

ETUDE CRITIQUE DE LA MAQUETTE VIRTUELLE

Réflexions sur l'usage d'un outil contemporain en architecture



MEMOIRE DE RECHERCHE - MASTER DESIGN GLOBAL - CRAI Nancy - 2008

Sous la direction de M. BIGNON

Jean THIRIET

DES QUESTIONNEMENTS

UNE RECHERCHE EMPIRIQUE

Preamble: Choix d'une approche

Concrétisation : Mise en place d'un projet

- Phase d'étude /

- Phase de présentation

UNE VISION ELARGIE

La représentation comme sujet d'études

Les artefacts de la représentation

Au delà des artefacts

LA REALITE DES USAGES

Les maquettes de données architecturales

Maquette de données « perceptibles »

- Partager une « réalité »

- Concrétiser la maquette

VERS UNE EVOLUTION

Comment parler d'architecture sans aborder la notion de représentation?

L'utilisation d'outils d'abstraction du réel est une part fondamentale de cette discipline, comme étape préalable nécessaire à une réalisation concrète.

En observant l'histoire de l'architecture, on prend conscience que les concepteurs ont constamment cherché à développer des outils afin de représenter et de concevoir une œuvre architecturale, dans une volonté de rapprochement de la notion de « réalité », afin de simplifier la communication d'informations entre les différents intervenants d'un projet.

La modélisation de notre environnement passe le plus souvent par l'intermédiaire de maquettes de toutes sortes, de la mappemonde au jouet d'enfant. Cette **schématisation d'informations**, cette mise en miniature permet d'appréhender le monde plus simplement, et nous assure une maîtrise physique et intellectuelle de celui-ci. Ce processus est régi par un ensemble de règles, d'habitudes, de conventions, telles que le choix d'échelles prédéfinies, ou de matériaux adéquats.

L'évolution rapide des technologies de représentations réinterroge les critères établis car il devient possible de créer des modèles virtuels semblant s'affranchir des limitations classiques. **Les moyens de représentation informatiques ont évolué** de façon extrêmement importante au cours des trois dernières décennies. A la fin des années 70, au moment de leur émergence, les logiciels étaient d'abord destinés à représenter des dessins 2D, dans une logique technique, ingénieure. L'évolution ultérieure de ces programmes les a peu à peu orientés vers la représentation 3D. Cette orientation a profité, au fur et à mesure, à la représentation spatiale en architecture, permettant la mise en place conjointe de plusieurs points de vue d'un projet et donc une meilleure explicitation de ses caractéristiques spatiales.

Au cours de mes études j'ai spontanément été attiré par **l'utilisation d'outils informatique de création en 3D**, car ils me semblaient alors intéressants pour simplifier la réalisation de documents de projet. Peu à peu, en découvrant ce domaine, notamment en milieu professionnel, j'ai réalisé que l'usage que l'on pouvait en faire allait bien au-delà de cette idée initiale.

En testant ces outils dans différentes situations, de manière rigoureuse, plusieurs **champs d'action de la 3D virtuelle** se dégagent:

- Comprendre l'espace et créer des documents graphiques.
- Concevoir l'espace et le ressentir.
- Expliciter, vérifier et corriger une réalité.
- Communiquer, expliquer, transmettre un projet.

L'usage de ces outils est actuellement en plein essor, car contemporain de mouvements importants au sein des sociétés et est maintenant à même d'influencer durablement le travail des architectes.

Le présent mémoire vise donc à mieux percevoir l'importance de ces outils, et de faire un **état des lieux des technologies, des contextes d'application et de leurs potentialités.**

La recherche que j'ai effectuée s'est déroulée en plusieurs étapes, dont l'ordre chronologique influence fortement la construction de ce mémoire.

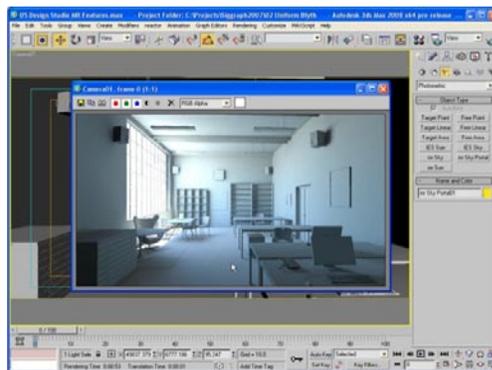
La première approche de l'étude s'oriente autour d'une réflexion spontanée sur l'usage d'un outil répandu et présentant de nombreuses potentialités. Cet aspect très pratique va se révéler, à l'usage, porteur d'interrogations plus complexes. Elles vont devoir s'éclairer d'une prise de recul, d'une recherche plus théorique, qui va permettre d'aborder avec plus de justesse une troisième phase de confrontation des théories développées avec les demandes réelles actuelles dans le domaine.

PREAMBULE : choix d'une approche

Mon attrait et mes interrogations pour les outils de travail virtuels m'ont donc poussé à m'interroger spontanément sur les moyens mis à ma disposition pour représenter concevoir et partager des idées. L'expérience pousse à vouloir les utiliser au mieux, comprendre leurs failles et leurs forces.

J'ai cherché, pour mon usage personnel d'étudiant en architecture, quel programme pouvait me donner le plus de liberté d'action tout en me donnant la possibilité de m'immerger dans mon projet. Je suis parti fondamentalement du constat qu'il me paraissait paradoxal d'employer des outils 2D pour représenter des objets 3D, car le travail de codage et décodage de l'information semble alors constituer un travail supplémentaire.

Les outils de modélisation classiques, dérivés conceptuellement de 3DS max (Maya, Modo, Cinema 4D, etc...) se basent essentiellement sur un travail de primitives, qui ne sont pas forcément très adapté aux premières phases d'esquisse. De plus, l'idée fondamentale qui régit depuis longtemps ces outils tient en la différenciation entre modélisation et rendu. Le processus de travail de l'espace y est une tâche relativement ingrate, dans un environnement dépouillé, très éloigné visuellement du rendu à atteindre. L'immersion de l'utilisateur dans un lieu de travail virtuel est fortement grevée par ce délai nécessaire. Le but de ces outils n'est en fait pas d'expérimenter l'espace mais de donner les moyens de le représenter de la façon la plus précise possible.

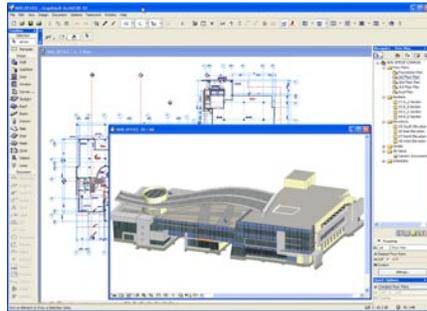


3DS



Cinema 4D

Les outils de modélisation architecturaux (archicad, Revit, Allplan...) ne sont pas non plus spontanément imposés dans ma réflexion, car leur structure très rigide, du fait de la hiérarchisation forte des informations qu'ils exploitent laisse peu de place à l'improvisation. Néanmoins ils sont moteurs d'une évolution importante dans le domaine architectural, via le développement du partage de leur contenu, mais nous reviendrons plus tard sur cet aspect.

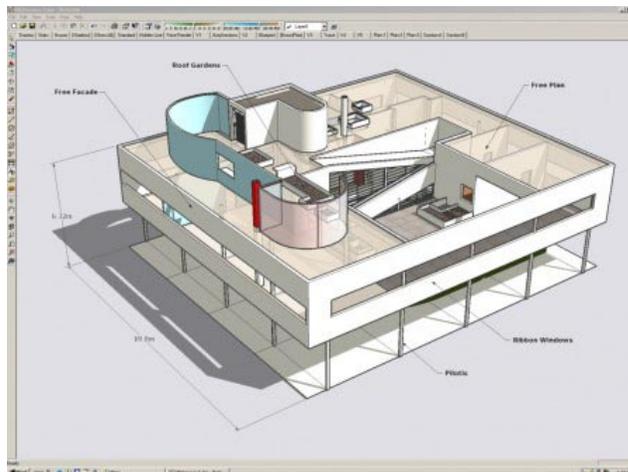


Archicad



Revit Building

L'objectif recherché ici étant de trouver un point de contact entre représentation et conception, mon choix s'est spontanément porté sur Sketchup. En effet, ce programme d'apparence simple, voir simpliste, à innové de façon conséquente dans ce domaine. En effet, plutôt que de partir du postulat que la modélisation n'est qu'un passage obligé pour fournir un rendu donné, cet outil est parti de l'idée que les deux éléments étaient conjoints et indissociables. Certes, cette orientation entraîne nécessairement une diminution du niveau de prestation fournie au final en matière de rendu, mais la cohérence globale est bien plus présente. Cette approche orientée autour de la perception de l'objet modélisé rapproche par certains côtés cet outil des programmes purement ingénieurs (CATIA, Pro Engineer), tout en y ajoutant des notions de rendu visuel plus poussés (textures, ombres..).



