



HAL
open science

OUTIL EVOLUTIONNAIRE D'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE CREATIVE.

Philippe Marin, Hervé Lequay, Jean-Claude Bignon

► **To cite this version:**

Philippe Marin, Hervé Lequay, Jean-Claude Bignon. OUTIL EVOLUTIONNAIRE D'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE CREATIVE.. CAAD futures 09, Jun 2009, Montréal, France. page 159 à 172. <halshs-00440420>

HAL Id: halshs-00440420

<https://shs.hal.science/halshs-00440420v1>

Submitted on 10 Dec 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

OUTIL EVOLUTIONNAIRE D'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE CREATIVE.

Mise en oeuvre d'un algorithme génétique et prise en compte des paramètres environnementaux.

P MARIN, H LEQUAY, JC BIGNON *

UMR MAP 694 /ARIA, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, France.

**UMR MAP 694 / CRAI, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, France.*

Abstract: This work focuses on the development of a tool capable of assisting and supporting architectural design activity. We propose an evolutionary mechanism through the use of a genetic algorithm. Environmental parameters are convoked to drive the evolution. The solar passive qualities of the object under study allow the energizing evaluation. This paper deals with the interaction between verbal thinking and visual thinking through the use of this generative tool.

Résumé: Cette recherche porte sur le développement d'un outil d'assistance à la conception architecturale. L'outil évolutionnaire que nous proposons utilise un algorithme génétique et convoque les paramètres environnementaux pour conduire l'évolution. Ce sont les qualités solaires passives de l'objet en cours d'étude qui serviront d'évaluation énergétique. Notre propos porte ici sur l'identification des interactions existantes entre la pensée verbale et la pensée visuelle à travers l'utilisation de cet outil génératif.

Keywords: genetic algorithm, creative design, environmental parameters.

Mots clés: algorithme génétique, conception créative, paramètres environnementaux.

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 évolutionnaires 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 rappellerons dans un premier temps les définitions et caractéristiques du processus de conception architecturale et nous insisterons sur son caractère créatif. Nous mettrons ensuite en évidence les deux modes de pensées, la pensée verbale et la pensée visuelle, comme étant fondatrices de l'acte de conception. Nous chercherons à préciser la notion de perception formelle et finalement nous présenterons notre outil évolutionnaire et repositionnerons son fonctionnement à la lecture des modes de pensées convoqués.

1. Processus de conception créatif

1.1 LE PROCESSUS DE CONCEPTION ARCHITECTURALE

Nous considérons la conception architecturale comme la résolution d'un problème « mal défini ». La solution est un système qui doit satisfaire un ensemble de contraintes très peu définies au départ et spécifiées tout au long du processus. Les nouvelles connaissances construites pendant les phases de conception permettent une reformulation des objectifs et contraintes de conception. Les travaux de Goël et Pirolli (1989) ont permis de caractériser les démarches invariantes mise en jeu par les concepteurs lors de résolution de problèmes larges et complexes. Elles sont notamment le fait : d'une activité de structuration, d'un développement simultané de plusieurs modèles, d'une évaluation cyclique et d'approximations successives. Nous retenons que la démarche du concepteur consiste à garder une vision globale tout en proposant plusieurs solutions et nous soulignons son aspect incrémental et itératif.

De plus, le travail de conception architecturale est considéré comme un processus créatif, basé sur la connaissance. Cette créativité étant caractérisée par trois activités primordiales (Edmonds et Candy 2002) :

- L'exploration : le concepteur examine, analyse, interprète et sélectionne les données, les contraintes, les caractéristiques du problème à partir des connaissances, de l'expérience, de données externes.
- La génération des solutions : le concepteur formule, expérimente, propose, redéfinit et transforme le problème. Ce processus créatif est fondé sur l'expérimentation et l'exploration de solutions multiples (Schon 1983). La pensée analogique (Chupin et Léglise 1997) et la pensée latérale (de Bono 1970) sont ici largement impliquées dans le processus.
- L'évaluation : le concepteur analyse, teste, affine et reformule. L'évaluation conduit à écarter des solutions mais aussi à l'émergence de nouvelles propositions.

