

Université Henri Poincaré

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy
Institut National Polytechnique de Lorraine
École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg
Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg

Mémoire de Master Design Global
« Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis »

**MORPHOGENESE ARCHITECTURALE,
PORPOSITION D'UN OPERATEUR MORPHOSEMANTIQUE « BOMBER »**

Présenté Par Shaghayegh SHADKHOU



Laboratoire d'accueil :
MAP-CRAI
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie
Ecole d'Architecture de Nancy

Sous la direction de :
M. Jean-Claude BIGNON
M. Salim BELBLIDIA
M. Jean-Paul WETZEL

Octobre 2007

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer mes remerciements à :

M. Jean-Claude Bignon, mon directeur d'étude et professeur pour son aide, sa patience, son accueil et ainsi la confiance qu'il a fait à l'égard de mon travail.

M. Salim Belblidia, et M. Jean-Paul, Wetzel, pour leur aide précieuse et leur soutien, et ainsi pour leur amitié dès le début jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Ainsi j'ai un remerciement spécial à Jean-Paul, Wetzel pour les relectures d'article de pré-soutenance et le mémoire final.

Mme Françoise Schatz, pour sa patience et son esprit critique soulevant des questions concernant la partie théorique du travail.

M. Jean-Pierre Perrin et M. Daniel Léonard, pour leur aide, leur attention et leurs remarques précieuses sur le travail.

Je souhaite également remercier l'ensemble du laboratoire MAP-CRAI, pour leur accueil chaleureux durant le déroulement du stage. J'adresse ainsi ma reconnaissance à Khaled, Philippi, Kamel, Samah, mouloud, Céline et Cyril, pour leur amitié pendant ces six mois de projet.

Ensuite, je remercie toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de cette étude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PROBLEMATIQUE	3
1_ LE PROBLEME DE CONCEPTION	5
1-1- La résolution du problème, l'acte de conception.....	5
1-1-1- L'associationnisme	5
1-1-2- Le Behaviorisme	5
1-1-3- La conception et la prise de décision	7
1-1-3-A- L'espace du problème	7
1-1-3-B- L'engendrement des solutions.....	9
1-2- La conception architecturale, la genèse du projet.....	12
1-2-1- Les particularités du processus de la conception architecturale.....	12
1-2-2- L'analyse de la genèse architecturale.....	13
2_ LA MORPHOGENESE ARCHITECTURALE, LA FORME ET LA SEMANTIQUE	18
2-1- Différentes approches sur la forme.....	18
2-1-1- La forme et le contexte.....	18
2-1-2- La forme et l'espace.....	18
2-1-3- La forme et le schème	20
2-2- La morphogenèse et la sémantique.....	21
2-2-1- L'essai sur le rapport entre la forme et la sémantique.....	22
2-2-2- La conclusion.....	36
3_ LES OPERATEURS MORPHOSEMANTIQUE	38
3-1- La définition et l'identification des opérateurs morphosémantiques.....	38
3-2- L'expérimentation.....	41
3-3- L'opérateur « Bomber ».....	46
3-3-1- L'état de l'art	46
3-3-2- Le corpus des exemples.....	55
3-3-3- La famille de « Bomber » : la définition, la Paramétrisation.....	59
3-3-4- Mode de fonctionnement.....	61
3-3-5- L'algorithme et le modèle mathématique.....	63
CONCLUSION	66
INDEX DES FIGURES	68
BIBLIOGRAPHIE	72

INTRODUCTION

Ce projet d'étude s'est effectué au sein du laboratoire MAP-CRAI (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie) de l'Ecole d'Architecture de Nancy.

Le laboratoire est particulièrement spécialisé dans deux axes de travail concernant ; simulation et visualisation pour l'architecture, et simulation de la construction du bâtiment.

Ce deuxième axe se déroule suivant trois champs de recherche qui visent à développer : - un environnement logiciel destiné à assister les activités coopératives des acteurs lors de la conception d'un projet architectural, - des outils capables d'assister la recherche d'image dans l'activité de la conception, et ainsi - des modèles et des outils d'aides à la conception architecturale.

En se basant sur cette dernière optique, il m'a été proposé ce sujet d'étude concernant *l'identification et la modélisation d'opérateur de transformation morphologique en architecture*.

Le thème du sujet s'enracine principalement dans le travail de recherche en cours de Jean-Paul Wetzel, dont la thèse est consacrée à l'identification, la paramétrisation et l'implémentation d'opérateurs morphosémantiques.

La notion d'opérateur morphosémantique révèle d'une part le rapport incontestable entre le processus de morphogenèse d'une œuvre architecturale et son idée principale, et d'autre part l'identification et l'élaboration des opérateurs capables de réaliser ce rapport.

De ce fait, nous avons essayé d'aborder deux principales sous-branches de ce sujet :

- La morphogenèse architecturale et l'émergence de la forme sous l'influence de l'idée et la sémantique du projet. Ce qui nécessite une étude sur la qualité exploratoire et itérative du processus de la conception architecturale.
- L'identification des opérateurs morphosémantiques en s'appuyant sur un corpus des projets architecturaux, une expérimentation concernant leur application dans un processus de morphogenèse, la paramétrisation et l'élaboration du modèle de fonctionnement d'un opérateur spécifique.

Le projet étant déroulé durant 6 mois, a abouti à une analyse sur la morphogenèse d'un ensemble d'exemples architecturaux et ainsi à la spécification et l'élaboration du modèle de l'opérateur morphosémantique : « Bomber ».

Ce présent rapport suit le schéma suivant :

Dans un premier temps, la problématique consiste à décrire le sujet d'une manière plus précise, en expliquant les aspects traités, l'approche principale et l'hypothèse de la recherche.

Ensuite le premier chapitre exposera une étude sur le processus de conception architecturale. En définissant la conception en tant qu'une activité de résolution d'un problème, ceci tend d'abord à expliquer diverses approches concernant une telle activité et puis à décrire les particularités de la conception architecturale à travers quelques exemples.

Le deuxième chapitre est consacré à la morphogenèse architecturale. En continuité du chapitre précédent, ceci vise à approfondir une phase particulière de la conception architecturale, celle qui consiste à la création de forme.

Pour la réaliser, il décrit d'abord un certains points de vue concernant la création de forme ce qui permet d'introduire une approche spécifique de ce présent travail, basé sur la relation entre la forme et la sémantique. Ensuite il présente une analyse effectuée sur un ensemble d'œuvres architecturales qui vise à décrire l'influence de l'idée sur le processus de morphogenèse.

Le troisième chapitre, concernant les opérateurs morphosémantiques, expose clairement notre hypothèse. En s'appuyant sur un corpus d'exemples architecturaux, il débute par la définition et l'identification de tels opérateurs. Puis il présente une expérimentation sur la validité de l'hypothèse. Ensuite il se consacre particulièrement à la spécification de l'opérateur « Bomber ».

Ce dernier sous-chapitre consiste lui-même d'un état de l'art concernant les outils capables à produire l'effet de bomber et un corpus d'exemples. Ceux-ci mènent à la paramétrisation, la définition du mode de fonctionnement et l'élaboration du modèle mathématique de l'opérateur « Bomber ».

Enfin, nous concluons sur la pertinence de notre travail, et proposerons les perspectives concernant la suite du travail.

PROBLEMATIQUE

La notion de conception s'applique dans un vaste domaine composé de divers disciplines. Elle a toujours fait l'objet de recherches, soulevant de nombreuses questions. En se basant sur différentes approches qui visent à définir sa nature ambiguë, elle s'adresse particulièrement à l'activité de résolution du problème.

Le développement de la théorie de la résolution du problème (problème solving) débute historiquement par deux doctrines distinctes ; l'approche d'associationniste et le comportementalisme (behaviorisme). Dans les années 1950, elle émerge un troisième point de vue qui toute en s'éloignant des deux premières se base sur les aspects cognitifs de l'activité de résolution du problème.

Ce point de vue développé par Herbert Simon, révèle la qualité exploratoire de l'activité de conception. De là le processus de conception résulte d'un ensemble de choix parmi les propositions (alternatives) évaluées. D'après Peter Rowe, un tel cheminement peut se représenter sous forme d'un arbre de décision qui tend à retracer les étapes intermédiaires de l'évolution d'un projet dès son état initial jusqu'au point final.

La genèse d'un projet architectural et surtout ses étapes de production de forme se caractérisent ainsi par ses étapes intermédiaires comprenant des phases d'aller et retour ayant pour but de développer des solutions alternatives. Cet aspect là a suscité une première partie de notre étude concernant la morphogenèse architecturale.

La notion de forme évoque elle-même diverses approches. Au-delà du formalisme et du fonctionnalisme, l'approche un peu contradictoire qui refuse parfois l'autonomie de la forme, Christopher Alexander nous donne une définition générale concernant le rapport entre la forme et son contexte. L'approche un peu particulière de Francis D.K. Ching, est basée sur le rapport de la forme avec l'espace. En décrivant les éléments primaires de la forme, il la définit en tant qu'un moyen d'organisation de l'espace qui a comme but de répondre aux certaines exigences de fonction ou de contexte. Enfin l'analyse effectuée par Dominique Raynaud, révèle le lien intéressant entre les images génératrices d'un projet et la forme architecturale.

Dans ce présent travail nous nous sommes intéressés au rapport entre la forme et la sémantique. Le fait que la conception architecturale est constitué d'une idée de départ et le processus de sa mise en forme, exprime l'influence de l'idée (qui apparaît d'abord sous forme d'une image mentale) sur le processus de morphogenèse aboutissant à la forme finale capable d'accueillir et de communiquer la sémantique du projet. Selon Santiago Calatrava, « le processus créatif est une stratification d'éléments figuratifs d'une image mentale qui permettent de suivre le cheminement cognitif du concepteur ». Ceux-ci ont suscité notre étude sur le rapport de ces deux notions.

En se basant sur ce premier essai, la deuxième partie du travail concerne les opérateurs morphosémantiques. Le fait que la genèse de forme est le résultat d'un processus guidé par les objectifs sémantiques, nous permet de définir la morphogenèse à travers une succession de transformation formelle où la variation étape par étape de la forme connotant souvent l'objective sémantique du concepteur. Elle renvoie ainsi aux actions gestuelles appliquées sur une forme source.

Ceux-ci permettent de définir les opérations morphosémantiques et d'introduire le concept d'opérateurs morphosémantiques, en tant qu'aux outils de morphogenèse qui tendent à traduire une idée à travers un certaines d'opérations géométriques. Ils sont ainsi dotés d'un ensemble de paramètres.

Dans cette étude nous posons l'hypothèse que la genèse de forme résulte d'opérations successive de transformation de forme, et que ces transformations formelles peuvent être produites par l'application successive d'opérateurs morphosémantiques.

De ce fait, l'objectif de notre travail est d'identifier de nouveaux opérateurs, d'expérimenter leur application dans un processus de morphogenèse et finalement la spécification, la paramétrisation et l'élaboration d'un opérateur morphosémantique : « Bomber ».

1- Le problème de conception :

1-1- La résolution du problème, l'acte de conception :

Considérant l'activité de conception en tant qu'un processus de résolution d'un problème (problem solving), et en se basant sur les différents points de vue visant à décrire une telle activité, il s'avère intéressant à expliquer ces trois approches principales. Celles-ci tendent à définir l'acte de résolution du problème en tant qu'un processus mental, un acte comportemental (behavioral), et une activité associée à la cognition.

1-1-1- L'associationnisme :

Le premier point de vue s'enracine dans la théorie d'associationniste pour qui la pensée est constituée de plusieurs éléments (comme les entités physiques) attachés entre eux. Ces attachements sont basés sur nos expériences, nos sentiments et nos perceptions de l'environnement externe.

Plusieurs doctrines ont été proposées en opposition. Elles conduisent à un deuxième point de vue.

A_ L'approche de « *the Wurzburg School* », s'éloignant du premier, est basée sur l'analyse de quelques activités humaines pour lesquels la solution n'est pas attachée aux sentiments externes (comme les calculs mathématiques, la traduction,...). Elle insiste sur le fait qu'à la place d'associations d'éléments de pensée, c'est la tâche (*Aufgabe*) qui contrôle et guide le processus de résolution de problème. A la place de l'expérience en tant que référence externe, l'accent est mis sur des actions mentales constituant le processus de résolution de problème. Dans l'approche associationnisme, l'activité de résolution de problème est une activité empirique basée sur les choix sélectionnés au hasard, alors que dans cette approche, elle est considérée en tant qu'une activité complètement contrôlée et orientée par un but précis.

B_ Dans le mouvement « *the Gestalt* », les informations consacrées à la découverte de solution sont produites à partir des stimuli de l'environnement externe. Ainsi à la place d'une tâche pour l'orientation et le guidage du processus, elles s'organisent à travers une série de structures organisationnelles d'informations qui s'appellent « *schemata* » et qui ne se réduisent pas à un simple assemblage des éléments disjointes.

1-1-2- Le Behaviorisme :

Le deuxième point de vue « *the Behaviorism* », est basé sur la corrélation des comportements humains (étant des réponses aux stimuli de l'environnement) et les stimuli. Le principe est qu'un stimulus externe produit une réponse. Aucun rôle n'est donné au cerveau ou à l'esprit (les actions mentales par exemple). Les comportements sont produits directement par réflexe aux stimuli. De là les comportements humains y compris l'acte de résolution d'un problème sont définis à partir des activités non-mentales qui les constituent. Le processus de résolution devient un processus épisodique constituant les différentes phases distinctes d'activités :

- formulation du problème
- (incubation) engendrement ; générer des alternatives

- illumination ou inspiration ; une intuition soudaine, la phase où une solution potentielle est trouvée (l'inspiration peut être le résultat des explorations continues entre des diverses intuitions).
- vérification ; tester les solutions proposées

Ces phases peuvent être répétées de façon itérative jusqu'à ce que tous les aspects du problème soient résolus. Le principe est que la résolution du problème est considéré comme un comportement humain sous forme d'activités : l'analyse, la synthèse et l'évaluation.

A partir de cette définition, différents modèles décrivant l'activité de résolution (les *staged-process models*), basés sur la notion de *phases* (rigid-state), ont été proposés.

A_ Le modèle proposé par Asimow, consiste en deux structures différentes ; verticale et horizontale. Les phases de structure verticale représente la définition des exigences, l'étude de faisabilité, le dessin préliminaire, le dessin détaillé, la planification de la production et la production finale, conduisent une situation abstraite à une situation plus concrète et plus claire. La structure horizontale permet la répétition d'une manière itérative toutes les phases et activités de la structure verticale. Les caractéristiques de ce modèle sont :

- La présence de plusieurs boucles de feedback (*feedback loops*) qui se trouvent entre les phases d'activités, et donne la possibilité de retour en arrière afin de prendre en compte les nouvelles informations générées durant le processus.
- La distinction entre les différentes phases d'activités avec un début et une fin distinct et des boucles entre elles, révèle l'existence explicite de critères objectifs. Cela insiste sur le fait que c'est l'objective à éteindre et ses propriétés qui guident le processus de résolution du problème.
- Considérant ces deux notions, une fois que le problème est bien défini, sa solution est clarifiée à partir de cette définition.

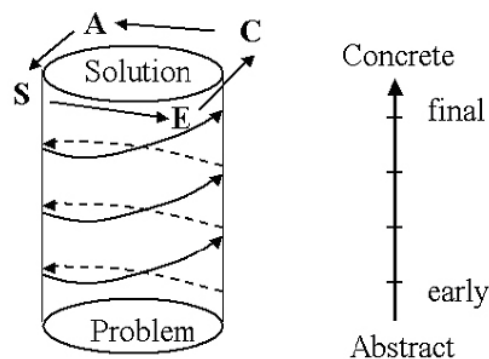


Fig. 1 – Le modèle de conception proposé par Asimow

B_ Bruche Archer, dans son modèle dit opérationnel, considère encore le processus de résolution de problème comme une séquence d'activités (en général : analytique, créatif, et exécutive) définies et orientées par une tâche impliquée (le tracé de la notion *Aufgabe*). Il définit ainsi des boucles (*feedback loops*) en tant qu'aux relations entre les activités.

Dans ces deux modèles l'accent est mis sur différentes phases d'activités, les boucles entre elles et l'existence d'une tâche qui guide le processus et contrôle l'orientation des activités. Ce sont les principes de l'approche « Behaviorism ».

1-1-3- La conception et la prise du décision :

Un troisième point de vue émerge en continuité, tout en s'éloignant du deuxième (Behaviorism), il est basé sur le principe que la recherche de solutions et le processus de résolution de problèmes ne consiste pas seulement à des activités en tant que comportements humains, mais une cognition « basée sur les informations traitées » est associée à ces actions.

Dans l'approche précédente, les activités en tant que comportements mènent à travers un chemin simple et direct à la solution, alors que cette nouvelle approche du processus comporte aussi des phases d'expérimentations et d'essais qui fournissent des alternatives. C'est bien cet aspect là qui révèle la notion de l'exploration et la prise de décision face à des choix. Cette nouvelle approche est basée sur les informations traitées à partir de l'analyse faite sur les alternatives et les solutions potentielles, engendrées durant les différentes phases du processus.

D'après cette approche (développée par Newell, Shaw et Simon), le processus de résolution de problème constitue un espace de problèmes comprenant les informations et les connaissances parmi lesquelles elle se trouve la solution du problème, les processus génératifs qui produisent les nouvelles connaissances à partir des informations de l'espace du problème, les tests comparant les alternatives générées avec les propriétés de la solution désirées et finalement des méthodes et des règles fournissent la possibilité de choisir quel processus génératif ou quel test utiliser. Le point important est que se sont bien les informations acquises à partir de la comparaison des alternatives et de la solution, qui contrôlent et guident le processus.

Les principales phases de cette approche consiste de ; - l'espace du problème et sa représentation, - l'engendrement des solutions, qui sont soumis ensuite à une évaluation.

A_ L'espace du problème :

- La structure de l'espace du problème :

Considérant l'espace du problème en tant qu'un domaine constituant des éléments de connaissance du problème, c'est grâce à une structuration de ceux-ci que nous pouvons décomposer le problème en sous-problèmes et guider le processus de résolution du problème à travers différentes stratégies.

L'espace du problème est représenté sous forme d'une structure arborescente qui comporte des nœuds où la décision doit être prise (les points de décision) et les liens entre ces nœuds représentent les actions faites par le concepteur le long du processus. La succession de ces nœuds et de ces liens reconstitue l'ensemble du cheminement réalisé vers la solution. L'arbre de décision est une représentation par extension, ce qui rend possible les combinaisons des éléments de base et l'évaluation de différents modes d'avancement vers la solution, durant une suite ordonnée des événements.

L'avantage d'une telle structure est que le concepteur n'est plus obligé de poursuivre un chemin jusqu'à sa fin, à chaque point de décision il a la possibilité de changer d'orientation et continuer avec une action partielle. Autrement dit, elle donne la possibilité de modifier l'ensemble de chemin, séquence par séquence.

Le principe énoncé représente les voies vers la solution, il est considéré en tant qu'une suite d'actions l'une après l'autre, qui a comme résultat la possibilité d'une évaluation partielle.¹

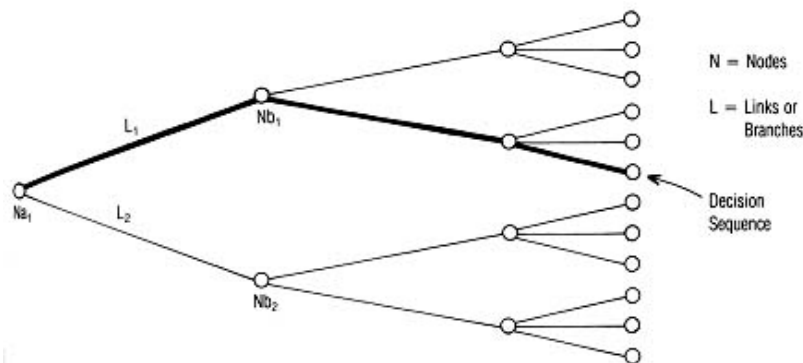


Fig. 2 – L'arbre décisionnel (Peter Rowe)

- L'organisation et planification de l'espace du problème :

Afin de trouver une combinaison appropriée (une succession d'actions et d'étapes à suivre) qui aboutit à une solution, et sachant que les composants d'une telle combinaison se trouvent dans l'espace du problème, il faut organiser cet espace pour qu'une telle recherche soit dirigée.

Il y a deux différents modes d'organisation de l'espace du problème, *top-down* et *bottom-up*.

La méthode *top-down*, est basée sur la décomposition de l'espace du problème, des niveaux plus généraux vers des niveaux plus détaillés, une subdivision vers des éléments « primitifs ». Pour la décomposition vers le bas, la première étape consiste à des subdivisions générales basées sur les principes généraux et la deuxième étape est un avancement progressif vers les sous-problèmes plus détaillés. Les nœuds (les points de décisions), représentent les différents niveaux de détails d'un sous-problème, le long d'une voie de l'arbre de décision.

Dans le cas de méthode de *bottom-up*, dans un premier temps le problème est organisé sous forme d'un ensemble de plusieurs éléments disjoints et de composants de sa base (les éléments singuliers qui ne sont plus décomposables). Puis la relation entre tous ces éléments est définie, dans un deuxième temps il est réalisé une identification des groupes des éléments qui ont le maximum d'interrelation entre eux. Finalement ces groupes étant des sous-problèmes, sont combinés vers le haut, en se basant sur les informations décrivant leurs interrelations. Le principe fonctionne par recombinaison des éléments décomposés, nous arrivons à une déclaration concrète de notre problème qui reconstitue tous ses composants.

Ces deux méthodes sont utiles pour structurer la démarche et le processus de résolution d'un problème.

¹ Ce principe est basé sur la structure des systèmes complexes. D'après Herbert SIMON, une telle structure est construite à partir de la décomposition des systèmes en leurs composants, chacun exerçant une partie de la fonction globale, indépendamment des autres et cohérente avec le mécanisme du système.

B_ Engendrement des solutions :

Il existe différentes stratégies pour engendrer les alternatives ou les solutions candidates ;

- L'essai-et-erreur : la recherche de solution est faite complètement au hasard. Il existe des tests pour évaluer et vérifier des solutions candidates, mais l'engendrement des alternatives est fait indépendamment des résultats de ces tests. C'est à dire que les différences entre les propriétés des solutions proposées et la solution désirées, sont détectées, mais ils ne servent pas au guidage du processus car le système est incapable de les prendre en compte, autrement dit, il ne possède pas les moyens pour traiter de tels résultats.

- La méthode générer-et-tester : c'est une extension de la méthode précédente, qui n'est pas basé sur les actions au hasard (*random*) mais sur l'avancement du processus qui est contrôlé à partir de la correspondance des propriétés des solutions proposées et celle désirée. Les différences détectées durant les comparaisons sont utilisés pour choisir l'étape suivante et par conséquent pour guider le processus. Ils empêchent le système d'engendrer de nouvelles alternatives avec les erreurs ou les différences déjà détectés. Cette méthode comporte explicitement des règles de décision pour l'avancement du processus, mais il manque encore des règles déterminantes comment et quand il doit s'arrêter. Une fois une solution générée ayant aucune différence avec la réponse voulue, il ne possède aucun moyen pour définir s'il faut s'arrêter ou s'il est possible de trouver une autre solution plus satisfaisante (qui adapte mieux aux propriétés de la solution désirée).

- L'analyse fin-moyen : Ce procédé est en continuité avec la méthode générer-et-tester mais il possède différents règles de décision qui permettent d'expérimenter différents chemins de résolution du problème et de produire différentes solutions possibles. Ce qui permet la résolution du problème rencontré dans la méthode précédente.