Sketchup

Ce choix d'un outil polyvalent et une prise de conscience des développements actuels des outils de représentations en temps réel, essentiellement liés au domaine du jeu vidéo, m'ont poussé à orienter ma réflexion vers le concept de maquette virtuelle. En effet la mise en place fonctionnelle d'hybride entre une volonté de représentation et un environnement dynamique donne naissance à ce média assez nouveau en architecture.



Nox Architects

Il est important de comprendre qu'il s'agit ici d'étudier des usages au sein d'un travail "quotidien", et non de s'intéresser aux possibilités offerte par l'ordinateur en matière de génération numérique d'architecture, tels que ceux développés par l'agence Nox par exemple. En effet, ce domaine d'architecture « numérique » soulève d'autres interrogations et génère de ce fait des problématiques différentes, qui ont par ailleurs déjà été de nombreuses fois étudiées.

CONCRETISATION : Mise en place d'un projet

Afin de pouvoir mettre en œuvre cette recherche, il était nécessaire de développer un processus de projet.



Grands Moulins de Paris
(Nancy)

J'ai choisi de baser ce travail sur le site des Grands Moulins de Paris, à Nancy. Cet ensemble de bâtiments et de terrains en friche, déjà de nombreuses fois étudiés, présente des intérêts indéniables en tant que sujet d'étude de cette nature. Riche d'un bâti complexe et emblématique, présentant une grande variété d'échelles, à la fois marquant dans le tissu urbain, et intéressant dans ses détails constructifs, il offre un choix d'approches projectuelles très vaste. De plus, **travailler sur un site existant permet de se confronter à un grand nombre de contraintes**, rendant ainsi la démonstration plus pertinente.

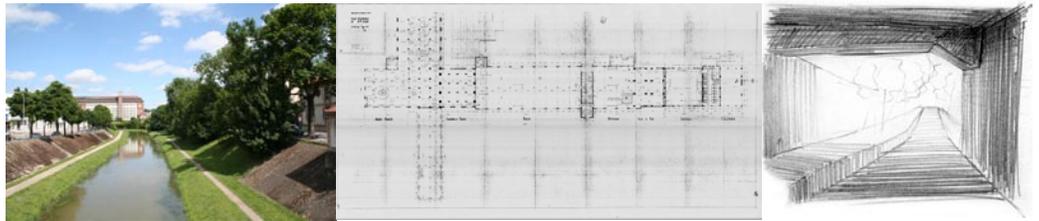
Pour mettre en place une lecture claire de ce cheminement, la démonstration s'appuie sur une trame de projet relativement universelle, et nécessairement schématique pour pouvoir s'adapter à d'autres cas de figure. Cette trame permet de se confronter successivement aux différentes problématiques, et de dégager ainsi plus facilement les questions majeures et les moyens d'y répondre. Elle se base donc sur une succession de phases, incluses dans deux grandes étapes : l'étude et la présentation

Phase d'étude :

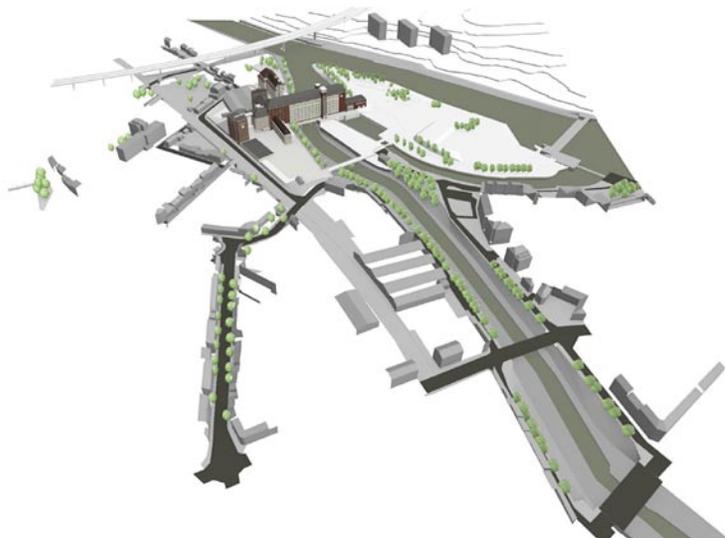
Le projet se construit et prend vie au cours d'une phase longue et complexe, majoritairement orientée autour de l'architecte ou de ses collaborateurs. L'outil doit donc prendre en compte cette destination dans son usage.

– Prise de contact :

Cette étape a d'abord un objectif analytique, un usage lié à la mise en place des caractéristiques de projet. Pour aborder un ensemble comme les Grands Moulins, il est d'abord nécessaire de **l'expérimenter, de le percevoir** de différentes manières, de se confronter à son échelle. Cette exploration permet de se créer un corpus de connaissances, fait de photos, croquis, documents d'archives du bâtiment, qui va alimenter le travail naissant.

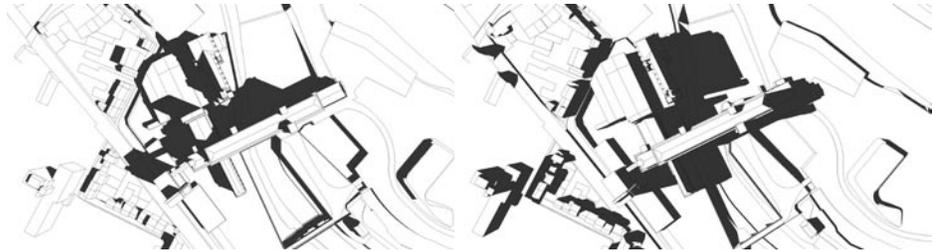


Au départ, l'usage de l'outil informatique n'est pas indispensable, tant que le travail est lié au domaine de la découverte et de la perception du lieu. Dans un deuxième temps, la création d'une maquette virtuelle devient pertinente, afin d'étudier de manière plus approfondie le rapport entre le bâtiment et son environnement, de mettre en valeur les interactions entre les différentes composantes du site.

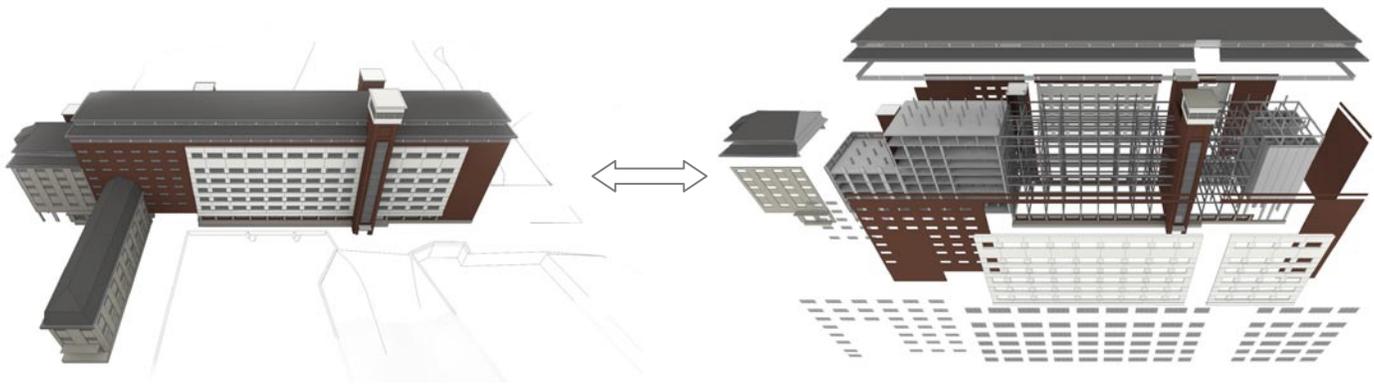


Cette maquette se base sur les informations partielles récoltées, ne se composant que d'une **sélection raisonnées d'éléments**, nécessaire à la lecture du site et à son analyse, sans contrainte d'esthétique du modèle 3D à ce stade.

En parallèle, cette modélisation peut également servir à traiter des données historiques et/ou physiques relatives au site. L'utilisation d'une maquette numérique, interactive ou non, peut servir à visualiser la morphologie d'un site ou à étudier les facteurs climatiques de ce dernier (ensoleillement...)



