

---

# Outil d'évaluation des qualités solaires passives du bâtiment. Exploration des mécanismes de conception évolutionnaire.

Marin P.<sup>1</sup>, Lequay H.<sup>1</sup> et Bignon J-C<sup>2</sup>.

MAP ARIA CRAI, UMR n°694/CNRS/CULTURE

<sup>1</sup> Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon  
philippe.marin@lyon.archi.fr

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

**Résumé :** *Ce travail de doctorat porte sur l'élaboration d'un outil d'évaluation des qualités solaires passives du bâtiment. Il prolonge la réflexion menée au sein de l'UMR MAP sur les outils d'aide à la conception architecturale. Ce processus de conception, caractérisé par son mécanisme dynamique de formulation - résolution concomitante d'un problème implicite, jamais posé ni jamais résolu définitivement implique la mise en oeuvre d'outils d'assistance adaptés, facilitant l'exploration de l'univers des solutions, tout en évitant l'écueil d'une spécialisation trop importante, d'une instrumentation jouant un rôle distracteur pour le concepteur. Le cadre méthodologique de ce travail s'appuie sur les concepts de la modélisation déclarative et de la simulation inverse. Finalement ce sont les apports de la modélisation évolutionnaire à travers les notions d'algorithmes génétiques qui devraient nous permettre de proposer une solution prototypale d'un logiciel d'assistance à la conception.*

**Mots-clés :** Outils de conception architecturale, modélisation déclarative, algorithme génétique, solaire passif, qualités environnementales.

## 1. Objectifs et méthodes

Notre propos vise le développement d'une solution prototypale d'un logiciel d'assistance à la conception architecturale. Il a pour audience les architectes, et porte sur les phases amont de la conception. Cette aide à la conception sera apportée dans le domaine de l'évaluation des qualités solaires passives du bâtiment.

Nous convoquerons dans cette étude les apports des sciences de la conception, pour révéler et caractériser la conception architecturale, les notions d'ambiance, pour tenter une description quantitative et qualitative de l'espace en conception, les apports de la modélisation déclarative et des algorithmes évolutionnaires, pour l'instrumentation informatique.

## 2. La conception architecturale

Nous nous appuyons sur une représentation généralement admise de la conception architecturale, comme un processus dynamique de formulation / résolution concomitante d'un problème implicite, jamais posé ni jamais résolu définitivement (Guibert 1997). Le projet est un « problème » qui est formulé en même temps qu'il est résolu. Une spécification de la solution permet d'exposer le problème, une convergence vers la solution se fait parallèlement à la compréhension du problème.

### 2.1. LA FORMULATION DES INTENTIONS

La notion d'ambiance permet une description de cette solution. Nous reprenons ici la définition que donne Augoyard F (Augoyard 2004) de la notion d'ambiance. « Un ensemble de phénomènes localisés peut exister comme une ambiance lorsqu'il répond à quatre conditions :

1. Les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables
2. Ces signaux interagissent avec :
  - La perception, les émotions et l'action du sujet
  - Les représentations sociales et culturelles
3. Ces phénomènes composent une organisation spatiale construite
4. Le complexe [signaux/percepts/représentations] est exprimable »

Ainsi, la notion d'effet, représentant les interactions perçues, tant physiques qu'esthétiques, est mise en avant. Ces effets sont le résultat d'une forme, d'un objet architectural, et pourraient être l'expression des intentions du concepteur. Nous renvoyons ici au concept de simulation inverse (Siret 1997). L'expression des intentions se fait à l'aide des outils théoriques et rhétoriques, elle peut être considérée comme une phase de description, de formulation. La ou les formes induites sont exprimables à l'aide d'outils graphiques ou modèles géométriques.

### 2.2. LES OUTILS GRAPHIQUES DE REPRESENTATIONS

Nous voudrions souligner une seconde particularité du processus de conception architecturale, à travers la caractérisation des outils graphiques de représentation. En reprenant les propos de Estevez (Estevez 2001), nous pouvons attribuer aux dessins trois fonctions fondamentales :

- Des fonctions prescriptives qui visent la construction matérielle de l'édifice.
- Des fonctions descriptives qui permettent la maîtrise de la mise en forme et de l'apparence à travers la figuration.
- Des fonctions spéculatives qui sont support de l'activité conceptuelle.

C'est bien cette dernière fonction spéculative qui nous préoccupe dans notre travail d'élaboration d'un outil d'assistance des phases amont de la conception.

