

## **Proposition d'opérateurs morpho-sémantiques paramétriques d'assistance à la conception de formes architecturales**

Jean-Paul Wetzel<sup>1</sup>, Salim Belblidia<sup>2</sup> et Jean-Claude Bignon<sup>2</sup>

MAP CRAI UMR n°694/CNRS/CULTURE,

<sup>1</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg,  
wetzel@crai.archi.fr

<sup>2</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy,  
belblidia@crai.archi.fr ; bignon@crai.archi.fr

**Résumé** : En phase de création, l'architecte introduit et valide ses hypothèses de formes en procédant à de nombreux ajustements. L'utilisation en phase esquisse des outils de modélisation existants s'avère alors incompatible avec le caractère itératif de ce processus. Partant de ce constat, l'enjeu repose sur la définition d'opérateurs capables de réaliser les allers et retours en cours de conception et d'intégrer des transformations géométriques avec un point de vue architectural. Des opérateurs morpho-sémantiques paramétrables permettraient de générer des variations formelles afin d'être, par ajustements successifs, en adéquation avec l'idée formulée par le concepteur. Nous allons définir quelques opérateurs et tenter de les appliquer à une modélisation tridimensionnelle d'un bâtiment de l'architecte Frank Gehry.

**Mots-clés** : Conception architecturale, processus de conception, modèles de communication et raisonnement cognitif, opérateurs morpho-sémantiques.

### **1 Introduction**

De plus en plus d'architectes exploitent les possibilités des modeleurs tridimensionnels pour créer de nouvelles formes. Mais le travail sur ces formes, notamment en vue de leur réalisation, nécessite souvent de nombreux ajustements, incompatibles avec une démarche linéaire de modélisation géométrique.

Dans cet article, nous faisons l'hypothèse que la genèse de ces formes résulte d'opérations successives de transformation de formes, fondées sur des objectifs sémantiques et guidées par des figurations imagées. Le concepteur passe ainsi de formes sources empruntées à des domaines divers (géométrie, nature, mécanique...) à des formes cibles capables d'accueillir le programme du maître d'ouvrage. Ce cheminement se fait par des allers et retours nombreux et des variations importantes entre différents états de la forme qui en font un processus itératif et paramétrique.

Dans cet article, nous rappelons les particularités de la conception architecturale en tant que processus de création de forme. Nous nous appuyons sur un corpus singulier qui est celui de l'architecture dite non standard dans laquelle la démarche de projet est guidée par une recherche formelle forte qui porte principalement sur l'enveloppe du bâtiment. Nous introduisons le concept d'opérateur morpho-sémantique, comme fonction de transformation et support de la dimension paramétrique du projet. Enfin, nous validerons nos hypothèses par une expérimentation qui confronte notre approche à un cas concret : le bâtiment "The New Hollhof" de Frank Gehry, à Dusseldorf.

## 2 Les particularités de la conception architecturale

Il est admis que la conception est une activité qui procède par raffinement successif ou par réduction d'incertitude fondée sur de nombreux allers et retours et permettant de passer d'un problème abstrait, à solutions multiples, à une solution concrète et unique.

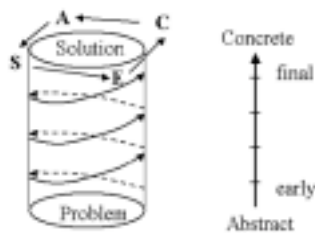


Fig. 1 – Cycle de conception (Asimow, 1962).

Dans ce cheminement incertain de la conception, la figuration imagée fonctionne comme une heuristique féconde (Zeisel, 1984). La figuration représente plus qu'un moyen de projection des idées, elle induit intrinsèquement la qualité des solutions du possible (Rowe, 1987). En effet, chaque type de représentation que l'architecte emploie, lui permet d'explorer un champ de solutions.

Les différentes figurations sont des idées matérialisées qui deviennent des « repères de la création » (Porada, 2005). Le concepteur garde par ce biais des traces de son activité cognitive et dispose d'une sorte de mémoire dans laquelle il va pouvoir puiser durant toutes les phases de l'activité de conception.

Du point de vue cognitif, nous faisons l'hypothèse que les activités de morphogenèse qui s'opèrent lors des processus décrits précédemment se fondent sur des opérations de transformations de formes guidées par la sémantique du projet.