Il est nécessaire d'effectuer un travail important de hiérarchisation et d'organisation des données, afin de s'assurer de la pertinence et de l'efficacité de la représentation, en lien avec les intentions de projet. Par exemple, en visitant le bâtiment principal des Grands Moulins, on découvre qu'il s'organise autour d'un réseau de structure métallique, qui peut devenir un élément majeur de composition d'un projet de réhabilitation. Il est alors logique d'introduire cette information dans la maquette, qui gagne en sens et en complexité.



Dépassant la simple représentation d'une enveloppe bâtie, le modèle 3D devient à même de traduire les relations qui existent entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

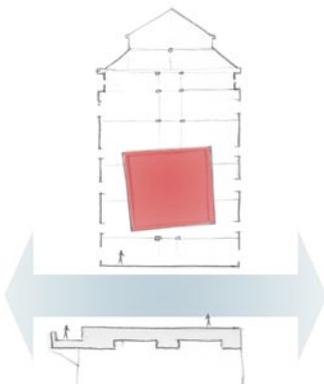
La hiérarchisation se fait par l'intermédiaire d'un jeu de calques successifs permettant d'aborder indépendamment ou conjointement chaque sous partie de la construction. L'architecte trouve alors logiquement une place centrale dans ce processus, car l'organisation de ces éléments demande une bonne connaissance de leur nature et une compréhension poussée de leurs interactions.

- Esquisse :

La première étape de construction du support virtuel ouvre la voie à l'exploration des intentions de projet, la définition des partis pris architecturaux et la prise de conscience des problèmes énoncés. **Les premières idées peuvent être rapidement mises en volume** et à l'échelle de façon réaliste, et comparées entre elles dans l'espace.



Il est alors possible de dépasser des à-priori immédiats, et de pousser un raisonnement plus avant. **La maquette offre la possibilité de passer aisément d'un point de vue à l'autre, permettant par exemple de juger immédiatement de l'impact d'une volonté architecturale depuis le niveau du sol.**



- Approfondissement :

Le parti architectural commence à se préciser notamment après échange avec d'autres intervenants. Des orientations choisies pour le bâtiment dans son ensemble, il est possible de passer directement à **l'étude d'éléments à une échelle locale** et de mesurer les effets qu'induisent leurs modifications. Ces allers-retours enrichissent le projet, et là encore, **l'usage conjoint de dessin et de 3D virtuel** prend du sens. Par exemple, une coupe de principe génère alors une volumétrie, ses proportions s'enrichissant du contact avec son environnement. La maquette devient alors une entité plus complexe, enrichie de médias extérieurs.

Pousser l'usage de cet outil à ce stade permet de percevoir une partie de ses défauts intrinsèques. En effet, quelle que soit l'interface utilisée, **il est très difficile de modéliser virtuellement une idée qui n'a pas encore été**

formulée, même sommairement, par un geste naturel de la main.

Une courte étape de maquette classique ou de croquis crée un point d'accroche permettant d'initier la phase de virtualisation de l'idée.

D'une façon générale, la maquette virtuelle permet, au moment de l'esquisse, de **prendre du recul par rapport à une volonté initiale**, de l'interroger plus efficacement, en prenant en considération un nombre important de contraintes liées à son contexte. Encore une fois, dans ces premières phases de la conception, le **modèle 3D n'est pas forcément complet** car il sert essentiellement de référent au concepteur et lui fournit des informations sur l'espace à concevoir.

- Développement :

A ce stade, le projet trouve son identité, et l'architecte porte son attention sur les détails plus précis de dimensionnement ou de choix des matériaux, qui peuvent venir modifier le modèle spatial numérique, de façon ponctuel, mais **pour rester pertinent, l'utilisation de l'outil doit être limitée à la définition des grandes orientations du projet, et au dessin plus précis de zones bien délimitées.**

- Phase d'exécution :

Affiner et caller toutes les composantes d'un espace bâti passe nécessairement par une **phase incompressible de création de documents traditionnels** (plans, coupes...) qui sont plus à même de traduire et de rendre mesurables des données précises (composition d'un mur, détail d'un assemblage). L'esquisse 3D permet de documenter cette étape, mais ne doit pas en être l'élément central, sa complexification nécessitant un temps de travail conséquent pour un gain d'informations faible.

Phase de présentation :

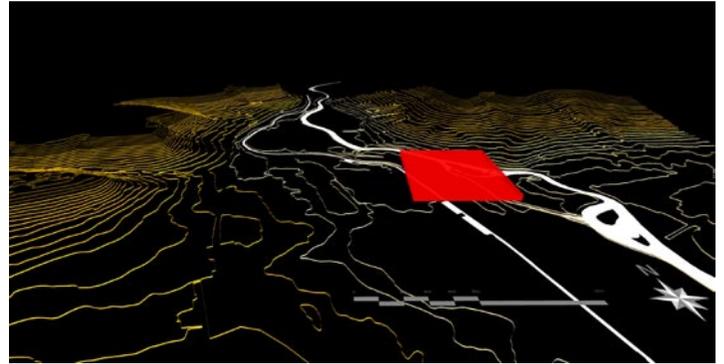
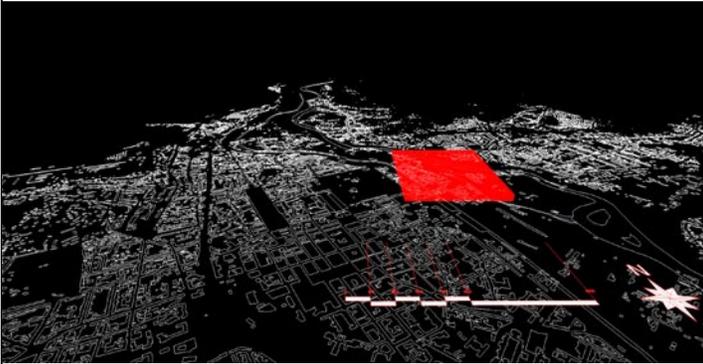
Au delà de l'étape initiale de mise en forme des idées de projet, la maquette trouve un sens également lorsqu'il devient nécessaire de **présenter une synthèse de son analyse** et des propositions architecturales qui en découlent.

Cet aspect de l'usage de la maquette soulève beaucoup de questions, car il étend la problématique au delà des limites du travail classique de l'architecte.

- Echelle globale :

Le modèle 3D offre l'opportunité de passer de façon fluide de l'échelle de la ville à celle du bâtiment dans son site.

Au fur et à mesure de cette "descente" on met en avant différents ensembles schématiques, explicitant les points importants à prendre en compte dans la compréhension d'une vision du projet. Ainsi il est possible de mettre en rapport tour à tour la topographie, les différents sites clés de la ville, les axes majeurs...



Chacune de ces données prend du sens à une certaine distance, faisant de ce mouvement plus qu'une simple opération de zoom optique.

La perte d'une échelle fixe globale (1/1000° - 1/500° - etc..) n'est pas forcément négative, car on reste libre d'ajouter du détail là où il est nécessaire de le faire, mais cela oblige, en contrepartie, à une grande pertinence dans les choix effectués.

Le travail traditionnel (dessin, maquette) est facilité par l'usage de ces règles établies qu'il n'est pas indispensable de remettre sans cesse en cause, si on les a assimilées. Il reste néanmoins nécessaire de recréer l'ensemble des objets représentés à chaque changement d'échelle, ce qui présente un réel frein à une vraie souplesse d'utilisation.

- Echelle locale :

Après la mise en situation du sujet d'étude, il est possible de le présenter de façon plus immersive, tel qu'on l'interprète, et tel qu'on l'a fait évoluer.

La maquette n'a pas ici la vocation de créer des images photoréalistes ou des perspectives de concours. La technologie mise en œuvre ne permet pas encore de gérer efficacement des textures précises ou des effets de lumière avancée en temps réel, et il est donc nécessaire de contourner cette contrainte pour donner du sens à la représentation.

Il devient donc pertinent de chercher à exprimer le maximum d'informations en mettant en jeu le moins de moyens possible. On vise alors à **créer une image "commune" d'une réalité, une simplification de celle-ci aux éléments essentiels qui permettent de la comprendre.**



La mise en œuvre de cette volonté graphique passe par une sélection de couleurs, de tons, de style de lignes, de géométries adaptées à l'idée à exprimer, ainsi que par un certain nombre de **"bricolages" visuels**.