Le problème est décomposé en sous-problèmes, et il est résolu à travers l'utilisation successive de règles de décision. Les composants essentiels de cette méthode sont ; une série d'actions spécifiques (les moyens), une série spécifique de buts à atteindre (la fin) et une série de règles de décision en tant qu'une structure analytique joignant les moyens et les buts.

D'après Herbert Simon, qui considère la conception (la création d'artefact) en tant qu'un processus de résolution d'un problème, par lequel une situation donnée est transformée en une situation désirée, le problème de conception consiste en deux environnements ; l'environnement interne, constitué par un ensemble d'actions possibles, et l'environnement externe qui représente l'ensemble de paramètres. En adaptant ces deux environnements, la solution est trouvée et le problème résolu. L'analyse fin-moyen est une méthode permettant de générer différentes voies vers la solution, à travers un ensemble d'actions possibles.

Considérant ces actions partielles en tant que moyens (means) conduisant à la solution, le principe de cette théorie est basé sur la combinaison de ces actions partielles. Chaque alternative ou solution candidate est le résultat d'une combinaison spécifique de ces actions.

De là et dans le but de trouver une solution satisfaisante² pour un problème, deux questions sont posées:

- comment construire les actions (les moyens), la recherche des actions candidates, et
- comment combiner les actions construites, ou la découverte de combinaison.

Revenons à la définition de « conception » chez Herbert Simon, une activité par laquelle une situation donnée est changée en une situation désirée. La première étape du processus est d'analyser la situation souhaitée (le but à atteindre). Puis dans un deuxième temps, les différences entre ces deux situations sont détectées, et finalement l'action pertinente pour supprimer la différence détectée devient plus visible (bien sur il nous faut encore un mécanisme qui corresponde à chaque différence détectée, une action pour la réduire ou la supprimer). « *Les informations acquises à partir de la comparaison, des propriétés de la vraie solution et celles des alternatives, permet de choisir l'action potentielle* » [Rowe 1987].

Un point important est la combinaison qui aboutit à la solution finale. Elle n'est pas un assemblage simple d'actions trouvées, mais il faut chercher une composition appropriée où l'ordre des actions est important. Le mot « ordre » nous révèle cette notion qu'une fois une action partielle est trouvée, nous ne savons pas quelle sera l'action suivante. Cela veut dire qu'il nous faut une méthode pour guider le processus, faire le choix parmi les actions possibles et combiner l'ensemble des actions partielles qui mènent à la solution.

Considérons maintenant la structure arborescente de l'espace du problème, une combinaison appropriée peut être construite à partir d'exploration de plus d'une action (à chaque nœud), dans le but de découvrir leur *valeur*. Cette exploration permet d'estimer la valeur totale de chaque action partielle quand elle est prolongée jusqu'à la fin. Autrement dit, les valeurs sont la mesure de promesse d'actions partielles, qui servent à décider de l'action à poursuivre et à piloter le processus. « *Le but des valeurs assignés à l'extrémité des itinéraires est de guider le choix du prochain point de départ* » [Simon 2004].

Ces concepts insistent que l'exploration et la recherche de la solution est faite à partir de l'analyse (de l'espace) du problème, la connaissance de ses éléments constitutants et la clarification du problème³. En se basant sur la définition de « problème » chez P. ROWE, « *étant donné une série de « p » des éléments, trouvez une sous-série dite « s » de « p », qui possède des propriétés spécifiques.* », [Rowe 1987], c'est bien évident que les éléments constitutants du problème et ceux de la solution, font partie d'un même ensemble. A vrai dire, la transformation d'une situation donnée (le problème) en la situation désirée (la solution), est bien le changement de combinaison ou la recombinaison des composants de l'espace de problème, une nouvelle combinaison des mêmes éléments.

² D'après Herbert Simon, le processus de découverte de la solution, peut être dirigé vers deux différents buts, dans le premier cas où le but est de trouver la réponse optimale, celle qui correspond aux critères du problème avec la valeur la plus élevée, il faut que tous ces actions nous soient données, pour que l'on puisse toutes les tester et choisir la meilleure, mais dans le cas où nous cherchons la solution satisfaisante, c'est sans importance d'avoir l'ensemble complète des actions. Dans ce cas-ci, une fois une action est trouvée, elle est vérifiée pour savoir si elle satisfait les critères du problème ou non.

³ Il s'agit là bien citer deux définitions concernant le processus de conception en tant qu'un processus de résolution de problème : « le développement de la solution et du problème vont de pair » Nigel Cross [Borillo 2002]. « La connaissance utile du problème n'émerge que dans les efforts pour le résoudre » MacCormac [Borillo, 2002].

Considérant toutes ces approches et méthodes concernant la résolution de problèmes, y compris le problème de conception, quelques phases essentielles d'une telle activité sont prouvées :

- l'analyse, l'interprétation et la représentation du problème⁴, qui aboutissent à une clarification et rendent visible les éléments de la solution.
- La synthèse ; générer les solutions candidates (les alternatives) à travers d'exploration de différents chemins vers la solution, et de diverses combinaisons des éléments primitifs.
- L'évaluation et la vérification de l'alternative proposée en détectant les différences éventuelles par la comparaison des propriétés de ces alternatives avec celles de la solution appropriée.

Ces phases sont répétées jusqu'à ce que la solution satisfaisante soit trouvée.

⁴ « Résoudre un problème signifie simplement : le représenter de façon à rendre sa solution transparente. » [Simon, 2004].

1-2- La conception architecturale, la genèse du projet :

La notion de conception dispose d'un sens très large concernant diverses disciplines comme la musique, la littérature, le design, l'architecture, la sculpture ... Le point commun entre ces champs est que le concepteur cherche une solution pertinente s'adaptant aux contraintes et aux exigences d'une situation existante (le problème). Le produit d'un processus de conception architecturale est conçu en réponse à un ensemble de contraintes et de besoins, identifiés par l'architecte. Comme le souligne Francis D.K. Ching : « C'est prise comme hypothèse qu'une série de conditions existante –le problème– est moins satisfaisante et qu'une nouvelle série de condition –la solution– est désirée. L'acte de création de l'architecture est donc un processus de résolution d'un problème ou un processus de conception (design process). » [Ching 1996]

1-2-1- Les particularités du processus de la conception architecturale :

L'objet architectural est le résultat d'un processus (une succession des activités) constitué de deux phases principales : la création du concept et la production du projet⁵ conduisant au résultat matériel final.

En se basant sur la définition du mot « conception » chez Philippe Boudon, nous constatons que la première phase de conception révèle l'existence de deux éléments : l'idée de départ ou générateur primaire⁶, et le processus (l'enchaînement des travaux) par lequel cette idée évolue, se développe et se transforme en un objet ayant le potentiel d'exister dans l'espace réelle. Le résultat de ce premier processus passe ensuite à une deuxième phase (la phase de production) qui mènent à l'élaboration des détails d'exécution et la construction finale.

Considérant le processus de conception architecturale en tant qu'un processus de résolution d'un problème, et sachant que les éléments de solution se trouvent dans l'espace du problème, un tel processus consiste en des étapes d'exploration et de révélation progressive qui a comme but de d'éclaircir et de concrétiser, l'image mentale et l'idée initiale de l'architecte qui apparaît d'abord sous forme d'une image floue. La solution finale est une évolution de l'idée initiale qui a subit des étapes de métamorphoses.

En partant de ce constat, ce processus se distingue par des étapes intermédiaires floues qui se précisent peu à peu et contribuent à la concrétisation de l'idée initiale en lui donnant forme et mesure. Durant ces étapes il existe aussi des phases d'analyse et de clarification du problème dans le but de générer des alternatives et des critères d'évaluation. Elles se caractérisent par une exploration progressive de diverses nouvelles voies, le long du développement du projet.

Sa qualité exploratoire et itérative est décrite par Édith Girard :

« L'architecte doit, à la fois inventer et contrôler en permanence la manière dont il invente, en sachant précisément où il en est dans l'évolution de son projet, par quelles étapes il est passé, en gardant présent à l'esprit les principales bifurcations de son itinéraire et le chemin qui lui reste à parcourir. »[Girard 2000]

⁵ D'après Sabine Porada Une troisième phase peut être considérée comprenant la communication du résultat. [Porada 1995].

⁶ La « saute d'intuition » pour C. Alexander et la « boîte noire » pour J.C. Jones.

Une telle exploration est réalisée par l'assistance de deux outils d'aide à l'élaboration et au traitement de différentes alternatives ; le croquis et la maquette. Puisque la conception n'est pas nécessairement un processus hiérarchique et que le concepteur ne peut pas concentrer à la fois sur tous les aspects du problème, ces outils permettent de considérer plusieurs aspects à la fois, d'identifier et de réfléchir sur les aspects plus critiques.

Leur rôle définitif dans la clarification de la pensée de l'architecte, facilite l'interaction entre le problème et la solution et l'émergence de propositions diverses. Ils permettent ainsi une réflexion critique sur ces alternatives qui ont comme résultat la limitation de l'espace du problème et la précision de la solution finale. Autrement dit, ils rendent possible la synthèse des alternatives, leur examen et l'évaluation durant le processus. Ils visualisent le processus d'évolution et de transformation de l'idée initiale jusqu'à obtenir la forme finale.

1-2-2- L'analyse de la genèse architecturale :

Plusieurs recherches ont été faites dans le but de découvrir comment l'idée se transforme durant le processus de conception architecturale. Les exemples suivants traitent de la genèse du projet et du processus exploratoire de transformation de l'idée.

Dans son analyse sur le développement d'un projet (commandé par la compagnie Total, un immeuble comprenant des bureaux commerciaux situé à Aix en Provence), Jean-Charles Lebahar [Lebahar 1992] explique les étapes de confirmation de la forme et d'implantation du bâtiment, réalisées par l'architecte Michel Milianti.

La circulation (localisation des escaliers et l'entrée), la hauteur du bâtiment, la division des étages, et les contraintes techniques, sont traités par l'usage de croquis. Les alternatives sont présentées sous forme d'esquisses permettant à l'architecte d'explorer ses idées mentales. La critique de ses propositions lui permet de prendre des décisions par rapport au changement du programme et faire son choix parmi les solutions proposées.

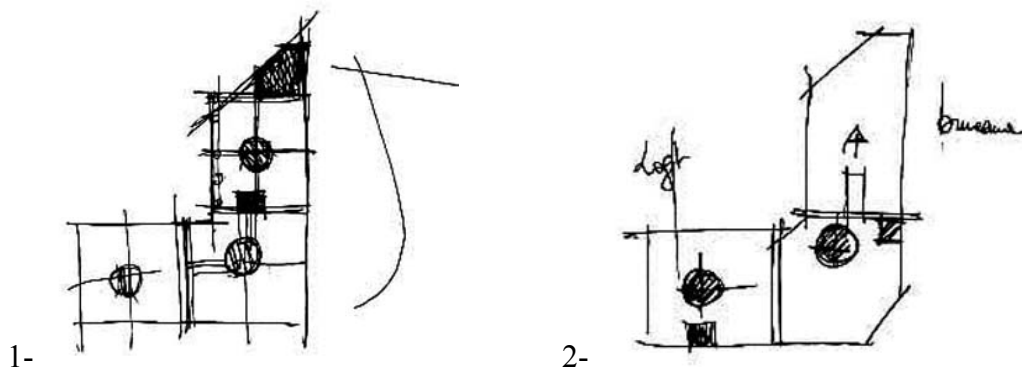


Fig. 3 – Représentation de deux alternatives pour l'emplacement des circulations verticales et les entrées.

Comprenant des bureaux et des logements, les trois circulations verticales sont placées d'abord au cœur du bâtiment, puis en pignon des bâtiments afin de fournir un accès plus facile aux bureaux. Mais l'architecte revient à la solution des deux entrées et deux circulations verticales en leur attribuant une aile différente du bâtiment, car les trois circulations, font perdre de la surface.

Ensuite il s'occupe de l'extérieur (les rythme, les garanties esthétiques,...) et le traitement étape par étape du problème lui permet de préciser les détails de l'angle du bâtiment. « l'effet de discontinuité est affirmé par le dessin d'un cylindre, accentué par des retraits sur des niveaux intermédiaires, qui cherchent à donner l'impression que le cylindre continue à l'intérieur de la façade. » [Lebahar 1992]

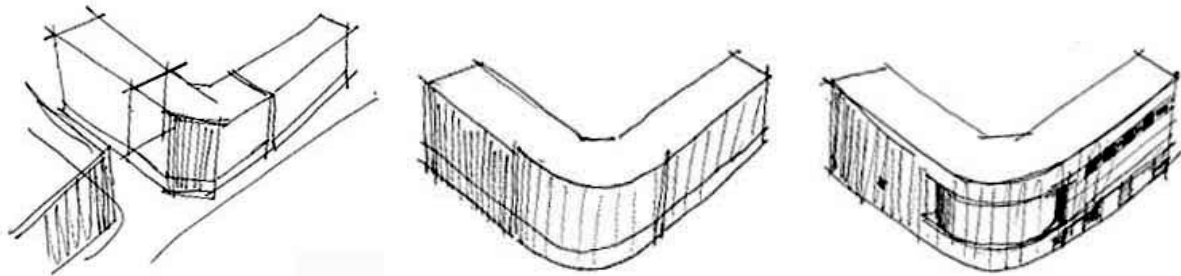


Fig. 4 - Ces images représentent l'intervention séquentielle de l'architecte sur le volume. « Cette succession de dessins montre la transformation de l'angle du bâtiment »

Les contraintes urbaines comme la continuité urbaine et la conformité à la tradition aixoise, imposent certains éléments en façade (la couleur dominante de ton ocre et une toiture en tuile), la substitution des planchers traditionnels par des planchers alvéolaires et l'utilisation de poutres transversales, sont provoqués par des contraintes de structure du bâtiment. Au fait, les solutions compatibles aux contraintes et aux exigences, conditionnent l'idée centrale et la forme du bâtiment en partie.

L'analyse réalisée par Marc Grignon [DE Biasi 2000], sur les maquettes réalisées par Peter Eisenman dans le but de l'exposition «les cités de l'archéologie fictive » à Montréal en 1994, révèle bien une succession des transformations formelles, en vue d'entreprendre et valider des alternatives le long du développement de l'idée.

Afin de produire un espace complexe comprenant des zones imbriquées, l'architecte a envisagé d'utiliser un système de superposition de l'espace en biais des murs existants où les frontières entre extérieur et intérieur, et entre zones de circulation et salles d'exposition, sont troublées. Une telle configuration suggère la dissonance cherchée par l'architecte.

De ce fait, cinq maquettes ont été réalisées durant le développement du projet, dont la première révèle les principes de base du projet en représentant la déviation du volume par rapport aux murs existants. Les deux suivantes visualisent deux choix auxquels a été confronté l'architecte dans un point de décision. Elles rendent possible l'examen de la forme en croix latine et grecque ce qui aboutit au choix de la croix grecque pour la suite du processus. Les deux dernières maquettes abordent la question du rapport entre le volume ajouté et l'espace existant. Elles représentent deux différentes modes d'implantation du volume ce qui permet l'évaluation de l'ensemble du projet. Le processus se termine par le choix de la cinquième maquette considérée comme la solution désirée.

La genèse du projet passe par les étapes de l'évolution de l'idée et de la synthèse des alternatives (traitées aux points de décision), durant lesquelles nous assistons à l'influence de l'idée sur la croissance de forme.



1- la première maquette

2- la troisième maquette

3- la cinquième maquette

Fig. 5 - Les maquettes préliminaire, partielle et complète pour l'installation de l'exposition *Cité de l'archéologie fictive* : œuvres de Peter Eisenman, 1978-1988, Centre Canadien d'Architecture, Montréal, 1994.

L'idée étant de produire une dissonance, l'architecte pense à un espace imbriqué avec les frontières troublées entre intérieur et extérieur, qui est formalisée par la superimposition d'une croix (qui traverse les vides et les pleins) et sa déviation en biais des murs existants. Le schéma suivant montre les étapes d'avancement du projet et la prise de décision sous l'influence de l'idée.

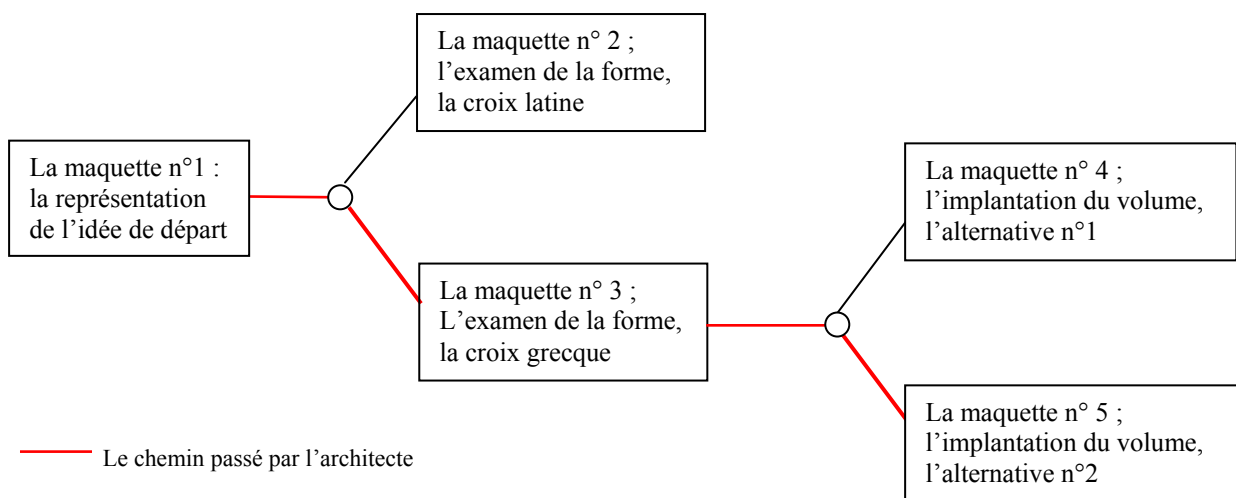


Fig. 6 - Le développement du projet et l'évolution de forme en explorant les alternatives.

Jean-Pierre Chupin dans une recherche concernant la genèse des projets d'architecture, a effectué une analyse sur une des œuvres de Le Corbusier ; La Chapelle de Notre-Dame du Haut à Ronchamp. L'analyse est plutôt concentrée sur la genèse du toit de la chapelle, qui communique l'image d'une coque d'un crabe.

La question étant l'intérêt d'un tel choix, ou la sémantique duquel provient le choix d'une coque, nous pouvons trouver la réponse dans une explication de l'architecte citée par Chupin : « Il cherchait à trouver des formes courbes aptes à créer une « acoustique visuelle », il voulait faire une « ronde bosse en creux », et il a choisi la coque d'un crabe » [Chupin 2001].



Fig. 7 - Vue d'ensemble de La Chapelle de Notre-Dame du Haut à Ronchamp (1950-1955, Le Corbusier).

Cette citation révèle le potentiel formel et structurel de la coque qui suggère à la fois une forme organique et une réponse structurelle au problème de la couverture. Mais l'analyse ne s'arrête pas à ce point et continue en cherchant plus profondément un sens au-delà des réponses formelles et structurelles.

Quelle sémantique est communiquée par l'intermédiaire de la coque ?, Quelle qualité de l'espace a été traduite par la coque du crabe ?

La coque, en tant qu'enveloppe du crabe, garde sa forme comme un moule et de là, porte toujours sa présence. Elle est à la fois le signe du passage du temps, une enveloppe qui assiste toujours à l'évolution de son contenu. Pour Le Corbusier, le toit est considéré comme l'enveloppe de l'espace spirituel de la chapelle, exprime la présence des pèlerins. La vraie sémantique réside dans le rapport entre l'enveloppe et le contenu⁷.

Une telle analyse révèle le rôle de l'idée dans le processus de choix de la forme, ou autrement dit, l'influence de la sémantique sur l'émergence de la forme. Elle nous fait ainsi remarquer qu'un tel rôle ne se limite pas aux rapports formels et que la relation entre l'idée et l'évolution formelle peut être de différente nature.

⁷ « Le Corbusier ne se contente pas d'emprunter au crabe sa coque, il lui emprunte l'éternelle disponibilité de l'habitable: le transfert porte sur une façon de contenir la vie. » [Chupin 2001]

Le fait que le processus de conception architecturale, comprend une idée de départ et un processus d'évolution, et la prise en considération des analyses décrites ci-dessus, nous mènent à découvrir l'interaction entre le processus de découverte d'une telle idée et le processus simultané de son évolution où ils se passent des étapes d'explorations de la genèse d'un projet.

Le concepteur face aux diverses alternatives, fait son choix en se basant sur l'adaptation de ces alternatives à l'idée. La valeur de chaque alternative produite durant le processus, est le degré de sa compatibilité avec l'idée. Tous cela révèle d'une part le rôle de l'idée dans le déroulement du processus et d'autre part, son influence sur les étapes de transformation de la forme jusqu'à son aboutissement à la forme finale qui communique l'idée elle même.

2- La morphogenèse architecturale, la forme et la sémantique :

La notion de forme et les étapes de transformations formelles qui s'exécutent parallèlement et sous l'influence de l'évolution de l'idée, attirent notre attention vers le processus de création de la forme ou la morphogenèse durant le processus de la conception architecturale. Il s'agit d'abord de décrire quelques approches concernant la création de la forme.

2-1- Différentes approches sur la forme :

2-1-1- La forme et le contexte :

La forme et surtout son rapport avec la conception architecturale a toujours fait l'objet de recherches et delà émergent diverses approches de domaine. En partant du formalisme, du fonctionnalisme, l'approche un peu contradictoire qui refuse parfois l'autonomie de la forme, nous arrivons à une définition particulière chez Christopher Alexander, basée sur le rapport entre la forme et son contexte.

Dans son essai, *de la synthèse de la forme*, la forme est définie en tant qu'éléments participants dans un ensemble dit forme-contexte, où chacun des deux cherche à répondre aux exigences de l'autre. La situation désirée est basée sur un ordre spécifique de cet ensemble, ce qui aboutit à une adaptation⁸.

La pertinence d'une forme est définie par son adaptation au reste de l'ensemble (contexte) et une bonne adaptation est celle qui mènent à la satisfaction mutuelle de ces éléments. Autrement dit la forme est le résultat d'une relation réciproque entre elle même et son contexte.

2-1-2- La forme et l'espace :

Un autre point de vue nous est offert par les travaux de Francis D.K. Ching essayant à décrire les éléments principaux de la forme. Le principe de cette approche est basé sur le rapport entre la forme et l'espace, où la forme prend un rôle dans la définition et l'organisation de l'espace.

Dans ses travaux la forme (et aussi l'espace), se définit en tant qu'un moyen à travers lequel, l'architecte arrive à répondre aux certains conditions de fonction et de contexte (comprenant les aspects culturels, sociaux, politiques et économiques). En plus c'est par l'arrangement de ces formes et l'organisation de l'espace, qu'il communique une sémantique.

Les éléments primaires de la forme sont définis par le point, la ligne, le plan, et le volume, et chacun a le potentiel de se transformer en l'élément suivant. Le point a une position dans l'espace, et en se prolongeant peut se transformer en une ligne (un élément unidimensionnel) qui en prenant une longueur, est capable de représenter une direction. La ligne se transforme en un plan bidimensionnel, qui a comme propriété une longueur et une largeur, et qui représente une surface avec une orientation spécifique. Et enfin le plan se transforme en un volume qui possède une profondeur grâce à sa troisième dimension.