1.2 LA CREATIVITE

La qualification de créatif fait référence aux notions de nouveau et d'inattendu. Cette notion de nouveauté est cependant relative. Boden (1994) suggère d'identifier deux types de créativité. D'une part, la P-créativité (Psychological creativity), une idée est créative pour la personne qui la conçoit. D'autre part la H-créativité (Historical creativity), l'idée est P-créative et au cours de l'histoire personne ne la jamais proposée.

Gero et Maher (1993) font la distinction entre une conception routinière, innovante et nouvelle. Ils utilisent le concept de variable pour qualifier ces notions. La conception est dite routinière lorsque toutes les variables ainsi que leurs valeurs sont connues à l'avance, l'espace des solutions est identifié et le concepteur doit parcourir cet espace pour trouver la solution optimale. La conception est dite innovante lorsque toutes les variables sont identifiées à l'avance mais certaines de leurs valeurs restent inconnues. Enfin, la conception est dite nouvelle lorsque de nouvelles variables sont introduites au cours du processus entraînant la modification de l'espace de recherche (Gero 1990). Dans un processus créatif, le concepteur doit à la fois identifier le meilleur espace de solutions, et les meilleures solutions de cet espace. Le processus est exploratoire.

D'autres qualificatifs peuvent être associés à la notion de nouveauté. Nous parlerons de la dimension esthétique, de qualité, d'inattendu, de non-commun, d'intelligence, de popularité... (Runco and Pritzker 1999). Ici une valeur de jugement complète la notion de nouveauté.

2. La pensée analogique

La composante fondamentale de la conception repose sur les qualités intellectuelles, les capacités du concepteur à percevoir, imaginer, inventer, à donner du sens. Les opérations mentales conduites à travers ce processus reposent sur deux modes de pensée distincts : la pensée verbale, logique,

linéaire et analytique, et la pensée visuelle, spatiale, concrète, simultanée, associative.

Biausser (2001) identifie les principaux modes de pensée créative. Elle présente la pensée logique fondée sur la logique d'Aristote, la pensée paradoxale, la pensée complexe, la modélisation, la médiation, la contextualisation, l'imagination, la computation, la pensée systémique et la pensée analogique. Elle postule que la pensée créative fonctionne comme une structure dissipative, « se créant à partir du désordre aléatoire engendré par les dissonances d'avec nos imprinting et s'auto-organisant loin de l'équilibre. »

Chupin et Léglise (1997) insistent sur le fait que des schémas analogiques, à travers la mise en relation analogique des informations, participent au dialogue réflexif entre le designer et la situation. Ils sont fondés sur des liens mutuels entre la perception et la conception. L'activité de conception se traduit par la création de liens entre des choses apparemment sans rapport, la production d'analogies, la création de raccourcis dans la pensée logique.

De nombreuses études historiques montrent l'importance du rôle joué par ce mode de pensée dans le processus de conception d'architectes majeurs. (Chupin 1996) Le Corbusier parlait « d'objet à réaction poétique ». Il décrit la naissance du projet de la chapelle de Ronchamp et rappelle que la forme de la toiture lui a été suggérée par une coque de crabe. Celle-ci, ramassée lors d'une promenade, constituera une collection d'objets qui serviront de source d'inspiration précieuse dans sa recherche plastique.

La psychologie constructiviste formulée par Piaget considère que la compréhension de la réalité s'élabore à partir des représentations d'événements vécus. Un phénomène de restructuration ou de reconceptualisation opère en fonction de l'expérience de chacun. Turkle (2007) propose la notion « d'objets évocateurs » pour mettre en évidence la dimension sensible qui nous relie aux choses. Le passé, l'expérience, le vécu du sujet construisent ce lien émotionnel.

3. Perception de la forme

Nous cherchons ici à identifier les composantes de la perception d'une forme.

3.1. FORME ET SIGNIFICATION

Les traités du XVIII^e siècle envisagent le fait que les sensations sont liées à des formes codées, c'est-à-dire à des formes dont les significations sont d'ordre social. Par exemple, la manipulation de proportions harmoniques comme productrices de beauté induit que certaines formes sont par convention associées à certaines significations. Mais nous ne percevons pas

les choses seulement en tant que signes. Leurs effets ne se limitent pas à leurs significations. La forme engendre un effet sensible qui est différent de la signification associée à la forme par convention.