On perçoit par exemple que l'affichage de sketchup repose sur un jeu d'épaisseur d'arêtes, de contours, que l'on peut masquer à loisir. A une certaine distance, leur épaisseur étant constante, en pixels, à l'écran, ils ont tendance à se confondre et à masquer les détails qu'ils devraient révéler. La **perception de l'objet est alors biaisée et appauvrit par la technique de représentation de base**. Il est alors nécessaire de savoir faire un choix d'affichage, en fonction de la distance dans ce cas, et masquer les arêtes de la géométrie afin de clarifier le rendu. De même, pour conserver le sens de la chose représentée, une allée d'arbre peu par exemple devenir une simple succession de plans, traduisant, sans excès d'effets, l'idée de masque végétal.

Cette orientation du travail rapproche la maquette virtuelle du monde de l'illustration, et notamment du concept de "ligne claire", symbolisée par le travail d'Hergé, dans lequel le choix des données représentées est primordial. Le travail et les contraintes aboutissent ici à une épuration du modèle à l'aspect sémantique pur. Les éléments représentés ne sont qu'un support de projection mental, un support d'accroche, et non une tentative de mimétisme de la réalité



Dans la continuité de cette présentation schématique des éléments majeurs du lieu existant, il est possible d'**insérer de façon fluide l'état projeté, par un simple jeu de changements de calques**. Cette transition permet de se faire une image mentale cohérente des volontés architecturales, dans leur contexte d'application, et en continuité avec le style graphique choisis.



Afin d'approfondir et de préciser ses idées, **il peut être nécessaire d'aller ponctuellement au delà des possibilités visuelles de la maquette.**

Certains éléments importants de mise en lumière, ou des points majeurs de l'ambiance intérieure peuvent être rendus de façon statique via d'autres programmes, et réinsérés par endroit dans la maquette. Un seul type de représentation ne permet pas le dévoilement de tous les aspects d'un projet et surtout, ce dernier varie en fonction de l'étape du processus.



Au fur et à mesure de ce travail on prend conscience que **la question originelle d'usage raisonné d'un outil ouvre le champ à des réflexions plus vastes et des problématiques plus complexes.**

Ainsi, d'une part, il devient clair que l'usage d'un outil 3D, dans un univers quasi libre de toute contrainte, nécessite en fait, tout comme un travail plus traditionnel de dessin, de **se fixer des règles de représentation**. La mise en place de chartes, de codes, reste propre à chacun, car une multiplicité d'approches est possible dans ce domaine. Néanmoins, **avoir conscience de cette contrainte permet de la prendre compte efficacement dans son travail**. Les programmes traditionnels de modélisation n'abordent que très peu cette problématique, n'orientant pas leur usage dans cette direction.

D'autre part, la question sous-jacente à cette étude se révèle être celle du **lien entre perception, conception et représentation**. Toutes les trouvailles et arrangements techniques nécessaires pour contourner les limites de puissance graphique de l'outil en font prendre clairement conscience.

Par ailleurs, le recours à la 3D numérique lors du processus de conception pose également **la question de l'influence du médium sur la qualité et la nature des espaces conçus**.

Il devient donc **nécessaire de prendre un certain recul** et de considérer plus avant les recherches et études liées à ces notions interrelationnelles, et de voir dans quelle mesure on perçoit leur importance.

LA REPRESENTATION COMME SUJET D'ETUDE :

Pour aborder cette prise de recul sur les recherches liées à ce domaine, il est nécessaire de faire un retour sur l'analyse de la notion de représentation.

Représenter : d'un strict point de vue étymologique, cela signifie "présenter à nouveau". Néanmoins, ce terme est employé dans presque tous les domaines, et son sens originel s'élargit à une sémantique bien plus vaste.

Les différentes sciences "dures" ou "molles" nécessitent un passage par cette action afin de faire une **transition entre le réel et son interprétation**. Après recherches, le sens que l'ont peu attribuer à ce terme, dans le domaine qui nous concerne, devient plus précis : « *toute démarche qui consiste à remplacer un objet, un phénomène ou une entité abstraite (représentant) par un autre objet ou phénomène (représenté) en assurant une certaine correspondance de propriétés entre les deux.* »

Dans le domaine de la conception de l'architecture, tout le monde s'accorde à reconnaître le lien entre représentation et conception. Néanmoins, c'est depuis peu que l'apport de l'un dans l'autre est vraiment étudié de façon poussée. Cette mise en lumière du phénomène est liée à une volonté contemporaine de **compréhension des processus mentaux intervenant dans le travail des créateurs** (architectes, designers...). Il en découle plusieurs hypothèses, parfois antinomiques, qu'il est intéressant de citer dans le contexte qui nous concerne.

D'un côté certains théoriciens sont partisans de l'idée de "la **théorie de la boîte noire**" (Gordon). Pour eux, la conception est le résultat d'opération interne, d'un travail opaque de la pensée. Le cerveau utilise alors un certain nombre de références, de données, qui entrent et qui sortent sans contrôle possible. La création est influencée alors naturellement par l'environnement direct du créateur, mais cette influence n'est pas quantifiable.

D'un autre côté, certains courants théoriques contemporains s'orientent vers l'idée d'un phénomène plus lisible, la conception étant alimentée et basée sur une analyse comparée de cas précédents ou analogues (c'est ce que l'on appelle le **case-based design**), dans le but de faire émerger la solution la plus acceptable à un problème posé (D. Schön)

Au delà de ces classifications un peu stricte, des études plus focalisées ont donnée lieu à une analyse poussée des phénomènes de création mentale.

Ainsi, dans le travail de S. Porada, la création est expliquée comme étant traduite par une série d'images mentales, plus ou moins précises, qu'il est **nécessaire de pouvoir fixer matériellement**, comme des points de repère pour la création. Le problème fondamental de ces images mentales tient dans la **rapidité de saturation de la mémoire immédiate**, qui entraîne une disparition des idées au fur et à mesure de leur apparition. La représentation graphique de ces "fulgurances" créatives est donc nécessaire pour en garder la trace et les rendre utile au processus global. Ces esquisses permettent d'une part de fixer l'idée, mais rendent aussi possible leur communication à autrui. Une boucle se met alors en place, entre les représentations « intérieures » du designer et celles extériorisées, nourrissant alors la création et facilitant l'émergence d'idées intéressantes.

Dans les faits, on constate que dans tout processus de création, quelque soit la façon de l'interpréter, le savoir faire de l'architecte occupe une place essentielle. En effet, son univers de création s'organise autour d'un corpus de "choses déjà vues" de connaissances personnelles qui alimentent sa création. Le passage par une représentation graphique sert alors de canevas à ce tissu de pensées et de connaissances.

LES ARTEFACTS DE LA REPRESENTATION :

Au delà de ces réflexions liées au rapport entre conception et représentation, la question se pose des caractéristiques de ces dernières, dans le cadre de l'usage de la 3D informatique.

On perçoit rapidement que l'une des principales thématiques qui englobe l'étude de ces outils est la notion d'immersion. La conception donne naissance à des univers, via le biais d'artefacts de représentation (maquettes virtuelles), et ceux-ci visent à produire un effet sur leur usager. On parle alors de la **notion de réalité virtuelle**, qui englobe l'ensemble des phénomènes liés à ces univers

Ce domaine à été étudié de façon assez importante depuis près de deux décennies. Elle se définit comme étant une réalité synthétisée partageable avec d'autres personnes, que nous pouvons appréhender par nos sens, et avec laquelle nous pouvons interagir, le tout par l'intermédiaire d'une interface.

Cet environnement nouveau interroge la perception que l'on a de celui qui nous entoure, et de la façon de s'**immerger** dans un autre.

Immersion : « ...état d'un participant lorsqu'un ou plusieurs de ses sens... est isolé du monde extérieur et n'enregistre plus que des informations issues de l'ordinateur » (Pimentel et Texeira) .

« L'immersion est une technologie, une technique d'interface entre l'homme et la machine ». (Cadoz)

L'immersion physique dans un environnement passe par une somme d'informations sensorielles (vue, ouïe, touché...).

« la réalité virtuelle repose sur une tromperie des sens [...]. Nous existons dans le monde virtuel par les mêmes sens et sensations que dans le monde réel [...]. Le monde virtuel est une illusion perceptuelle » (Jolivald).

L'exploration de cette illusion sensorielle est à même de **générer un impact psychologique** chez le sujet concerné. Le monde virtuel devient une continuité "enveloppante " de la réalité et ses limites peuvent être alors flouées par un processus mental.