⁸ « La bonne adaptation est une propriété souhaitée de cet ensemble.... » [Alexander 1971]

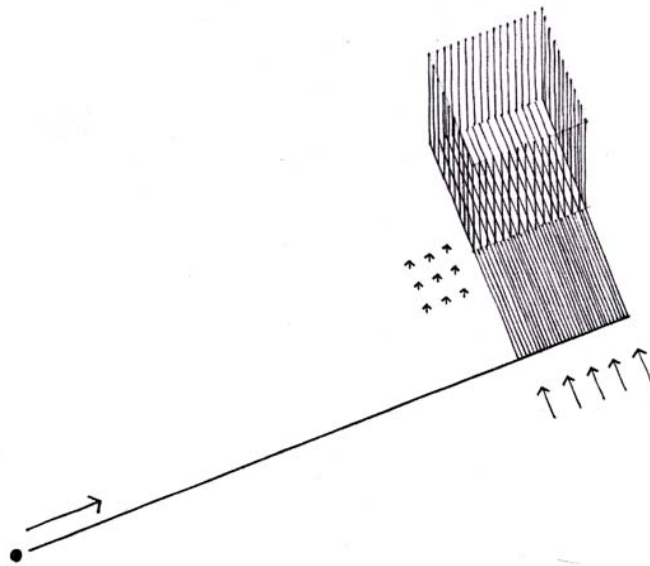


Fig. 8 - Les éléments primaires de la forme.

Une forme constituée de l'ensemble de ces éléments se caractérise par sa substance, sa taille, sa couleur, sa figure (rectangle, cercle, triangle, ...), sa position et sa texture. Elle peut être ainsi le résultat de la transformation de solides primaires (le cube, la sphère, le cylindre,...), par le changement de dimension, par l'addition ou la soustraction d'éléments⁹.

Cette transformation s'appelle transformation dimensionnelle quand une (ou plusieurs) des dimensions d'une forme est modifiées, soit par le changement de longueur, de largeur, ou de profondeur, soit par l'étirement ou la compression d'un des éléments de la forme. En plus une telle transformation formelle peut être réalisée par la soustraction d'une portion du volume de la forme, ou par l'addition¹⁰ (ou l'attachement) des éléments à ce volume.

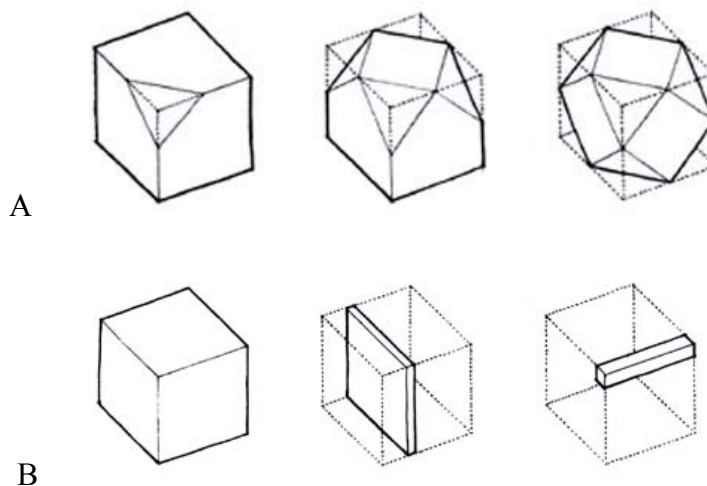


Fig. 9 – La transformation par soustraction et d'éléments (A) et la transformation dimensionnelle (B)

⁹ Subtractive forms, additive forms.

¹⁰ L'addition révèle différents types de relation entre les composants qui définissent la forme de l'ensemble ; la forme centralisée, linéaire, radiale, en forme d'un groupe (un assemblage des), ou en forme d'une grille.

Selon lui le rapport entre la forme et l'espace se résume à la définition et l'organisation de l'espace par la forme. Elle le moule, l'entoure, et l'enferme par ses éléments horizontaux et verticaux et par conséquent elle arrive à définir un solitaire champ de l'espace¹¹. Un ensemble d'espaces reliés entre eux par un rapport concernant la fonction, la circulation, ou le voisinage, décrit la notion de l'organisation de l'espace ce qui révèle les différents types de relation entre les espaces ; un espace à l'intérieur d'un autre, les espaces enclenchés, les espaces adjacents, les espaces liés par un espace commun. Une telle organisation spatiale peut elle même prendre différentes formes ; centralisée, linéaire, radiale, en forme d'un groupe (un assemblage des), en forme d'une grille.

2-1-3- La forme et le schème :

La recherche intéressante de Dominique Raynaud sur la genèse de la forme architecturale, est basée sur le lien entre la forme architecturale et la forme symbolique qui lui est attachée.

Une telle étude de la forme est fondées dans deux champs différents, l'un concernant les images génératrices du projet, et l'autre qui vise à caractériser l'imagination architecturale. Raynaud s'est plutôt intéressé au deuxième champ, prend comme principe que l'imaginaire architecturale est activée par les symboles architecturaux. Delà il essaye d'établir une association entre les formes architecturales, et les formes symboliques.

L'essence d'une telle association réside dans une similitude sémantique entre ces deux groupes de formes. Il la définit en empruntant (à Kant), le terme de schème, en tant qu'un élément de jonction. Pour Kant, le schème est « un produit et en quelque sorte un *monogramme* de l'imagination pure a priori au moyen duquel et suivant lequel les images sont tout d'abord possible » [Raynaud 1998]. En principe le schème est considéré comme un génotype à travers duquel ils émergent diverses images symboliques. Il devient ainsi l'élément de la transition d'une sémantique.

Considérant un ensemble constitué de trois éléments ; la forme architecturale, la forme symbolique et le schéma, il continue son travail dans le but de révéler les schèmes associant ces deux types de formes. Pour ce faire, il définit trois types de schèmes ; les schèmes divergents, avergents, et convergents, exprimés sous forme des verbes d'action comme monter, sortir, descendre,...

Les schèmes divergents « qui manifestent un mouvement centrifuge, qui produisent un écartement, une séparation ou une dissociation » [Raynaud 1998], sont : monter, rayonner, ouvrir, commencer, séparer, clôturer, sortir et grandir.

Un schème convergent suggérant un rapprochement, une réunion, ou l'orientation vers l'intérieur, est communiqué par les termes suivants : contenir, couvrir, descendre, unir, lier, diminuer, finir, entrer.

¹¹Les éléments horizontaux sont de différents types : plan, plan élevé, plan déprimé, plan situé au-dessus. les éléments verticaux sont de type linéaire, le plan seul, plan en forme « L », les plans parallèles, plan en forme « U », et les quatre plans « fermeture ». [Ching 1996]

Les schèmes avergents expriment un mouvement qui n'est ni divergent, ni convergent. Ils ne sont ni centrifuges, ni centripètes. [Raynaud 1998] tourner, passer, onduler, être, répéter, entourer, croiser, battre, font partie de ce groupe.

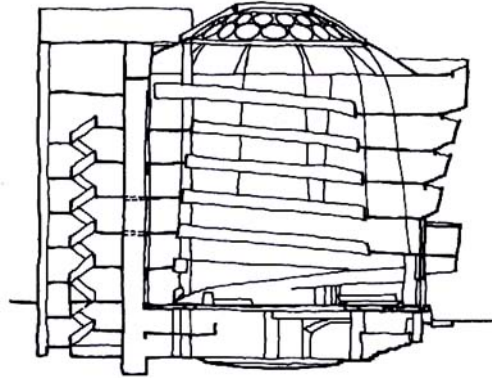


Fig. 10 – Le schème convergent « Descendre ». Le Guggenheim Museum de New York, Frank Lloyd Wright (1959).

2-2- La morphogenèse et la sémantique :

Revenons aux principes de notre travail, définissant le processus de la conception architecturale en tant qu'un enchaînement d'efforts contribuant à l'évolution de l'idée initiale, communiquée par l'intermédiaire d'une forme et sa morphogenèse, nous nous sommes intéressés au rapport entre l'idée et la forme.

Pour ce faire, nous avons effectué une analyse sur un ensemble de vingt trois projets d'architecture, conçue par différentes architectes (ou groupes d'architectes), qui vise à répondre à ces questions : Quelle était l'image mentale de l'architecte, comment est-elle communiquée à travers de la forme et comment est-ce qu'elle influence l'émergence de la forme (autrement dit, quel est son rôle dans le processus de création e la forme) ?

Précisons d'abord que notre objectif n'est pas d'approfondir ni les références et leur rôle, ni les aspects sémiotiques, mais simplement de découvrir l'image mentale de l'architecte et sa relation avec la forme quand elle provoque les changements formels durant le processus.

2-2-1- L'essai sur la relation de la forme et la sémantique :

1_ Le musée de CANTABRIA, Espagne, Luis MAURINO, Emilio TUNON, 2003 :



Visible dans une vallée, le musée se confond avec un paysage de montagnes en utilisant des formes à contours irréguliers et dentelés. L'architecte propose ainsi un modèle complexe : le bâtiment est composé d'un ensemble d'éléments similaires mais différents qui ont comme but d'établir la géométrie cachée de la nature.

L'idée étant de construire une géographie artificielle, il illustre la forêt des montagnes par l'utilisation d'un ensemble de trapèzes irréguliers tout ceci permettant d'introduire une certaine diversifiée formelle dans les espaces.

Le concept iconique de la montagne (comme image mentale) influence complètement la forme finale et l'organisation des espaces fonctionnelles.

Le système d'organisation d'espaces, consiste en un espace public adoptant une forme concave, pour les activités et les réunions. Les autres espaces fonctionnelles se rassemblent le long du contour dentelé. Ce contour relie les espaces publics et les deux musées (musée d'histoire et le musée d'art) situés sur les deux étages, et comportant des salles d'expositions qui peuvent être séparées ou regroupés créant chaque fois les bandes dentelées.



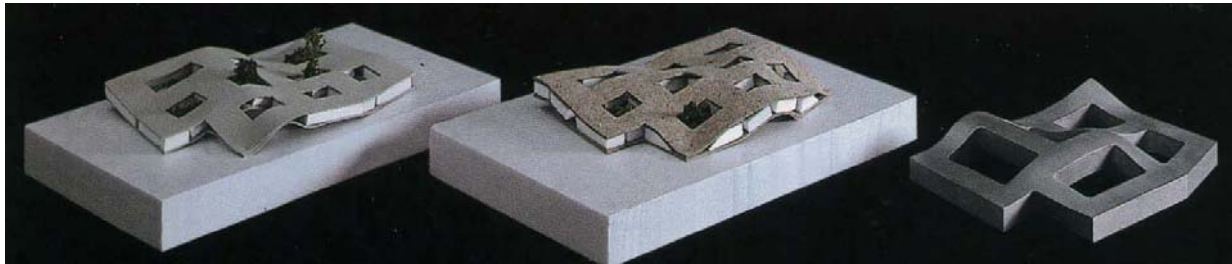
Fig. 11 - Le modèle et la maquette du travail.

L'idée étant la simulation des montagnes et leurs contours visibles derrière une vallée, le bâtiment est réalisée suivant la forme d'une montagne qui consiste en un contour dentelé et un espace concave. L'organisation des espaces peut être décrite par le schéma suivant :
le contour \Rightarrow les espaces fonctionnels (les vestiaires, les bureaux,...)
et l'espace concave \Rightarrow espace publique



Fig. 12 - L'organisation des espaces fonctionnels et l'espace publique.

2_ Flying village, Housing complex, Vienna, Austria, MVEDV, 1999:



Le projet constitue une enveloppe urbaine qui mène à une forte densité de populations distribuées autour de cours. Cette enveloppe est composée de maisons en bandes (le long des couloires) entourant les cours.

Par lévitation partielle de ce volume, l'architecte a réalisé une sorte de « sandwich » du paysage. Cette déformation crée une majorité de perspectives et de connexions visuelles, écologiques et fonctionnelles du site et entre le site et son environnement. Cette typologie engendre une série d'arches de 80 mètres qui couvre l'espace public constituant des lacs, des plages, des arbres et simule une grotte urbaine.

Cette organisation rend possible une meilleure vue des habitations vers le site et le parc public. Cette enveloppe reprenant le modèle d'un « sandwich » déformé, introduit un plafond semi-public comportant des séquences de pentes et de collines évoquant les alpes lointaines. Un ensemble de couloires, de rues, d'escaliers, de pentes, de collines et de ponts semi-publics qui transforme le bâtiment en une « hilltown » (colline-ville) intérieure.

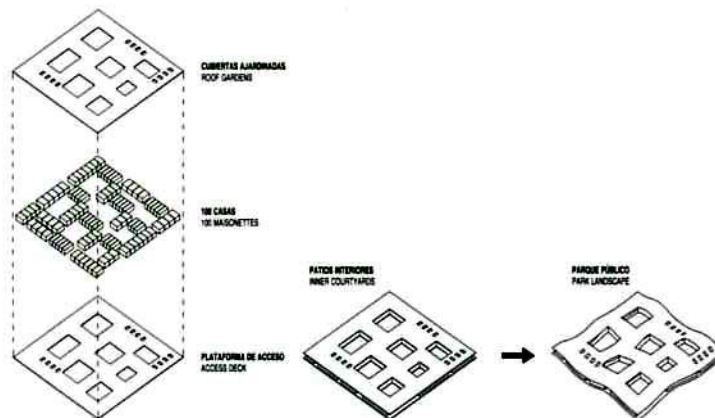
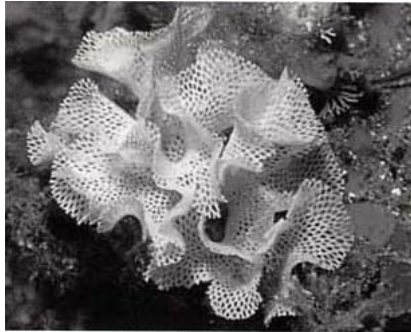


Fig. 13 - L'organisation de blocs de maisons autour de cours. Le « sandwich » déformé.

Le système traditionnel d'habitation à Vienna consiste à l'installation de blocs de maisons à forte densité autour de cours¹². L'idée est la déformation de cette enveloppe urbaine, ce qui permet une perspective et une connexion visuelle multidirectionnelle. La forme devient une enveloppe ondulante qui simule une colline avec ses pentes créant des arches.

¹² El croquis, no° 107

3_ Forum for music, dance and visual culture, Ghent, Belgium, Toyo ITO, 2004:



Historiquement les musiciens et les artistes, avaient l'habitude de jouer de la musique ou réaliser leurs travaux, dans les places et les rues, en prenant plaisir et ayant interaction avec les gens comme une entité unique et cohérent.

Se situant au milieu de la ville, un bâtiment sans devant ou derrière, incite les gens venant de divers directions à s'approcher. Le volume devient une partie d'un tissu urbaine organique, intégré dans le réseau des places de la ville. Comme il est possible d'y entrer de toutes les directions à travers les canaux perforés (comme les portes vers un mécanisme organique d'entendre et émettre les voix), ceci imite la complexité de la bouche et de l'oreille humaine.

De là, les espaces de ce forum de musique, rappellent les labyrinthes d'une grotte. S'organisant en deux parties séparées, chacune des deux entités comporte une continuité verticale et horizontale. Cette forme donne l'impression d'être à l'intérieur d'un organe digestif ou d'un instrument à vent.

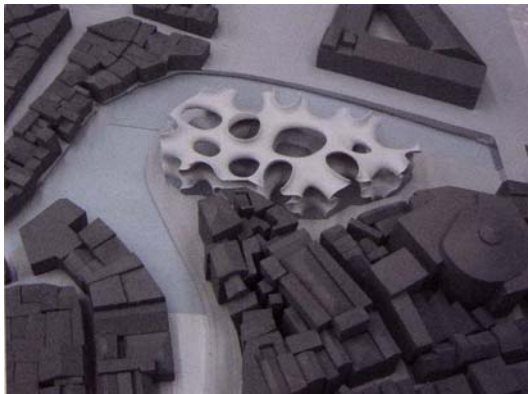
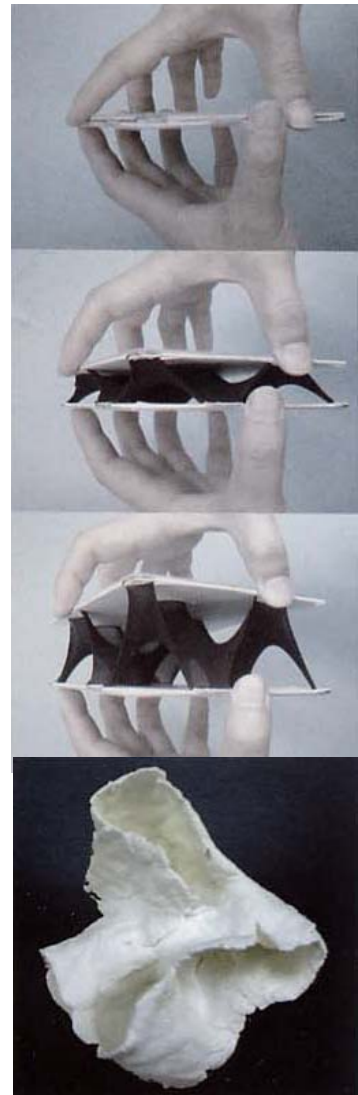
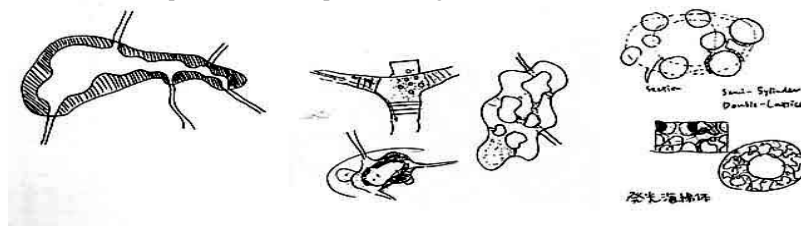


Fig. 14 - Le plan du site.



L'idée étant l'interaction entre les musiciens et les habitants, comme si ils sont les composants d'une entité, et d'unifier l'espace internes de la salle du concert et l'espace de la ville, deux caractéristiques de la forme du bâtiment ont été définis : 1- la continuité entre l'espace intérieur et extérieur, 2- l'ensemble du volume ressemble à un objet multidirectionnelle en accueillant les personnes s'approchant de toutes les directions.

Fig. 15 - Les esquisses du concept et les diagrammes de circulation.



4_ I-Project, Fukuoka, Japon, Toyo ITO, 2002/2005 :



Fig. 16 - Les esquisses et le diagramme conceptuel.

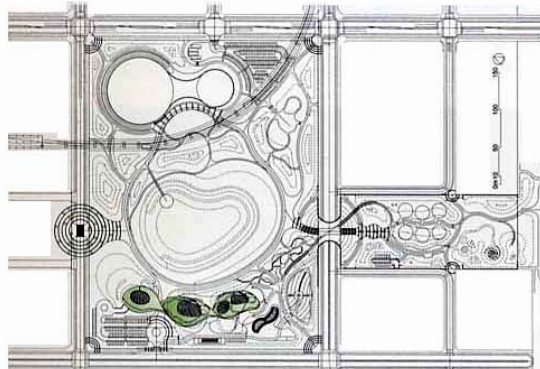


Fig. 17 - Le plan du site.

L'« island city » se présente sur une vaste île artificielle proche de la baie de Hakata. Il se manifeste comme un vaste parc au milieu du site et de la région verte qui l'entoure. Un complexe comprenant un espace du travail, un restaurant,... se situe dans le parc.

La première idée était une superposition d'images des cercles –des ondulations- distribuées du parc pour couvrir l'ensemble de l'île. Les grands cercles deviennent les monticules qui influencent la topologie de la région verte. Le bâtiment n'est pas un objet indépendant, il se mélange avec les ondes de la topographie, et représente des figures continues et spirales. Le but recherché est d'harmoniser l'espace de travail avec le paysage. En s'appuyant sur la simulation informatique, l'architecte a étudié la courbure des bandes de l'enveloppe avec le minimum d'ondulation possible.

Afin d'harmoniser l'espace du travail et l'espace extérieur, le parc, le paysage l'architecte a utilisé les cercles, les ondes et les bandes courbées entrelaçant le volume et le paysage.

5_ AZADI cineplex , Téhéran, IRAN, FOA, 1996 :

Comprenant sept auditoriums de différentes tailles, des espaces commerciales et culturels, le bâtiment se situe au coin d'une rue et remplace l'ancien cinéma de la ville.

La proposition de l'architecte est un objet monumental, qui formalise littéralement le schème et l'arrangement de l'espace. Une bande de film « filmstrip » se levant du terrain, qui subit plusieurs plis, était l'image principale. Tout ceci organise les salles du cinéma et du théâtre, donne l'accès à l'extérieur, la circulation à l'intérieur et produit la structure du bâtiment en parcourant le long du site.

S'appuyant sur la fonction du bâtiment (cinéma), l'image mentale est une bande de film pliée, qui embrasse les espaces intérieurs et organise la circulation et la structure.

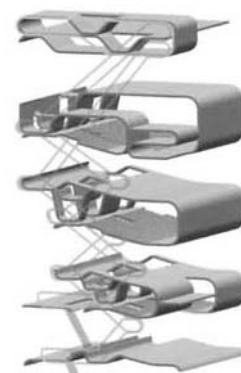


Fig. 18 - AZADI cineplex, Téhéran, IRAN.

6_ Installation for the Arne Jacobsen centenary, Denmark, Kazuyo SEJIMA, Ryue NISHIZAWA, 2002 :



SANAA est un des trois agences d'architectures, qui a contribué au projet de l'exposition d'Arne Jacobsen, au musée de Louisiana d'art moderne en Humlebaek. Le but était de créer des installations basées sur les thèmes des travaux d'Arne Jacobson, leur thème était la transparence et « weightlessness ».

Pour la réalisation de leur installation, ils ont choisi un espace avec une magnifique vue vers la pelouse. L'un des intérêts des travaux d'Arne Jacobson, étant la transparente entre l'extérieure et l'intérieure, ces spécificités ont été interprété en un objet qui apporte la vue (de l'extérieur) à l'espace (l'intérieur). Avec sa figure amorphe, l'objet proposé est transparent et léger, il représente l'espace avec son paysage déformé, qui crée de nouvelles images du parc, avec chaque visiteur ou passager.



Fig. 19 - Une partie de la maquette réalisée.

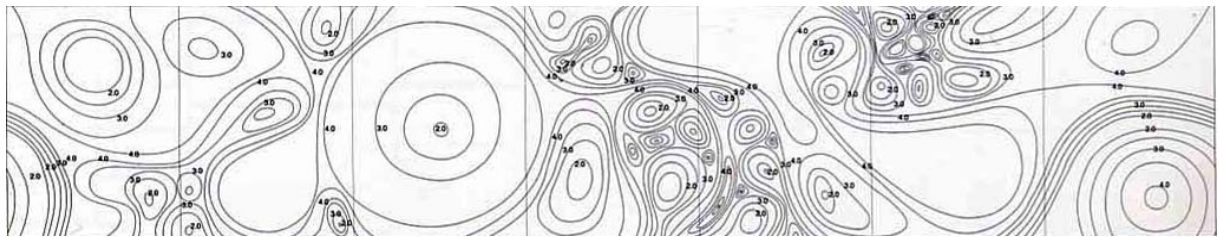


Fig. 20 - L'acrylique circulaire sur une surface.

Le thème étant la transparence l'artiste l'a représenté par son influence sur l'image du paysage, quand elle la déforme. Les cercles, les ondes et les rides sur la façade, rendent possible cette déformation.

