

MODELISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION ETUDE EXPERIMENTALE DU SYSTEME COMPOSITIONNEL, INSTANCE CONCEPTION.

HOW DESIGNERS DESIGN AN EXPERIMENTAL STUDY OF ARCHITECTURAL DESIGNING PROCESS.

ARROUF ABDELMALEK & BENSACI ABDELKADER

Département d'architecture, Université de Batna, Algérie
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France
arroufm@yahoo.fr ; bensaci@grenoble.archi.fr

RESUME

Ce papier propose une description du processus de conception architecturale en tant que processus de manipulation de l'information qui prend lieu dans la noosphère du sujet concevant. Il élabore un modèle a priori du processus de conception qu'il soumet à une validation expérimentale par le biais d'une étude empirique basée sur la méthode de l'analyse des recueils d'observations (protocol analysis).

ABSTRACT:

This paper aims at understanding architectural design thinking. It performs an "a priori" model of the internal mechanisms involved in designing process and uses a protocol analysis to establish its validity. It devises a new scheme for coding designers' cognitive actions and applies statistical and informational tools to their analysis.

MOTS-CLES : Système de l'architecture, système compositionnel, processus de conception architecturale, théorie de l'information, modèle, modélisation a priori, système complexe, analyse des recueils d'observation, théorie scientifique de l'architecture.

1 INTRODUCTION

L'activité de conception constitue une préoccupation centrale des recherches en architecture. Durand, avait déjà présenté, en 1802, un travail d'articulation de la conception en tant que processus. Mais c'est surtout depuis les années 60 que beaucoup de travaux de recherche ont été initiés autour de la problématique de la conception. Ils déploient essentiellement trois paradigmes. a) Le paradigme introspectif à base de conjectures sur la manière dont les humains conçoivent. Il a produit des modèles prescriptifs (Asimov, 1962; Jones et Thornley, 1962; Broadbent, 1973) qui ne rendent pas compte du travail effectif de conception. b) Le paradigme applicationniste qui emprunte des modèles à d'autres domaines de connaissance en vue d'étudier la conception architecturale. On y retrouve les travaux à base de méthodes formelles tirées de la logique, des mathématiques et de la recherche opérationnelle tels que ceux d'Alexander, 1964 ; de Mitchell, 1977 et de Radford et Gero, 1988, des travaux qui utilisent des concepts de l'intelligence artificielle tel que celui de Coyne, 1990, des

travaux qui s'inspirent des récents développements des sciences cognitives tels ceux d'Akin, 1986 ; de Lawson, 1990 ; de Cross, Christiaans et Dorst, 1996 ; de J.C. Lebahar, 1983 et de Quinrand, 1985, ou encore des travaux qui reproduisent des méthodes d'étude du texte tel que celui de De Biasi, 1990, 2000. Les études de ce paradigme négligent la complexité intrinsèque et la spécificité du travail de conception. c) Le paradigme des sciences de l'architecture, en cours d'élaboration, offre un cadre scientifique pour le développement de recherches sur la conception architecturale. Les recherches qui s'en réclament proposent de construire les objets théoriques de connaissance de la discipline et d'en développer des méthodes adéquates.

La présente étude, qui a pour objet la connaissance du processus de conception, s'inscrit dans ce dernier paradigme. Elle est un développement de la théorie du système de l'architecture (Bensaci, 2000). Elle considère l'activité de conception comme un système complexe d'actions cognitives de manipulation de l'information, qui

prend lieu dans l'intellect et qui se prolonge dans l'action d'extériorisation figurative. L'étude est conduite sous l'égide d'une hypothèse noologique de la conception qui traite à la fois des objets de la pensée conceptrice, les *noèmes*, et des actions de cette pensée, les *noèses*. Ces êtres sont autant d'implexes¹ dont la conjonction produit l'organisation complexe de la conception (Morin, 1986, 1991 ; Le Moigne, 1995 ; Simon, 1967, 1975).

L'objectif de cette étude est la description du processus de conception par une modélisation a priori² (Deshayes, 1986, 1994) fondée sur le concept du système complexe. Elle soumet la formalisation élaborée à la validation expérimentale en situation de conception. Elle propose une démarche empirique basée sur la méthode d'analyse des recueils d'observation (Protocol analysis) proposée par Ericsson et Simon (1986). Ce travail permet de vérifier et tester la projectibilité du modèle.