Du point de vue des outils, nous avons nommé opérateurs morpho-sémantiques les fonctions qui permettent de traduire une idée par une opération plus ou moins complexe au niveau de la forme sur une forme préalable. Nous pensons qu'en

implémentant de tels opérateurs dans des modeleurs graphiques il est possible d'intervenir sur les formes de manière itérative et de répondre à certaines limites des modeleurs tridimensionnels qui ne peuvent modéliser qu'une forme préalablement définie, ne laissant ainsi aucune place à l'incertitude ou à l'aléatoire.

### **3 Définition des opérateurs morpho-sémantiques**

Dans ce chapitre, nous développerons l'idée d'opérations morpho-sémantiques qui intègrent l'objectif formel du concepteur et celle d'opérateurs qui en sont les instruments opérationnels.

#### **3.1 Les opérations morpho-sémantiques**

Il existe plusieurs types d'approches de la forme (normatives, fonctionnelles, formelles...) (Porada, 2005). Dans les approches créatives de la forme de type « sculpturale ou plastique » telles qu'elles sont pratiquées dans les architectures dites non-standard, le processus de transformation se fait largement par l'utilisation d'un savoir-faire gestuel (Funk et al., 2006). Celui-ci est identifiable à travers des verbes d'action comme étirer, dilater, tordre, pousser, plier... qui donnent leur sens aux gestes. Ces verbes connotent des actions physiques attachées aux formes et renvoient souvent de manière métaphorique à des idées ou des références formelles que l'architecte cherche à atteindre ou évoquer. Par exemple, le verbe onduler dénote la notion de vague ou de tôle ou encore celle plus abstraite de mouvement. Le langage devient ainsi un fil conducteur de création de la forme dans le processus de conception architecturale (Borillo et al., 2002).

Nous nommons opérations morpho-sémantiques les actions sur la forme qui traduisent ce savoir-faire gestuel. Elles sont généralement les composées de plusieurs opérations géométriques et sont dotées d'un ensemble de paramètres (axe, angles, portée...) pouvant être valués afin de produire des résultats différents.

Pour mettre au jour ces opérations, nous nous sommes appuyés sur l'analyse de différentes activités de conception à partir de bases documentaires. À partir des documents graphiques produits par les architectes nous avons identifié des états intermédiaires de conception et nous avons modélisé les variations de formes entre deux états en phase esquisse. Le but est de rendre les transformations identifiées reproductibles et paramétrables (Huang, 1999).

Nous proposons ainsi de modéliser le processus de morphogenèse comme un ensemble de gestes élémentaires de transformation de formes, combinables par chaque concepteur lors de chaque projet.

### 3.2 Définition des opérateurs morpho-sémantiques

Dans un travail antérieur (Wetzel et al., 2006), nous avons présenté le concept d'opérateur comme un instrument d'action morphologique (Shi et al., 2006). Ce précédent travail nous a permis en particulier d'identifier l'opérateur « tordre » à partir de l'exemple de la tour « Turning Torso » de S. Calatrava et de spécifier l'opérateur « plier » à partir de l'exemple du fauteuil « Alufelt chair » de Newson.

Les opérateurs sont des compositions d'opérations géométriques élémentaires (rotation, translation, union...) manipulées par les utilisateurs comme des fonctions intégrées qui leur confèrent leur sens.

Certains opérateurs identifiés peuvent exister sous la forme de « modificateurs » paramétriques dans des modélisateurs 3D comme 3dsmax ou Maya. Nous pouvons citer l'exemple du modificateur « courbure » qui permet, grâce à ses paramètres et à sa traduction formelle, la description de l'opérateur morpho-sémantique « cintrer » (figure 3).

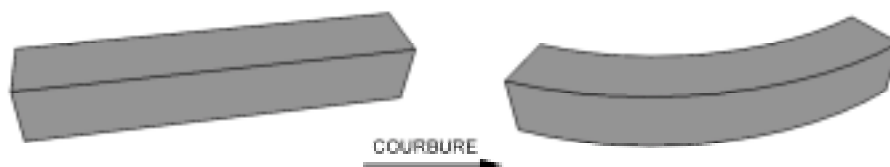


Fig. 3 – Exemple du modificateur « courbure ».

Cependant les modificateurs que nous avons répertoriés ne permettent pas de décrire toutes les opérations morpho-sémantiques. L'exemple de l'opérateur « plier » permet de l'illustrer. L'action de plier pourrait être spécifiée dans un modélisateur 3D par l'application d'un modificateur « courbure » limité à une portion de maillage. Mais le résultat obtenu n'est pas satisfaisant, le maillage s'interpénètre à l'intérieur même de l'objet ce qui corrompt le modèle. Dans ce cas, il apparaît utile de procéder à une autre caractérisation de cet opérateur (figure 4).