Le croquis ou l'esquisse peut être caractérisé par son indétermination, son caractère flou, son absence de mesure, son imprécision relative, mais il opère une fonction de sélection, il est une projection de la pensée, une expression des intentions. Nous renvoyons ici aux travaux de (Porada 2005) et (Deshayes 2005).

Parallèlement à ce support de création, l'infographie et la CAO peuvent jouer un rôle distracteur auprès du concepteur. Le caractère nécessairement explicite, univoque, détaillé et précis d'un modèle informatique peut freiner l'expression libre et opérer une sédimentation de l'attention du concepteur sur des composantes inopérantes à l'état d'élaboration de la phase d'esquisse.

Notre première question est donc de savoir si des mécanismes de conception évolutionnaire et déclarative pourraient permettre de pallier les freins induits par l'outil informatique. Nous nous appuyerons sur le cadre méthodologique offert par la modélisation déclarative pour conduire cette expérimentation.

### **3. La modélisation déclarative**

#### **3.1. DEFINITION**

« L'objectif de la modélisation déclarative de formes est de permettre d'engendrer des formes (ou des ensembles de formes) par la simple donnée d'un ensemble de propriétés ou caractéristiques. L'ordinateur est chargé d'explorer l'univers des formes potentielles, afin de sélectionner celles correspondantes à la définition donnée. Le concepteur n'a plus qu'à choisir, à l'aide d'outils appropriés, la ou les formes qui lui conviennent. » (Gaildrat 2003)

L'intérêt de la modélisation déclarative réside dans le fait qu'elle permet la formulation d'un énoncé vague ou imprécis à partir de propriétés explicites, implicites ou floues. Cette description des propriétés du « problème » permettra une transcription sous forme de contraintes strictes ou préférentielles d'un modèle géométrique qui pourra être incomplet.

#### **3.2. LES TROIS PHASES DE LA MODELISATION DECLARATIVE**

##### **La phase de description**

La phase de description permet l'énoncé des propriétés à l'aide d'une interface adaptée : Le concepteur doit exprimer les propriétés du modèle. Une importance particulière doit ici être portée sur la sémantique utilisée.

### **La phase de génération**

La phase de génération effectue le calcul automatique des solutions correspondantes à la description fournie par le concepteur.

Le concepteur a, lors de la phase de description, énoncé des requêtes sous formes de propriétés qui ont été traduites et interprétées en contraintes de plus bas niveaux, relativement au contexte de l'application défini par une base de connaissance.

Les contraintes sont ensuite analysées par le système qui propose une, plusieurs ou toutes les solutions satisfaisant le modèle énoncé par le concepteur. Si la description est inconsistante le système de génération peut ne trouver aucune solution ou, selon la stratégie choisie, fournir toujours une solution, même dégradée.

Nous nous attacherons à la mise en place de techniques de génération basées sur des mécanismes metaheuristiques, de type évolutionnaire, et plus particulièrement nous ferons référence aux algorithmes génétiques.

### **La phase de prise de connaissance**

La phase de prise de connaissance permet au concepteur de visionner tout ou partie des solutions produites.

Si la description ne permet pas d'obtenir une solution, il faut détecter et présenter au concepteur les causes de l'échec afin qu'il puisse modifier certaines propriétés pour remédier à cette situation.

## **4. La conception évolutionnaire**

Une étude complète de la conception évolutionnaire est proposée par Dawkins R. (Dawkins 1999). La conception évolutionnaire est à la frontière entre les sciences informatiques, la conception et la biologie évolutionnaire. Elle est couplée à des outils CAD ainsi qu'à des logiciels d'analyse. La conception évolutionnaire est appliquée depuis 10 à 15 ans dans les domaines de l'optimisation de pièces, de la recherche de formes, de la recherche de plans, de l'optimisation énergétique du bâtiment, de la compréhension de la vie artificielle.

John Frazer (Frazer 1995) dans son ouvrage « An Evolutionary Architecture » met en parallèle le processus de génération de formes en architecture avec les recherches en matière de morphogenèse du milieu naturel. La conception évolutionnaire est inspirée par l'évolution des systèmes naturels. Les formes naturelles ont des propriétés esthétiques et une valeur fonctionnelle. Frei Otto et Gaudi travaillaient à partir de l'analogie pour trouver une configuration qui mettrait en œuvre le minimum d'énergie. C'est la capacité d'auto-organisation des éléments.