2 LE SYSTEME DE L'ARCHITECTURE

Le concept du système de l'architecture est une construction architecturologique élaborée par Bensaci (2000) sur la base d'un « raisonnement logico-pratique ». A partir de « la mise en relation de la production effective, d'un décryptage de l'écrit et d'un modèle hypothétique fonctionnel », Bensaci décrit le système de l'architecture à partir du concept de système donnée par Herbert Simon ; un environnement interne et un environnement externe reliés par une interface.

2.1 L'environnement externe du système de l'architecture

L'environnement externe du système de l'architecture est constitué de tous ce qui informe la variabilité de l'architecture. Il contient l'environnement idéal, l'environnement physique, l'environnement technique, l'environnement professionnel et l'environnement sémiotique.

1 Le terme d'implexes (Le Moigne, 1995) est utilisé pour désigner les entités élémentaires qui composent les systèmes complexes. Un implexe est la version complexe du simplexe, qui constitue pour sa part, le plus petit élément de tout système considéré dans une logique disjonctive. Alors que le simplexe aurait tendance à exister individuellement, l'implexe, tel que son nom l'indique, implique toujours une organisation plus complexe, une totalité à laquelle il appartient.

2 Bachelard a souligné en 1934, l'inséparabilité de la raison et de l'expérience et a montré leur nécessaire connivence pour l'accomplissement de toute activité scientifique. Mais il a également montré à plusieurs occasions (1934, 1938) que cette activité est essentiellement réalisante, qu'elle va du rationnel au réel et de la raison à l'expérience. C'est pourquoi, ce travail a commencé par définir sa part raisonnée, qui lui a permis de construire son projet théorique avec son système de connaissance, pour aller ensuite expérimenter le modèle théorique qu'il a élaboré.

2.2 L'environnement interne du système de l'architecture

A l'opposé de l'environnement externe, l'environnement interne du système de l'architecture, également appelé « système primaire de l'architecture », est constitué de « ce sans quoi l'architecture n'existerait pas ou ne pourrait pas exister » (Bensaci, 2000, p.88). Le système primaire de l'architecture est « le système multivariable de production et de fabrication multidimensionnelles de l'espace architectural. » (Bensaci, 2000, pp.136-137). « Il n'a pas de désignation extrinsèque générale permanente, mais un ordre intrinsèque intelligible en termes de sous-systèmes de production morphique, fonctionnelle et architectonique » (Bensaci, 2000, p.150). Ces sous-systèmes de production sont reliés par un système compositionnel.

2.3 Le système compositionnel

Le système compositionnel est l'interface à la fois entre l'environnement interne et l'environnement externe du système de l'architecture, entre les sous-systèmes du système primaire de l'architecture (environnement interne du système de l'architecture) et entre les environnements internes et externes de chacun de ces sous-systèmes (Bensaci, 2000). Il est formalisable par la notion d'échelle dans son acception boudonienne. La composition entre les différents systèmes de production est une opération de mise à l'échelle, dans laquelle chacun des systèmes de production donne mesure aux deux autres. Toutefois, ces relations d'échelles entre systèmes de production n'ont pas un caractère de nécessité, chacune peut exister ou pas. Elles relèvent en fait, du « lien possible et de la connexion non nécessaire » (Bensaci, 2000, p.157). La composition opérée par le système compositionnel tient du « jugement » (Bensaci, 2000, p.160). Elle est de l'ordre de « la décision » et du « choix » (Bensaci, 2000, p.160).

Les relations de mises à l'échelle qu'elles soient de premier niveau (inter systèmes) ou de second niveau (intra systèmes) « relèvent du libre arbitre du concepteur » (Bensaci, 2000, p.165). « Elles impliquent la volonté du concepteur et appartiennent à son espace mental comme une donnée psycho-socio-culturelle » (Bensaci, 2000, p.165). C'est le concepteur qui décide de l'existence ou pas de relations d'échelles entre et dans chacun des systèmes de production. C'est lui qui décide de la nature de ces échelles et c'est enfin, lui qui décide d'établir des relations d'équivalences entre les contenus des différents systèmes de production et charge de significations les relations qu'il établit. Il existe donc au sein du système compositionnel une part rationnelle que l'on peut exprimer par l'existence ou pas de relations entre les différents systèmes de production et par l'équivalence ou pas des contenus de chacun d'eux (Bensaci, 2000, pp. 162-168) mais il y a aussi une part directement liée aux choix, décisions et conceptions du concepteur. La part rationnelle du système compositionnel est appelée sa « structure de composition » (Bensaci, 2000, p.168), elle est la part « logique et générale » (Bensaci, 2000, p.168). Tandis que la part du