3.2. FORME EN TANT QUE FORME

Wolfflin (2005) met en relation la perception d'un bâtiment avec le corps humain. C'est une expérience physique et corporelle qui nous permet d'appréhender une forme perçue. Wolfflin va jusqu'à identifier des analogies physiognomoniques entre l'organisation du corps humain et celui du corps de bâtiment. Ozenfant et Le Corbusier (1918) reprennent cette acceptation dans « la peinture moderne » en affirmant que « toutes les formes provoquent des sensations différentielles de celles de la verticale ».

Arnheim (1977 ; 1997) souligne que l'architecture est appréhendée dans le temps par l'homme en action. Son second principe qui détermine la perception des choses est basé sur la notion de dynamique : une structure perceptuelle est appréhendée comme une structure de forces. Cette tension perceptuelle découle d'une déformation. La théorie de la forme (gestalt), issue de la psychologie de la perception, fait intervenir notre mémoire et notre intelligence. Elle met en évidence des phénomènes permanents basés sur l'identification de figures propres à éveiller en nous des sensations.

Enfin un regard fonctionnaliste pourrait donner sens à une forme à travers sa fonction. Ce point de vue peut être étendu au fait que « chez les architectes modernes la forme ne doit pas seulement être fonctionnelle, elle doit aussi exprimer qu'elle l'est. Elle doit signifier la fonctionnalité, ce qui n'est pas la même chose qu'être fonctionnel. » (Lucan 2003).

3.3. INVARIANT PAR VARIATION

Deleuze propose (1988) la notion d'« objectile » pour caractériser la forme comme étant issue d'un processus continu. L'objet « prend place dans un continuum par variation » et implique un développement continu de la forme. L'objet est ici un instant significatif d'un processus morphologique continu et plus large. Il se rapporte à une « modulation temporelle qui implique une mise en variation continue de la matière autant qu'un développement continu de la forme. » Le rôle du designer bascule ici vers celui d'un méta-designer dont l'objet est la définition d'une famille formelle, la définition des composantes générales d'une espèce entière (Soddu 2004).

3.4. THEORIE DES AFFORDANCES

Le mot « affordance » (Ganascia 2006) désigne les opportunités d'action que nous procurent notre environnement en vertu des informations que nous percevons. Les perceptions se construisent ici à partir des flux de sensations

qui nous assaillent. Toutes les sensations concourent à forger des perceptions qui se modifient selon notre expérience. Les « affordances » rassemblent l'ensemble des potentialités que recèlent notre environnement. Les « affordances » s'élaborent en fonction de nos besoins, de nos craintes et de nos désirs. Elles se modifient avec l'expérience. Ainsi notre perception visuelle dépend aussi bien de l'origine culturelle que d'apprentissages individuels et de nos goûts personnels. L'appréhension sensible est donc éminemment subjective et culturelle. La perception d'un objet est tributaire de nos expériences et de nos connaissances.

4. Algorithmes génétiques appliqués à la génération de forme architecturale.

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.

Les travaux précurseurs relatifs à la conception évolutionnaire dans le champ de la génération de forme architecturale ont été conduits par Paul Coates (1997), à travers l'utilisation de la programmation génétique et des L-systems, par Blostein (1995), dans le cadre de la génération de configurations spatiales, par Rosenmann (1997), qui pose les fondements théorique d'un modèle évolutionnaire appliqué à la conception non routinière, ainsi que par Frazer. Ce dernier (Frazer et al. 2002) convoque des techniques génétiques dans ses recherches sur l'optimisation des façades depuis 1968.

Plus récemment, 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. Krishnapillai (2004) montre la validité d'un dispositif génératif qui libère l'attention du concepteur des contingences de génération, au profit de l'évaluation et des choix. Loomis (2002) propose un modèle de conception générative alliant algorithme génétique et grammaire de formes.

5. Expérimentation

Nous nous intéressons plus particulièrement aux phases initiales de la conception, au moment où le concepteur est à la recherche d'une idée. Nous considérons le processus de conception comme étant exploratoire et génératif, et nous souhaitons proposer un outil capable de stimuler la créativité du concepteur.