7_ Capital Center Abu Dhabi, Dubaï, Oosterhuis, 2007 :

ONL a une philosophie de conception, dans laquelle l'architecture, la construction et la décoration sont intégrés dans une approche constante de la conception.

Ils ont décidé d'utiliser la forme d'un vase concernant la tour « Capital Cendre ». En partant d'une base étroite, son volume augmente sur la partie intermédiaire et s'effile sur la partie supérieure. ONL voulait que la partie supérieure soit plus étroite pour qu'il puisse laisser des vides devant les autres bâtiments plus hautes qui entourent la tour. La forme de vase a été obtenue en coupant et chanfreinant les plans rectangulaires. Elle a été obtenue en utilisant des modifications paramétrées sur une primitive standard rectangulaire.



Fig. 21 - Capital Center Abu Dhabi, Dubaï.

8_ Multipurpose facility, Onishi, Japan, Kazuyo SEJIMA, 2004:

Le projet consiste en un gymnase, un auditorium multifonctionnel et des bureaux administratifs. L'architecte a divisé ce programme en trois volumes courbés en verre très complexes qui s'entrelacent afin de créer une variété d'espaces intérieurs et extérieurs. Les volumes du bâtiment sont indépendants du programme, mais actent comme une unité.

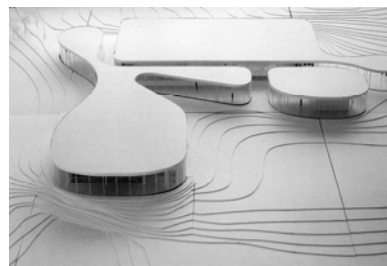


Fig. 22 – La maquette du projet.

Le site étant situé sur une vaste pelouse, Le but est de garder la vue ininterrompue de la pelouse même après la construction du bâtiment. Afin d'aboutir à ce concept, l'architecte a réalisé une façade en verre et a essayé d'harmoniser la hauteur du bâtiment avec le paysage horizontal. Le but recherché est qu'un visiteur du parc perçoive les activités dynamiques à l'intérieur. De l'intérieur le bâtiment est connecté à l'extérieur avec une vue d'un paysage coulant au-dessous du plafond.

Tout au long de la conception du bâtiment l'architecte à chercher à garder l'aperçu ininterrompu de l'intérieur à l'extérieur et l'inverse, entrelacer ces deux vues et entrelacer les deux espaces extérieures et intérieures, par la réflexion sur la verre. La forme choisie pour l'ensemble du projet consiste en trois volumes, possédant la même hauteur et une façade en verre.



9_ Relaxation park, Torrevieja, Spain, Toyo ITO, 2002 :

Torrevieja est une station balnéaire. Elle comporte deux lacs à ses abords, dont leurs boues, sont utiles pour thalassothérapie. Le but de ce projet est de rendre possible la facilité du spa (établissement de rajeunissement), comme thérapie.

Ces lacs et les collines qui les entourent, produisent un paysage onduleux. De là, l'architecte a proposé une scène qui ressemble aux dunes en pente le tout en harmonie avec l'environnement. C'est un parc de relaxation doté de « spa » le long de son contour. L'idée est formalisée en trois escargots, chacune disposant de sa fonction. Les trois volumes sont réalisés en bois et donnent l'impression d'un être vivant grâce à l'utilisation d'une structure douce en spirale.

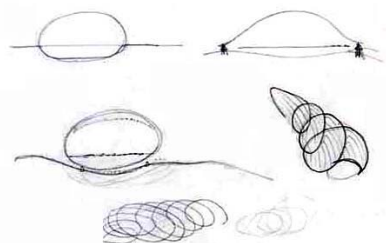
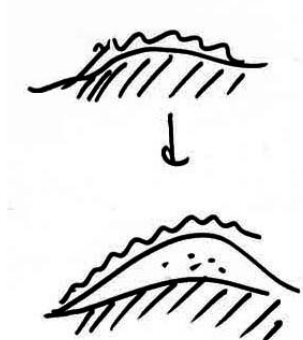


Fig. 23 – Les esquisses du concept.

Le paysage constitué de lacs et de collines a donné l'idée à l'architecte de simuler la forme de ces collines en pente, grâce à l'introduction de la forme des escargots comme référence pour harmoniser le volume ajouté et l'environnement.

10_ Silicon hill, Stockholm, Sweden, MVRDV, 2000:



L'ancien bureau de poste se transforme en une compagnie de commerce avec un marché global. La nature, la topographie, les forêts, les collines et les lacs, mènent à un parc urbain. Ce bâtiment a comme but, de faire accroître cette condition naturelle, symboliser la nature et afin de l'accueillir dans son intérieur.

En levant le territoire, la nature existante peut rejoindre le programme. De là, un espace de l'entre deux « in-between » (in-between space) est créé entre le granite gratté (le sol) et la nature levée (le plafond). Cela offre un espace de travail où la personne est entourée par la nature. Le volume généré est une montagne avec deux pics, consistant en des terrasses, l'un comporte le restaurant et l'autre la salle de conférence. Les terrasses donnent accès au plafond et à la forêt.

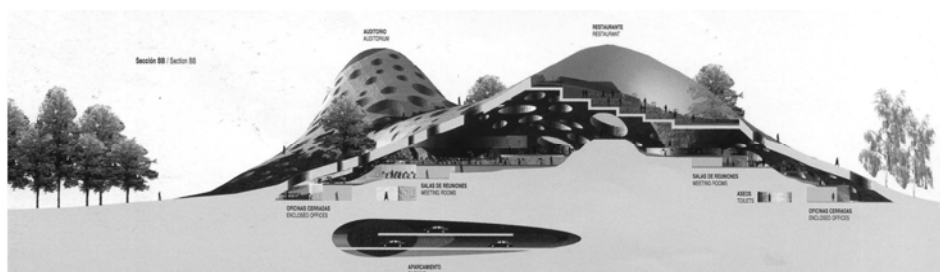


Fig. 24 – La coupe A-A du bâtiment.

11_ ALESSI tea set, Italy, Kazuyo SEJIMA, Ryue NISHIZAWA, 2002 :

Un service à thé développé pour ALESSI, consistant en une théière, une cafetière,....

Considérant la variété et la liberté de la forme des fruits dans un bol, l'artiste a interprété la forme d'un service à thé comprenant des éléments de différentes tailles, à un ensemble de fruits dans un bol avec des formes variantes.

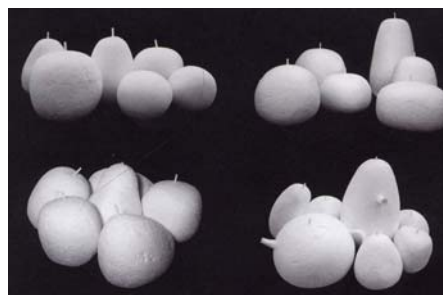


Fig. 25 – Le modèle du concept.



Cela donne la possibilité d'avoir différentes formes, différents arrangements et la flexibilité. Pour l'artiste, l'ensemble des éléments d'un service à thé, simule des fruits de différentes tailles et de là prend une forme souple, variant et moins rigide.

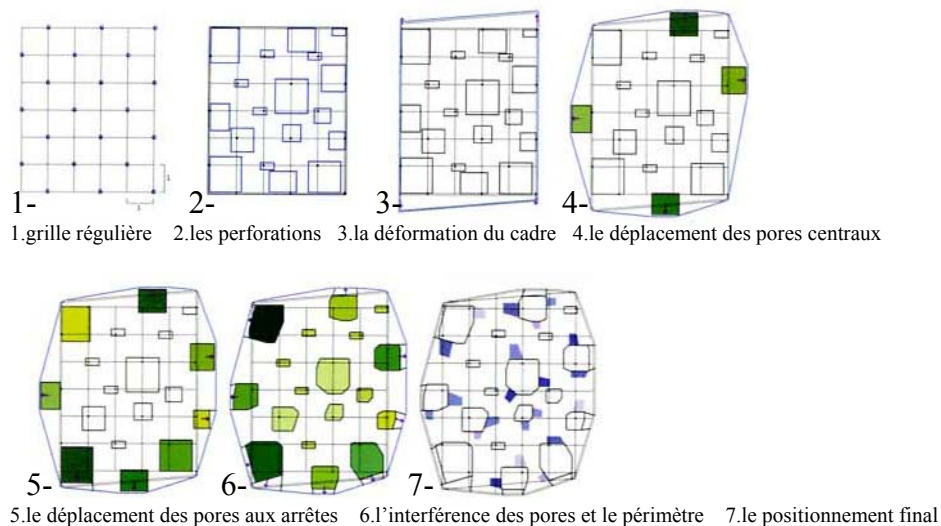
12_ UIB Library, Spain, Cristina Diaz MORENO, Efen GRINDA, 2003 :

Un environnement artificiel, une espace naturelle, afin de produire un endroit d'intermédiation entre les gens et les livres. Un espace continue avec des piliers énormes.

Afin de produire un espace public supplémentaire à l'intérieur, en continuité avec l'environnement extérieur, l'architecte, prenant une petite pierre perforée (comme image mentale) a proposé un coussin noué avec des plantes, organisée en deux différents étages d'espace de travail avec des cours, des patios et des jardins à l'intérieur. Les patios en tant que les éléments naturels de l'environnement ont perforé le volume et ont pénétré à l'intérieur.



Une grille uniforme qui définit un périmètre régulier, subit l'inclusion d'un maximum de volume de la bibliothèque. Ce système comporte neuf patios haussés qui définissent le périmètre final en entourant un autre ensemble de neuf patios situés au centre du volume.



Ces pores imposés au volume, rendent possible différents échanges avec l'extérieur : l'entrée, la vue à l'extérieur, la lumière naturelle, les capteurs d'énergie, le système de ventilation naturelle, ...ils sont les colonnes, les piliers vides : les vaisseaux vers les sources naturelles d'énergie.

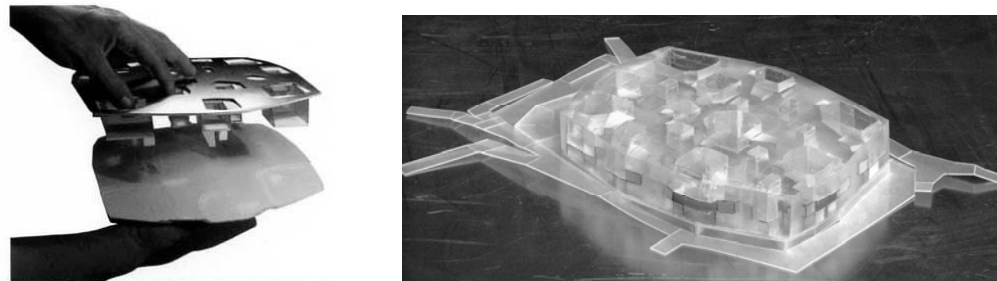


Fig. 26 – La maquette de l'organisation de l'espace.

Le but est de créer un espace naturel à l'intérieur en continuité avec l'environnement extérieur. Les pores sur une pierre formalisent le volume perforé en raison de la pénétration de la nature.

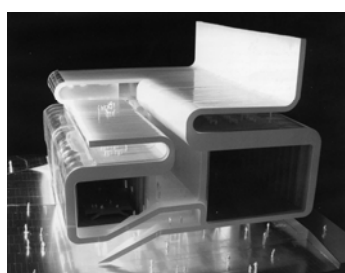
13_ BBC White city (music center and offices), London, England, FOA, 2003:

Une nouvelle organisation pour un studio de musique où il y a une connexion visuelle entre l'intérieur et l'espace de la ville à travers une membrane en verre, pour que le studio se représente en un environnement public, ouvert et transparent.



Fig. 27 – BBC White city, London, England.

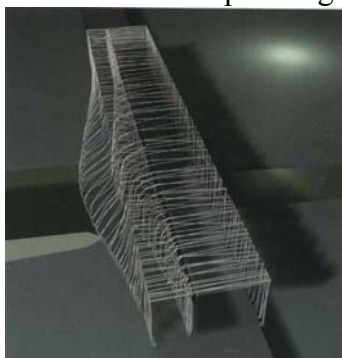
La musique est une séquence des événements avec une structure linéaire primaire : une bande. Le centre de la musique simule un instrument construit par manipulation de cette bande.



La bande est pliée en boucles, enveloppe les espaces principales du bâtiment et se transforme en une membrane de fenêtres. En tant que membrane, elle devient un dispositif d'émission de la musique et en tant que fenêtre elle rend possible une espace continue entre le public et l'intérieur qui aboutit à une communication visuelle entre l'espace de la ville et les activités internes. L'idée se réside encore dans la fonction du bâtiment, considérant la musique comme une bande, l'instrument est construit par sa manipulation, qui la transforme en une bande pliée.

14_ Wireframe, Pouilly, France, RESie, 2002 :

Ce projet de pont/restaurant sur le canal de Bourgogne, reprend la place d'un pont du XIX siècle (qui a été détruit). L'idée s'enracine dans l'analyse des modes de construction des ponts métalliques du XIX siècle où les poutres d'acier étaient rivetées selon un ordre déterminé par l'ingénieur.



L'architecte a puisé son idée dans l'identité disparue de la structure, il organise la nouvelle poutre métallique en sorte de toile d'araignée, un fil continu enchevêtré qui emprisonne le volume. « De plus une déformation gonflante tout le centre de la structure, rappelle la lentille de l'économiseur d'écran qui distord tout sur son passage »¹³. Cette cage d'acier est comme un sol qui est creusé à cause du poids du public.



Fig. 28 – Le modèle tridimensionnel de la structure.

L'idée est basé sur la différence de deux système structural, et l'architecte la représente par un élément étranger qui perturbe le système de l'ancien structure de ce pont, le résultat est similaire à l'influence d'une lentille le long de son passage ; un agrandissement, une augmentation, qui simule la présence du public et son poids. Le résultat est formalisé par un gonflement localisé le long de la structure.

¹³ Palama POVEDA [architecture non-standard 2003]

15_ Musée d'art et de technologie de l'Atelier Eyebeam , New York, Greg LYNN, 2000-01 :

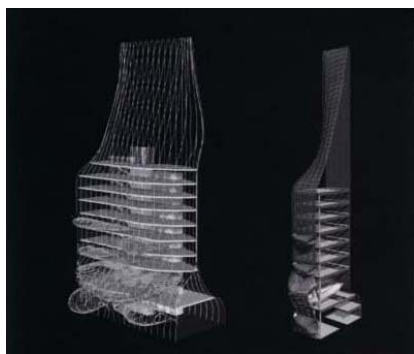


Fig. 29 – Le modèle numérique du projet.

Dans la proposition de Greg Lynn l'immutabilité est remplacée par le flux. Deux surfaces sont plissées, puis coudées ensemble en un contenant souple. L'enveloppe extérieure se drape, et fonctionne comme des portails à l'entrée, des extrusions qui se transforment à l'intérieur en renflements, en créant des poches spatiales.

Le but étant la caractérisation et la représentation du lien entre l'art et la science, architecte considère l'enveloppe du bâtiment comme une membrane entre le monde physique et électronique qui devient un vaste écran de projection et delà le bâtiment se transforme en une tour cybernétique, cette enveloppe influencé par le flux et les forces virtuelles, prend une forme ondulée et plie en couvrant les espaces du programme.

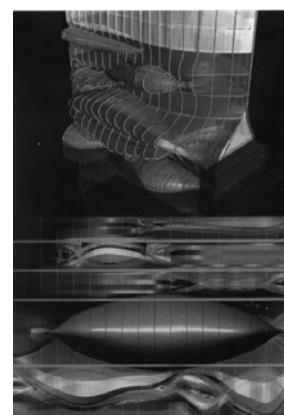


Fig. 30 – Le renflement de l'enveloppe

16_ Centre de George Pompidou-Two, Metz, France, NOX, 2003 :



le volume puisse augmenter. Quand les cordons se divisent plus, ils créent une carcasse (shell) qui empêche les ballons de tomber.

Le résultat obtenu est une structure porteuse (avec l'hierarchie typique) qui se transforme en une coque pour créer la déformation locale du volume. La membrane se déforme comme si elle est en train d'être déchirée, tout ceci à cause de l'augmentation du volume. L'idée s'enracine en la transformation d'un système de structure en un autre en provoquant les déformations locales sur l'ensemble du volume.



Fig. 31 – La maquette alternative pour évaluation de système de structure.

17_ Grand slam, Madrid, Espagne, MANSILLA+TUNEN Architectos, 2002 :

La « multi intentionnel » complexe du sport, n'est pas seulement un stade de tennis, mais une place où chacun se sent comme une partie de la communauté. Pour cette raison, l'enveloppe proposée par l'architecte est à la forme d'une fleur, et produit une vision passagère (un aperçu) du parc, non seulement pour les joueurs mais aussi pour les spectateurs.



Fig. 32 – Les maquettes conceptuelles.

Une plate-forme large recueille les activités sportives, tout en permettant la possibilité de changement d'usage. Une fleur émergeant avec ses pétales qui embrassent les tribunes. Un espace composé d'une série de pétales couverts, qui transforment un espace horizontal en un espace vertical. En opposition avec un parc où la géométrie est imposée à la nature, ce bâtiment propose une forme avec laquelle la nature impose sa géométrie à l'architecture.

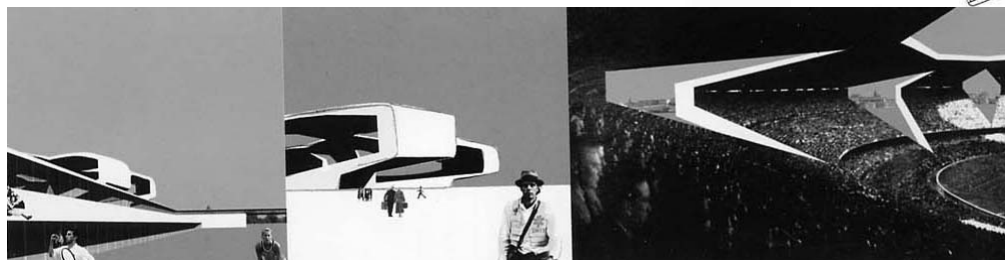
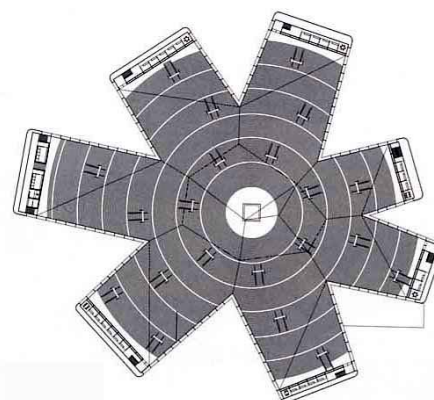


Fig. 33 – Les vues de l'extérieur et l'intérieur.

18_ bridge, station and Landmark tower, Kaiserslautern, Utrecht, Oosterhuis, 2007:

La conception est basée sur une ligne 3d ininterrompu qui parcourt les trois axes ; X ; l'axe de la rue et de trame, Y ; l'axe du pont, et Z ; l'axe du point de repère et la tour. Le pont est construit comme une « crêpe » pliée. La station a le même mode de construction mais à l'inverse, la tour possède ainsi le même maillage de construction. La conception est complètement paramétrée, c'est à dire qu'il est simple de l'ajuster avec un changement du paramètre.

L'organisation de l'espace est basée sur la continuité d'une ligne le long des trois axes. Les deux axes horizontales sont formalisées comme deux crêpe pliées en deux différents sens, et l'axe verticale, le tour (landmark) ayant comme idée la puissance, l'élasticité et la flexibilité, est formalisée à travers de l'image d'un muscle.

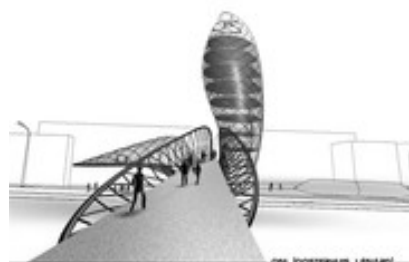
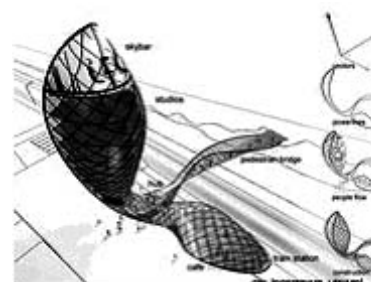


Fig. 34 – Les modèles numériques. La crêpe pliée.

19_ TT Monument , Holland, Oosterhuis, 2002 :



Fusionnement entre une moto et son conducteur. La vitesse floue les frontières entre les éléments constitutifs (les composantes). Le vent reforme les roues, l'être humain se transforme en un homme-machine. La fusion crée un paysage sensuel. Le TT Monument est rapide, souple et lisse.

En commençant par un croquis rapide fait sur ordinateur (une esquisse numérique), ils l'ont utilisé comme un modèle 3D en utilisant les surfaces nurbs. Grâce à un des outils existants dans maya ; « sculpte », pour pousser et tirer des surfaces, ils ont créé de nouveaux creux, des plis plus rapides et des transformations très lisses. L'artiste a abandonné les vrais cercles des roues et les autres parties de la moto, et a intuitivement introduit des formes houleuses pour évoquer la vitesse et le fusionnement entre l'être humain et la moto.

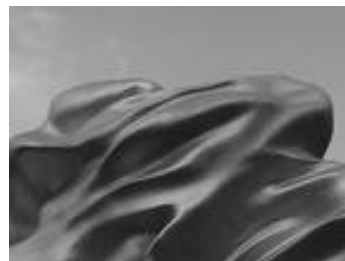


Fig. 35 – La maquette réalisée.

L'idée réside en la transformation de chaque partie mécanique en une partie mentale. Elle est causée par la vitesse qui rend floue les frontières. La transition d'un être humain en un homme-machine est opérée par une fusion, étant formalisée à travers des outils informatique et en créant des bosses et des creux sur l'objet finale. Une dernière idée derrière le concept général est que la moto et l'être humain ainsi « fusionnés » deviennent une unité inséparable dynamiquement déformés par la vitesse.

20_ (UN) Plug Building _ LaDéfense, Paris, France, RESie , 2001 :

Le groupe d'architectes étant fasciné par le phénomène de mutation, ont alors commencé une recherche sur la distorsion, du clonage, de la greffe ou de l'hybridation. L'immeuble de bureaux commandés par EDF, fonctionne suivant la déformation de la structure générique de bureau en une façade productrice d'électricité, par l'usage des énergies renouvelables solaires et éoliennes.

Pour obtenir ce résultat, ils ont distribué des boursouflures recouvertes de cellules photovoltaïques sur la façade et de longs poils, tubes capteurs thermiques au-dessous du volume. Le bâtiment peut ainsi être branché ou débranché du réseau électrique urbain, en fonction du besoin et la période de l'année. Ils ont aussi pris en compte les nouvelles organisations du travail dans le tertiaire : vivre au travail/ travailler à domicile (bureau domestique).

L'idée s'enracine en des nouveaux phénomènes comme la mutation, l'hybridation et la greffe, influence l'organisation de l'espace : une hybridation de l'espace de travail et du domicile. En plus la déformation de façade rend possible l'objective technique, par des boursouflures distribuées sur la façade.

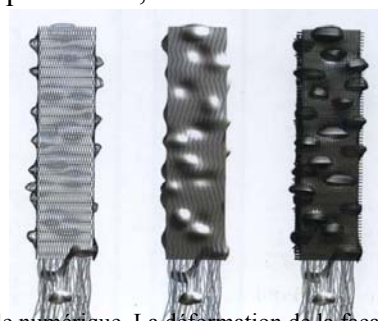


Fig. 36 – Le modèle numérique. La déformation de la façade.