Des comportements complexes naissent de l'interaction des composantes élémentaires du système.

Les mécanismes informatiques évolutionnaires traitent des méthodes de recherche. Les algorithmes évolutionnaires, plus particulièrement les algorithmes génétiques, sont inspirés du concept de sélection naturelle élaboré par Charles Darwin. Le vocabulaire employé est directement calqué sur celui de la théorie de l'évolution et de la génétique. Nous parlerons donc d'individus (solutions potentielles), de population, de gènes (variables), de chromosomes, de parents, de descendants, de reproduction, de croisement, de mutations, de génotype, de phénotype. Et nous nous appuyerons sur des analogies avec les phénomènes biologiques.

Les algorithmes évolutionnaires ont la propriété de faire évoluer l'espace des solutions, mais ce caractère évolutionnaire n'est pourtant pas spécifié au sein de l'algorithme, c'est plutôt une propriété émergente de l'algorithme.

L'algorithme maintient un ensemble de solutions, autorisant les meilleures solutions à se reproduire et les moins bonnes à disparaître. Une solution enfant hérite des caractéristiques de ses parents avec une légère variation aléatoire. Ainsi de suite les meilleures solutions enfants sont autorisées à se reproduire tandis que les autres disparaissent. Chaque individu est évalué à l'aide d'une fonction d'objectif appelée Fitness.

## **5. Le solaire passif**

### **5.1. CONTEXTE ET DEFINITION**

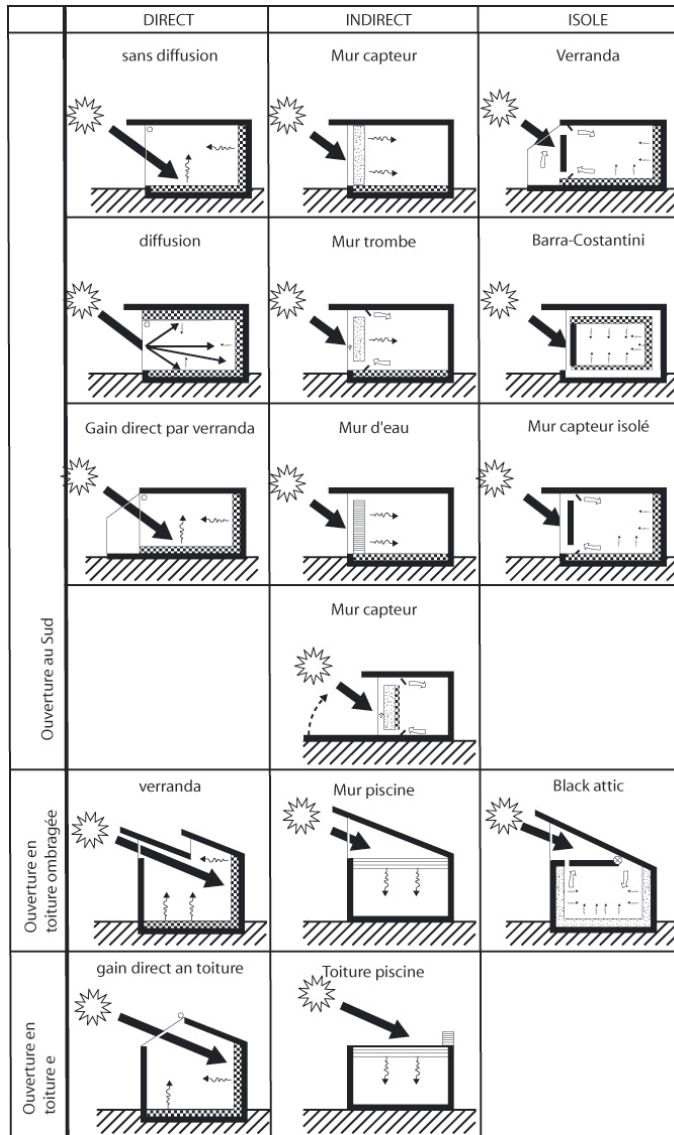
Le contexte socio-économique et culturel de nos sociétés imposent un développement fondé sur des exigences environnementales et énergétiques du cadre bâti. Les dispositifs solaires passifs sont une réponse pertinente à l'intégration des contraintes et caractéristiques environnementales.