5.1 ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT

Dans notre proposition, la dimension générative du processus est supportée par notre dispositif évolutionnaire et notre algorithme génétique. La fonction d'évaluation est basée sur les qualités solaires passifs de l'objet en étude. L'architecte est ici à la recherche d'une idée répondant aux contraintes environnementales établies. Cette première exploration devant lui permettre d'avancer dans son travail de conception. La figure 1 présente une possible population de solutions.

Notre outil prototypal est développé dans le logiciel 3DS Max® et nous utilisons maxscript pour les développements et les encodages de notre algorithme génétique. Les paramètres environnementaux sont convoqués pour conduire le processus évolutionnaire. Les qualités solaires passives sont plus particulièrement évaluées. C'est la méthode des Degrés Jour Unifié qui a été implémentée.

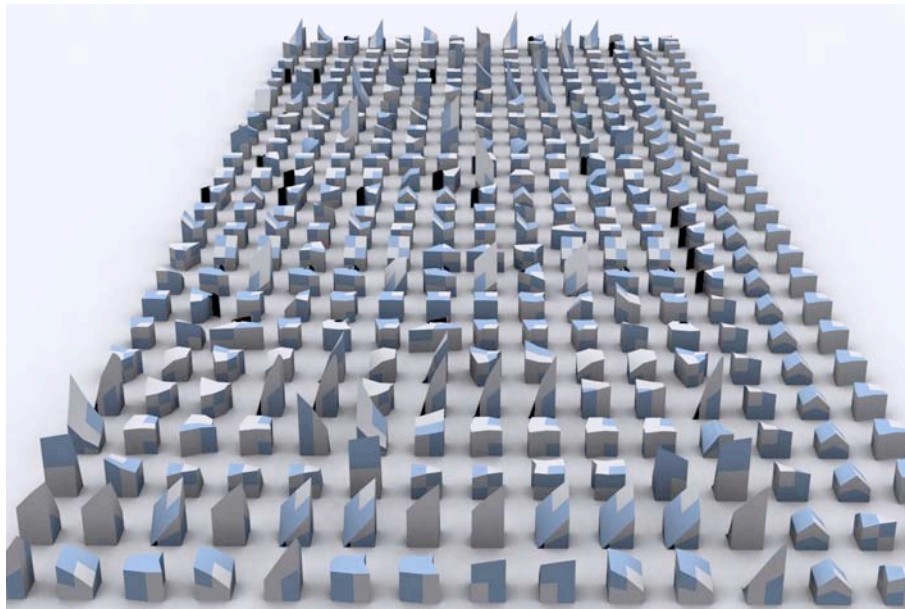


Figure 1. Population de solutions

5.2 CHEMIN DE PENSÉE DU CONCEPTEUR

Nous pouvons schématiser (figure 2) le chemin de pensée du concepteur à travers l'utilisation de cet outil. Nous retrouvons les deux modes de pensée identifiés précédemment. Dans un premier temps, le concepteur analyse et décrit les objectifs de son étude. Il doit notamment établir les modalités de morphogenèse et expliciter la fonction d'évaluation. Il opère ici une formulation verbale du problème. C'est-à-dire la mise en équation de la fonction d'évaluation et une mise en algorithme du processus morphogénétique. Une phase de génération est ensuite menée par le logiciel. Cette exploration conduit à la proposition d'un ensemble de solutions satisfaisant les contraintes. Débute alors une phase de prise de connaissance, fondée sur une appréhension visuelle et pouvant conduire à la construction d'analogies à travers l'identification d'analogons architecturaux, de proto-architecture ou d'objets à penser stimulant le concepteur. Le processus peut ensuite être relancé ou abandonné pour poursuivre le travail de conception.

