

Paramètres environnementaux et mécanismes de conception évolutionnaire.

Philippe Marin¹, Jean-Claude Bignon², Hervé Lequay¹

¹ UMR MAP 694 / ARIA Ecole Nationale Supérieure
d'Architecture de Lyon

² UMR MAP 694 / CRAI Ecole Nationale Supérieure
d'Architecture de Nancy

RESUMÉ. Cet article traite de l'intégration de mécanismes de conception évolutionnaire au sein d'un outil d'assistance à la conception architecturale. L'algorithme génétique implémenté utilise une fonction d'évaluation convoquant des paramètres environnementaux. Ce sont les qualités solaires passives de l'objet en cours d'étude qui sont évaluées. Au-delà de ce mécanisme d'optimisation énergétique, l'interaction homme machine permet la prise en compte d'une part de subjectivité dans la conduite du processus. Nous noterons notamment un basculement cognitif induit par l'utilisation des outils génératifs.

MOTS-CLÉS. Conception évolutionnaire, paramètres environnementaux, solaire passif, algorithme génétique.

Introduction

La conception évolutionnaire prend ses racines dans les sciences informatiques, les sciences de la conception et la biologie. C'est une branche de l'informatique évolutionnaire qui prolonge l'utilisation des outils CAD et des logiciels d'analyse. Son principe est fondé sur la notion d'évolution naturelle d'une population par amélioration itérative de sa performance globale.

Dans ce papier, nous souhaitons explorer les possibilités offertes par l'intégration de ces concepts, issus de la biologie, au processus de conception architecturale. Nous pensons que des mécanismes évolution-

naires peuvent aider l'architecte dans son activité de conception notamment en stimulant sa créativité. Nous nous intéressons plus particulièrement aux phases initiales de la conception, durant lesquelles l'architecte est à la recherche d'une idée et nous proposons un outil d'assistance à la prise de décision.

Nous intégrons dans cette expérimentation la composante environnementale comme indicateur de performance de notre approche paramétrique. Les facteurs environnementaux que nous retenons sont relatifs aux qualités solaires passives de l'objet en cours d'étude. Ces derniers guideront le processus évolutionnaire. Notre objectif est de montrer de quelle manière des outils génératifs sont adaptés au processus de conception architecturale et comment l'intégration des paramètres environnementaux en phase initiale de la conception peut être support à une démarche innovante.

Dans une première partie, nous rappellerons les fondements de la conception évolutionnaire, puis nous décrirons le modèle environnemental convoqué. Enfin nous présenterons notre expérimentation basée sur le développement d'un outil d'assistance à la prise de décision.

Conception évolutionnaire intégrale

Il existe 4 grandes familles d'algorithmes évolutionnaires : les algorithmes génétiques créés par John Holland en 1973, la programmation évolutionnaire, créé par Lawrence Fogel en 1963, les stratégies évolutionnaires, créées par Ingo Rechemberg en 1973 et plus récemment la programmation génétique développée par John Koza en 1992.

L'algorithme génétique est probablement le plus connu parmi les méthodes de recherches évolutionnaires. J. Holland s'est intéressé à la transposition des mécanismes naturels au sein d'outils informatiques. L'objectif était double : approfondir l'analyse des mécanismes adaptatifs dans la nature et concevoir des algorithmes possédant les propriétés essentielles des systèmes naturels. Dans le champ de l'architecture, nous citons les travaux de Caldas (Caldas et al. 2003) qui utilise des algorithmes génétiques comme mécanisme d'optimisation de la conception du bâtiment, en cherchant à minimiser les consommations énergétiques et les coûts de construction. Malkawi (Malkawi et al. 2003) propose un environnement java utilisant un algorithme évolutionnaire basé sur l'évaluation des performances des fluides. Nishino (Nishino et al. 2001) offre un exemple d'application évolutionnaire interactive comme support

à un processus créatif. L'un des auteurs majeurs dans le champ de l'architecture évolutionnaire est John Frazer, qui a convoqué des techniques génétiques dans ses recherches sur l'optimisation des façades depuis 1968 et qui utilise les algorithmes génétiques depuis 1990 (Frazer et al. 2002). Il explore les possibilités d'expression des concepts architecturaux sous forme de règles génératives permettant l'évolution et l'évaluation de leur développement de manière accélérée à l'aide des outils informatiques.