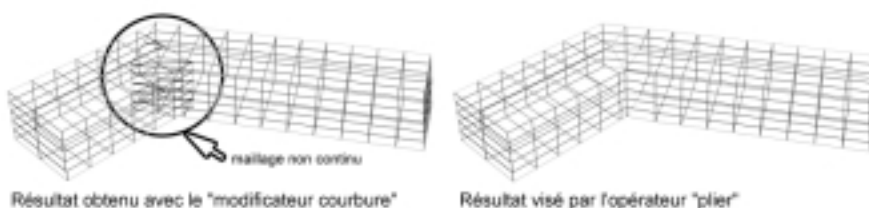
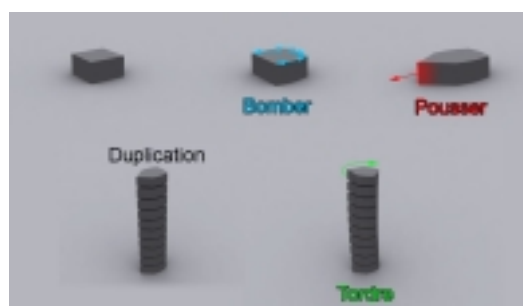


Fig. 4 – Apport de l'opérateur morpho-sémantique « plier ».

Nous consacrons ce chapitre à la spécification de trois opérateurs : tordre, bomber et pousser.



**Fig. 5** – Opérateurs nécessaires à la modélisation de l'enveloppe de la tour "Turning Torso" à Malmö (S. Calatrava).

Nous avons choisi d'utiliser comme formes sources des objets solides dont l'enveloppe est constituée de surfaces maillées, ce qui permet de les déformer aisément. Certains de ces opérateurs s'appliquent à une seule surface du solide alors que d'autres concernent le solide dans sa totalité. Ils sont tous dotés de paramètres liés à l'intensité de l'action et à son type d'application et de propagation. L'utilisation de valeurs opposées de paramètres peut mettre en évidence des opérateurs inverses : pousser/tirer, bomber/incurver, etc.

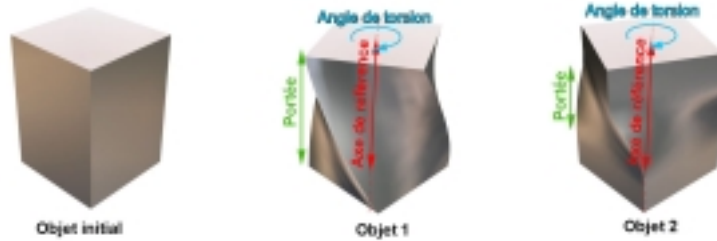
### **L'opérateur « Tordre<sup>1</sup> »**

L'opérateur « Tordre » permet de vriller un solide en appliquant à certains de ses points une rotation plus ou moins importante par rapport à un axe. La torsion peut concerner la totalité du solide ou seulement une zone délimitée par deux plans de référence. Nous définissons cet opérateur à partir des paramètres suivants :

- Le solide à tordre,
- L'angle de la torsion,
- Deux plans de référence parallèles : de valeurs de torsion nulle et maximale,
- L'axe de la torsion, définissant le centre de rotation des points sur chaque plan
- Le type de propagation de l'angle de torsion (linéaire, quadrique, cubique).

---

<sup>1</sup> en anglais, to twist

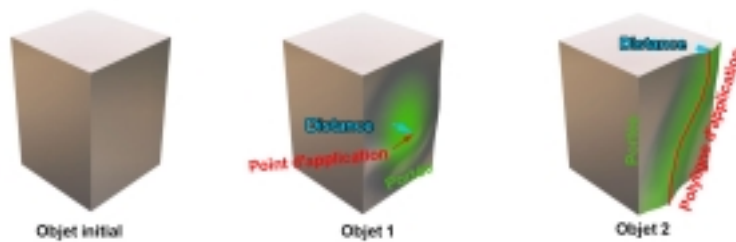


**Fig. 6** – Application de l’opérateur « tordre » avec des champs d'application différents. Dans le premier cas, les plans de référence sont extérieurs à l'objet. Dans le second, ils sont intérieurs et seule une partie de l'objet est affectée.