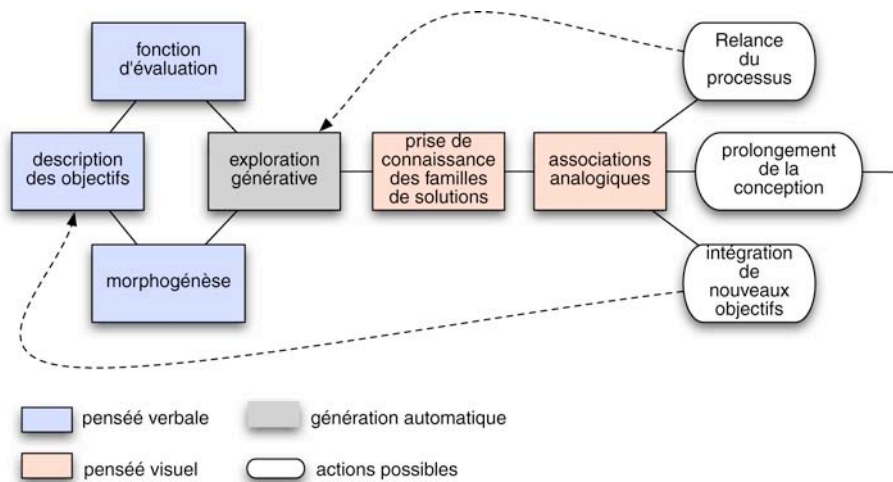


Figure 2. Modes de pensée

5.3 GENOME INITIAL

L'individu initial représente le génome élémentaire de notre population. Il correspond à une description géométrique schématique, c'est-à-dire à une première esquisse de volume, une enveloppe initiale construite à l'aide d'un ensemble de contraintes implicites. Celles-ci sont de l'ordre des intentions formelles, elles sont une première représentation d'une image mentale. Cette première représentation inclut un ensemble de contraintes plus ou moins

explicitées, comme les dimensions de la parcelle ou les surfaces désirées. Dans cet exemple, le volume initial est un simple parallélépipède (figure3).

5.4 EXPLORATION MORPHOLOGIQUE

L'exploration morphologique est basée sur un principe de transformation par métamorphose (Ching 1969). Une série d'opérateurs morphologiques est utilisée pour conduire la déformation. Dans le logiciel 3DS, ces opérateurs sont appelés modificateurs. Nous trouvons : effiler, tordre, étirer, incliner, courber. Pour chacun de ces opérateurs un ensemble de paramètres est disponible. Pour effiler, par exemple, nous trouvons : intensité (entre -100 et 100), courbure (entre -3 et 3), axe principal (x, y ou z), axe des effets (x, y ou z) ainsi que la rotation du gizmo.

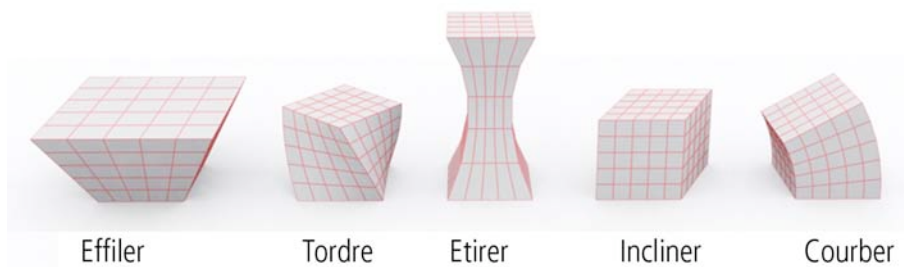


Figure 3. Liste des opérateurs

Le moteur d'exploration morphologique utilise la forme initiale et lui applique un opérateur de déformation pour automatiquement décliner un ensemble de solutions formelles. Le dispositif évolutionnaire décline ensuite chacune de ces formes à travers des mécanismes de croisements et de mutations.

5.5 EXPLORATION MATERILOGIQUE

Chaque facette est associée à un ensemble de propriétés physiques, relatives à l'opacité et au coefficient de résistance thermique. Ces qualités physiques sont attribuées pour la population initiale de manière aléatoire et elles sont stockées dans un tableau. Chaque facette est étiquetée et ses propriétés seront utilisées par notre moteur d'évaluation. Les mécanismes de croisement et de mutation sont utilisés pour faire évoluer chaque individu. Ce tableau de correspondances entre les propriétés et les facettes représente notre « chromosome materiau. »

Nous retenons les caractéristiques matériaux suivantes : Le coefficient de transmission thermique U du vitrage est de $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, le coefficient de transmission thermique U des parois opaques est de $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.6 P-TYPE ET G-TYPE

Au sein d'un algorithme génétique, chaque individu est représenté d'une part par son phénotype, P-type, qui correspond à sa représentation géométrique, et d'autre part par son génotype, G-type, qui correspond à l'encodage de son P-type. Le G-type symbolise le génome. Dans notre modèle, le G-type est basé sur approche par dérivation (Rosenman 1997).