En général, la conception évolutionnaire peut-être décomposée en 4 catégories : l'optimisation par conception évolutionnaire, la conception évolutionnaire créative, l'art évolutionnaire et la vie artificielle évolutionnaire (Bentley 1999). Nous nous intéressons particulièrement aux dimensions liées à la créativité et à l'optimisation, domaine communément appelé conception évolutionnaire intégrale.

Les algorithmes évolutionnaires ont la propriété de faire évoluer l'espace des solutions. Ce caractère évolutionnaire n'est pas spécifié au sein de l'algorithme, il en est une propriété émergente. L'algorithme maintient un ensemble de solutions, autorisant les meilleures solutions à se reproduire et forçant les moins bonnes à disparaître. Une solution « enfant » hérite des caractéristiques de ses « parents » avec une légère variation aléatoire. Chaque individu est évalué à l'aide d'une fonction d'évaluation.

Les algorithmes génétiques sont traditionnellement utilisés pour parcourir un espace de solutions et résoudre un problème d'optimisation. Mais ils peuvent être avantageusement convoqués dans le cadre d'activité de conception innovante. Les principales caractéristiques de l'approche évolutionnaire sont :

- La constitution d'une population de solutions plutôt qu'une solution unique.
- La sélection d'individus au regard de leur adaptation à la fonction d'évaluation établie.
- La génération de nouvelles solutions à l'aide de mécanismes de mutation et de croisement des individus.

Avec l'avènement des technologies numériques dans le champ de la conception, le rôle du designer s'est transformé. Du concepteur créateur d'une œuvre, d'une solution, unique, on assiste aujourd'hui à l'émergence d'un meta-designer créateur d'un ensemble élargi de solutions répondant aux contraintes du problème (Soddu 2004).

Paramètres environnementaux : Qualités solaires passives

Le contexte environnemental et énergétique actuel nous oblige à repenser notre développement socio-économique et culturel en le fondant sur de nouvelles valeurs. Les premières prises de conscience « écologiques », qui ont donné naissance à l'architecture dite solaire ou bioclimatique, dès le milieu des années 60, avaient déjà induit des changements d'attitude en particulier sur les implications énergétiques de l'ensoleillement dans la construction. Cette approche a conduit à redécouvrir certaines solutions traditionnelles visant à capter l'énergie solaire disponible en hiver tout en se protégeant des effets solaires d'été. L'adaptation de ces solutions aux modes constructifs contemporains a conduit à différentes propositions dont le prototype extrême est celui de la maison « capteur ». L'ouvrage de G. Borasi (Borasi et al. 2007) offre un panorama des dispositifs solaires passifs explorés en Amérique du Nord suite à la première crise pétrolière. Nous considérons ici les dispositifs solaires passifs comme une réponse pertinente à l'intégration des contraintes et caractéristiques environnementales.

Nous pouvons synthétiser la démarche solaire passive par la volonté de capter, stocker et redistribuer l'énergie solaire. Quatre paramètres vont induire les qualités et l'efficacité des dispositifs :

- La surface de la tache solaire ou la surface des parois captantes.
- L'angle d'incidence des rayons solaires.
- Les caractéristiques des matériaux.

Le modèle énergétique que nous retiendrons est fondé sur la Méthode des Degrés Jours Unifiés (DJU). Cette méthode a été retenue du fait des simplifications qu'elle propose. En effet, au stade initial de la conception tous les paramètres ne sont pas identifiés et il est nécessaire de faire des approximations simplificatrices. De plus nous nous intéresserons plus particulièrement à la notion de confort d'hiver.

La figure 1 donne une description du modèle énergétique développé. Les paramètres environnementaux sont stockés dans des tableaux : l'irradiation moyenne en fonction de l'orientation et de l'angle d'incidence, la température moyenne, les coefficients de résistance thermique, le facteur solaire du vitrage et la classe d'inertie. Nous retenons les valeurs officielles associées à une zone climatique H1. Dans notre expérimentation, les valeurs des coefficients de résistance thermique et de facteur solaire sont fixés a priori. Ces valeurs sont les suivants : facteur solaire (en %) $S_g = 75$, correspondant à un double vitrage 4/12/4. Coefficient de transmission surfacique thermique du vitrage (en $W/m^2.K$)

$U = 2,9$. Coefficient de transmission surfacique thermique d'une paroi opaque (en $W/m^2.K$) $U = 0,4$. Un mécanisme exploratoire pour l'ajustement de ces valeurs pourrait être envisageable dans un deuxième temps.