Les recherches sur les environnements virtuels et leur capacité d'immersion ont fait émerger une classification, qui se base essentiellement sur la nature de leur interface et ses conséquences sur les sensations induites dans le **rapport entre l'utilisateur et son environnement**. Ainsi, les recherches de Seipel définissent trois grandes catégories:

- Immersif :

La perception englobe tous les sens de l'utilisateur, qui a alors une vision égocentrée du système, orienté autour de son seul individu.

En réalité, il n'existe pas à l'heure actuelle d'environnement virtuel totalement immersif, car certains sens (odorat notamment) sont quasiment impossibles à mettre en œuvre, de même, les systèmes de gants ou de lunettes 3D sont toujours très coûteuses et peu développées.



Glasstron de Sony



Data Glove de Fifth Dimension Technologies

- Semi-immersif:

L'utilisateur est à même d'**interagir avec le monde virtuel, tout en gardant une présence perceptible dans le monde réel**. Ces technologies utilisent en fait une partie de ce qui peu être développé dans le cadre d'environnement complètement immersifs, comme des écrans semi circulaires couvrant l'intégralité du champ de vision. Ils permettent la mise en œuvre d'une réalité augmentée, ou la conscience de la présence dans celle-ci est importante. De plus ils offrent la possibilité d'une interaction directe avec d'autres protagonistes. (Exemple des tables interactives type Windows "Surface")



Windows surface

- Non-immersif :

Le contact de l'utilisateur avec l'environnement virtuel est réduit, limité visuellement à un simple écran, une fenêtre. **La présence n'est pas ici permise par l'interface, et nécessite un effort intellectuel plus important**, une plus grande abstraction. Le sentiment d'interaction est possible, mais le monde réel est clairement présent pour l'utilisateur. Malgré les limites observées, ce type d'environnement est le plus répandu, car le moins complexe à mettre en œuvre.

AU DELA DES ARTEFACTS :

Cette approche technique des domaines de perception et de représentation ouvre finalement assez spontanément la voie une orientation beaucoup plus psychologique des questionnements.

Ainsi, les articles scientifiques qui abordent la notion de compréhension spatiale en architecture (De Vries et al, 1998) font tous référence au **domaine de la psychologie cognitive, ou à la cognition spatiale**.

« La réalité virtuelle reste avant tout une construction mentale de l'observateur face aux stimulations sensorielles qui lui sont fournies par les artefacts technologiques. » (Schneider).

De cette interprétation personnelle de l'environnement virtuel naît l'un de leur attrait principal. Ils offrent en effet la possibilité de transcender, d'une certaine manière, des limites physiques qui nous contraignent, de créer spontanément des éléments à partir de rien, et de garder une mémoire absolue de toutes ses actions. Une part d'onirisme se glisse alors dans cet univers technologique.

"La promesse des réalités artificielles n'est pas de reproduire la réalité conventionnelle ou d'agir sur le monde réel. Elle est précisément l'opportunité de créer des réalités synthétiques pour lesquelles il n'y a pas d'antécédents réels." (Kruegger (1991))

La première phase de la recherche a été effectuée de façon spontanée, laissant place à une découverte successive des problématiques et des solutions qui pouvaient s'offrir. L'étude plus poussée des concepts mis en lumière permet par la suite de replacer ce développement dans un contexte plus global, et ainsi de réfléchir à un état des lieux de cette discipline

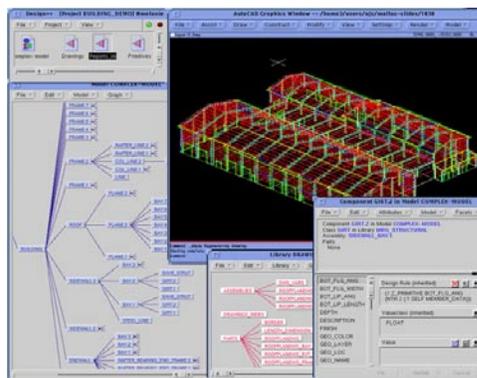
L'idée de maquette induit nécessairement celle de modélisation. Cette notion ouvre la voie à deux points de vue distincts, actuellement séparés dans la pratique.

MAQUETTES DE DONNEES ARCHITECTURALES :

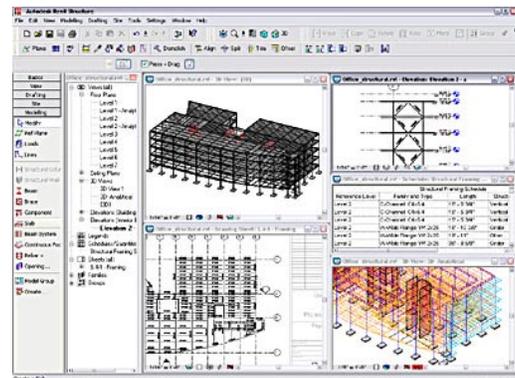
Cette modélisation est orientée vers le sens intrinsèque des éléments du réel, dans une **évolution de la notion de base de données**.

On découpe ainsi le bâtiment en sous-objets significatifs, délibérément marqués, liés à des notions propres à leur domaine d'utilisation. La 3D naît alors d'un **assemblage pensé d'éléments paramétriques préexistants**, qui s'assemblent avec une logique spatiale réelle (une fenêtre ne peut se poser que dans un mur, une porte doit toucher un plancher, etc...).

Cette mise en place d'une **"intelligence" de la modélisation** permet de donner un sens plus poussé au modèle, et le transforme potentiellement en plateforme de travail interdisciplinaire. La conservation de ces informations est aujourd'hui l'objet de nombreux travaux et a donné lieu à la mise en place du standard BIM (Building Information Modeling).



Design++



Revit Structure

Il devient alors possible d'échanger virtuellement des informations riches, de façon transversale, sans imposer à chaque étape une ressaisie des données. **L'espace virtuel devient alors un modèle précis de la réalité**, qui tend à s'affranchir des contraintes de la représentation, car tout y devient totalement identique à la réalité en terme d'information. Les éléments, construits en 3D peuvent posséder tous les attributs de leur pendant réel (masse, dimensions exactes, contraintes physique).

Le modèle s'abstrait **alors peu à peu des contraintes liées à la représentation**. La virtualisation devenant totale, il n'est plus nécessaire de chercher des méthodes de schématisation de la réalité via des artefacts 2D.

Néanmoins, cette approche ne laisse pas de place à l'improvisation, à la recherche ou à l'étude, car ces phases passent nécessairement par des moments de doute, de non sens logique, ou les éléments ne peuvent pas être simplement définis. Une dalle se retournant en toiture, un poteau devenant une maille de façade, un sol devenant meuble, etc...

Dès que la complexité du projet augmente il devient difficile de segmenter les éléments en catégories distinctes.

Enfin, ce type de modélisation ne s'interroge jusqu'à maintenant que très peu sur la représentation visuelle et les perceptions liées à la création d'un espace. Ils ne sont faits que pour transmettre et mettre en relations des informations techniques ou dimensionnelles. Les phénomènes ne sont étudiés que d'un point de vue ingénieur (diffusion du son, de la chaleur, résistance mécanique, etc...).

MAQUETTE DE DONNEES « PERCEPTIBLES » :

La notion de maquette virtuelle existe déjà depuis longtemps, mais son application en temps réel dans le domaine de l'architecture est encore très limitée. Ma seconde phase de recherche s'est intéressée à ce domaine, en travaillant dans une entreprise réalisant ce type de visualisation pour des projets contemporains.

Ces maquettes se basent essentiellement sur un **objectif de représentation de la réalité dans une volonté d'immersion** du sujet.

Leur intérêt se base sur la **gestion des effets liés à la perception** que l'on se fait spontanément d'un environnement donné, lorsque l'on se déplace librement en son sein. (Cette définition s'oppose aux modes de déplacement passifs, comme dans les animations pré-calculées par exemple)

Il est nécessaire d'introduire la **notion d'image de synthèse en temps réel** pour bien saisir leur nature. Cette technique consiste à calculer la projection de la scène 3D sur le plan de l'écran, à raison d'environ 25 images secondes. Le calcul effectué par l'ordinateur doit être inférieur au temps de persistance rétinien, c'est-à-dire au temps minimum nécessaire à l'œil pour percevoir la transition entre deux images (50 millisecondes)

Partager une « réalité » :

La visite d'un lieu, sa découverte et sa compréhension nécessitent la perception d'un certain nombre d'éléments précis du réel pour être fonctionnel. Ainsi une surface vitrée va présenter un degré de transparence, une réflexion qui traduira le mouvement et modifiera l'environnement. De même, un béton possède une granularité différente du plastique, qui accroche la lumière d'une façon autre qu'un parquet en bois, etc...