concepteur est une « part subjective et arbitraire dépendant de la volonté consciente ou inconsciente du concepteur » (Bensaci, 2000, p.168). Embrayé sur l'espace, le système primaire de l'architecture produit l'objet architectural (Bensaci, 2000, p.170). Un tel embrayage « résulte de la congruence de la concrétisation spatiale des environnements externes des systèmes du système primaire de l'architecture. Le système compositionnel réalise l'unité morphique, fonctionnelle et architectonique de l'espace architectural » (Bensaci, 2000, p.170).

La production signifiée par la théorie du système de l'architecture consiste en un enchaînement d'actions mentales. « Le concept du système primaire de l'architecture désigne un système productif multidimensionnel de fabrication de formes, de fonctionnements et de structures constructives, auquel le processus d'engendrement de ces derniers appartient. La forme, la fonction et la structure constructive caractérisant l'espace architectural passent nécessairement par la projection, l'installation et la réalisation du système primaire de l'architecture. Projection sous-entend penser, planifier, composer et concevoir. Installation sous-entend mise en œuvre des choix, déploiement des procès et mise en place des relations. Réalisation sous-entend produit et objet concret » (Bensaci, 2000, pp.146-147). En énonçant les actions de projection, installation et réalisation dans cet ordre, la théorie du système de l'architecture reconnaît l'ordre ontologique de la production intellectuelle qui a lieu dans le système primaire de l'architecture et qui passe par un double travail de composition abstraite et de matérialisation figurative.

3 MODELE COGNITIF DU SYSTEME COMPOSITIONNEL

L'inscription noologique et systémique signifie ici que le processus de conception est un système d'actions nouménales de production et de manipulation d'informations. Ce système d'actions a trois instances principales : a) instance de production de sens (virtualisation – computation) qui permet le passage d'une situation de conception donnée à une réalité nouménale du processus de conception. La situation de conception est traduite en symboles virtuels qui sont ensuite computés et manipulés, en boucle et selon « une séquence temporelle (au besoin infinie) de manipulation–transformation–production–destruction–déplacement » (Le Moigne, 1991, pp.244-245). b) instance de figuration morphique qui transforme la réalité nouménale abstraite en figure. Les symboles virtuels préalablement computés deviennent des modèles morphiques embrayés sur la réalité concrète. c) instance intermédiaire de mémorisation³ et d'échange qui

3 « L'intelligence de la computation appelle l'intelligence de la mémorisation de symboles : il n'est de symboles que mémorisés et mémorisables, oubliables et retrouvables, associables et bissociables, adressables, indexables, transformables, reproductibles (plutôt que duplicables). La mémorisation est à la fois opérateur et opérande du processus de computation

relie les deux instances précédentes. Elle assure leur communication par la mémorisation des computations qu'elles produisent ou qu'elles échangent. La conjonction de ces trois instances forme une modélisation du système compositionnel, instance conception, du système de l'architecture.

L'instance de virtualisation – computation qui produit et compute des symboles, forme elle-même un système qui sera désormais désigné sous le nom de système de production de sens. Elle constitue l'environnement interne du système compositionnel parce qu'elle englobe, implicitement, les données de la situation de conception, sans lesquels aucun travail de conception ne saurait exister. L'instance de mémorisation – échange, qui assure la liaison des deux principales instances du système, forme également un système et constitue l'interface du système compositionnel. Enfin, l'instance de traduction – réalisation qui restitue les symboles computés en objet phénoménal. Elle sera nommée système de morphose et constituera l'environnement externe du système compositionnel.

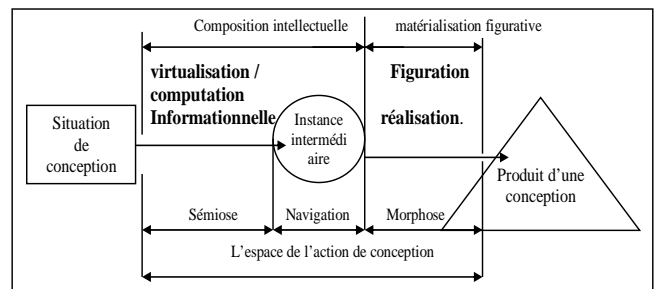


Figure 1 : La composition tripartite du processus de conception en sémiose, morphose et échange d'informations.