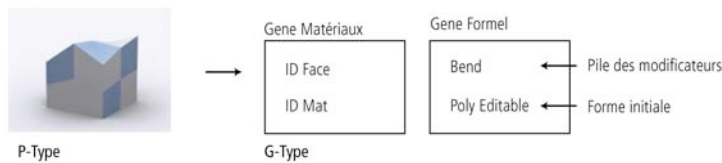


Figure 4. Correspondance entre P-type et G-Type.

5.7 CROISEMENT ET MUTATION

La première population est construite aléatoirement. Chaque individu est évalué par le moteur d'évaluation. Deux parents sont sélectionnés sur leurs performances énergétiques 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.

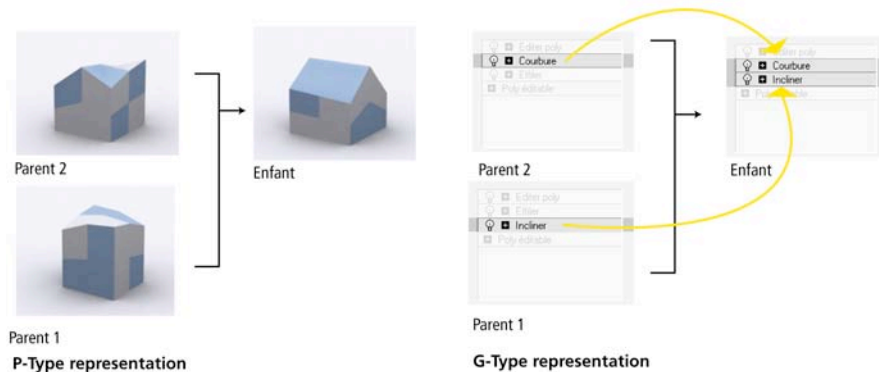


Figure 5. Représentation du P-type et du G-type lors de l'opération de croisement du gène F.

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.

5.8 EVALUATION

L'évaluation énergétique est établie en utilisant la méthode des Degrés Jours Unifiés (Figure 7) (Marin 2008). Cette méthode a l'avantage de proposer une approximation et une simplification. En phase initiale de la conception toutes les données ne sont pas connues et des raccourcis sont nécessaires. Nous nous intéressons plus particulièrement au confort d'hiver. La fonction d'évaluation tend à diminuer les pertes calorifiques à travers les parois et à maximiser les apports solaires en fonction des orientations et inclinaisons des surfaces vitrées.

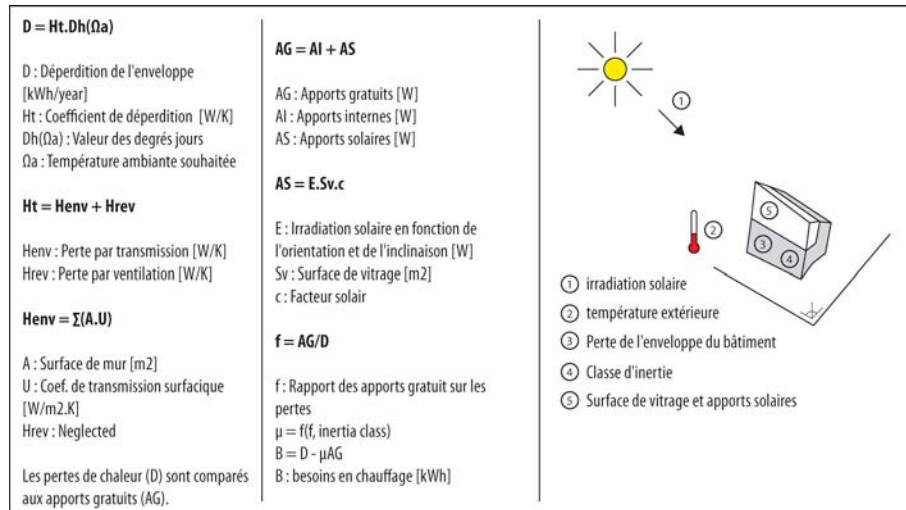


Figure 6. Méthode des Degrés Jours Unifiés.