21_ OIC Headquarters, Jeddah, Oosterhuis, 2006 :

En cherchant un symbole pour la nouvelle organisation du siège central de la conférence islamique à Jeddah, et prenant comme principe que ce symbole soit basé sur un phénomène naturel, Le groupe d'architectes, ont été convaincus que l'eau peut être le matériel idéal pour développement de OIC, car il a un sens important pour le monde de l'islam et surtout pour le moyen orient. Ils voudraient aussi que le matériel soit dynamique et qu'il représente la continuité et le flux.



Fig. 37 – OIC Headquarters, Jeddah.

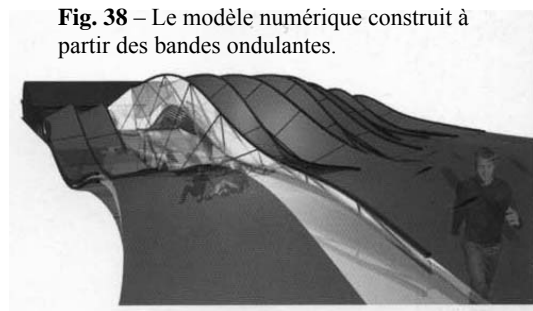
La question était, comment appliquer les caractéristiques d'eau sur le volume du bâtiment, Ils ont alors étudié *le comportement des ondes ou des rides de l'eau causée par des gouttes qui tombent sur la surface de l'eau*. Ce concept était adéquate pour 'land scape' du site, mais pas pour le bâtiment lui même. Donc ils ont étudié le comportement de la goutte quand elle tombe sur une surface d'eau et remonte. D'abord elle plonge très profondément dans l'eau, ce qui provoque les rides sur la surface, et après elle remonte en créant une lisse colonne d'eau. Cette image évoquant l'augmentation du volume est utilisée pour la forme du bâtiment. *Une forme lisse se levant d'une surface ondulée*. Cette forme symbolise la propagation de la culture islamique.



L'idée est la représentation du monde de l'islam et sa culture à travers un symbole. Considérant l'eau comme un matériel idéal pour ce monde et une goutte d'eau comme image mentale, la forme est réalisée à partir d'une étude sur le comportement de ce symbole.

22_ The Wave, Denmark, DR-D, 2001:

Fig. 38 – Le modèle numérique construit à partir des bandes ondulantes.



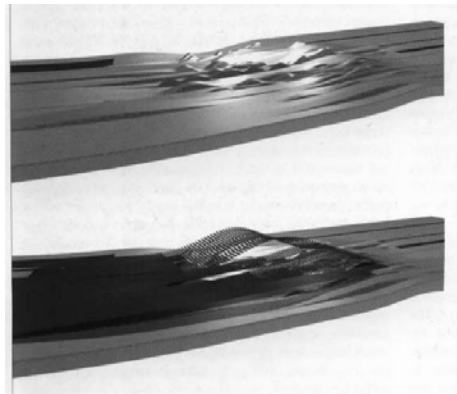
Le projet est conçu dans le cadre d'un concours international, il se trouve dans un contexte paysager où il y a déjà un complexe sportif, parking, ...

L'architecte a d'abord fait une lecture active du site, sous différentes formes (schémas, documents photographiques, supports filmiques,...), puis, il a appliqué un processus d'animation et de dynamique fluide afin d'entrelacer en réseau, les différentes interprétations du lieu, considérées comme des dynamiques productives. Ces niveaux de lecture préparent une matrice de données, qui aboutit à une carte animée traduite au moyen d'ordinateurs par des schémas de bandes ondulantes tissées dans tout le site, mixant ainsi objet et paysage en une topographie différenciée.

Selon une analyse faite sur ce projet, les multiples couches (solides, fluides, plats, ondulés, ...), dessinent peu à peu des *entrelacements* complexes, *des plis semblables à une vague*, et intègrent sans coutures les volumes massifs existants dans le paysage. Ces couches sont plus ou moins denses, amples, ou larges, elles s'imbriquent dans le terrain et creusent

l'espace pour la patinoire, la piscine (en fonction de programme). « Telle la vague animée de dilatations et compressions, *The Wave*, fluctue entre encrage et gonflement ».

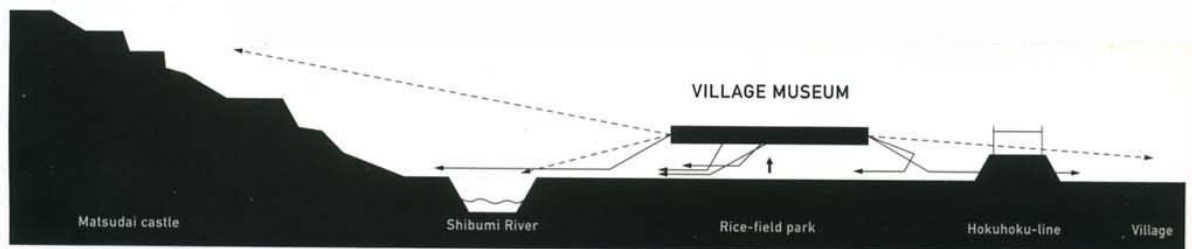
La forme normalisée de la structure sportive et remplacée par un bâtiment/paysage dont le toit prolonge le terrain, et les surfaces couvertes de gazon, béton, ... permettent, sous l'effet des fluctuations températures, des pratiques sportives diversifiées. Véritable poches prises dans les replis du bâtiment, elles offrent des eaux variées en températures et en profondeur.



En s'appuyant sur la fonction du bâtiment, l'architecte considère les activités sportives comme les flux dynamiques courant à l'intérieur et l'extérieur du complexe, dont leur traduction au moyen d'ordinateur, produit les bandes ondulantes tissées dans tout le site, entrelaçant le bâtiment et l'espace existante.

23_ Matsudai culturelle village museum, Niigata, Japan, MVRDV, 2000 :

Le village se trouve proche de la montagne de Niigata. Très chaude en été, pendant l'hiver la région est couverte des couches de neige, pouvant aller jusqu'à trois mètres. Le centre culturel se situe entre la rivière et la ligne ferroviaire, comprenant des cafés et des espaces d'expositions. La région accueille aussi le festival d'art tous les trois ans.



En mettant le volume en « lévitation », la zone au-dessous du bâtiment devient un endroit libre pour la neige en hiver et une zone à l'ombre pendant l'été. Ces espaces libres sont ainsi placés pour que différentes expositions, concerts et ... aient lieu, et que le bâtiment soit visible du village qui se situe de l'autre côté de la ligne de train.

Le bâtiment s'appuie sur les pieds ((the bridge-like legs)) qui donnent accès aux personnes s'approchant de différentes directions. Ces pieds formalisent la structure physique du bâtiment, génèrent un espace sans colonnes au-dessous du volume principal et le divisent en différents espaces fonctionnels. L'idée d'élever le volume en hauteur, permet la protection du bâtiment de la force et de la pression de la neige, donne une vue panoramique et crée un paysage rocheux (les bosses) sur le plafond.

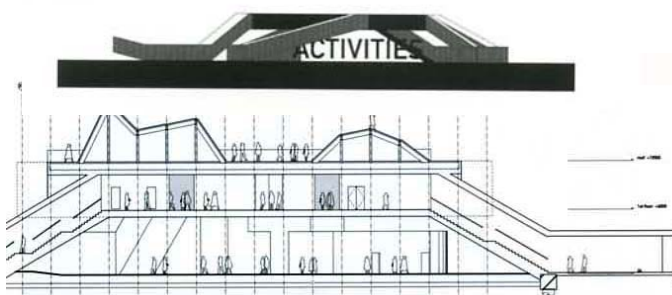


Fig. 39 – L'étude du système de structure.

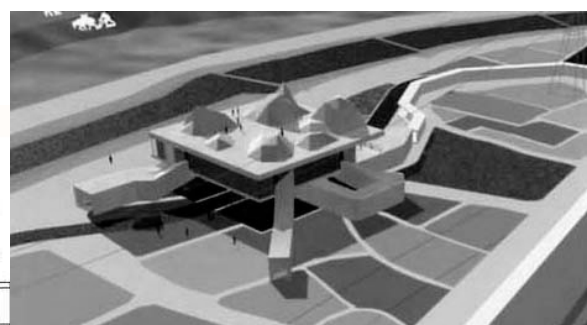


Fig. 40 – La maquette : l'intégration du volume dans le site.

2-2-2- La conclusions :

Cette analyse nous révèle dans un première temps ; l'existence d'une idée, derrière le choix de la forme, et dans un deuxième temps ; la manière dont elle influence son émergence.

En se basant sur cet ensemble d'exemple, nous pouvons extraire les idées de natures différentes ; la structure, la vue, le climat, l'accès et la circulation, l'objective technique, le paysage et l'environnement, les symboles culturels ou religieux, ... :

- Le paysage et l'environnement :
 - simulation du paysage et l'environnement externe
 - harmoniser le volume ajouté avec le paysage qui l'entoure, pour qu'il soit intégré et qu'il ne soit pas imposé au site
 - entrelacement du volume ajouté et les volumes existants, pour qu'il se confonde avec l'espace existant
- La vue :
 - l'aperçu global du bâtiment (de l'extérieur)
 - fournir aux habitants une perspective multidirectionnelle (de l'intérieur vers l'extérieur)
 - rendre possible la connexion visuelle (entre l'intérieur et l'extérieur)
- Les contraintes techniques :
 - la lumière,
 - l'énergie,
- La situation géographique et le climat
- Simulation d'un symbole, soit de la nature (une colline), soit d'une culture spécifique (L'eau),
- Les qualités et les caractéristiques abstraites comme : La puissance, la transparence, la souplesse et la non-rigidité, la dynamisme, l'élasticité, la vitesse, les forces virtuelles, le poids
- La fonction ; le cinéma (une bande de film), le centre de musique (un instrument de musique)
- Le système de structure
- La qualité de l'espace :
 - accueillir les gens s'approchant de diverses directions
 - fournir une espace continue, unifier l'extérieur et l'intérieur du bâtiment (choix du matériau pour la façade)
 - l'intégration et le mélange

Elles sont ainsi formalisées par l'intermédiaire des formes différentes. Soit en tant qu'images mentales, soit en tant que formes ayant le potentiel d'accueillir la sémantique désirée de l'architecte : la montagne, la fleur et les pétales, l'étoile, la pierre perforée, la goutte d'eau, le muscle, la bande de film, la bouche et l'oreille humaine, la colline, la crêpe, la vague, le vase, l'escargot, le coquillage, le fruit, le ballon, les bosses, les boursouflures, la roche.

En plus nous constatons que le rapport entre la sémantique et la forme mais aussi la modalité de leur réalisation, sont décrits (soit par l'architecte, soit par l'interprète), à travers des verbes d'actions comme : ondulation d'une bande ou d'une surface, plier, fusionner, bosser, boursoufler, gonfler, courber, entrelacer, tordre, ... d'une surface ou l'ensemble du volume.

Avoir effectué cet essai, nous sommes orientés vers l'autre partie de notre travail concernant les opérations et les opérateurs morphosémantiques.

3- Les opérateurs morphosémantiques :

3-1- La définition et l'identification des opérateurs morphosémantiques :

La genèse de la forme, telle que nous l'avons décrite dans le chapitre précédent, est le résultat d'un processus guidée par des objectifs sémantiques.

Dans le cas de notre corpus d'étude (l'architecture non-standard), nous faisons l'hypothèse que ce cheminement débute par une forme source, qui subit une succession des transformations formelles, afin d'aboutir à la forme finale. La morphogenèse passe par des étapes intermédiaires de transformation formelle où les variations entre deux étapes (réalisées ainsi d'une manière itérative et par des allers et retours) peuvent être définie par des actions gestuelles appliquées sur la forme.




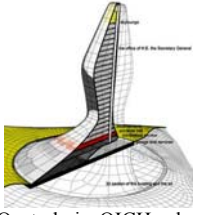

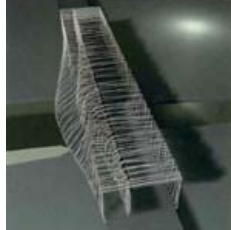

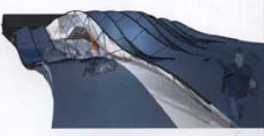

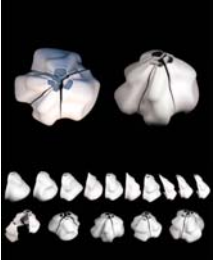

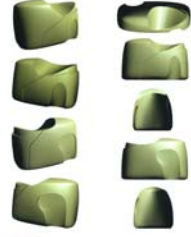


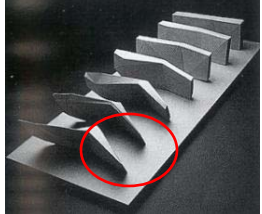



Ces actions, décrivant les opérations morphologiques, connotent souvent la sémantique du projet. Par exemple : dans le projet du « Complexe sportif », conçu par DR-D (notre 22^{ème} exemple décrit dans le chapitre précédent), le verbe « onduler » est la traduction de l'action opérée sur une bande. Il renvoie ainsi à l'idée, étant l'entrelacement entre le paysage et le volume ajouté. Autre exemple c'est le cas de « Capital Center Abu Dhabi » conçu par Oosterhuis, où l'opération effectuée sur la partie supérieure du volume, basée sur l'objective technique du projet, est décrite par le verbe « effiler ».



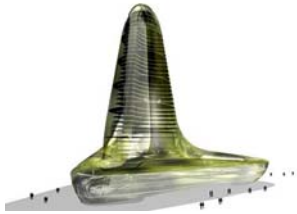
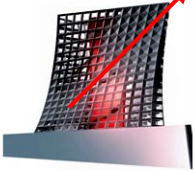
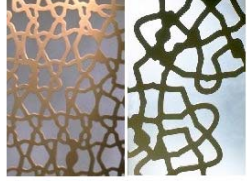

En se basant sur le travail de recherche en cours par Jean-Paul Wetzel, les opérations morphosémantiques sont définies comme : « les actions sur la forme qui sont la traduction d'un savoir-faire gestuel. Elles sont composées de plusieurs opérations géométriques et sont dotées d'un ensemble de paramètres (axe, angle,...) ... » [Wetzel 2006]. Ceci lui a permis d'introduire le concept des opérateurs morphosémantiques, en tant que : « des instruments d'action morphologique, qui sont ainsi des compositions d'opérations géométriques élémentaires comme, rotation, translation,... » [Wetzel 2006].

En partant de ce constat, nous posons l'hypothèse que ces transformations formelles peuvent être produites par l'application successive d'opérateurs morphosémantiques. De là, la suite de notre travail concerne premièrement l'identification de tels opérateurs, et deuxièmement une expérimentation qui vise à valider notre hypothèse.

Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur un ensemble des projets architecturaux en essayant d'extraire les variations formelles qui peuvent être réalisées à travers ces opérateurs. Ensuite, nous avons essayé d'utiliser une succession de ces opérateurs pour la modélisation de deux processus de morphogenèse, qui nous permet de vérifier leur pertinence. Ces essais nous mènent à la dernière partie qui sera consacrée à la spécification de l'opérateur « bomber ».

Le tableau suivant, illustre quelques exemples à travers lesquels nous avons identifié les opérateurs ; plier, bomber, onduler, pousser, serrer, fusionner, effiler et tirer.

<p>Plier</p>	 <p>Lyons Architects _ Université de Melbourne</p>	 <p>Peter Eisenman_BFL Software Limited Bangalore - 1996</p>	 <p>Daniel Libeskind_Berlin Jewish Museum</p>
<p>Bomber / Gonfler</p>	 <p>Oosterhuis_OICHeadqua rters_ Jeddah - 2006</p>	 <p>NOX_Centre de George Pompidou-Two_ France-2003</p>	 <p>RESie_Wireframe,Pouilly France_ 2002</p>
<p>Onduler</p>	 <p>Kisho Kurokawa National art museum Tokio</p>	 <p>DR-D _ The Wave_ Denmark_ 2001</p>	 <p>Coop Himmelbleu - BMW Welt</p>
<p>Pousser</p>	 <p>Greg Lynn_Embryologic house - 2000</p>	 <p>Kas Oosterhuis _ TransPORTs _ 2001</p>	 <p>Asymptote _ FLUX SPACE 1.0_ 2001</p>
<p>Serrer</p>	 <p>Coop Himmelbeu-Forum ARTEPLAGE Biel</p>	 <p>Frank Gehry-rasin building</p>	 <p>Peter Eisenman</p>
<p>Fusionner</p>	 <p>Bernhard Franken_Solar Cloud - 1999</p>	 <p>Greg lynn_Korean Presbyterian Church_ New York</p>	 <p>Oosterhuis_ TT Monument _ Holland_ 2002</p>

<p>Effiler</p>	 <p>Zaha Hadid _ Magic Center _ Scotland</p>	 <p>Oosterhuis _ Capital Center Abu Dhabi - Dubai - 2007</p>	 <p>Oosterhuis _ 5 Stars Hôtel _ Changchun _ 2006</p>
<p>En plus :</p>	 <p>Tirer : F-U-R _ Olympique Landmark</p>	 <p>Trouer : Objectile _ Bernard CACHE _ les panneaux décoratifs</p>	 <p>Sillonner : Nox _ Lars Spuybroek _ Prefab houses _ Eindhoven</p>

Suite aux travaux de Jean-Paul Wetzel concernant la classification de ces opérateurs en deux groupes ; des opérateurs unaires (appliqués sur un seul objet) et binaires (qui relient deux ou plusieurs objets), une sous-classification peut se présenter sous la forme suivante :

1- Les opérateurs unaires, qui s'appliquent sur un seul objet, peuvent eux même être classifiés en deux groupes :

- Ceux qui déforment l'objet initial :

Courber, Cintrer, Plier, S'incliner, Tordre, Onduler, Pousser, Effiler, Serrer, Tirer, Comprimer,

- Ceux qui ne le déforment pas mais changent son positionnement ou le dupliquent :

Translation, Rotation, Miroir, Réseau (Array), Scalling (cela affecte seulement la taille et ne produit pas un changement de positionnement, mais nous le mettons à cette classe car il ne déforme pas l'objet),.....

2- Les opérateurs binaires, qui s'appliquent sur plus d'un objet, peuvent être ainsi classifiés en deux groupes :

- Ceux qui déforment les objets initiaux :

Fusionner (blend), Les booléens (union, intersection, soustraction)

- Ceux qui changent le positionnement des objets initiaux :

Superposer, juxtaposer, aligner

3-2- L'expérimentation :

Dans le but de vérifier la validité de notre hypothèse, nous avons modélisé le processus de morphogenèse de « OIC Headquarters », réalisé par Oosterhuis (exemple numéro 21 décrit dans le chapitre précédent). Cette expérimentation est effectuée d'abord par l'application d'opérateurs existants, puis par des opérateurs morphosémantiques. Il s'agit de préciser que notre objectif n'est pas de modéliser la démarche exacte suivie par le concepteur, mais juste d'expérimenter les opérateurs proposés. De plus, nous préférons utiliser comme formes sources, des objets solides construits à partir de surfaces maillées, ce qui simplifie le processus de déformation.



Fig. 41 - Oosterhuis_2006 OIC Headquarters_Jeddah.

Admettant qu'il y a toujours plusieurs démarches différentes pour modéliser une seule forme, nous avons expérimenté les cheminements suivants :

- 1- La forme initiale est représentée sous la forme d'un cylindre. Nous commençons par application du modificateur « éditer maillage » qui nous permet de sélectionner des sommets spécifiques et de là, en activant la « sélection adoucie » nous arrivons à contrôler le déplacement des sommets et créer un effet de renflement sur la partie centrale du cylindre. Les deux parties inférieures et supérieures sont formalisées par l'opérateur « scalling ».



Fig. 42 – « OIC Headquarters », modélisé par application de « éditer maillage ».

- 2- La forme initiale est représentée par une sphère. Dans ce cas, le renflement peut être formalisé par l'opérateur « comprimer ». Nous avons alors un peu déplacé le Gizmo (un des sous éléments de l'opérateur qui localise l'action de l'opérateur), ce qui nous permet de produire les renflements non symétriques sur les deux cotés. Il nous faut toujours le déplacement de quelques sommets afin de raffiner la forme finale.

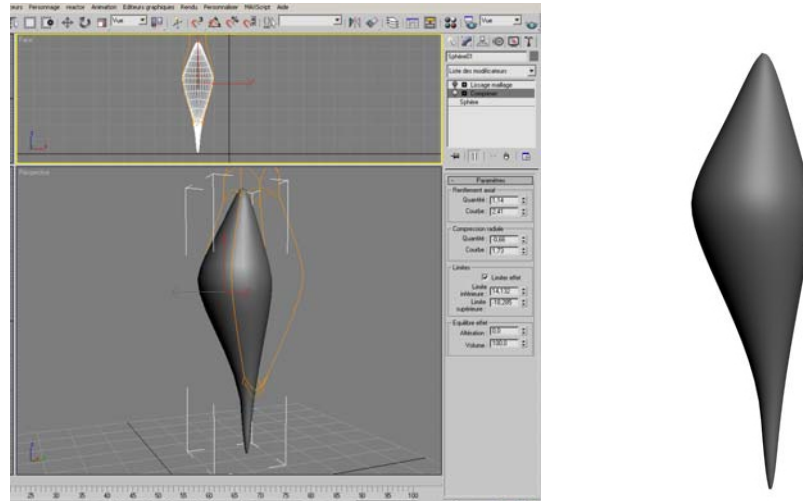


Fig. 43 - Modélisation de « OIC Headquarters », par application de l'opérateur « comprimer ». Déplacement du Gizmo et les renflements non symétriques.

- 3- Au lieu des objets solides comme, la sphère, le cylindre, la boîte,..., le processus peut débuter par une ligne. Ensuite l'application du modificateur « révolution » (spécifié pour créer les objets 3D à partir d'un linge), nous permet de formaliser l'ensemble de l'objet. Nous pouvons toujours déplacer quelques sommets pour obtenir une forme plus raffinée.

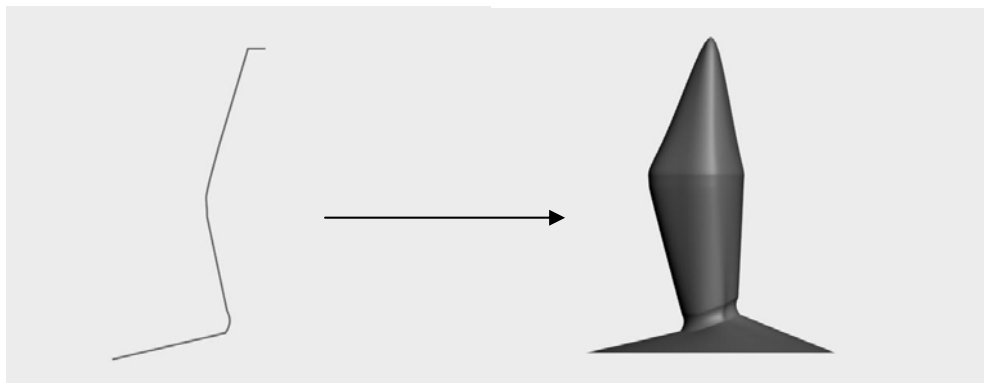


Fig. 44 – La modélisation de « OIC Headquarters » réalisée par un linge et le modificateur « révolution ».