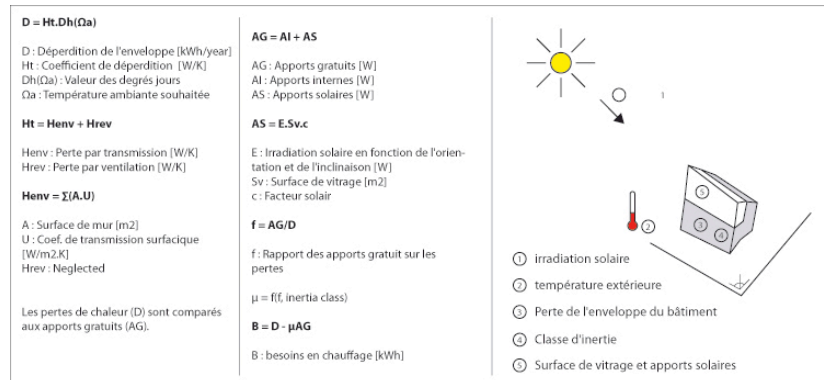


Figure 1. Méthode des Degrés Jours Unifiés

Expérimentation

Contexte

Nous nous intéressons plus particulièrement aux phases initiales de la conception architecturale, durant lesquelles le concepteur est à la recherche d'une idée. Concernant l'analyse de la conception architecturale nous renvoyons aux précédentes publications traitant de l'adaptation des mécanismes évolutifs aux processus de conception architecturale (Marin et al. 2007) ainsi que la place jouée par ces mécanismes dans un processus créatif (Marin et al. 2007 2).

Notre proposition est fondée sur un dispositif génératif convoquant l'évaluation des qualités solaires passives de l'objet en cours d'étude, celle-ci servant à guider l'évolution de notre population. Le concepteur est ici en situation de recherche d'une solution formelle, il est face à un ensemble de propositions, d'analogues architecturaux, recelant des potentialités et dont les qualités énergétiques sont acceptables voire optimales, les solutions les moins performantes ayant été de fait écartées par l'algorithme. Sur la base de cette exploration, le travail de conception pourra ensuite être conduit plus loin, jusqu'au développement final du projet.

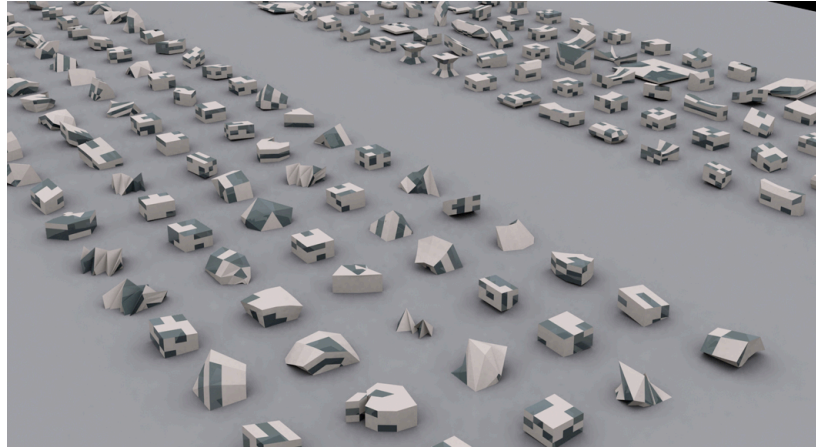


Figure 2. Population possible

Nous utilisons le logiciel 3DSMax© et son langage interne Maxscript pour encoder nos algorithmes. Le modèle énergétique, développé en Maxscript, est basé sur la Méthode des Degrés Jours Unifiés.

Forme initiale.

La forme initiale correspond au génome élémentaire, c'est le premier individu de la population. Ici l'utilisateur initialise la procédure. Cette forme initiale est une description géométrique schématique, un volume esquissé, une première enveloppe répondant à certaines contraintes non nécessairement explicites comme : les dimensions de la parcelle, les surfaces désirées, les intentions formelles du concepteur, une première projection des représentations mentales du concepteur. Dans cet exemple, nous utilisons une simple boîte. Les trois paramètres suivants jouent un rôle crucial dans le processus d'évolution : les dimensions générales, la forme générale et la description topologique, c'est-à-dire le nombre de sommets, segments et faces. Ces paramètres resteront inchangés pendant tout le processus. L'importance des deux premiers paramètres semble évidente. L'influence du troisième est moins directe, mais nous pouvons facilement anticiper le fait que plus la définition topologique de l'objet sera riche, plus les déformations seront continues.