5.9 EXEMPLES DE RESULTATS

Notre moteur d'évaluation énergétique permet une sélection au regard des critères énergétiques. 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 perçue par le concepteur en fonction de sa culture, de son expérience et de ses intentions. La figure 7 montre les élites de la population pour 5 opérateurs morphologiques différents, l'exploration est effectuée à travers 25 générations, un taux de croisement de 5% et un taux de mutation de 80%.

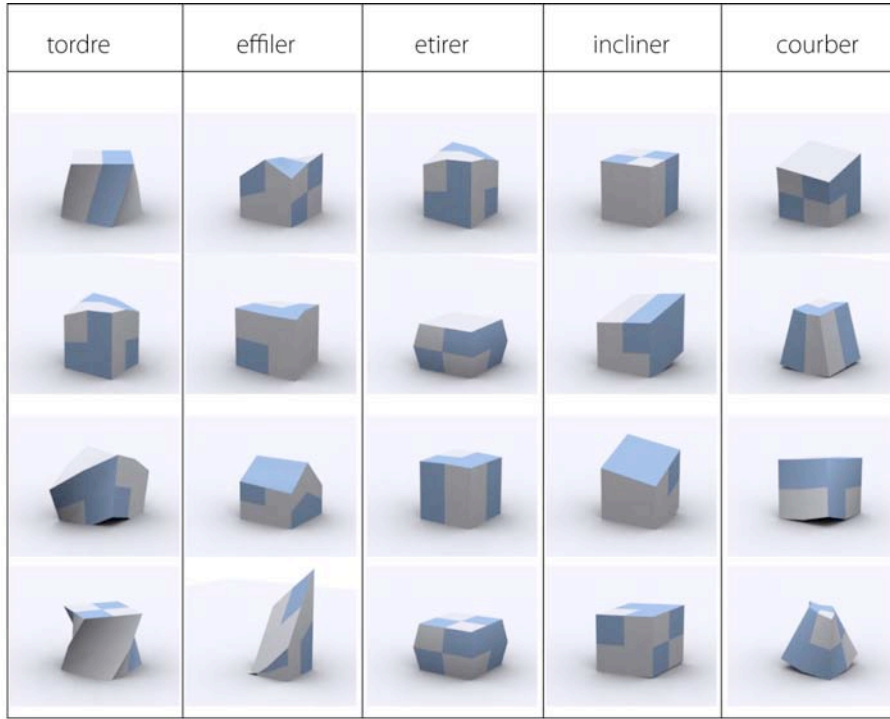


Figure 7. Représentation des élites de la population pour 5 opérateurs morphologiques. Vue Sud Est de l'individu.

Conclusion

La finalisation du développement de notre outil porte actuellement sur la définition de l'interface qui permettra l'interaction homme/machine. Ce sont notamment les possibilités d'identification des filiations entre les individus et les fonctionnalités de sélection d'un grand parent, comme nouveau génome initial, qui sont au cœur de notre réflexion. La finalisation du développement de notre prototype conduira à une série d'expérimentations. Celles-ci auront pour objectif de valider les capacités de l'outil à stimuler la créativité du concepteur en phase initiale de la conception.

Notre proposition repose sur une formulation explicite du processus de morphogenèse et de la fonction d'évaluation. Formulation qui permet ensuite une approche générative et une interaction visuelle. Le rôle du concepteur consiste ici dans un premier temps à la définition et à la conception des composantes génératives, à travers un mode de pensée verbale. La phase de génération est assurée par l'algorithme génétique. Le concepteur peut alors opérer une sélection, basée sur une représentation visuelle et convoquant une

pensée analogique. Le dispositif d'assistance à la conception constitue un support facilitant le dialogue du concepteur avec lui-même et conduisant à l'exploration assistée d'un univers formel. L'outil informatique rassemble les deux modes de pensée, verbal et visuel, dans un unique média constituant en quelque sorte un « méta-outil ».