Après avoir expérimenté ces démarches, nous rencontrons quelques contraintes qui nous sont posées au niveau des opérateurs existants. Le modificateur « éditer maillage », nous donne la possibilité de simuler le mouvement désiré de la forme, mais le fait qu'il est procédé dans une manière empirique (le déplacement des sommets), nous empêche de contrôler la mise en forme d'une manière paramétrique ce qui permet les retours en arrière. L'opérateur comprimer possède deux paramètres « quantité » et « courbe », mais il manque encore d'autres paramètres, comme la possibilité de définir une direction pour l'effet de renflement, ou le potentiel de délimiter la zone renflée, d'une manière plus géométrique.

Pour la modélisation du processus de morphogenèse de « OIC Headquarters », nous proposons la démarche suivante :

La forme initiale soit un cylindre (figure 45), elle subit l'application successive des opérateurs morphosémantiques et se transforme en l'objet final. L'opérateur « bomber », appliqué sur la partie centrale du cylindre (figure 46), évoque l'augmentation du volume entraînée par le mouvement dynamique d'une goutte d'eau. Ensuite la partie supérieure est formalisée par l'opérateur « serrer » (figure 46). La modélisation s'achève par application de l'opérateur « tirer » sur la partie inférieure de la volumétrie (figure 47).

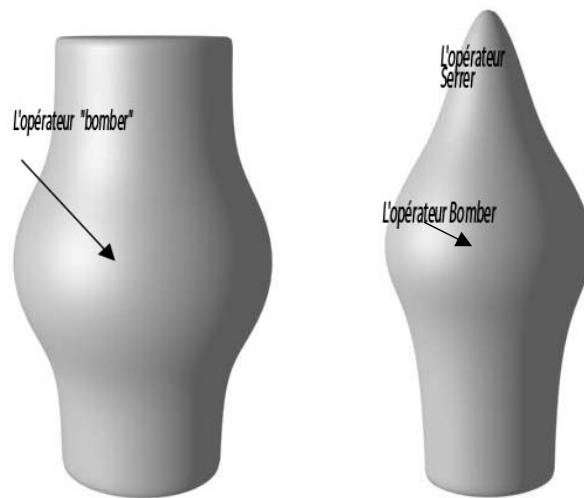


Fig. 45 – L'objet initial : un cylindre.

Fig. 46 – L'application des opérateurs, Bomber et Serrer sur le cylindre.

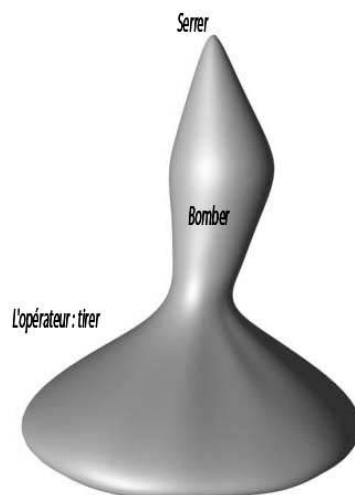


Fig. 47 – Le « OIC Headquarters », modélisé par les opérateurs morphosémantiques.

Notre deuxième essai est effectué sur la modélisation de morphogenèse du « Centre de George Pompidou-Two » conçu par NOX.



Fig. 48 - Centre de George Pompidou-Two_ Metz, France_NOX.

Pour la réaliser, nous nous sommes appuyés sur des documents graphiques produits par le concepteur, qui nous permettent d'identifier les variations étape par étape de la forme initiale. Ensuite nous essayons de modéliser chaque étape à travers des opérateurs morphosémantiques.

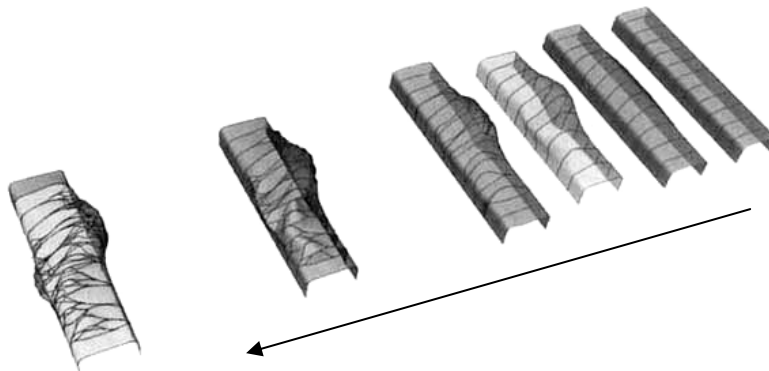


Fig. 49 – Le schéma décrivant les étapes suivies par l'architecte.

Prenant une boîte maillée en tant que forme source, le processus se passe par la transformation de la surface supérieure. A la place du déplacement vertical des sommets, nous proposons d'appliquer l'opérateur « bomber », qui formalise un effet de renflement sur cette surface (figure 50). Ensuite nous utilisons l'opérateur « onde » pour simuler l'ondulation effectuée sur la surface bombée (figure 51). Le processus se termine par application localisée de l'opérateur « pousser ». Ceci remplaçant un deuxième déplacement des sommets, crée des creux légers sur le volume (figure 52).

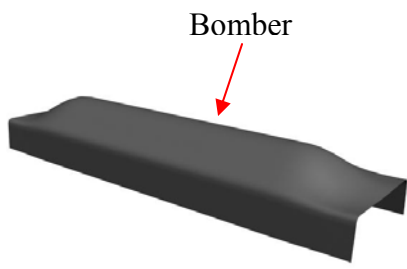


Fig. 50 – L'application de l'opérateur « Bomber ».

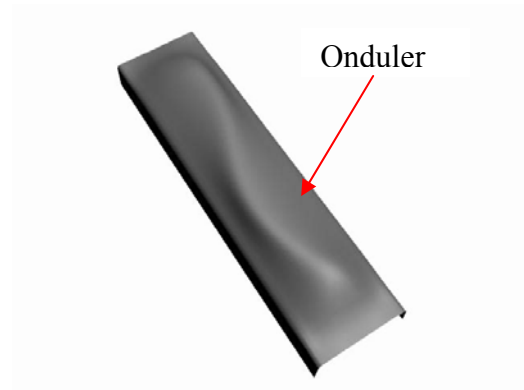


Fig. 51 – L'application de l'opérateur « onde ».

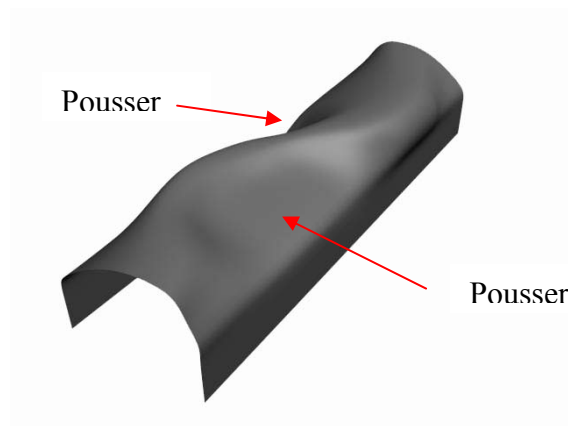


Fig. 52 – L'application de l'opérateur « Pousser ».

Ces essais ayant comme but la validation de l'hypothèse posée au début de ce chapitre, nous menant à la suite du travail concernant la spécification d'un des opérateurs identifiés : « BOMBER ».

3-3- L'opérateur « Bomber » :

3-3-1- L'état de l'art :

Afin de spécifier et paramétrer l'opérateur « Bomber », dont le but est la création de bosses et de renflements, nous avons essayé de trouver d'autres modificateurs, disposant du potentiel permettant de produire le même effet. Ainsi nous admettons qu'il existe diverses méthodes de modification d'une forme, soit par application d'un seul modificateur, soit par utilisation d'une combinaison d'opérateurs. Le travail présent vise à analyser les seuls modificateurs étant capables à produire l'effet de renflement.

1_ L'opérateur « Révolution », 3ds max (Revolve en Maya) :

Le modificateur tend à créer des objets tridimensionnels, en pivotant une courbe nurbs ou une forme, autour d'un axe. En dessinant la courbe désirée, nous arrivons à créer un objet gonflé. Le résultat est symétrique par rapport à un axe ce qui nous empêche d'avoir un renflement localisé.

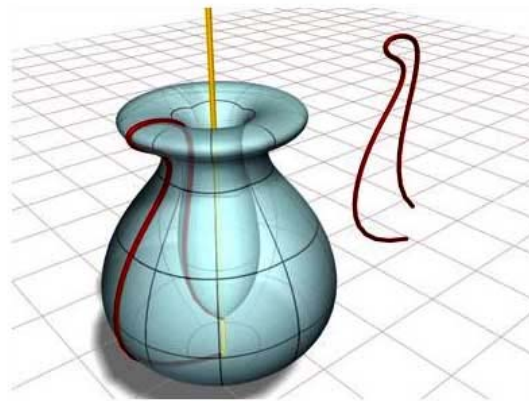


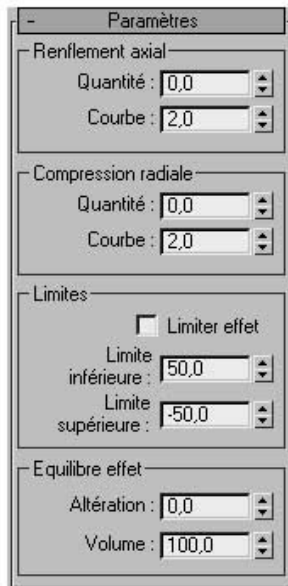
Fig. 53 – Création d'une surface de révolution à partir d'une courbe nurbs.

Le nombre de degrés correspondant au déplacement de l'objet autour de l'axe de rotation est déterminé par le variable « degré » (start and end sweep angle en Maya). « Segment » (section an Maya), définit le nombre de segments créés dans la surface entre les points de début et de fin.

Contrairement à notre principe (décrit dans le sous-chapitre précédent et concernant l'utilisation des solides) ce modificateur produit des objets tridimensionnels à partir de formes bidimensionnelles comme une ligne ou une courbe. Nous prenons les solides en tant qu'objet source et nous essayons d'analyser les outils morphologiques visant à déformer les solides.

2_ L'opérateur « Comprimer », un des modificateurs morphologiques de 3ds max :

Ce modificateur ne s'appliquant que sur des volumes, permet de créer l'effet de compression autour de l'axe Z du Gizmo, et ainsi un effet de renflement le long de l'axe vertical de l'objet.



Dans la zone *renflement axial* se trouve deux variables :

Quantité : qui détermine l'ampleur de l'effet de renflement, et
Courbe : qui sert à la définition du degré de courbure sur les extrémités renflées. (Pour que le renflement soit doux ou pointu)

Ainsi la zone *compression radiale* consiste en deux variables :

Quantité : cette variable détermine l'ampleur de l'effet de compression (les valeurs supérieures à zéro vont comprimer l'objet alors que les valeurs inférieures à zéro visent à enfler l'objet vers l'extérieur)

Courbe : ce paramètre tend à définir le degré de courbure de la compression

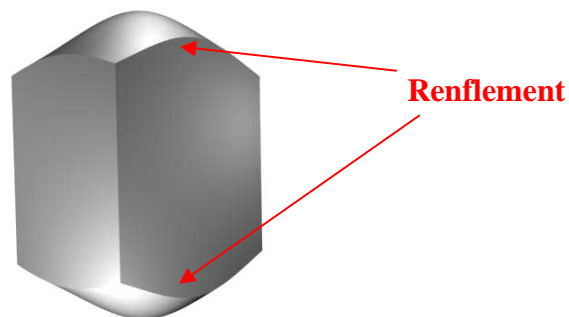


Fig. 54 – Renflement axial (le paramètre Quantité possède une valeur supérieure à zéro).

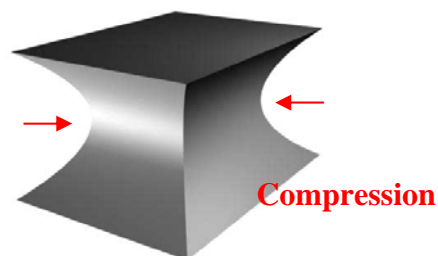
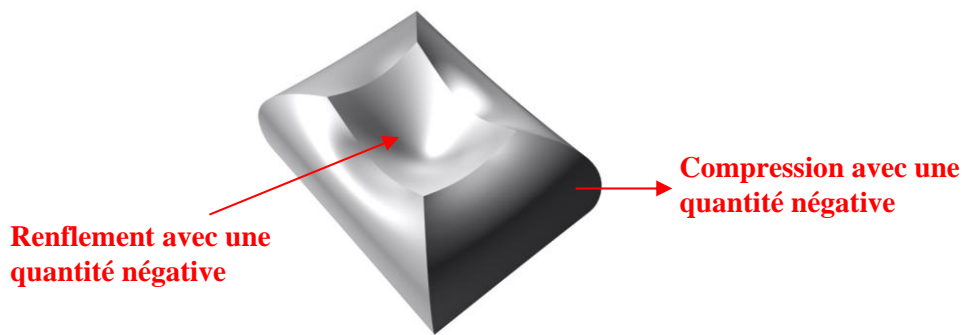


Fig. 55 – Compression radiale (le paramètre Quantité possède une valeur supérieure à zéro).

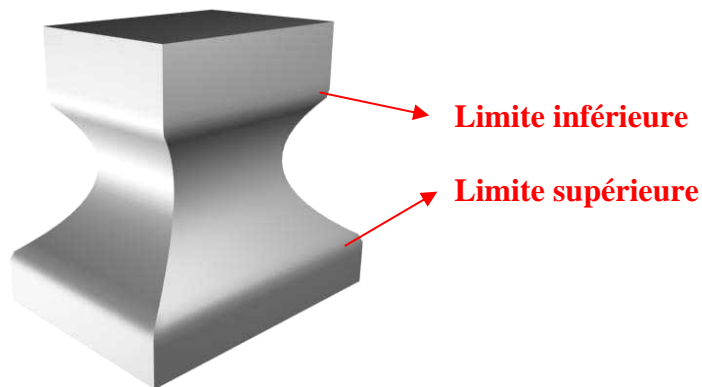


Renflement avec une quantité négative

Compression avec une quantité négative

Fig. 56 – Le volume subit une Compression radiale avec une valeur inférieure à zéro pour le paramètre Quantité, et un renflement axial avec une valeur inférieure à zéro pour le même paramètre.

La zone des limites : l'activation de l'option *limiter effet*, permet de délimiter la zone d'influence et l'effet de compression ou de renflement sur l'objet. « Limite inférieure » définit la limite dans la direction positive, et « limite supérieure » la définit dans la direction négative le long de l'axe Z de l'objet.



Limite inférieure

Limite supérieure

Fig. 57 – Les limites supérieure et inférieure tendent à limiter l'effet de compression.

En plus de cela dans *la zone équilibre effet*, ils se trouvent deux autres variables: « Altération », qui permet de modifier les quantités relatives de renflement et de compression, en maintenant un volume d'objet constant, et « Volume », qui permet l'augmentation ou la réduction des effets de la compression et du renflement en parallèle.

3_ Soft Modification Tool, Maya :

Cet outil permet de tirer et de pousser une partie de la surface sélectionnée. Les surfaces peuvent être de divers types (polygonale, nurbs, ...), et l'effet est créé par la translation du manipulateur.

Le rayon de la zone d'influence, où la déformation se diminue en zéro, est déterminé par le variable « falloff radius », et le « falloff curve » permet de contrôler et manipuler le facteur de diminution.

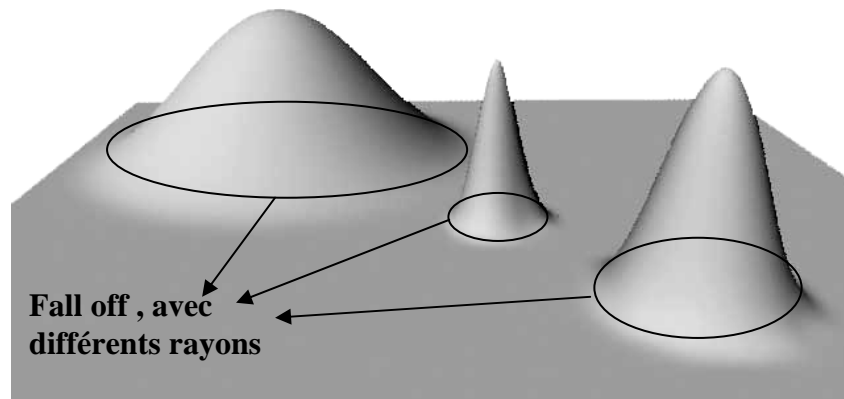


Fig. 58 – Le rayon de « falloff ».

La manipulation des nœuds du « falloff curve », nous permet d'ajuster le facteur de diminution de la déformation. Nous pouvons créer plus d'un nœud sur une courbe, ce qui permet de contrôler la déformation d'une manière plus interactive.

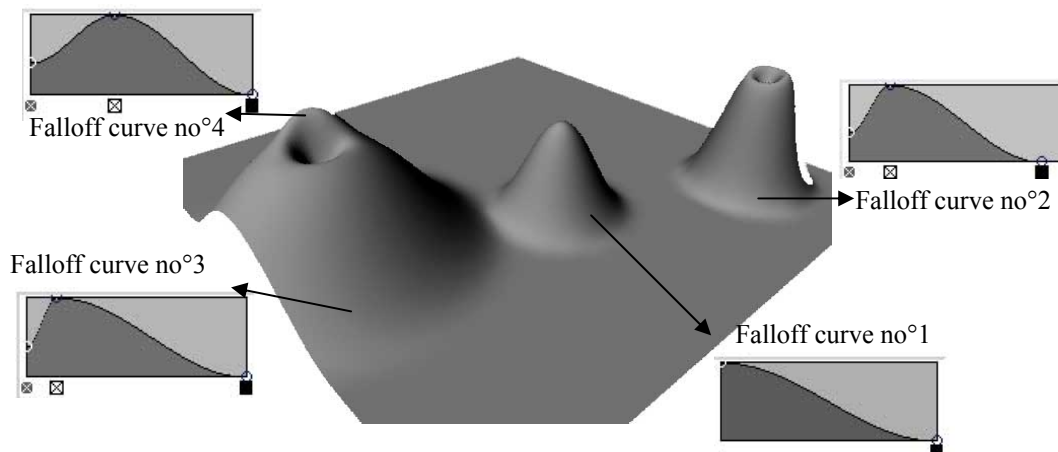


Fig. 59 – La courbe de « falloff » et les nœuds.

Le positionnement de chaque nœud sur la courbe est déterminé par deux variable ; « selected position » et « selected value ». Ceux-ci déterminent les distances horizontale et verticale des nœuds par rapport au centre de déformation. Ainsi les types d'interpolation (smooth, spline, linear, none) définissent le degré de courbure de l'enveloppe déformé.

4_ Sculpte deformer, Maya :

L'autre possibilité qui nous est offerte est l'option « sculpte surfaces tool » dont le fonctionnement est basé sur la translation des sommets par le coup d'un pinceau. Les pinceaux, ayant de différentes formes (cercle, rectangle), sont capable à déformer la surface sous quatre diverses opérations ; pousser, tirer, lisser et effacer.



Fig. 60 – Différentes forme du pinceau.

Dans le cas de pousser et tirer, la surface est déformée sous la forme du pinceau. Le lissage sert à lisser les surfaces bossées et l'opération effacer permet de retour à la dernière situation de la surface.

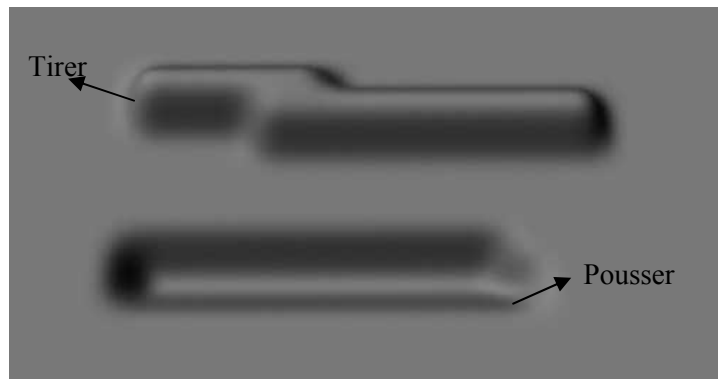
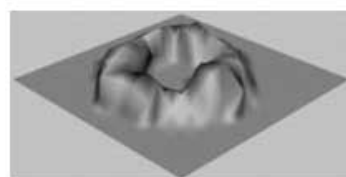
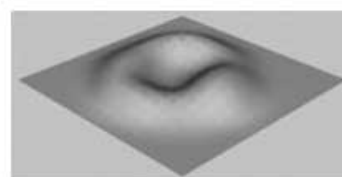


Fig. 61 – Les opérations pousser et tirer (push, pull).



Avant le lissage



Après le lissage

Fig. 62 – L'opération « Lisser ».

La déformation est contrôlée par deux variables ; le « vecteur de référence » définissant la direction dans laquelle les sommets sont translatisés et le « déplacement maximal » qui détermine la profondeur maximale de la déformation.

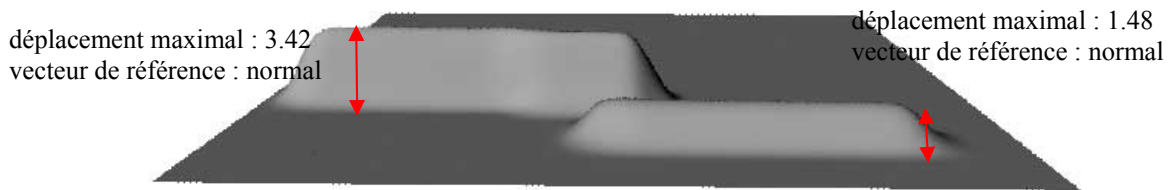


Fig. 63 – Le vecteur de référence et le déplacement maximal.

Les vecteurs de référence sont de divers types : - Normal ; déplace les sommets dans la direction du vecteur normal de la surface. – First Normal : les déplace dans la direction du vecteur normal du commencement du coup de pinceau. – view : les déplace parallèlement à la vue de la caméra. _ X, Y, Z : les déplacent dans la direction des axes X, Y, Z. _ U, V : les déplacent dans la direction de U ou V des isoparms.



Fig. 64 – Les vecteurs de références, Normal, First Normal, View (de gauche à droit).

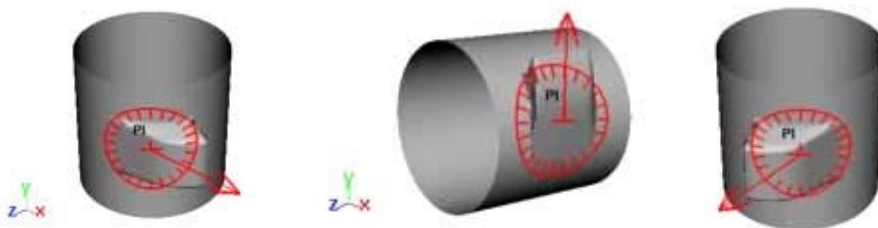


Fig. 65 – Les vecteurs de références, l'axe X, l'axe Y, l'axe Z (de gauche à droit).

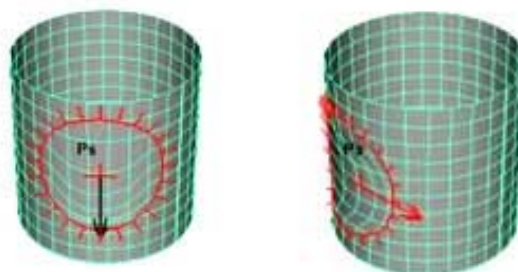


Fig. 66 – Les vecteurs de références, U et V (de gauche à droit).