Moteur d'exploration de la forme

Dans la nature la compréhension d'une forme passe par la description de son processus génératif, autrement dit par sa morphogénèse. Dans notre expérimentation nous fondons notre transformation morphogénétique sur la « stratégie par métamorphose », formulée par Ching et explicitée ci-après. L'objectif n'est pas l'identification d'une solution à un problème donné, mais plutôt la définition d'un processus répondant aux contraintes formulées, et qui lors de son exécution conduira à une famille de solutions.

Ching F. (Ching 1979), dans ses travaux sur la conception de la forme architecturale, identifie deux stratégies principales de production de la forme. La première peut être représentée métaphoriquement par un homard, et consiste à créer une forme à partir de la combinaison et de l'assemblage de formes fondamentales. La forme originale est composée de formes unitaires qui sont ajoutées, juxtaposées et assemblées. Cette stratégie est appelée « transformation par composition ». La seconde stratégie est représentée par une limace. Suivant cette approche, la forme originale est déformée morphologiquement, mais sa topologie est conservée. Ici un certain nombre d'opérateurs de déformation peuvent être utilisés, tordre, plier ou étirer en sont quelques exemples. Nous appelons cette stratégie la « transformation par métamorphose ».

Notre moteur d'exploration formelle est basé sur la transformation par métamorphose. Des opérateurs sont appliqués successivement. Dans le logiciel 3DS ces opérateurs sont appelés « modificateurs ». Nous utilisons cinq d'entre eux : Effiler, tordre, étirer, incliner, courber.

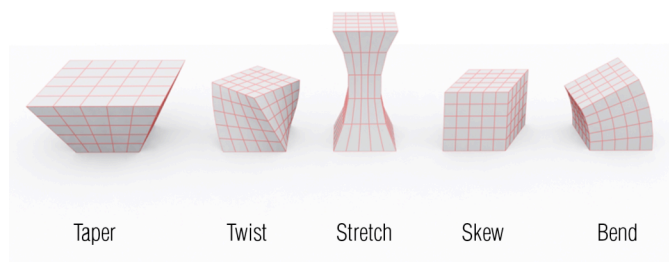


Figure 5. Liste des modificateurs

Le moteur d'exploration applique au modèle initial une série d'opérateurs de transformation, et modifie la valeur des paramètres asso-

ciés à chacun d'eux à travers des opérations de croisement et mutation du génome tout en suivant un processus d'évolution naturelle.

Moteur d'exploration des matériaux

Le moteur d'exploration des matériaux permet de modifier les propriétés associées à chaque facette. Ces propriétés sont essentiellement le coefficient de résistance thermique de la paroi et le facteur solaire associé aux parois de type vitrage. Ces qualités physiques sont stockées dans un tableau, et notre algorithme assigne de manière aléatoire à chaque facette un index relatif aux propriétés physiques. Les polygones sont labellisés et notre moteur d'évaluation fera référence à ces propriétés pour le calcul des qualités énergétiques de nos analogons architecturaux. Ce tableau d'associations représente notre « gène M ».

P-type and G-type

L'utilisation d'un algorithme génétique implique la représentation de chaque individu, d'une part sous la forme de son phénotype, P-type, correspondant à sa représentation géométrique, son expression génétique, et d'autre part, sous la forme de son génotype, G-type, correspondance encodée du P-type. Le G-type symbolise le gène de chaque individu, l'ensemble des gènes forme le chromosome.

Dans notre expérimentation, le G-type est exprimé en P-type sur une approche par dérivation. Rosenmann (1997) établit une distinction entre les approches par transformation et celles par dérivation. Cette dernière se base sur un principe d'exécution d'un ensemble de règles, exécution qui permettra la construction du P-type. Ce fonctionnement semble plus proche des mécanismes biologiques et génétiques identifiés chez les êtres vivants. Le G-type représente une séquence génératrice de la forme.