### L’opérateur « Bomber »

L’opérateur « bomber » permet concrètement de créer des bosses ou des creux sur une surface. L'effet peut se répartir à l'ensemble de la surface ou être circonscrit à une zone d'influence sur la surface. Les points situés dans cette zone subissent un déplacement variable selon leur distance au lieu d'application de l'opérateur. Nous définissons l’opérateur « bomber » à partir des paramètres suivants :

- La surface à bomber,
- La distance maximale de déplacement d'un point de la surface (induisant la courbure),
- Le lieu d'application : point ou courbe sur la surface, ayant le déplacement maximum
- La zone d'influence : délimitée par une courbe fermée sur la surface, voire le contour de la surface,
- Le type de propagation de la distance de déplacement (linéaire, quadrique, cubique).

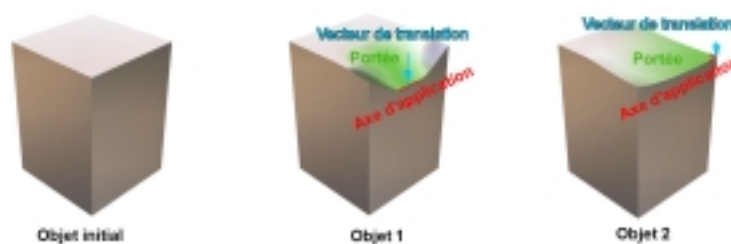


**Fig. 7** – Application de l’opérateur « Bomber » avec des zones d'application différentes.

### **L'opérateur « Pousser »**

L'opérateur « Pousser » consiste à appliquer un déplacement à un point du solide et à propager ce déplacement aux points situés dans un voisinage, ce qui a pour effet de modifier les surfaces situées dans cette zone d'influence. Nous définissons cet opérateur à partir des paramètres suivants :

- Le solide à pousser,
- Le point d'application sur le solide,
- Le vecteur de translation, représentant la direction et l'amplitude du déplacement,
- La portée, exprimée par une distance, qui définit une zone d'influence autour du point d'application,
- Le type de propagation, du déplacement maximum au déplacement nul.



**Fig. 8** – Application de l'opérateur « Pousser » avec des points d'application et des portées différents.

## **4 Application, modélisation d'un objet architectural**

### **4.1 La démarche de Frank Gehry**

Afin de vérifier la validité de nos trois opérateurs nous avons modélisé le bâtiment « The new Zollhof » (figure 9) à Dusseldorf construit par Frank Gehry. Ce choix a été motivé par les modes de fonctionnement de cet architecte en phase esquisse qui se caractérisent par une approche morphologique appuyée sur une pratique largement gestuelle.



**Fig. 9** – « The new Zollhof » à Dusseldorf de Frank Gehry. ("Frank Gehry 1996-2003," 2003)

En effet, tout comme les fondements que nous énonçons, le processus de recherche formelle chez F.Gehry relève d'une démarche itérative sur des supports divers (Van Bruggen, 1998). Après les premiers croquis de conception, la matérialisation de la forme est abordée sur des maquettes d'étude. Frank Gehry commence par dégager une géométrie avec des formes simples correspondant à un diagramme fonctionnel, qu'il va ensuite perturber par des opérations « sculpturales », en travaillant à même la maquette (Pollack, 2006).

Lorsque la maquette a atteint un degré de composition considéré comme satisfaisant, elle est affinée à l'aide de l'outil informatique (Catia de Dassault Systèmes) avant de faire l'objet de maquettes numériques de vérification à plus grande échelle.

#### **4.2 Hypothèse de morphogenèse à partir d'opérateurs morpho-semantiques**

Précisons tout de suite que notre approche n'a pas pour but de modéliser le cheminement exact mené par le concepteur pour produire une forme. Notre approche appartient au champ de l'expérimentation d'outils de morphogenèse. Nous souhaitons valider la faisabilité d'une forme par le biais d'opérateurs, en réalisant une hypothèse de cheminement de la forme qui correspondrait à un chemin possible lors de la conception.