3.1 Environnement interne du système compositionnel, instance conception

Le système de production du sens a deux grandes instances. La première, est celle de la virtualisation de la réalité phénoménale. Elle utilise la perception qu'a le sujet concevant des données de la situation de conception pour produire des informations initialisant le processus de conception (H. Simon, 1975 ; Deshayes, 1994). Son fonctionnement dépend de l'usage que fait le sujet concevant de ses connaissances préalables (expérience, formation, croyances, idéologie, ...) (Gregory, 1995, p.132 ; Gero, 1999 et 2001). Cette instance forme également un système. Son environnement interne est constitué des données de la situation de conception, son interface est constituée de l'instance de référencement aux connaissances préalables que nous appellerons désormais, l'instance de référencement externe et son environnement externe est constituée de l'instance de perception de la situation de conception qui sera désormais appelée instance de perception externe (fig.2).

symbolique, et nous savons bien qu'il n'est pas de computation sans mémorisation. » (Le Moigne, 1991, pp.245-246)

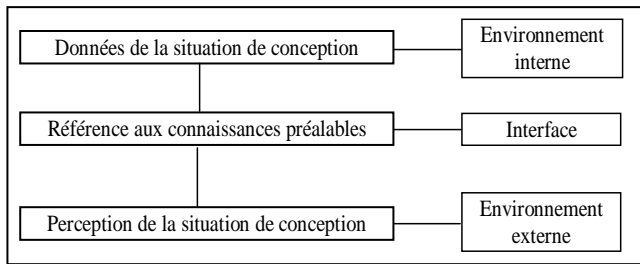


Figure 2 : Système de virtualisation de la situation de conception.

La deuxième grande instance qui constitue le système de production du sens est l'instance de sémiose (donner sens à). Elle est le lieu où sont computés, de manière abstraite, les informations produites par le système de virtualisation de la situation de projet. Elle fait également système. Son environnement interne est l'instance de conception du sens. Elle intègre les notions virtualisées pour produire, reproduire et développer du sens. Son environnement externe est l'instance de figuration du sens produit par l'environnement interne. Son interface est l'instance de conception des finalités, stratégies, pertinences, décisions et choix qui vont régir les opérations de production du sens et de sa figuration. Elle sera appelée instance de conception abstraite (fig.3).

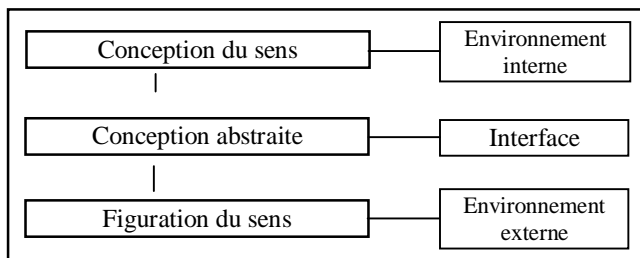


Figure 3 : Système de la sémiose.

3.2 Environnement externe du système compositionnel, instance conception

Le système de la morphose qui constitue l'environnement externe du système compositionnel, instance conception, se décompose lui-même en un environnement interne et un environnement externe reliés par une interface. Son environnement interne est l'instance de traduction réalisatrice des données fournies par le système de la sémiose en données morphiques prêtes à être embrayées sur une réalité phénoménale. Cette instance est appelée instance de figuration morphique et de traduction réalisatrice. L'environnement externe du système est l'instance d'évaluation des solutions morphiques produites par son environnement interne. Elle est appelée instance de conception réalisatrice. Son interface est l'instance de conception des finalités, stratégies, pertinences, décisions et choix relatifs à la nouvelle réalité morphique qui est en computation. Elle est l'instance qui gère les opérations de production de la forme et de sa figuration. Elle sera appelée instance de conception morphique (fig.4).

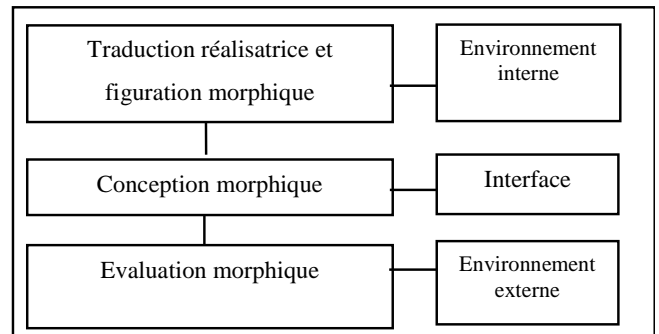


Figure 4 : Système de la morphose, environnement externe du système compositionnel, instance conception.