Nous précisons ici la construction de notre G-type. Celui-ci est composé principalement de deux gènes, l'un décrivant les propriétés physiques de chaque facette, appelé « gène M », l'autre décrivant la dimension formelle, appelé « gène F » (figure 5). À tout moment, le concepteur a la possibilité d'éditer le « gène F », et de modifier manuellement ses paramètres.

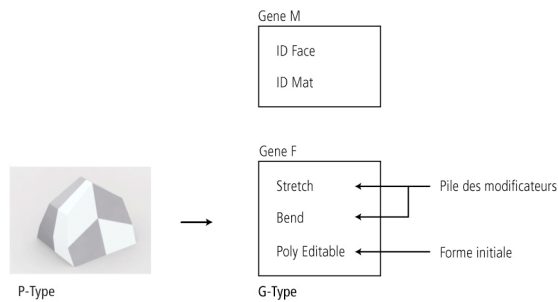


Figure 6. Correspondance entre P-type et G-Type

Croisement et mutation

La première population est construite aléatoirement. Chaque individu est évalué par le moteur d'évaluation. Deux parents sont sélectionnés sur leur performance énergétique et leurs chromosomes sont scindés et intervertis. Le modificateur du premier parent prend la place du modificateur du second parent. Les propriétés physiques de chaque facette sont croisées selon le même principe. Les individus enfants forment une nouvelle population et sont évalués à leur tour. Le processus est interrompu une fois le nombre maximum de générations atteint.

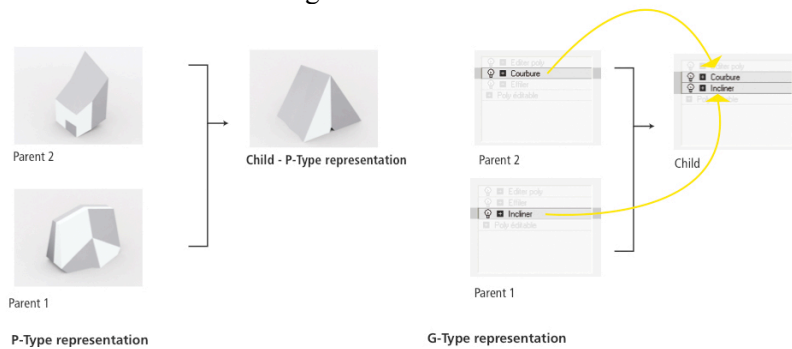


Figure 7. Représentation du P-type et du G-type lors de l'opération de croisement du gène F.

La mutation d'un individu est basée sur le remplacement aléatoire d'un ou plusieurs paramètres de chacun des chromosomes. L'individu mutant est ensuite placé dans la nouvelle population et évalué à son tour.

Les mécanismes de mutation et de croisement peuvent être effectués à l'intérieur d'un modificateur/allèle,, dans ce cas seules les valeurs des paramètres sont modifiées, ou à l'intérieur d'un gène, ici l'ensemble du modificateur est remplacé.

Mécanismes d'évaluation

Dans un contexte de conception innovante, non routinière, la solution retenue n'est pas forcément la solution optimale au regard de son efficacité énergétique. L'objectif est la génération de propositions formelles satisfaisant un certain nombre de contraintes, au regard des attendus de l'utilisateur, des dimensions sociales, techniques ou des pré-requis du concepteur (Rosenman97). Dans notre expérimentation, le processus évolutionnaire est aussi support à la créativité, il est assistant à l'émergence de nouveautés.