L'existence de ces **constantes perceptibles dans un monde réel nous donne des repères** et nous permet de nous y immerger et de reconnaître la nature des éléments qui le compose.

A l'heure actuelle, les professionnels du secteur de l'architecture commencent à comprendre que le virtuel leur ouvre la possibilité de traduire, de façon préalable à la réalisation d'un projet, sa nature future, et ainsi d'exposer de façon plus juste leurs idées, leurs choix et le sens global d'une construction. Ils orientent donc leur demande de virtualisation dans une direction très sensorielle, laissant encore de côté de nombreuses potentialités liées à la nature même des environnements 3D (conception technique, partage dynamique de données, etc...)

Les entreprises offrant des services de création de maquette 3D ont donc orienté leurs offres dans cette direction et basé leur travail sur la restitution d'effets liés au réel, laissant de côté le sens propre de chaque éléments (murs, dalles,...), qui ne sont pas nécessaires pour construire un environnement favorisant l'immersion. En effet, **n'importe quelle géométrie arbitraire correctement agrémenté d'effets réaliste (lumière, texture...) peut devenir réelle aux yeux de l'observateur**. Leur travail se base donc facilement sur des outils qui n'offrent aucune analyse logique des éléments constructifs, mais qui permettent de représenter rapidement n'importe quel volume virtuellement. La modélisation devient alors une phase d'abstraction, d'interprétation, qui ne cherche qu'à **restituer l'enveloppe des choses** avec le plus de réalisme tangible, mais autre sens supplémentaire.



Exemples de maquettes virtuelles

La mise en place de ces effets est complètement dépendante de la technologie qui les sert, et nécessite des ressources et des recherches considérables, à contrario de la mise en place de systèmes d'informations logiques qui requièrent une certaine logique et la mise en place méthodique des éléments, mais peu de puissance matérielle.

De ce fait, **le domaine de la maquette virtuelle de représentation suit de près le domaine du jeu vidéo, qui partage les mêmes objectifs de virtualisation de la sensation de présence.** De nombreuses avancées effectuées dans ce domaine servent directement la mise en place de ces nouveaux outils.

Concrétiser la maquette :

On constate donc que l'outil utilisé actuellement de façon effective, professionnelle, s'éloigne de façon assez importante de l'idée, quelque peu utopique, développé sur la base de Sketchup.

Dans ce premier cas théorique, la **faiblesse des moyens techniques** mis à la disposition de l'utilisateur ont **nécessité le développement de méthodes parallèles** pour représenter la réalité sans avoir recours à des effets complexes, puisque ceux-ci n'étaient pas permis par le logiciel. L'aspect sémantique et analytique, une dissection intellectuelle de ce que l'on perçoit et du sens que l'on y donne fut alors nécessaire et même indispensable pour que la maquette remplisse son office. **La technique s'est effacée au profit de la réflexion sur le sens de chaque élément** dans la traduction de l'ensemble.

La situation est donc différente dans le cas concret observé, car l'on part en effet du constat que la réalité est sécable en un ensemble d'effets perceptibles qui la constitue, et il est **indispensable de les traduire pour transmettre l'essence** du lieu que l'on doit représenter.

Malheureusement, si l'ensemble de la mise en place de ces effets est maintenant parfaitement maîtrisé dans le domaine du rendu d'images fixes ou d'animations précalculées, nécessitant de longues heures de calcul, elles ne sont pas encore au point pour le temps réel, dans lequel le temps alloué à la formation d'une image est, comme nous l'avons vu, très faible.

La construction de la maquette s'articule donc autour de la gestion de ces contraintes, et s'éloigne rapidement de la volonté originale. En effet, la rapidité et la spontanéité de mise en place de l'espace ne sont pas compatibles avec un travail complexe des effets si ceux-ci ne peuvent être générés directement et rapidement.

Les outils se développent en prenant en compte des critères d'efficacité qui sont ceux de la construction de la maquette et non plus de la construction de l'architecture. C'est un aspect paradoxal central de la problématique. En effet, la recherche du réalisme perceptif entraîne un éloignement de la maquette et de la réalité. La création des effets nécessite **une attention constante, et un nombre important de détours et d'astuces pour fonctionner.**

L'optimisation est le maître mot de l'usage de ces outils et la clé pour aboutir à leur efficacité. Les limitations liées aux vitesses de calcul et d'affichage, de nombre de polygones à l'écran et de texture dans la mémoire vive sont à prendre constamment en compte. Ces contraintes nécessitent une connaissance bien particulière du domaine et en font à l'heure actuelle des outils hors du porté du travail quotidien de l'architecture.

Pour être exploitables, les effets doivent être analysés et retranscrits de la façon la plus simple et la plus juste possible. Il est indispensable de faire toujours la part des choses entre l'importance d'un élément dans le projet et la conséquence induite sur la réalisabilité de la maquette.

Plusieurs points entraînent des recherches complexes et des solutions très diverses pour être mises en place.

Mise en lumière :

L'illumination d'une scène statique passe par la mise en place d'un certain nombre de point lumineux, qui cherchent à transcrire au mieux la réalité physique de la lumière dans le lieu. De nombreuses méthodes de calcul, basées sur des algorithmes de radiosité [*] ou d'illumination globale permettent actuellement de retranscrire de façon très juste une ambiance voulue, de façon fixe ou précalculée.

Dans le domaine de la 3D temps réel, ces algorithmes ne peuvent pas encore s'appliquer ou de manière trop ponctuelle et anecdotique pour être vraiment exploités. En effet, il y a toujours une distance non négligeable entre des prototypes issus de recherche, permettant de porter ponctuellement un effet dans un monde dynamique, et son usage de façon généralisée (exemple des technologies Enlighten, de radiosité temps réel, limité à des espaces de petites dimensions, et à très peu de sources de lumières différentes).



Démo Enlighten

La question de l'illumination ne pouvant donc pas être réglée de la même façon en temps réel, mais étant tout aussi indispensable, des techniques hybrides ont vu le jour. Elles se complètent, entrent en interrelation, et encore une fois, demandent une analyse fine de la situation à représenter.

On cherche donc à **gérer l'effet lumineux**, d'une première manière, **dans la texture elle-même**, par le biais d'une coloration préalable de certaines zones, d'un jeu de dégradés et d'atténuations, pour simuler une présence de l'objet dans un environnement réel.

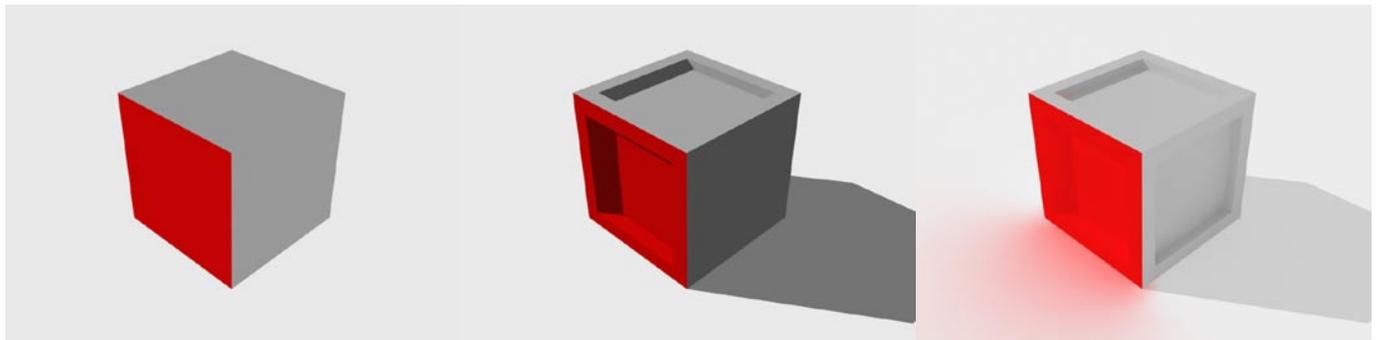
Cette méthode, quelque peu archa ique, peu **s'enrichir d'un calcul plus complexe** et plus juste, via une méthode dite de "baking"(ou "render to texture"), qui consiste à faire une projection de lumière réaliste sur l'ensemble d'un objet ou d'un groupe d'objets, et de remplacer les textures originales par le résultat de l'illumination obtenue.