3.3 Interface du système compositionnel, instance conception

L'interface du système compositionnel, instance conception, est un système de mémorisation et d'échange. Son environnement interne est une instance de perception interne des connaissances produites par le processus. Elle permet au système compositionnel de s'observer et de se percevoir afin de réutiliser ses connaissances immédiates. Son environnement externe est l'instance qui lui permet de remonter, dans le temps du processus, en vue de réutiliser les connaissances qui y ont été préalablement produites. Cette instance est appelée instance de réutilisation de la connaissance interne du processus. L'interface du système est l'instance de référencement proprement dite. Elle est le lieu où sont conservées toutes les connaissances générées par le processus et par rapport auquel se font les opérations de référencement. Ce système, en permettant l'échange entre les deux environnements du système compositionnel, instance conception, permet le déploiement du temps du processus de conception et donne au sujet concevant les moyens d'aller de l'avant et de revenir en arrière par rapport à ce temps. C'est pourquoi, il sera désormais appelé système de navigation du système compositionnel, instance conception (fig.5).

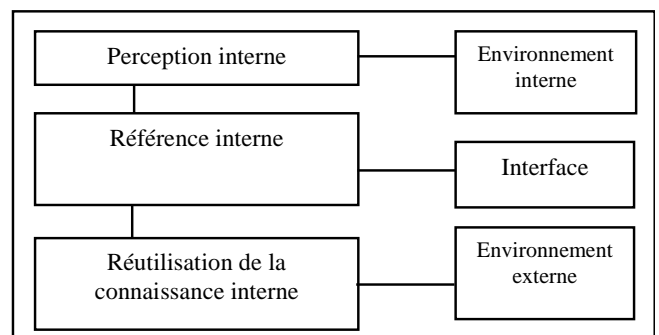


Figure 5 : Système de navigation du système compositionnel, instance conception.