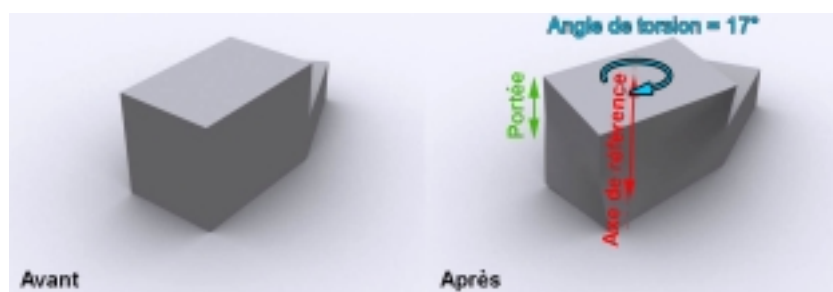
Nous commençons la modélisation en installant un diagramme fonctionnel à base de formes sources (six parallélépipèdes). Nous étudions ensuite plus en détail l'évolution d'un volume (représenté en foncé sur la figure) sous l'effet successif des opérateurs morphologiques. L'opérateur « tordre » (figure 11) est appliqué à la forme initiale afin de traduire le mouvement désiré de la forme. L'affaissement de la partie supérieure du volume est ensuite formalisé par l'opérateur « pousser » (figure 12). La modélisation s'achève par deux applications successives de l'opérateur « bomber » (figures 13 et 14) pour introduire de la fluidité à la forme et se rapprocher de la forme cible.



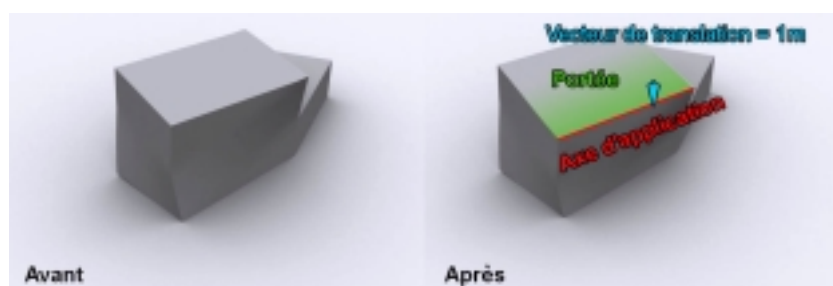
*Proposition d'opérateurs morpho-sémantiques pour l'assistance à la conception*



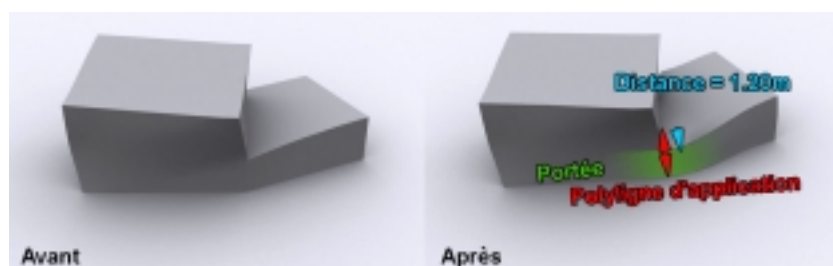
**Fig. 10** – Reconstitution du diagramme fonctionnel tridimensionnel du bâtiment « The new Zollhof » à Dusseldorf de Frank Gehry.



**Fig. 11** – Application de l'opérateur « tordre » sur la partie haute de la géométrie



**Fig. 12** – Application de l'opérateur « tirer/pousser »



**Fig. 13** – Application de l'opérateur « bomber »

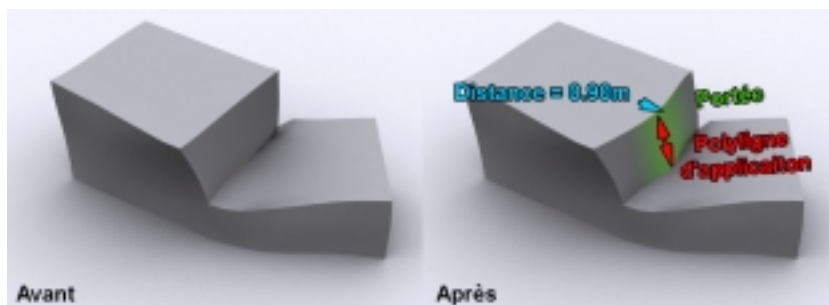


Fig. 14 – Application de l'opérateur « bomber » sur une autre partie de la géométrie