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 tâche solaire ou la surface des parois captantes
- L'angle d'incidence des rayons solaires
- Le temps d'exposition des surfaces captantes
- Les caractéristiques des matériaux

Le tableau suivant dresse un inventaire des dispositifs solaires passifs génériques. Ici une catégorisation est faite en fonction des caractéristiques des surfaces captantes (directes, indirectes et isolées, ouverture en façade, ouverture en toiture), des

interactions entre l'irradiation solaire et les dispositifs de stockage et les méthodes de redistribution de l'énergie.



**Dispositifs solaires passifs génériques – De Energy in architecture. The european passive solar handbook**

Nous fondons donc notre analyse sur le fait que la dynamique d'ensoleillement engendre une dynamique énergétique. Et à l'échelle architecturale, nous distinguerons les notions de confort d'été et confort d'hiver.

## 5.2. NOTION DE CONFORT

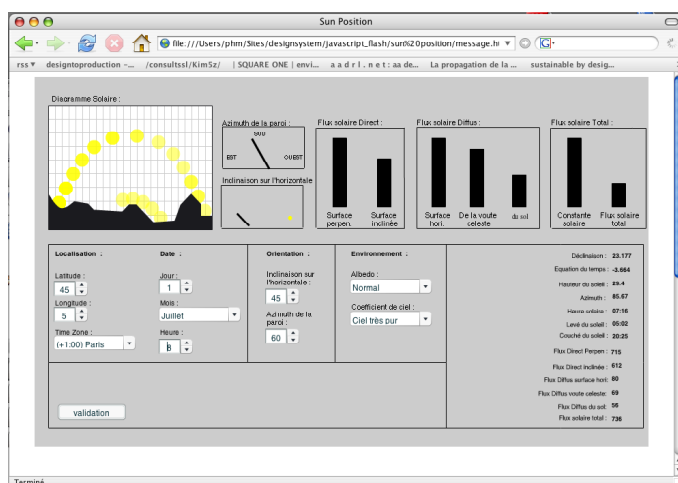
Il semble important de préciser la notion de confort qui peut être considérée sous l'angle normatif (le confort considéré comme un état neutre d'équilibre thermique) ou de manière plus générale sous un angle psycho-physiologique, culturel ou esthétique (le confort est alors considéré comme des interrelations perceptives). C'est un état de bien-être physique et mental, fonction de l'activité, de l'état émotionnel, des caractéristiques physiologiques, de l'équilibre hygrothermique, du contexte environnemental, de la température radiante, de l'usage. Les notions d'« ambiance » peuvent être à nouveau convoquées pour formuler cette dimension perceptive.

# 6. Description de l'outil

## 6.1. MODELE DES FLUX SOLAIRES

Dans un premier temps une modélisation des flux solaires a été réalisés permettant la simulation des radiations solaires en fonction de la localisation géographique, des caractéristiques du site, du moment de la journée, de l'orientation et de l'inclinaison des surfaces captantes.

Ce modèle est basé sur la description des flux solaires que donne Philippe Chouard (Chouard 1979).



## **Outil d'évaluation des flux solaires sur une paroi.**

### **6.2. MODELE ÉNERGETIQUE**

Le modèle énergétique du bâtiment est actuellement en cours de construction. Il est basé sur la description des mécanismes thermiques de Ed. Mazria traduit par P. Bazan. (Mazria 1981) (Lebens R. M. 1980) (Balcomb D. 1980).

### **6.3. DESCRIPTION**

#### **Phase de description : Concepts architecturaux en jeu**

Nous avons identifié et caractérisé 7 « concepts architecturaux » qui nous semblent permettre une description de notre modèle. Ces « concepts architecturaux » permettront l'instanciation des paramètres et propriétés du modèle informatique. Ils sont fondés sur une sémantique propre à l'activité de conception architecturale.

Nous en dressons ici une liste :

- La forme des bâtiments qui pourront être groupés ou isolés, en U, en L, allongés, rassemblés en bande, en gradin, en dents de scie, décalés.
- L'enveloppe qui aura des caractéristiques en termes de transparence et d'isolation.
- L'orientation, inclinaison et azimuth des parois.
- Les dispositifs passifs : type de fenêtre, type de mur captant.
- La répartition : qui renvoie aux principes de composition des façades.
- Les facteurs extérieurs : localisation, présence de masques, type d'environnement, climat.
- Usage : fonction du programme et des modes d'utilisation.