L  encore le choix est vaste, car cette technique peu se diviser en différentes phases. En effet, les programmes actuels de rendu temps réel parviennent peu à peu à gérer la présence de lumières directes, dynamiques ou non. Une lumière directe possède une zone d'influence, un rayon, une couleur, une atténuation, peut générer des ombres, mais n'induit pas spontanément un calcul de rebond des rayons lumineux, et demande donc un temps de travail de l'ordinateur bien moindre. En utilisant ces lumières il devient possible, en exploitant la méthode de baking explicité précédemment, de mettre en place des éléments d'apparence plus réaliste dans le monde virtuel calculé en temps réel. Il s'agit encore une fois de faire un choix:

- Soit un calcul complet de l'illumination dans un programme classique type 3DS, avec une prise en compte complète des effets lumineux : calcul de radiosité, débordement des couleurs (Colour bleeding [*]), etc...

- Soit un calcul d'une lumière ambiante globale de l'objet (ambient occlusion [*]), avec un baking et ajout de lumières directes dans le logiciel de 3D temps réel. Dans ce cas on gagne en souplesse et en possibilités de modification, mais on perd en exactitude, car il n'y a pas de calcul d'illumination globale ou de radiosité (la couleur d'une texture ainsi que l'intensité de la lumière qui l'éclaire n'influe pas sur son environnement)

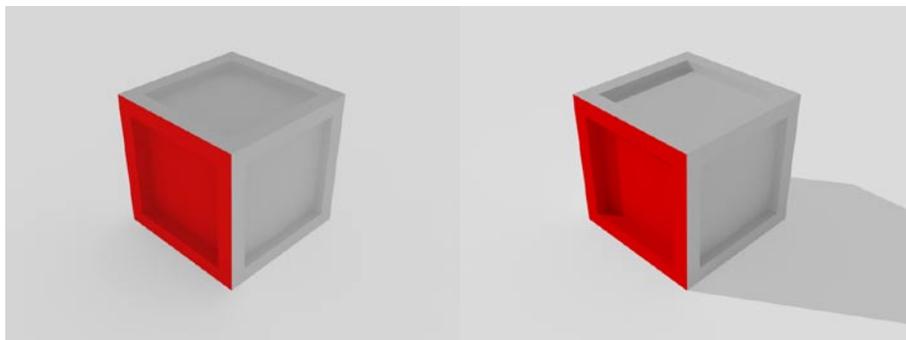
Chaque méthode a des conséquences qui modifient le résultat obtenu et le caractère final de la maquette.



Aucune illumination

Lumière directe

Calcul complet de l'illumination



Calcul de l'ambient occlusion

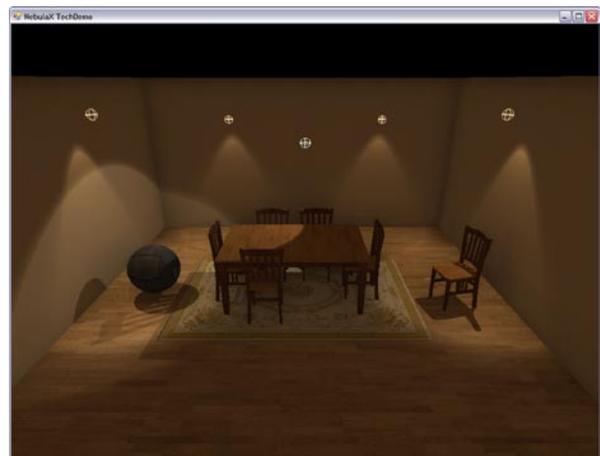
Ambient occlusion + Lumière directe

Ces questionnements génèrent donc des solutions très variées, qui tentent d'aborder le problème de la transcription du réalisme par tout les biais possibles.

Au cours de ce processus de recherche créative, **les trouvailles techniques sont très vite mises à l'épreuve et exploités**. On peut citer par exemple la méthode mise en place dans un jeu vidéo récent (Crysis) qui fait école actuellement dans le domaine de la gestion de l'ambiance d'un univers calculé en temps réel. Elle s'appuie sur la cogestion intelligente de plusieurs processus : Les lumières sont directes, gérées de façon dynamique. Elles génèrent des ombres adoucies, qui donne du volume à l'environnement, et créés une dynamique immersive. Néanmoins, ces seules lumières ne permettent pas de traduire la subtilité d'une ambiance intérieure notamment, ou d'un espace entièrement dans l'ombre. Ce dispositif est donc complété par la présence d'un nouveau système de SSAO (screen space ambient occlusion) qui tend à imiter les effets d'un calcul d'occlusion ambiante [*]. Ainsi un angle paraît plus sombre qu'une surface plate, et semble donc posséder une présence plus tangible. Cette techniques, bien que très inexacte, simule efficacement les interactions entre les objets



Scene avec SSAO



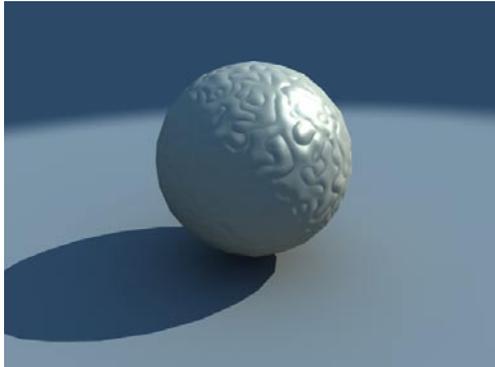
Scène avec SSAO + textures + lumières directes

La lumière nécessite donc un travail très particulier, et une réelle interprétation du réel et des sensations qu'il génère pour pouvoir être efficace dans une maquette en 3D dynamique.

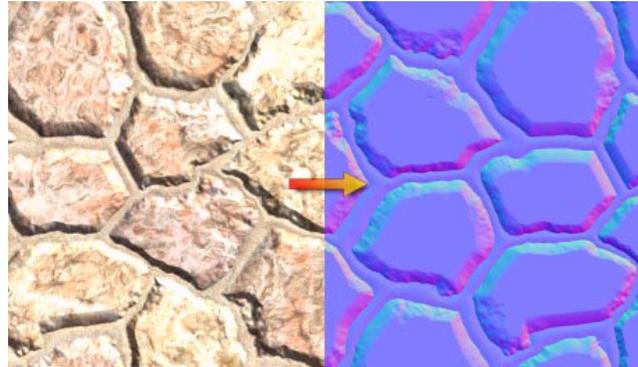
Usage des textures :

Dans le domaine de la représentation du réel, le travail de la lumière se double nécessairement d'un travail des textures afin d'aboutir à un résultat convaincant.

En effet, si l'illumination aide à la perception spatiale, **la traduction des matières est indispensable pour retranscrire de façon sensorielle un lieu donné.** Là encore, la complexité de la traduction de la nature d'une matière nécessite des raccourcis pour être exploitable en temps réel. Si les paramètres de granularité, le relief, sont déjà bien gérés par des méthodes de bump mapping ou de normal mapping [*], la réflexion nécessite un travail plus poussé.



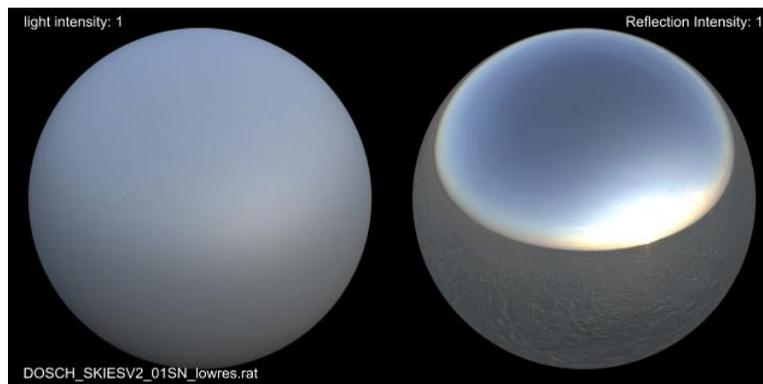
Bump mapping



Normal mapping

Le cumul des surfaces réfléchissantes est très vite impossible à gérer, car chaque miroir entraîne un doublement du calcul de la scène (toute la géométrie présente est redessinée virtuellement dans l'espace du miroir).

La **nécessité de traduire la nature d'un reflet étant toutefois nécessaire**, des méthodes parallèles ont alors été explorées. Ainsi, il s'agit principalement de simuler l'impression de mouvement induit par le reflet, et la sensation de présence de celui-ci. Les textures sensées être réfléchissantes se voient donc attribuer un ersatz de reflet via le biais d'une texture supplémentaire qui se déplace sur celle-ci au fur et à mesure des mouvements de l'utilisateur, lui donnant l'impression que la matière reflète effectivement. Cette texture est basé sur une capture, une image d'une partie du projet ou de son contexte, ce qui permet de donner au faux reflet la consistance (couleur, ambiance) de son environnement.