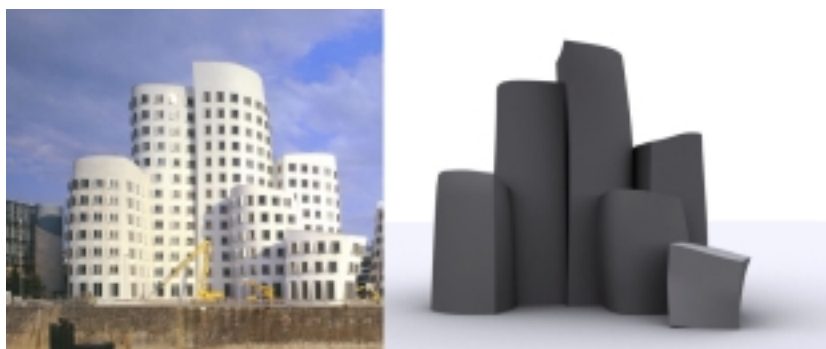


Fig. 15 – « The Zollhof » modélisé

## 5 Conclusion

Dans le présent article, nous avons tenté de montrer la pertinence du concept d'opérations morpho-sémantiques pour rendre compte des opérations de transformation de forme lors de la création architecturale.

La modélisation expérimentale que nous avons conduite a révélé que cette méthode de modélisation ne nécessite pas au préalable une connaissance détaillée de la géométrie à représenter, ce qui correspond à une démarche de conception, qui est, par essence, itérative et doit autoriser les retours en arrière et les ajustements.

Le processus de morphogenèse apparaît dès lors beaucoup plus adapté aux pratiques des architectes que la modélisation polygonale classique, du fait que les opérateurs sont facilement identifiables dans le processus de modélisation, et que leur caractère paramétrable peut permettre de développer des solutions spatiales différentes.

Deux limites apparaissent actuellement à ce travail et devront faire l'objet d'un approfondissement.

Nous n'avons étudié et implémenté qu'un petit nombre d'opérateurs (une dizaine) ce qui ne permet pas encore une généralisation suffisante en terme de modèle voire

même une typification. La suite de notre travail devra se porter sur l'analyse et l'identification de nouveaux opérateurs morpho-sémantiques (plisser, froisser...).

Dans la partie expérimentale, nous n'avons pour l'instant fait apparaître qu'un seul cheminement formel. Or l'introduction de la notion d'opérateur morpho-sémantique doit permettre de visualiser l'ensemble des transformations de formes en permettant au concepteur la sauvegarde des étapes intermédiaires et le retour en arrière. Afin de dépasser cette limite, nous souhaitons adosser nos opérateurs à un arbre décisionnel (Rowe, 1987) qui nous permettra de faire état des divers cheminements envisagés par l'architecte. Cet arbre comporterait des nœuds et des arcs qui correspondraient respectivement aux états stables et au processus de transformation morphologique.

L'objectif final reste pour nous, la conception d'un environnement de modélisation 3D, en réutilisant et en créant des fonctions de transformation morphologique, permettant l'exploration de nouvelles écritures architecturales.

## Références

- Asimow, M. (1962). *Introduction to Design*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Borillo, M., & Goulette, J.-P. (2002). *Cognition et création, Explorations cognitives des processus de conception*. Sprimont: Mardaga.
- Frank Gehry 1996-2003. (2003, 11/2003). *El Croquis*, 117, 307.
- Funck, W. v., Theisel, H., & Seidel, H.-P. (2006). *Vector Field Based Shape Deformations*. Paper presented at the SIGGRAPH 2006, Boston, Massachusetts, USA
- Huang, Y.-H. (1999, 5-7 May 1999). *A Cognitive Study of Shapes and Functions in Design Sketches: Simulating an Industrial Design Case by Neural Networks*. Paper presented at the CAADRIA '99, Shanghai.
- Pollack, S. (Writer) (2006). *Esquisses de Frank Gehry*. In T. W. Mirage Entreprises, New York's American Masters et LM Media GmbH. (Producer). United States.
- Porada, S. (2005). *L'instrumentation de la création architecturale Scan'05*. Paris.
- Rowe, P. G. (1987). *Design Thinking*. Cambridge: The MIT Press.
- Shi, L., Yu, Y., Bell, N., & Feng, W.-W. (2006). *A Fast Multigrid Algorithm for Mesh Deformation*. Paper presented at the SIGGRAPH 2006, Boston, Massachusetts, USA
- Van Bruggen, C. (1998). *Frank O. Gehry Guggenheim Museum Bilbao*: Harry N. Abrams.
- 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.
- Zeisel, J. (1984). *Inquiry by Design: Tools for Environment-Behaviour Research*. Cambridge: Cambridge University Press.