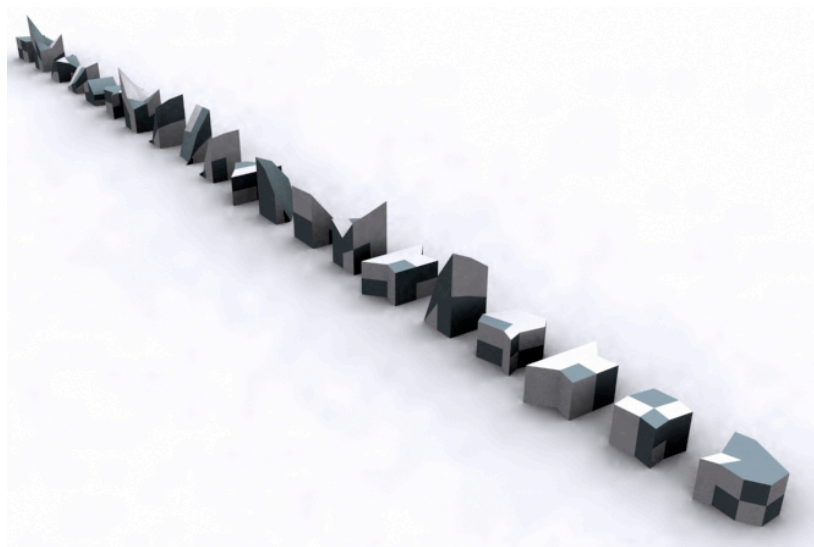


Figure 8. Population de la génération 100

Ainsi notre moteur d'évaluation énergétique, basé sur les qualités solaires passives de l'objet en cours d'étude, permet une sélection au regard de ces critères (figure 8). Mais la possibilité est donnée au concepteur de guider l'évolution et d'intégrer une part de subjectivité. Ce regard subjectif du concepteur pouvant s'expliquer en termes de potentialités offertes par la forme, on parlera d'affordance. Cette affordance de l'objet est per-

que par le concepteur en fonction de sa culture, de son expérience, de ses intentions.

Conclusion

Nous avons validé l'efficacité de notre algorithme génétique dans son efficacité à construire un ensemble de solutions optimales. La notion d'interaction entre le concepteur et notre outil numérique reste cependant à être précisée. Un mode de représentation de l'ensemble des individus et de leurs filiations pourrait être envisagé à l'aide d'un arbre phylogénétique.

La manipulation des paramètres environnementaux, à travers une modification de notre zone climatique reste à être testée. La confrontation des solutions obtenues à partir de conditions extrêmes pourrait de plus permettre d'évaluer l'influence des conditions environnementales sur le processus morphogénétique.

Les outils d'assistance à la conception peuvent trouver leur fondement dans des principes issus de mécanismes naturels. Ces outils peuvent conduire à des solutions innovantes et peuvent être des supports efficaces à une conception créative. L'implémentation des mécanismes évolutifs marque cependant un basculement dans l'utilisation des outils numériques : ici le concepteur ne travaille plus à la construction d'une solution unique mais plus à la conception d'un processus, qui devra être explicite et encodé. Autrement dit ce n'est plus l'objet en cours d'étude qui est géométriquement décrit mais son principe génératif. Nous notons ici un basculement d'une pensée implicite vers une pensée explicite, et une transformation cognitive du processus de conception.

References

- Caldas, L. G., Norford, L. K. (1999). Genetic Algorithms tool for optimization of envelopes and the design and control HVAC systems, *Journal of solar energy engineering*.
- Chirk, F. D. K. (1979). *Architecture: Form, Space & Order*. New York, Van Nostrand Reinhold.
- Borasi, G., Zardini, M. (2007). *Désolé plus d'essence, l'innovation architecturale en réponse à la crise pétrolière de 1973*. Centre canadien d'architecture.
- Bentley, P.J. (1999). *An introduction to evolutionary design by computers*, in P.J. Bentley (ed.) *Evolutionary Design by Computers*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA.

- Frazer, J., Frazer, J., Liu, X., Tang, M. Janssen, P. (2002). *Generative and evolutionary techniques for building envelope design*, Generative 2002.
- Gero, J., S., and Maher, M., L. (1998). Adapting evolutionary computing for exploration in creative designing; *Computation models of creative design IV*.
- Malkawi Ali M. et Al (2003). Performance-bases design evolution: The use of genetic algorithms and CFD, *Building Simulation*, Eindhoven, Netherlands.
- Nishino, H., Takagi, H., CHO, S. and UTSUMIYA, K. (2001). A 3D modeling system for creative design. *ICOIN 15*, Japan.
- Rosenman, M., A. (1997). An exploration into evolutionary models for non-routine design, *Artificial Intelligence in Engineering*, 11(3):287-293.
- Soddu, C. (2004). Agenia, a mother tongue in infinitive variations, *1st International Conference on Design Computing and Cognition*.
- Todd, S. and Latham, W. (1992). *Evolutionary art & computer graphics*. Academic Press.
- Wetzel JP., Belblidia S. and Bignon JC. (2006). A proposition for parametric morpho-semantic operators to assist architectural conception at the drafting stage. Colloque - CGIV 06, *third International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, 26-28 juillet 2006, Sydney, Australie.