Nous pouvons ainsi créer un sculpte déformeur désiré par application de l'outil « create sculpte déformer ». Ceci tend à créer des déformations rondes et sphériques par translation des sommets. L'outil en forme d'une sphère (the sculpte sphere), n'affecte que des surfaces nurbs et fonctionne sous trois modes : flip, stretch et project.

- En mode flip : la déformation apparaît quand l'outil s'approche la géométrie.
- En mode project : la géométrie est projetée sur la surface de l'outil.
- En mode stretch : la surface affectée s'étire ou renfle au moment d'approchement de l'outil.

Dans les deux derniers cas, l'extension de la partie déformée jusqu'à la surface d'origine, dépend de « Dropoff distance » qui délimite la zone d'influence. Le « Dropoff type » détermine la manière dont la déformation se baisse. Le mode « None », provoque une diminution soudaine et le mode « Linear » produit une baisse progressive. En plus la distance entre les sommets translatsés et la surface de l'outil (the sphere's surface) est définie par « déplacement maximal ».

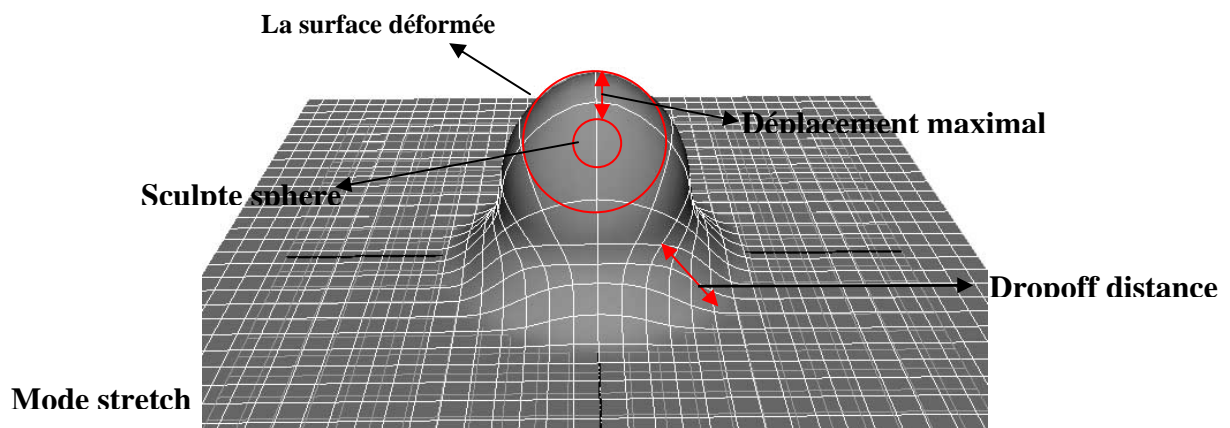


Fig. 67 – Dropoff distance, le Déplacement maximal, sculpte sphere et la surface déformée.

5_ Inflate, Blender :

L'effet d'inflation (gonflage) est le résultat d'affectation d'un des modes de sculptures de modelleur Blender. Parmi les six modes existants ; Dessiner, Lisser, Pincer, Gonfler, Attraper et Stratifier, (réalisés par six types de pinceaux), l'inflate (=gonfler), est capable de produire l'effet de renflement ou de gonflage sur la surface sélectionnée.

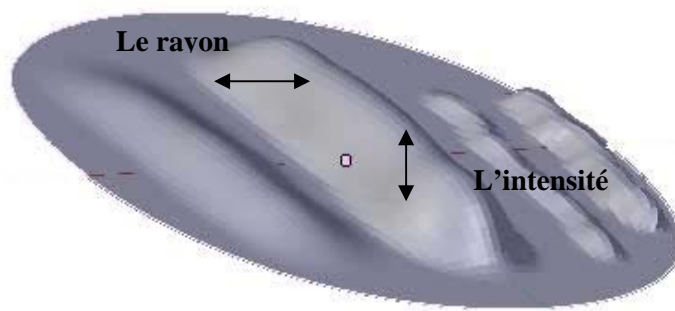


Fig. 68 – L'effet de l'inflation (gonflage) avec différents rayons et différentes intensités.

Le principe de cette opération est basé sur le déplacement des sommets dans la direction de leurs vecteurs normaux. Le rayon de la zone d'influence ou le rayon du pinceau est contrôlé par le variable « taille », et la « force » (strength) détermine l'intensité de l'effet du pinceau sur le maillage, et par conséquent la profondeur de la déformation.

6_ FFD, 3ds max, Maya :

La « déformation de formes libres » (free form deformation), permet de modéliser des formes arrondies, sphériques et gonflées. Le modificateur consiste d'un treillis entourant l'objet sélectionné. Le treillis comporte les points de contrôle sur ses trois dimensions.

La déformation s'effectue par manipulation de points de contrôle qui peuvent subir les transformations standard tel que la translation et rotation. Le déplacement ou la mise en échelle du treillis rend possible une déformation locale. L'option « définir volume » sert à l'ajustement de l'état initial du treillis (sans affecter l'objet à déformer).

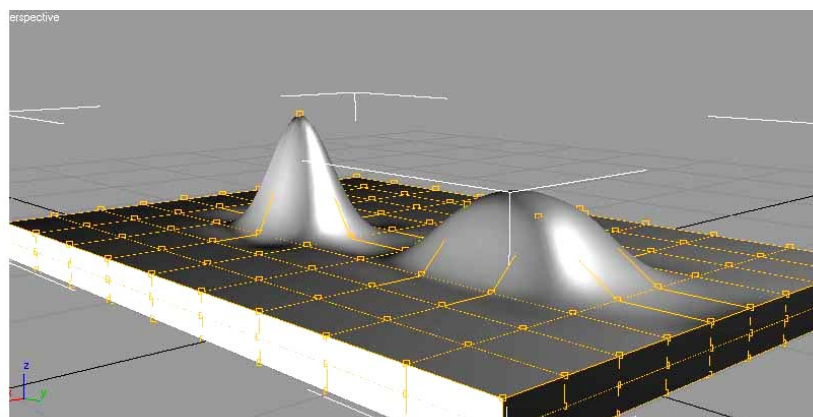


Fig. 69 – La boîte FFD, le treillis et les points de contrôle. La déformation par translation des points.

Les modificateurs répertoriés ci-dessus produisent l'effet de renflement, de gonflage, d'inflation de manières différentes. Chacun contrôle la déformation à travers de différents paramètres. L'ampleur de l'effet ou la profondeur de déformation est déterminée par divers variables tels que ; la « quantité », le « déplacement maximal », la « force » et le positionnement du point dont la manipulation produit la déformation. Ainsi le rayon de la zone d'influence est défini par des paramètres comme : « falloff raduis », « dropoff distance » et la « taille ».

Cependant ils existent des limites au niveau de la déviation de la surface renflée. Dans certains cas (par exemple, soft modification tool, et la boîte FFD), la définition et le changement de la direction de la zone renflée, sont réalisés par application d'un des outils de transformation soit de « translation ». Dans ce cas la déviation est contrôlée par la translation du manipulateur ou le point sélectionné, basée sur la distance entre l'état initial et final du point. Ceci signifie qu'il nous manque un paramètre définissant l'angle de déviation.

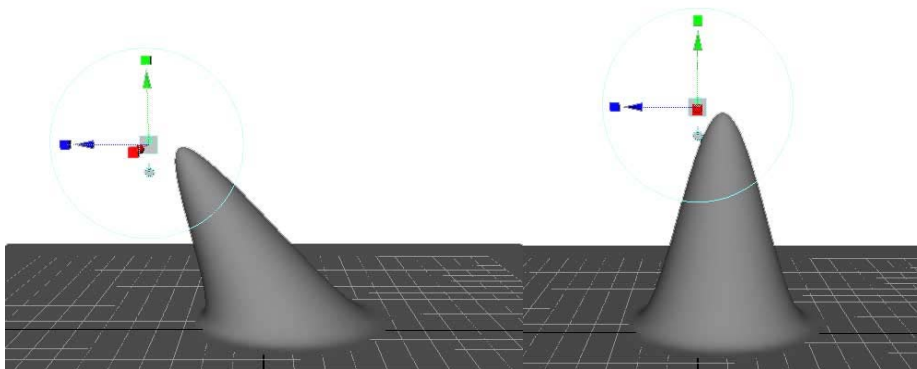


Fig. 70 – La translation du manipulateur ou le sommet sélectionné.

Le modificateur « comprimer » manque ainsi la possibilité de définir la direction du renflement. En plus l'effet est produit d'une manière globale affectant l'ensemble du volume. Il est délimité soit par les frontières du solide soit par les limites supérieures et inférieures. Ceci nous empêche d'avoir une déformation locale.

Dans le cas du modificateur FFD, la quantité du déplacement et la distance maximale du point sélectionné sont définis d'une manière empirique. Il nous manque des variables définissant la distance et l'angle de la déformation. En plus le résultat n'est pas satisfaisant car le treillis est déformé autour du point déplacé.

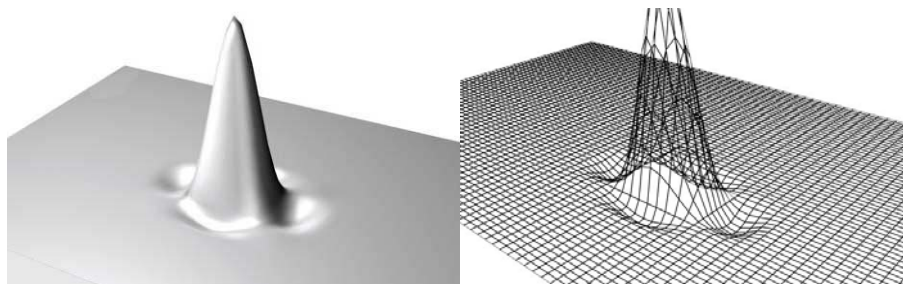











Fig. 71 – La déformation du maillage autour du point déplacé.

La zone d'influence est ainsi délimitée de différentes manières ; par les frontières du volume, par les arêtes du treillis ou du maillage ajouté au solide, par la forme du pinceau sculptant la surface ou définitivement par un cercle (par défaut).

3-3-2- Le corpus des exemples :

Dans le but de spécifier les caractéristiques de l'opérateur « Bomber », nous nous sommes appuyés sur un corpus des exemples comprenant des œuvres architecturales et des sculptures.

_ Les sculptures :

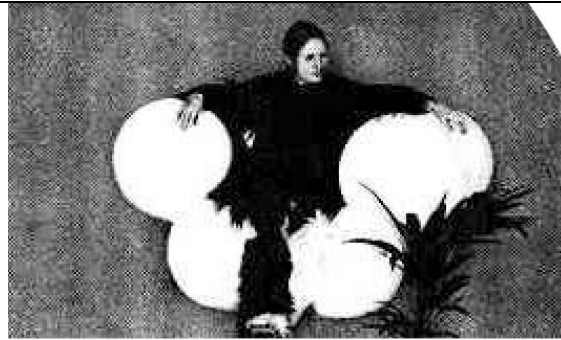
Leda 1941, albâtre		La tête de femme, 1931, De vinci	
Willendorf		Vase- Femme, 1949	
Lespugues		La femme enceinte, 1950- 1959, De vinci	
Mlinari		Baigneuse, 1931, De vinci	
Buste de femme, 1931, De vinci			

_ Parmi les œuvres architecturales des années 60 et 70, l'architecture « gonflable » représente des formes renflées, gonflées et cintrées qui s'enracinent dans les idées de différentes natures :

L'architecture gonflable offre des espaces aux formes courbes plus difficilement concevables qu'auparavant. Elle devient le symbole d'une architecture non monumentale, libre et éphémère. De jeunes architectes et artistes français (Aubert, Jungman, Stinco) présentent des habitations gonflables : les Dyodons. Cette machine à vivre gonflable, composée de cellules spatiales reliées en grappe par des membranes pressurisées, peut être suspendue en l'air ou flotter sur l'eau. Le projet est montré à l'exposition historique « Utopie : structures gonflables ». Ses auteurs créent, avec Jean Baudrillard et Hubert Tonka, un groupe, Aérolande, influencé par les situationnistes. Les projets Living Pod d'Archigram et Air House de Ron Herron proposent une modulation de l'habitable par les habitants. Le théoricien du groupe, Rayner Banham, invente, avec la Unhouse, un principe modulaire complexe reposant sur des technologies associées à un simple enclos pneumatique.

<p>1- AJS aérolande _ sculpture tendue _ paris, France, 1969 Structures autotandantes réalisées avec des tubes gonflables.</p>	
<p>2- Archigram, David Greene _ living Pod _ Londres, Angleterre, 1966 Une capsule rattachée à une structure urbaine, une maison, une caravane du « zoom land ».</p>	
<p>3- Archigram, Ron Herron _ Air Hab _ Londres, Angleterre, 1967. Air Hab est le développement d'un produit plus élaboré que la tente ou du nouveau nomade de la fin du XXe siècle. Chaque automobile peut contenir une maison gonflable –air hab- maisons regroupées, forment un « moment village ».</p>	

4- **Bernard Quentin** _
 molécule air _ 1967
 Structure gonflable
 permettant par assemblage,
 de réaliser des meubles, des
 maisons.. .



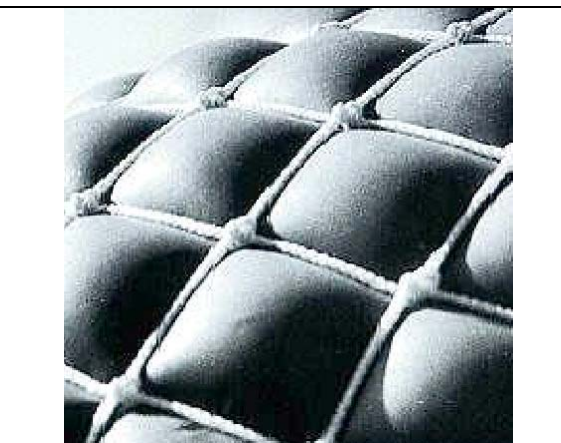
5- **Frei Otto** _ Air Hall _
 allemange
 Etude de forme pour une
 halle gonflable avec un
 drainage intérieur.
 Maquette en plâtre.



6- **Hans Walter Muller**
 _ Bulle _ landes France,
 1985. Architectes spécialisé
 dans le gonflable. Il vit dans
 son utopie et ses réalisations
 installé depuis 1971 dans sa
 « maison bulle » qu'il a
 édifiée sur un aérodrome
 privé à La Ferté-Allais, près
 de Paris. Cette une bulle de
 plastique. A l'intérieur
 l'architecte a conçue cet
 étrange mode de locomotion
 dans le cadre du festival du
 vent associé à la journée sans
 voiture.



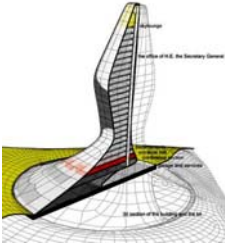


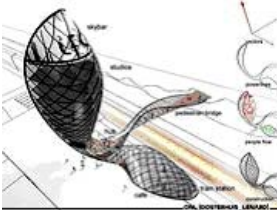

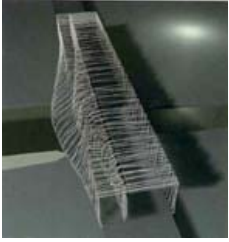


9- **Frei Otto** _ Pavillon
 Exposition Universelle _
 Rotterdam, Hollande 1958
 Pavillon exposition pour
 floriade. Structure
 gonflable renforcée par un
 réseau de câbles qui
 constitue une maille
 hexagonale.



10- **Frei Otto, Keno
 Tange et Ove Arup**_ city
 of Antartica _1971 Projet
 d'étude d'une halle gonflable
 comme protection contre le
 climat d'une ville.



_ Certains des projets architecturaux contemporains et surtout la catégorie d'architecture non-standard, renvoient à notre hypothèse, par le biais de la sémantique et la forme :

<p>1_ Oosterhuis_ OICHeadquarters_ Jeddah - 2006</p>		<p>5_ Greg Lynn _ Musée d'art et de technologie de l'Atelier Eyebeam _ New York, 2000-01</p>	
<p>2_ NOX_ Centre de George Pompidou-Two_ France-2003</p>		<p>6_ Oosterhuis_ bridge station and landmark tower_ kaiserslautern_ 2007</p>	
<p>3_ RESie_ (UN) Plug Building _ LaDéfense, paris, 2001</p>		<p>7_ RESie_ Wireframe, Pouilly France _ 2002</p>	
<p>4_ NOX _ Seoul Opera House_ Seoul, South Korea_ 2005</p>		<p>8_ NOX_ Prehistory Museum_ Gyeonggi-do_ South Korea_ 2005</p>	

Leurs morphogénèses décrites dans les chapitres précédents mènent aux formes finales qui permettent de décrire les opérations morphosémantiques tels que renfler, gonfler, boursoufler et bomber. L'enveloppe des bâtiments est affectée soit d'une manière globale, soit d'une manière locale. Ce dernier type d'affectation permet la répétition.

3-3-3- La famille de « Bomber » : la définition, la Paramétrisation :

Considérant les exemples illustrés dans les tableaux ci-dessus, un renflement peut être spécifié sous trois divers types ; une enveloppe bombée, un volume gonflé ou une surface bossée. Ceci nous permet de paramétrer ces trois opérateurs de manière plus détaillée.

_ L'opérateur « Bomber » :

L'opérateur « Bomber » consiste à créer des bosses ou des creux sur une surface. Le résultat se présente sous forme d'un effet multi-directionnel et localisé, délimité à une zone d'influence. Les points affectés subissent un déplacement vertical (et horizontal) selon leur distance à la surface d'origine et l'angle de déviation.

Nous définissons cet opérateur à travers les paramètres suivants :

- La surface à bomber
- Le point à sélectionner
- La distance maximale et l'angle de déviation, définissant le vecteur du déplacement
- La zone d'influence délimitée par une forme fermée ; cercle, ellipse
- Le type d'interpolation

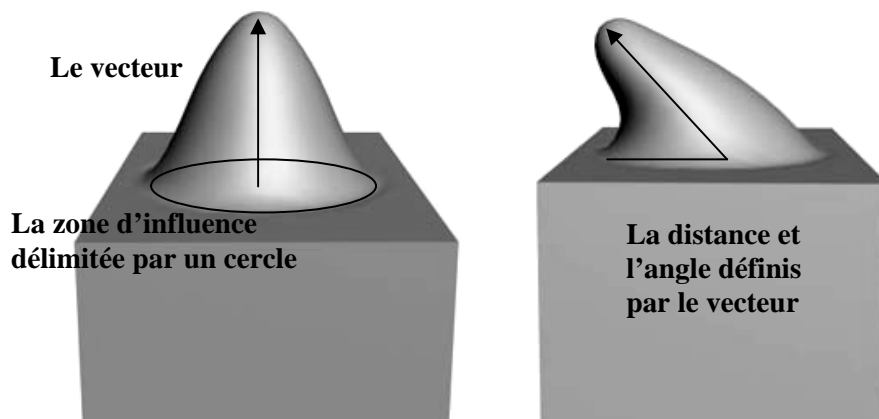


Fig. 72 – L'opérateur Bomber.

_ L'opérateur « Gonfler » :

L'opérateur « Gonfler » permet de produire une augmentation du volume en s'appliquant sur l'ensemble d'un volume. L'effet est délimité par les frontières du solide. Il est ainsi réalisé dans une seule direction. Le gonflage peut concerner une zone délimitée du volume. Dans ce cas les zones doivent être identifiées en tant que zones variantes ou invariantes.

Ceci nous permet de définir cet opérateur à partir des paramètres suivants :

- Le volume à gonfler
- Les zones variantes et invariantes à définir
- L'élasticité, (dépend du choix des matériaux)
- Le pourcentage, définissant la valeur de l'augmentation du volume par rapport à l'état précédent.

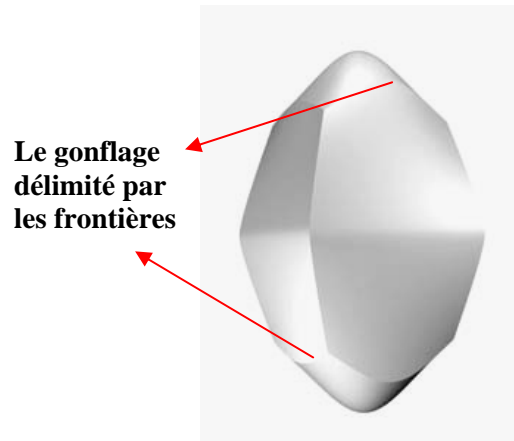


Fig. 73 – Le volume gonflé.

_ L'opérateur « Bosser » :

L'opérateur « Bosser » tend à marquer une surface en creux ou en relief en se basant sur l'interaction de deux objets. L'opérant « B » est affecté par l'opérant « A » en lui empruntant sa géométrie. L'effet se présente dans différentes directions. Il peut ainsi se produire d'une répétitive ce qui mène à définir une nouvelle opération étant ; « Bosseler ».

Nous définissons l'opérateur «bossier » par les paramètres suivants :

- Deux opérants à sélectionner
- La zone d'influence à définir
- Le vecteur d'affectation définissant la valeur de profondeur et l'angle de déviation

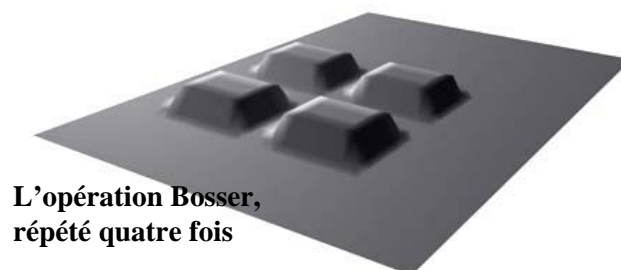


Fig. 74 – Une surface bossée en prenant la géométrie d'un opérant.

3-3-4- Mode de fonctionnement de l'opérateur « Bomber »:

Notre essai concernant la spécification de l'opérateur « Bomber » se termine par la définition du mode de fonctionnement et le modèle mathématique de l'opérateur. Afin de vérifier sa pertinence, le modèle proposé a été implémenté en langage C++ par Jean-Paul Wetzel sous la forme d'un plug-in pour Autodesk 3D Studio Max.

Le fonctionnement de l'opérateur « Bomber » est basé sur la transformation d'un modèle géométrique constitué des points (sommets), des arêtes et des faces, en un autre modèle, par le déplacement et la translation de l'ensemble des sommets du « modèle 1 » situés dans la zone d'influence.