Exemple de texture d'environnement

Il devient donc possible à peu de "frais" d'obtenir une illusion tangible d'un effet nécessaire, si l'on a bien évalué l'impact de ce que l'on met en place dans le processus global.

Ces exemples illustrent bien toutes les difficultés liées, à l'heure actuelle, à la retranscription de façon simple rapide et précise un environnement spatial. Néanmoins, ces maquettes permettent une immersion efficace dans un projet, existant ou non, et une perception assez juste de ses caractéristiques et de ses ambiances. Le fait de pouvoir l'explorer librement entraîne une nécessité d'attention à un plus grand nombre de détails.

Cette prise en considération du regard de la personne explorant l'univers en fait un média plus riche et moins faussé que les perspectives fixes, souvent retouchés, modifiés, et finalement très éloignés de la nature finale du lieu. **Mais pour atteindre le degré de réalisme aboutissant à une immersion suffisante, il est nécessaire de créer également une part d'illusion**, qui, de fait, atténue quelque peu cet argument de justesse.

L'architecture semble donc inconcevable sans outils de représentation.

Les pensées se projettent donc, à l'origine, uniquement via les croquis et les maquettes, et aujourd'hui via les applications informatiques et leurs multiples dérivés. Ces derniers nous offrent la possibilité inédite d'examiner, de modifier, d'expérimenter des créations mentales. Néanmoins, comme on l'a vu, il est réducteur de penser qu'ils sont suffisants et indispensables en toute étape du processus de création, et cette limite est à garder en considération.

Pendant leurs **caractéristiques sont encore en pleine évolution**, et leur nature en fait un médium possédant un fort potentiel, à même d'assister efficacement le travail de l'architecte.

Dans un futur proche, au vu des avancées contemporaines, les questions purement technologiques sont à même de se résoudre rapidement. L'attention, en termes de recherche, devrait donc se porter sur les aspects qui ne sont toujours pas résolus par la seule approche technologique. En effet, **l'interface Homme-Machine, l'ergonomie, ainsi que l'interprétation conjointe et intelligente des données** restent des domaines pleins de potentialité. D'ailleurs, on observe, dans le milieu des nouvelles technologies, que les tendances majeures s'orientent cette direction.

Ainsi, les téléphones type i-phone, et leur interface tactile, ou la console de jeu Wii ne sont plus seulement conçues pour être puissants et efficaces dans leurs calculs, mais pour être **conviviaux, faciles d'accès et ludiques**, et c'est actuellement le cas dans tous les domaines liés au virtuel. La « force brute » technique est en effet parvenue à fournir ce que l'usage réclamait dans de nombreux cas (exemple des appareils photos grands publics, pour lesquels la qualité d'image est devenue suffisante et stagne donc quasiment depuis quelques années).).

Ainsi les questions se déplacent et permettent aux problèmes d'abord secondaires, comme ceux de l'interface de se développer. De nombreux programmes très utilisés, et possédant la même présentation depuis des années, commencent à évoluer, non plus tellement dans leur fond, mais dans la forme graphique (exemple d'Autocad 2009), et leur façon d'interagir (exemple de Spaceclaim)

Dans le domaine de la maquette virtuelle, la technologie est sur le point de fournir des environnements photoréalistes, suffisant pour une immersion poussée et une interaction tangible. Le champ des recherches va donc pouvoir se saisir de nouveau des systèmes développés sans grands succès au milieu des années 90 (lunettes, gants..), et les réinterpréter, dans une position centrale du rapport à la machine.

En parallèle, l'aspect ingénierie, bases de données tangiblement exploitables devient réellement efficace et intégrable dans les logiciels (la plupart des éditions 2008 des programmes de créations de données architecturales intègrent d'ailleurs une édition BIM (Allplan, Revit..)). Le **développement d'outils prenant intelligemment en compte les différentes étapes du projet** devient alors nécessaire, et être à même de faire des transpositions entre les maquettes 3D libres, spontanées, le croquis et les BIM deviendront indispensable.

Une présentation structurée d'un bâtiment s'enrichit alors d'une interface visuelle reflétant efficacement la nature des éléments interprétés par l'ordinateur. L'impact de chaque chose devient alors plus global et plus juste, complexifiant de fait l'ensemble, mais limitant les zones d'ombres et les erreurs en final.

Finalement, l'expression plus poussée, et plus interactive, d'un bâtiment dans l'ensemble de ses phases de conception pourra offrir à l'architecte la possibilité de pouvoir se mettre à tout moment au niveau de ses interlocuteurs, quels qu'ils soient, afin d'exprimer plus clairement ses idées. **Des concepts complexes auront ainsi plus de chance d'être exprimés, compris et partagé, laissant de grandes opportunités à la créativité.**

[*] : Lexique

Radiosité: La radiosité est une technique de calcul d'éclairage (ou illumination) d'une scène 3D. Elle utilise les formules physiques de transfert radiatif de la lumière entre les différentes surfaces élémentaires composant la scène. L'illumination est dite globale car l'illumination de chaque surface élémentaire ne peut être calculée séparément des autres et le système modélisant l'ensemble des transferts ne peut être résolu que globalement

Colour bleeding: Effet dû à un calcul précis de la dispersion de la lumière. L'illumination d'une surface de couleur entraîne une dispersion de celle-ci sur les surfaces avoisinantes. Ainsi, si on illumine un mur rouge avec une lumière blanche, dans une pièce blanche, elle se teintera globalement en rouge.

Ambient occlusion : Calcul d'approximation de l'illumination d'une géométrie. L'ombrage en un point est fonction de la géométrie voisine. (Par exemple, l'intérieur d'un tube ne sera jamais très éclairé, quelque soit le nombre ou le type de lumières présents à l'extérieur du tube). Un algorithme calcule donc le facteur d'occlusion (un ombrage) en chaque point de la scène, sans avoir besoin de connaître l'éclairage appliqué à celle-ci. D'où la possibilité de le pré-calculer une fois pour toute. Les résultats ne sont pas toujours physiquement exacts, mais cela ajoute énormément de réalisme à une scène, sans demander beaucoup de puissance à l'exécution.

SSAO (screen space ambient occlusion) : Méthode de calcul permettant d'approximer rapidement l'effet produit par un calcul d'ambient occlusion, en temps réel. Basiquement, la distance directe entre une zone d'un objet et l'écran est approximée, et celle-ci est assombrie si elle est entourée directement par des faces plus proches de l'écran qu'elle. Cette technique, bien que très imprécise, simule efficacement la présence spatiale des objets.

Bump mapping (ou placage de relief): Cette technique utilise un système de jeux de lumière pour faire ressortir le relief d'une surface. Ce relief provient de la lumière reflétée à la surface d'un objet. L'œil perçoit donc les variations de lumière, les interprète suivant l'angle de réflexion et en déduit le relief. Le placage de relief utilise donc une astuce pour générer des effets d'éclairages qui vont simuler la lumière naturelle et donner la même impression que dans la réalité. Dans les faits, une version noir et blanc très contrastée de la texture d'origine est utilisée pour définir les niveaux de profondeur du relief de celle-ci (Sombre= creux, Clair= relief). Le parallax mapping et le normal mapping sont des techniques plus complexes, dérivées du principe du Bump mapping, mais permettant de simuler plus précisément les reliefs d'une surface.

Bibliographie :

- *Concevoir un projet d'architecte* - Michel Conan
 - *verbe image et espace: expérimentation conceptuelle assistée par ordinateur* - Sabine Porada
 - *Le game design de jeux vidéo* - Sébastien Genvo
 - *Trame virtuelle, chaîne signifiante* - Christian Flavigny
 - *La réalité virtuelle* - Bernard Jolival
 - *L'architecture et sa photographie* - Julius schulmann
 - *La troisième dimension* – Maurice Culot
 - *Interaction en réalité virtuelle* - Ludovic Sternberger
 - *La 3D interactive en temps réel comme aide à l'acquisition des connaissances spatiales* - Mohamed-Ahmed, Ashraf
 - *Une nouvelle approche pour la conception créative: De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard* - Stéphane Huot
 - *Les échelles de la réalité* - Christian Kerez
-
- Multiples sites, blogs, forums spécialisés dans le domaine de la 3D, difficilement énumérables exhaustivement (3Dvf.com, Lightup.co.uk, Digital Urban.blogspot.com, imagtp.com, cfsl.net,sketchucation, creation3d.org, www.spot3d.com, etc...).
 - L'équipe de l'agence Ka-Ra...!