References

- Arnheim, R (ed): 1977, *Dynamique de la forme architecturale*, Architecture+Recherches, Pierre Mardaga, Bruxelles, 1977.
- Arnheim, R (ed): 1997, *La Pensée Visuelle*, Flammarion, 1997.
- Biausser, E: 2001, *Vision épistémique de la pensée créative*. XI èmes journées nationales Psychanalyse et Management.
- Boden, M: 1994, *What is creativity?* in: Margaret Boden (ed), *Dimension of creativity*, MIT Press.
- Bono, E de: 1970, *Lateral Thinking. A textbook of creativity*. Londo, 1970, quoted from the edition London :Penguin, 1990.
- Blostein, Beth. *Procedural Generation of Alternative Formal and Spatial Configurations for Use in Architecture and Design*, Technical Report OSU-ACCAD-5/95/TR1, Advanced Computing Center for the Arts and Design, The Ohio State University, 1995.
- 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*.
- Chupin, JP : 1996, *Hermès' Laugh: Philibert de l'Orme's Imagery as a Case of Analogical Edification*, In *Chora: Intervals in the philosophy of architecture*, volume 2, ed. Steve Parcell Alberto Perez-Gomez. . Montréal McGill-Queen's University Press, p. 37-68.
- Chupin, JP, L'église, M: 1997, "Un carnet de schémas analogiques pour les phases préliminaires de la conception architecturale", *Revue Science et Techniques de la Conception*, vol 5 N°2/1996, pp 23-44.
- Coates, Paul. *Using Genetic Programming and L-Systems to Explore 3D Design Worlds*", in *CAAD Futures '97*, editor R. Junge, Kluwer Academic, 1997.
- Deleuze, G (ed): 2002, *Le Pli, Leibniz et le Baroque*, Les Editions de Minuit, Paris, 2002.
- Edmonds EA, Candy L : 2002, *Creativity, Art Practice, and Knowledge*. *Communications of the ACM*, 45(10):91-95, Octobre 2002.
- Frazer, J, Frazer, J, Liu, X, Tang, M, Janssen, P: 2002, *Generative and evolutionary techniques for building envelope design*, *Generative 2002*.
- Ganascia JG (ed) : 2006, *Les Sciences Cognitives*, Editions Le Pommier, Paris, 2006.
- Gero, J, Maher, ML: 1993, *Preface* in JS Gero and ML Maher (ed) *Modelling Creativity and Knowledge-Based Creative Design*, Lawrence Erlbaum and Assoc. pp. 106.
- Gero, J.: 1990, *Design prototypes: A knowledge representation scheme in design*, in *AI magazine*.
- Goël, V, Pirolli, P: 1989, *Motivating the notion of generic design within information - processing theory: The design problem space*. *AI Magazine*, 10(1):19-36, 1989.
- Krishnapillai, A.: 2004, *Geometry: a genetically inspired parametric form generation method*, 1st International Conference on Design Computing and Cognition.
- Lucan, J: 2003, *Forme forte*, in *Forme forte*, Birkhäuser, 2000.
- Loomis, Benjamin. "A Note on Generative Design Techniques: SGG 2002".
- Malkawi Ali M. et Al: 2003, *Performance-based design evolution: The use of genetic algorithms and CFD*, *Building Simulation*, Eindhoven, Netherlands.

- Marin, P, Bignon, JC, Lequay, H: 2008, A Genetic Algorithm for use in Creative Design Processes, ACADIA 2008.
- Nishino, H., Takagi, H., CHO, S., Utsumiya, K.: 2001, A 3D modeling system for creative design, ICOIN 15, Japan.
- Ozenfant, A, Le Corbusier :1918, Après le cubisme, Altamira, nouvelle édition 2000.
- Rosenman, MA: 1997, An exploration into evolutionary models for non-routine design, Artificial Intelligence in Engineering, 11(3):287-293.
- Runco, M, Pritzker, S: 1999, Encyclopedia of Creativity, San Diego, CA: Academic Press. 1999.
- Schon, D: 1983, The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. Basic Books, New York, 1983.
- Soddu, C: 2004, Agenia, a mother tongue in infinite variations, 1st International Conference on Design Computing and Cognition, 2004.
- Turkle, S : 2007, Evocative Objects, Things We Think With, Edited by Sherry Turkle, The MIT Press.
- Wölfflin, H (ed): 2005, Prolégomènes à une psychologie de l'architecture, Editions de la Villette, collection école d'architecture de Grenoble, 2005.