L'ensemble de ces « concepts » devraient permettre la formulation des intentions du concepteur et la traduction en langage informatique des contraintes.

#### **Phase de génération :**

Les « concepts architecturaux » forment des classes d'objet auxquelles sont associés des attributs. Chaque attribut pouvant être regroupé en fonction de quatre types de valeur :

- Valeur symbolique (qualités esthétiques, rythme...)
- Valeur numérique explicite (dimensions...)
- Valeur numérique implicite (les dimensions d'une fenêtre sont incluses dans les dimensions du mur qui la supporte...)
- Valeur numérique floue (très ou peu isolé...)



Une fois l'instanciation des attributs réalisée, un moteur de recherche de solutions permettra l'exploration de l'espace des solutions. Ce moteur sera fondé sur un mécanisme évolutionnaire. Un premier algorithme génétique est en cours de développement.

#### **Phase de prise de connaissance :**

La prise de connaissance de la solution pourra se faire à l'aide d'un modèle géométrique complété par des indices et ratios, voire à ce sujet le livret de bord d'évaluation édité par l'Ademe (ADEME). Une représentation sous forme de graphes et diagramme de Sankey (référence ?) viendra compléter le système de représentation.

## **7. Références**

- Augoyard J-F., Amphoux P., Thibaud J-P., Chelkoff G.** (2004) — Ambiances en débats, Ed A la croisée, Bernin.
- Balcomb Douglas** (1980) — Passive solar design analysis, Los Alamos, U.S. Department of Energy.
- Boudon P., Pousin F.** 1988 — Figures de la conception architecturale, manuel de figuration graphique, Éditions Dunod, Paris.
- Boudon P.** 1992 — Introduction à l'architecturologie, Éditions Dunod, Paris (France).
- Boudon P.** 1993 — Conceptions de la conception, Les cahiers de la recherche architecturale, n° 34 (« Concevoir »).
- Chouard P., Michel H., Simon M. F.**(1979) — Bilan thermique d'une maison solaire, méthode de calcul rapide, Ed Eyrolles.
- Conan M.** 1990 — Concevoir un projet d'architecture, Éditions de l'Harmattan, Paris (France).
- Dawkins R** (1999) — Evolutionary design by computers, Ed Peter J. Bentley.
- Deshayes, C.** (2005) — La médiation de l'esquisse à la main levée et de l'esquisse numérique dans le processus de conception, Scan'05. Paris.
- Estevez D.** (2001) — Dessin d'architecture et infographie. L'évolution contemporaine des pratiques graphiques, Ed CNRS.
- Frazer J.** (1995) — An evolutionary architecture, Ed Architectural Association, London.
- Gaildrat V.** (2003) — Modélisation déclarative d'environnements virtuels : Création de scène de formes complexes par l'énoncé de propriétés et l'emploi d'interactions gestuelles, Habilitation à diriger des recherches, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Guibert D.** 1987 — Réalisme et architecture, Éditions Mardaga, Bruxelles (Belgique), 175 p. (Voir en particulier l'annexe 2 : *La critique opératoire et la méthodologie dans l'institution professionnelle, pédagogique et de recherche.*

- Lavigne P.** 1981 — Énergie, climat, confort, soleil et architecture, Volume 1 (Cours), École d'Architecture de Grenoble (France), 189 p.
- Lebahar J.-C.** 1983 — Le dessin d'architecte, Simulation graphique et réduction d'incertitude, Éditions Parenthèses, Roquevaire (France).
- Lebens R. M.** (1980) — Passive solar heating design, Applied science publishers.
- Mazria E.** (1981) — Le guide de la maison solaire, traduit par Bazan P., Ed Parenthèses.
- Porada, S.** (2005). L'instrumentation de la création architecturale innovante Scan'05. Paris.
- Prost R.** 1992 — Conception architecturale, une investigation méthodologique, L'Harmattan, Paris (France).
- Schittich C.** (2005) — Architecture solaire, Ed Detail.
- Siret D.** (1997) — Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement, Thèse de doctorat, Université de Nantes, Ecole d'Architecture de Nantes.
- The energy research group** (1992) — Energy in architecture. The european passive solar handbook, Ed Commission of the european communities.
- Wright D.** (1979) — Manuel d'architecture naturelle, Ed Parenthèse, 1979.
- ADEME** — Démarche HQE. Livret de bord d'opération, ADEME.