilance. Les outils de réalité virtuelle, notamment, si nouveaux et fascinants qu'ils sont et seront, n'échappent pas à cette ornière possible.

La standardisation des réponses, la banalisation des productions ne vont pas disparaître au prétexte d'un outillage faisant la part belle à l'intuition personnelle, parce que ces outils de simulation proposent mais également imposent un langage nouveau, qui peut tout aussi bien constituer un carcan de re-production du même.

L'appareillage technique dont nous disposons désormais, ou très bientôt, en sublimant les frontières entre Sujet-ON et Sujet-JE, peut en effet, comme cela a toujours été le cas, amoindrir le nécessaire travail critique qui est indispensable.

Par ailleurs, la puissance des outils ne fera pas disparaître certains types d'obstacles qui surgissent sans qu'on y soit préparé et que seule une attitude d'invention (Gilbert Simondon, 2008) pourra contribuer à franchir, en restant vigilant quant à leur usage.

## **7. L'open-source et les nouveaux acteurs**

La Réalité Virtuelle, spécialement, fait l'objet de recherches, qui, comme nous l'avons vu, tendent à la rendre aisée, « à portée des non-spécialistes ». Les conventions de la projection géométrale étaient affaire de spécialistes. Les premiers logiciels en usage dans le monde de l'architecture cherchaient à mimer la production géométrale. L'avènement de la

3D a été laborieuse et nécessitait des connaissances spécifiques pour former des objets dans les trois dimensions.

Depuis lors de nombreux logiciels sont apparus, de manipulation plus aisée, type *Sketchup*. L'open-source s'est développée, en rendant l'accès à de simples particuliers, pour réaliser l'approche de leur projet de maison par exemple.

D'autre part, des fabricants de mobiliers ou de produits d'aménagement intérieur, notamment, ont mis à la disposition de leurs clients des applications pouvant leur permettre de visualiser leur projet de cuisine, de salle de bain ou de salon, à partir d'une bibliothèque des produits de leur marque. Ces applications rencontrent un grand succès puisqu'elles donnent au simple particulier la possibilité de se projeter dans une esquisse de leur cuisine ou de leur salon, avec le kit d'éléments de Ikea ou Leroy-Merlin par exemple. On peut parier que la réalité virtuelle finira par entrer dans les services offerts par ces sociétés, si ce n'est déjà le cas.

Au-delà même de ces stratégies de marketing, il est certain que les outils de Réalité Virtuelle, une fois démocratisés vont constituer des vecteurs de développement des relations entre les usagers et les spécialistes. Le succès de quelques dispositifs mis à la disposition du public, par exemple d'un équipement par *Emissive* lors de l'exposition « Machines à dessiner » au Musée des Arts et Métiers<sup>4</sup>, montre l'intérêt du public pour ce qui reste encore perçu comme une techno-phanie. On peut parier que l'aisance d'usage pourra s'accroître dans les années à venir, notamment le port des lunettes pourrait disparaître au profit de dispositifs permettant une interaction plus fine avec l'environnement, là où les lunettes, lourdes, isolent les utilisateurs.

Nombre de groupes de recherche travaillent déjà sur ces situations nouvelles et sur les opportunités qu'elles permettent, notamment pour intégrer la maîtrise d'usage en amont du projet.

Qu'en sera-t-il alors d'une esquisse produite à l'aide de la Réalité Virtuelle en partage avec les usagers ? Où se situera l'expertise, la prise de décision au sein du foisonnement des bifurcations dans le cheminement de l'esquisse, foisonnement enrichi par l'interaction avec les futurs usagers ?

Nous nous trouvons avec une grande quantité de questions, et peu de réponses.

## 8. En forme de conclusion

L'esquisse qui est restée longtemps une activité presque intime du ou des concepteur(s), peu intelligible et peu transmissible dans ses formes primitives, se trouve engagée dans un double processus, celui d'un appareillage qui en modifie la chaîne procédurale, propose des opportunités nouvelles et des enchaînements inédits, mais aussi peut imposer des cadrages limitants, et celui d'une divulgation de cet appareillage qui la rendra en apparence accessible à tout un chacun.

Que se produit-il ? Les frontières qui définissaient l'esquisse sont en train de bouger, et ses spécificités demandent à être redéfinies. Les jeux d'acteurs s'en trouvent modifiés. Commande, réponses à la commande, échanges avec les usagers, la linéarité de ce processus s'estompe. L'appareillage technique semble s'insinuer dans l'ensemble de la chaîne procédurale pour peut-être, à terme, en prendre le contrôle si nous n'en questionnons pas la pertinence au regard d'autres critères que la pure efficacité ou de la pure subjectivité. Quelle est alors la valeur ajoutée de l'approche du concepteur, entre le diktat des données et l'expérience de l'usager qui s'empare des outils que nous avons évoqués et qui sont désormais à sa portée ? Les rôles seront donc à questionner et à repenser pour d'autres configurations, en restant au bénéfice de la qualité du résultat attendu.