Une telle translation opérée par un vecteur est décrite de manière suivante :

$$\text{Opérateur « Bomber »} * \text{Modèle}_1 = \text{Modèle}_2$$

$$\text{Opérateur bomber} = \text{Translation d'un point par un vecteur}$$

$$\text{Opérateur bomber} = \text{Translater} (P, V) = P'$$

De là l'opérateur est défini par son ensemble constitué de points et d'un vecteur qui appartiennent à l'ensemble des points et des vecteurs tel que :

$$P \in \{ \text{POINT} \} \quad V \in \{ \text{VECTEUR} \}$$

$$\begin{aligned} \text{Point} = \{ (X,Y,Z) / X \in \mathbb{R} \quad \text{et} \quad Y \in \mathbb{R} \quad \text{et} \quad Z \in \mathbb{R} \quad \text{et} \\ \text{si cercle} \quad \Delta r = |r_{p_i} - r_{p_1}| = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2 + (z_i - z_1)^2} \leq x_0 \\ \text{si ellipse} \quad \left(\frac{x}{m}\right)^2 + \left(\frac{y}{n}\right)^2 \leq 1 \quad \} \end{aligned}$$

$$\text{Vecteur} = (X,Y,Z)$$

Le « P' » étant le résultat du déplacement est calculé à partir des formules suivantes :

$$\text{Translater} (P_i, V) = P_i' \quad \rightarrow \quad P_i + V = P_i' \quad \rightarrow$$

$$P_i' \quad (x_i', y_i', z_i') :$$

$$X_i' = X_i + X_v = X_i + (K Z_i^3 \text{ Cos } \varphi)$$

$$Y_i' = Y_i + Y_v = Y_i + (K Z_i^3 \text{ Sin } \varphi)$$

$$Z_i' = Z_i + Z_v = Z_i + b \frac{[e^{-(x^2+y^2)} - e^{-x_0^2}]}{(1 - e^{-x_0^2})}$$

Le fait que notre essai est basé sur la transformation des solides maillés, dont le modèle est constitué de points (sommets), d'arêtes et de faces (et ainsi un polygone), nécessite la définition d'un tel modèle¹⁴ :

Modèle₁ : {P_i , A_i, F_i, Pol_i } \longrightarrow Modèle₂ : {P_i , A_i, F_i, Pol_i }

_ P_i = (x, y, z)

P_i ∈ { point } = P (X,Y,Z) /

Si Sphère: $-n < x < n$, $-n < y < n$, $-\sqrt{n^2-x^2-y^2} < z < \sqrt{n^2-x^2-y^2}$

Si Cube: $-n < x < n$, $-n < y < n$, $-n < z < n$

Si Ellipse: $-a < x < a$, $-b < y < b$, $-c\sqrt{1-\left(\frac{x}{a}\right)^2-\left(\frac{y}{b}\right)^2} < z < c\sqrt{1-\left(\frac{x}{a}\right)^2-\left(\frac{y}{b}\right)^2}$

_ A_i = (P_i, P_k)

$\forall a \in A \exists P_i \in P$ / l'origine de (a) = P_i

_ F_i = (P_i , P_k, P_j)

Le fait qu'en des maillage, l'ordre des sommets définit le vecteur normal perpendiculaire à la surface et sachant que ; P_i = (x, y, z) :

$\forall f \in F \exists P_i \in P$ / $F = \{(x,y,z), (x+1,y,z), (x,y+1,z)\}$

_ Pol_i = (P_i, P_k, P_j, P_l)
ou (A_i, A_k, A_j, A_l)

¹⁴ Nous considérons que le maillage possède (n) subdivision sur chacun de ses dimensions.

3-3-5- L'algorithme et le modèle mathématique :

En s'appuyant sur les définitions ci-dessus, l'opération « Bomber » passe par les étapes suivantes, ceux-ci tendent à décrire le fonctionnement interne de l'opérateur appliqué sur les valeurs introduites par utilisateurs :

- 1- Choix de la surface ou du volume à bomber
- 2- Choix de la géométrie de la zone d'influence :
 - cercle
 - ellipse

2-1 Si cercle :

- 2-1-1 Attribution du caractère P1 au point sélectionné par premier click
- 2-1-2 Attribution du caractère P2 au point sélectionné par deuxième click
- 2-1-3 Calcule des paramètres internes de l'opérateur :
 - Calcule de la valeur du caractère X_0 , étant la distance horizontale maximale entre les points P_1 et P_2 .

$$\Delta r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = X_0$$

- calcule du coefficient de déviation (horizontale) :

$$k = \frac{1}{b^2} \operatorname{tg}(\alpha)$$

- 2-1-4 Calcule des paramètres introduits par utilisateurs :
 - attribution de la valeur introduite pour D_{\max} , au caractère « b » étant le coefficient de déviation (verticale)
 - Angle 1 au α
 - Angle 2 au φ

2-1-5 Le déplacement : pour tous les points dont, le Δr du $P_1 < X_0$:

$$P_i (x_i, y_i, z_i) \longrightarrow P_i' (x_i', y_i', z_i')$$

$$Z_i' = Z_i + b \frac{[e^{-(x^2+y^2)} - e^{-x_0^2}]}{(1 - e^{-x_0^2})}$$

$$X_i' = X_i + (K Z_i'^3 \operatorname{Cos} \varphi)$$

$$Y_i' = Y_i + (K Z_i'^3 \operatorname{Sin} \varphi)$$

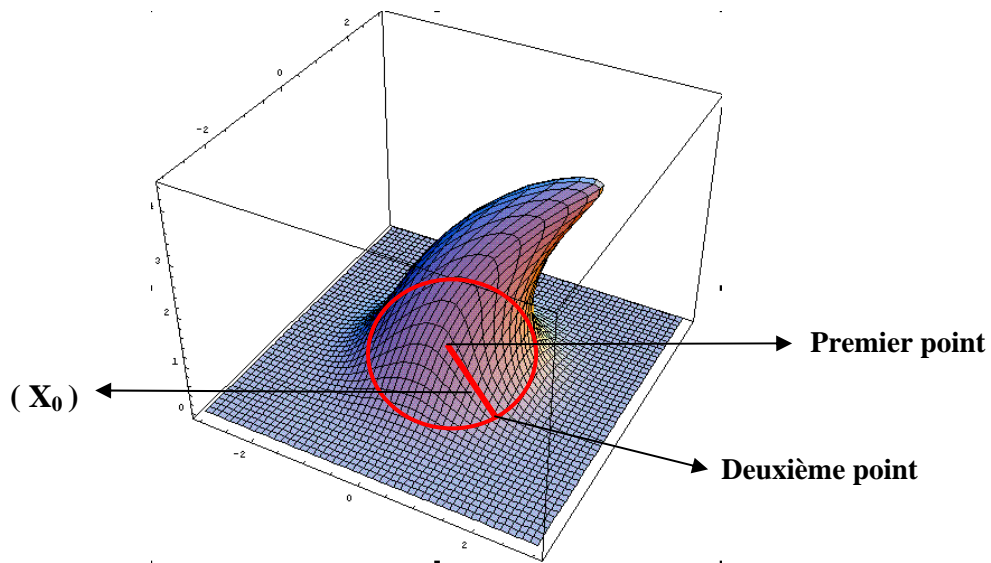


Fig. 75 – Application de l'opérateur « Bomber » sur une surface d'un volume, la zone d'influence est délimitée par un cercle.

2-2 si ellipse :

2-2-1 Attribution du caractère P_1 au point sélectionné par premier click

2-2-2 Attribution du caractère P_2 au point sélectionné par deuxième click

2-2-3 Attribution du caractère P_3 au point sélectionné par troisième click

2-2-4 Calcul des paramètres internes de l'opérateur :

- calcul de la valeur des caractères « m » et « n », étant les distances horizontales maximales entre les trois premiers points

$$\Delta r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = m$$

$$\Delta r = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2} = n$$

- calcul du coefficient de déviation (horizontale) :

$$k = \frac{1}{b^2} \operatorname{tg}(\alpha)$$

2-2-5 Calcul des paramètres introduits par utilisateurs :

- attribution de la valeur introduite pour D_{\max} , au caractère « b » étant le coefficient de déviation (verticale)
- Angle 1 au α
- Angle 2 au φ

2-2-6 Le déplacement : pour tous les points dont, $(\frac{x}{m})^2 + (\frac{y}{n})^2 \leq 1$:

$$P_i (x_i, y_i, z_i) \longrightarrow P_i' (x_i', y_i', z_i')$$

$$Z_i' = Z_i + b \frac{[e^{-\frac{(x/m)^2 - (y/n)^2}{1 - e^{-2}}} - e^{-2}]}{(1 - e^{-2})}$$

$$X_i' = X_i + (K Z_i'^3 \cos \varphi)$$

$$Y_i' = Y_i + (K Z_i'^3 \sin \varphi)$$

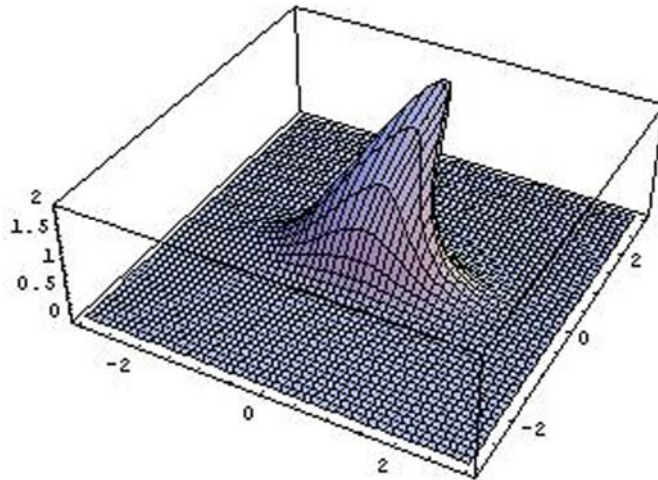


Fig. 76 – Application de l'opérateur « Bomber » sur une surface d'un volume, la zone d'influence est délimitée par une ellipse.

CONCLUSION

Ce travail nous révèle certains aspects concernant notre thème d'expérimentation, nous pouvons le classer de la manière suivante :

- Considérant la conception en tant qu'une activité dont le but est de chercher une solution à un problème donné, le processus de conception se caractérise par une démarche exploratoire, répétitive constituant des séquences partielles et itératives de clarification du problème, connaître ces éléments de base, générer et tester des alternatives, détecter les différences, faire le choix parmi les propositions, et ainsi de diriger le processus, réduire ou supprimer des différences détectées afin de trouver la solution finale.
- Les étapes intermédiaires et la qualité exploratoire d'une telle activité peut être représenté sous la forme d'un arbre décisionnel. Ceci vise à représenter les états du projet à travers ses nœuds. La transformation de chaque état en état suivant est ainsi retracée par des arcs reliant ces nœuds.
- Le processus de la conception architecturale étant ainsi considérée en tant qu'une activité de résolution du problème, consiste elle même en un processus de morphogenèse qui passe par un développement de l'idée de départ du projet.
- Le rapport définitif entre la forme et la sémantique consiste à l'orientation et au guidage du processus de l'évolution de la forme par l'idée et l'objective sémantique du concepteur.
- A cet égard, les idées de différentes natures tels que les objectifs fonctionnel ou structurel, le climat, le paysage et l'environnement, peuvent se présenter sous diverses formes.
- Dans le cas, très particulier, des projets architecturaux de type non-standard, la création de forme résulte d'opérations successives de transformation de forme appliquées sur une forme source. Celles-ci sont capables à traduire l'objectif sémantique et l'idée du concepteur.
- Ce cheminement constitué d'étapes intermédiaires de transformation d'une forme initiale en la forme finale, peut être réalisé à travers d'application successive d'opérateurs morphosémantiques. L'expérimentation de ces outils dans un processus de morphogenèse révèle leur validité.
- L'opérateur « Bomber » vise à résoudre les problèmes rencontrés lors de l'utilisation de modificateurs existants. Son caractère paramétrique permet d'appliquer et de contrôler l'angle de déviation de l'enveloppe affectée, sans avoir besoin d'ajouter d'autre modificateur.

La suite du travail et les perspectives :

L'arbre de décision est basé sur une structure linéaire qui ne comporte pas de cycles ou des retours en arrière, et ceci n'est pas compatible avec la démarche itérative de l'activité de conception. Certains outils actuels qui tendent à modéliser les objets géométriques à partir de primitives standards, héritent d'une structure arborescente, qui ne permet pas d'éditer l'état initial du processus. Pourtant les outils comme 3ds Max, vise à résoudre ce problème, mais ils comportent quand même certaines limites que nous allons exposer :

Le tracé des opérations appliquées sur l'objet initial, est inscrit dans un historique. Le problème est qu'il perd des informations lors d'un retour en arrière, ce qui empêche la comparaison simultanée des alternatives générées. Il serait alors intéressant d'élaborer un modèle capable de résoudre ce problème.

En ce qui concerne la relation entre la sémantique et l'évolution de forme, il serait possible de chercher le même rapport dans les autres domaines concernant l'activité créative de conception comme par exemple la sculpture, l'art décorative, la musique, le théâtre et ainsi la poésie. Dans le champ de l'architecture, il serait ainsi intéressant de développer cette étude vers de divers styles d'architecture, ce qui révèle l'influence de la culture et le contexte social et surtout les conditions temporelles (dans quels époques ont été générées ces œuvres).

D'autre part, à propos des outils de morphogenèse et le cas particulier de l'opérateur « Bomber », nous avons pris comme principe que notre modèle géométrique consiste d'un solide maillé. Sachant que ceci relève des problèmes concernant la taille du fichier, nous avons fait l'hypothèse que l'opérateur est capable à produire assez de subdivision strictement sur la zone délimitée où il s'applique. Ceci tel qu'il est programmé actuellement, est capable de déformer la surface sans abimer le maillage qui l'entoure. Pourtant il s'avère intéressant d'intégrer cette possibilité là en tant qu'une option interne de l'opérateur.

En plus il serait possible d'élaborer un modèle capable d'appliquer cet outil d'une manière répétitive conduisant à un effet fractal.

Enfin il serait important de réaliser un modèle ayant pour but d'organiser l'interaction de l'utilisateur ce qui renvoie à des travaux plus détaillés au niveau de l'interface.

INDEX DES FIGURES

<i>Figure. 1 – Le modèle de conception proposé par Asimow</i>	6
<i>Figure. 2 – L’arbre décisionnel (Peter Rowe)</i>	8
<i>Figure. 3 – Représentation de deux alternatives pour l’emplacement des circulations verticales et les entrées.</i>	13
<i>Figure. 4 - Ces images représentent l’intervention séquentielle de l’architecte sur le volume. « Cette succession de dessins montre la transformation de l’angle du bâtiment »</i>	14
<i>Figure. 5 - Les maquettes préliminaire, partielle et complète pour l’installation de l’exposition Cité de l’archéologie fictive : œuvres de Peter Eisenman, 1978-1988, Centre Canadien d’Architecture, Montréal, 1994.</i>	15
<i>Figure. 6- Le développement du projet et l’évolution de forme en explorant les alternatives.</i>	15
<i>Figure. 7 - Vue d’ensemble de La Chapelle de Notre-Dame du Haut à Ronchamp (1950-1955, Le Cobusier).</i>	16
<i>Figure. 8 _ Les éléments primaires de la forme.</i>	19
<i>Figure. 9 – La transformation par soustraction et d’éléments (A) et la transformation dimensionnelle (B)</i>	19
<i>Figure. 10 – Le schème convergent « Descendre ». Le Guggenheim Museum de New York, Frank Lloyd Wright (1959).</i>	21
<i>Figure. 11 - Le modèle et la maquette du travail.</i>	22
<i>Figure. 12 - L’organisation des espaces fonctionnels et l’espace publique.</i>	22
<i>Figure. 13 - L’organisation de blocs de maisons autour de cours. Le « sandwich » déformé</i>	23
<i>Figure. 14 - Le plan du site.</i>	24
<i>Figure. 15 - Les esquisses du concept et les diagrammes de circulation.</i>	24
<i>Figure. 16 - Les esquisses et le diagramme conceptuel.</i>	25
<i>Figure. 17 - Le plan du site.</i>	25
<i>Figure. 18 - AZADI cineplex, Téhéran, IRAN.</i>	25
<i>Figure. 19 - Une partie de la maquette réalisée.</i>	26

<i>Figure. 20 - L'acrylique circulaire sur une surface.</i>	26
<i>Figure. 21 - Capital Center Abu Dhabi, Dubaï.</i>	26
<i>Figure. 22 – La maquette du projet.</i>	27
<i>Figure. 23 – Les esquisses du concept.</i>	27
<i>Figure. 24 – La coupe A-A du bâtiment.</i>	28
<i>Figure. 25 – Le modèle du concept.</i>	28
<i>Figure. 26 – La maquette de l'organisation de l'espace.</i>	29
<i>Figure. 27 – BBC White city, London, England.</i>	30
<i>Figure. 28 – Le modèle tridimensionnel de la structure.</i>	30
<i>Figure. 29 – Le modèle numérique du projet.</i>	31
<i>Figure. 30 – Le renflement de L'enveloppe</i>	31
<i>Figure. 31 – La maquette alternative pour évaluation de système de structure.</i>	31
<i>Figure. 32 – Les maquettes conceptuelles.</i>	32
<i>Figure. 33 – Les vues de l'extérieur et l'intérieur.</i>	32
<i>Figure. 34 – Les modèles numériques. La crêpe pliée.</i>	32
<i>Figure. 35 – La maquette réalisée.</i>	33
<i>Figure. 36 – Le modèle numérique. La déformation de la façade.</i>	33
<i>Figure. 37 – OIC Headquarters, Jeddah.</i>	34
<i>Figure. 38 – Le modèle numérique construit à partir des bandes ondulantes.</i>	34
<i>Figure. 39 – L'étude du système de structure.</i>	35
<i>Figure. 40 – La maquette : l'intégration du volume dans le site.</i>	35
<i>Figure. 41_ Oosterhuis_2006 OIC Headquarters_Jeddah.</i>	41
<i>Figure. 42 – « OIC Headquarters », modélisé par application de « éditer maillage ».</i>	41
<i>Figure. 43 - Modélisation de « OIC Headquarters », par application de l'opérateur « comprimer». Déplacement du Gizmo et les renflements non symétriques.</i>	42

Figure. 44 – La modélisation de « OIC Headquarters » réalisée par un linge et le modificateur « révolution ».	42
Figure. 45 – L’objet initial : un cylindre.	43
Figure. 46 – L’application des opérateurs, Bomber et Serrer sur le cylindre.	43
Figure. 47 – Le « OIC Headquarters », modélisé par les opérateurs morphosémantiques.	43
Figure. 48 - Centre de George Pompidou-Two_Metz, France_NOX.	44
Figure. 49 – Le schéma décrivant les étapes suivis par l’architecte.	44
Figure. 50 – L’application de l’opérateur « Bomber ».	45
Figure. 51 – L’application de l’opérateur « onde ».	45
Figure. 52 – L’application de l’opérateur « Pousser ».	45
Figure. 53 – Création d’une surface de révolution à partir d’une courbe nurbs.	46
Figure. 54 -Renflement axial (le paramètre Quantité possède une valeur supérieure à zéro).	47
Figure. 55 – Compression radiale (le paramètre Quantité possède une valeur supérieure à zéro).	47
Figure. 56 – Le volume subit une Compression radiale avec une valeur inférieure à zéro pour le paramètre Quantité, et un renflement axial avec une valeur inférieure à zéro pour le même paramètre.	48
Figure. 57 –Les limites supérieure et inférieure tendent à limiter l’effet de compression.	48
Figure. 58 – Le rayon de « falloff ».	49
Figure. 59 – La courbe de « falloff » et les nœuds.	49
Figure. 60 – Différentes forme du pinceau.	50
Figure. 61 – Les opérations pousser et tirer (push, pull).	50
Figure. 62 – L’opération « Lisser ».	50
Figure. 63 – Le vecteur de référence et le déplacement maximal.	51
Figure. 64 – Les vecteurs de références, Normal, First Normal, View (de gauche à droit).	51
Figure. 65 – Les vecteurs de références, l’axe X, l’axe Y, l’axe Z (de gauche à droit).	51
Figure. 66 – Les vecteurs de références, U et V (de gauche à droit).	51

Figure. 67 – Dropoff distance, le Déplacement maximal, sculpte sphere et la surface déformée.	52
Figure. 68 -L'effet de l'inflation (gonflage) avec différents rayons et différentes intensités.	53
Figure. 69 – La boîte FFD, le treillis et les points de contrôle. La déformation par translation des points.	53
Figure. 70 – La translation du manipulateur ou le sommet sélectionné.	54
Figure. 71 – La déformation du maillage autour du point déplacé.	54
Figure. 72 – L'opérateur Bomber.	59
Figure. 73 – Le volume gonflé.	60
Figure. 74 – Une surface bossée en prenant la géométrie d'un opérant.	60
Figure. 75 – Application de l'opérateur « Bomber » sur une surface d'un volume, la zone d'influence est délimitée par un cercle.	64
Figure. 76 – Application de l'opérateur « Bomber » sur une surface d'un volume, la zone d'influence est délimitée par une ellipse.	65

BIBLIOGRAPHIE

[**Alexander 1971**], ALEXANDER, Christopher. De la synthèse de forme, essai. Dunod, paris, 1971.

[**Borillo 2002**], BORILLO, M., & GOULETTE, J.-P. Cognition et création, Explorations cognitives des processus de conception. Sprimont: Mardaga. 2002.

[**Boudon 2002**], BOUDON, Philippe. Echelle. Édition ECONOMICA, paris, 2002.

BOUDON, Philippe. POUSIN, Frédéric. Figures de la conception architecturale, manuel de figuration graphique, les pratiques de l'espace. Bordas, paris, 1988.

[**Ching 1996**], CHING, F. D.K. Architecture, space, and order. Edition VNR, United States, 1996.

Architecture non standard, exposition présentée au centre Pompidou, galerie sud. 10 décembre 2003 – 1 mars 2004. Édition du centre Pompidou, paris, 2003.

Foster and Partners. Instrumental Geometry. Techniques and technologies in morphogenetic design. 2006. Vol. 76. pp 42-53.

[**DE Biasi 2000**], Genesis, Manuscrits, Recherche, Invention. Centre Canadien d'Architecture. n° 14. Paris. 2000.

HENSEL, Micheal. Finding Exotic; An Evolution of Form Finding as a Design Method. Emergence; Morphogenetic Design Strategies. 2004. Vol.74. pp 27-33.

HUGH, Aldersey-williams. Zoomorphic, new animal architecture. Laurence King publishing, Ltd. London, 2003.

KOLAREVIC, Branko. Digital Morphogenesis and Computational Architecture. 4° Sigradi, 2000, Rio de Janiro.

[**Lebahar 1992**], LEBAHAR, J-Ch. Les Processus de Conception en Architecture. Le support des cours, 1992.

[**Porada 1995**], PORADA, Sabine. Voir L'idée, aide informatique à l'exploration des concepts architecturaux. Paris. Ministère de L'Equipment, du logement et des transports. 1995. 105 p.

[**Raynaud 1998**], RAYNAUD, D. Architecture comparée ; Essai sur la dynamique des formes. Edition Parenthèses, Marseille, 1998.

[**Rowe 1987**], ROWE, P.G. Design Thinking. MIT press, Cambridge, 1987.

[**Simon 2004**], SIMON, H. Les sciences de l'artificiel. Editions Gallimard, United States, 2004.

WEINSTOCK, Michel. Morphogenesis and the mathematics of emergence. Emergence; Morphogenetic Design Strategies. 2004. Vol.74. pp 11-17.

[Wetzel 2006], WETZEL, J.-P., BELBLIDIA, S., & BIGNON, J.-C. (2006). A proposal for morphological operators to assist architectural design. Paper presented at the DDSS 2006, 8th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven.

[Wetzel 2006], Wetzel, J.-P., S. Belblidia and J.-C. Bignon (2006). A Study for Parametric Morpho-Semantic Operators to Assist Architectural Conception at the Drafting Stage. CGIV06 / International Conference / 3rd Computer Graphics, Imaging and Visualisation Sydney, Australia: 8.

[Wetzel 2006], WETZEL, J.-P., BELBLIDIA, S., & BIGNON, J.-C. Proposition d'opérateurs morphosémantiques d'assistance à la conception de formes architecturales.

www.glform.com/

www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php

www.noxarch.com

www.asymptote.net

www.objectile.com