Enfin, évoquons rapidement (trop rapidement sans doute) le devenir du « flou » (qui n'est pas foisonnement mais suggestion allusive) notion si importante dans le processus de

---

4 Musée des Arts et Métiers, Octobre 2016-Mars 2017.



conception<sup>5</sup>. Le flou (Gilbert Simondon 2008, p.80.), infralogique au sens développé par Jean Piaget (1970), typique des stades très amont de toute conception, est stratégique en ce qu'il comporte une somme d'informations en gestation qui fait le potentiel évocateur et producteur de l'esquisse (Henri Atlan, 1979, p.146.). Il semble que les simulations virtuelles, notamment, proposent d'autres pistes de flou qu'il conviendra d'identifier, de ménager afin de ne pas appauvrir le processus mais bien de l'enrichir de possibilités nouvelles. Voilà notamment un travail qui reste du ressort du concepteur, un chantier de réflexions.

Au-delà de cette esquisse de conclusion, je formulerai une réflexion latérale mais essentielle à mes yeux : ce qui est en train de se produire confirme comme ont pu l'affirmer des chercheurs aussi différents que Gilbert Simondon et Francisco Varela, qu'il n'y a pas une immatérialité de l'Être qui serait juste accompagnée par des techniques ; celles-ci contribuent à la formation de l'Être pris individuellement et dans l'interaction collective, par les expériences où les techniques sont convoquées.

## Bibliographie

### Ouvrages :

- Atlan Henri, *Entre le cristal et la fumée*, éd. Seuil, 1979.
- Boudon Philippe, contribution à : *Vers un doctorat en architecture, Ministère de la Culture et de la communication, direction de l'Architecture et du Patrimoine, sous-direction de l'enseignement, de la formation et de la recherche*, BRAUP, 2005.
- Boudon Philippe, Pousin Frédéric, *Figures de la conception architecturale*, Paris, Bordas 1988.
- Cauquelin Anne, *Les machines dans la tête*, éd. PUF, 2015.
- Couchot Edmond, *La nature de l'art*, éd. Hermann, 2012.
- Couchot Edmond, *La technologie dans l'art*, éd. J. Chambon, 1998.
- Couchot Edmond, *De la représentation à la simulation*, 1991.
- Deleuze Gilles, *Différence et répétition*, éd. PUF, 1968.
- Lebahar Jean Charles, *Le dessin d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude*, éd. Parenthèses, 1983.
- Mitchell William, *The logic of architecture*, éd. MIT Press 1990.
- Piaget Jean, *L'épistémologie génétique*, éd. PUF, Que Sais-je, 1970.
- Simondon Gilbert, *Imagination et Invention*, éd. La transparence, 2008.
- Varela Francisco, Thompson Eva, Rosch Eleanor, *L'inscription corporelle de l'esprit*, édition française Seuil, 1993.

### Séminaire :

- Magerand J., Mortamais E., « La spécificité des outils numériques dans l'Esquisse comme explorateurs de la pensée complexe. », in *Journées SCAN 05, Rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique*, 2005.

### Exposition :

- Musée des Arts et Métiers, *Machines à dessiner*,  
<https://www.arts-et-metiers.net/musee/machines-dessiner>.

### Sitographie :

- Archiwizard : <https://fr.graitec.com/archiwizard/> visité le 27 Octobre 2019.

5 J'ai eu l'occasion de développer ce point dans le mémoire d'H.D.R que j'ai présenté en 2014.

CityEngine : <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/city-engine/3d-gis/cityengine-2019-0-release-highlights/> visité le 27 Octobre 2019.

Emissive : <http://www.emissive.fr/fr/> visité le 28 Octobre 2019.

INRIA, Aramis : <https://www.inria.fr/centre/paris/recherche/la-demi-heure-de-science/2017/fabrizio-de-vico-fallani-aramis-comment-les-mathematiques-contribuent-a-comprendre-et-utiliser-notre-cerveau> visité le 28 Octobre 2019.

HYVE 3D : <http://www.hyve3d.com> visité le 5 Novembre 2019.

Neurable : <http://www.neurable.com> visité le 1 Novembre 2019.

Unreal Engine : <https://www.unrealengine.com/en-US/> visité le 2 Novembre 2019.

Leroy-Merlin : <https://cuisine3d-did.leroymerlin.fr/> visité le 10 Novembre 2019.