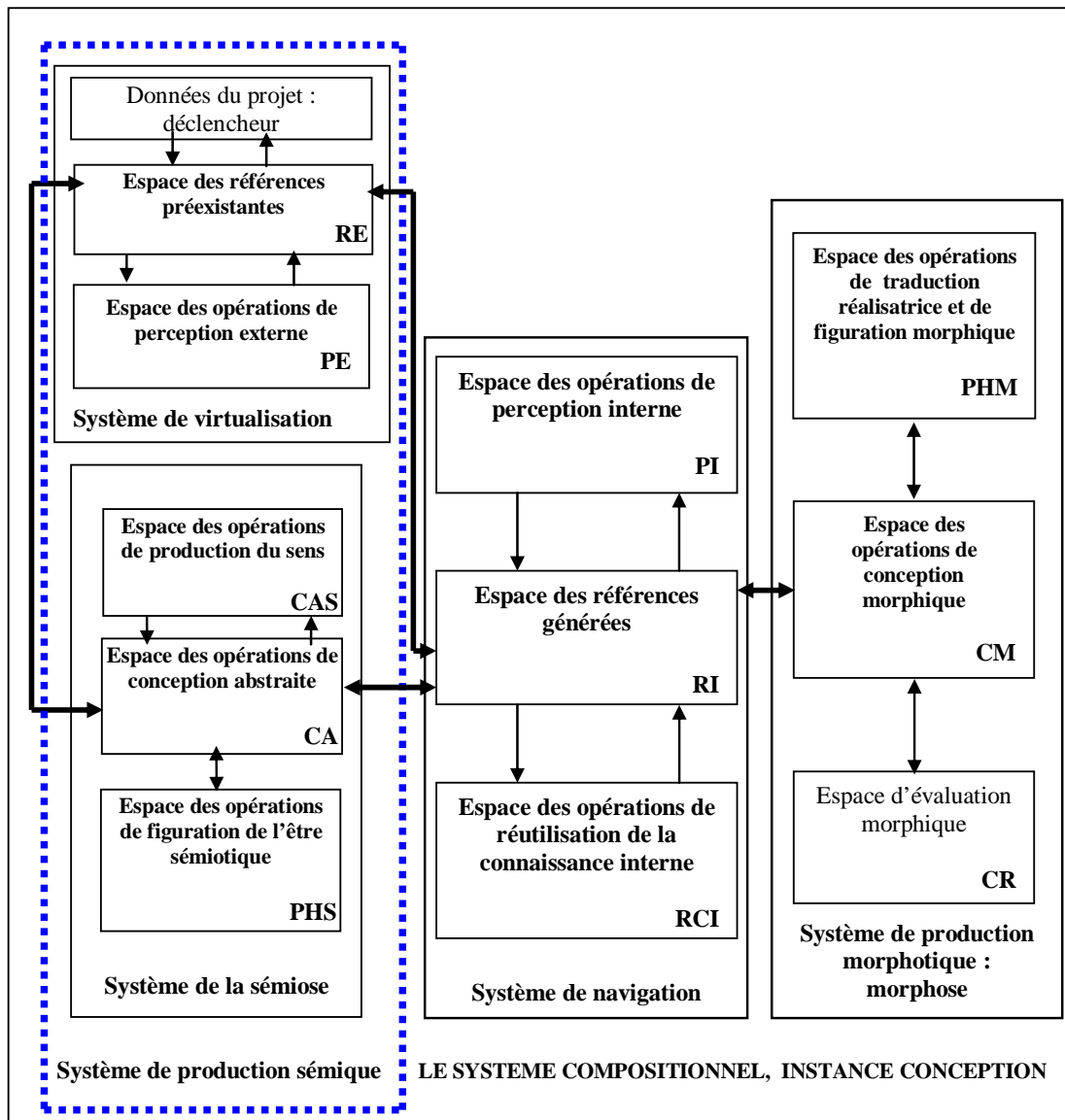


Figure 6 : Modèle du système compositionnel, instance conception.

4 VALIDATION EXPERIMENTALE DU MODELE

Il s'agit maintenant de soumettre le modèle cognitif du système compositionnel, précédemment développé, à l'expérience empirique de la conception afin de vérifier sa validité de manière expérimentale. L'expérimentation et l'analyse qui en est faite évaluent la conformité du modèle du système compositionnel, instance conception, au processus de conception tel qu'il prend lieu réellement dans la noosphère du sujet concevant. Ceci implique deux niveaux de validation.

1. Validation de la présence effective, en conception, d'une instance de sémiologie, d'une instance de morphose, d'une instance de navigation et de mémorisation et enfin d'une instance de virtualisation. Pouvoir codifier l'ensemble des objets et actions de la conception impliquera que le contenu du modèle est

valide (Suwa et Tversky, 1997 ; Suwa, Gero, Tversky et Purcell, 1998).

2. Validation de la structuration des instances au sein du modèle. Ce niveau servira à vérifier la validité de la position de chaque instance à la fois au sein du système compositionnel et au sein de chacun de ses sous-systèmes et la validité des relations qui lient toutes les instances entre-elles.

4.1 Présentation de la méthode d'analyse des recueils d'observation :

L'une des méthodes connues pour saisir et collecter les données empiriques du travail de conception est la méthode

dite analyse des recueils d'observations⁴ (protocol analysis) (Ericsson, Simon, 1986). Elle permet de conduire des études objectives sur le processus de conception, d'analyser ses tâches et de comprendre leur progression dans le temps (Mc Neill, Gero & Warren, 1998). De nombreux chercheurs l'ont utilisée pour élaborer différents travaux sur le processus de conception : Eastman (1970), Cross (1984), Ullman et al. (1988), Eckersley (1988), Goldschmidt (1991), Cross et al. (1992), McGinnis et Ullman (1992), Schön et Wiggins (1992), Van Someren et al. (1994), Cross et al. (1996) et plus récemment Suwa et Tversky (1996, 1997), Suwa, Gero et Purcell (1998, 1999, 2001, 2002), Dorst et al. (2001) et Tang et al. (2002).

Dorst et Dijkhuis (1995), divisent les méthodes d'analyse des recueils d'observations en deux catégories : l'approche orientée-processus et l'approche orientée-contenu. La première, cherche à définir les états du problème, ses opérateurs, ses procédures, ses objectifs et ses stratégies. Un bon exemple en est le travail élaboré par Gero et al. (1998). Ses auteurs y ont défini deux dimensions orthogonales pour la compréhension du mode de navigation des concepteurs dans l'espace de problème créé par la situation de conception et deux catégories d'action pour décrire les stratégies qu'ils utilisent. La première dimension de navigation est celle du «niveau d'abstraction» qui sert à montrer le niveau du problème sur lequel se concentre le concepteur à chaque moment du processus. Elle se divise en quatre échelles d'abstraction successives qui vont du global au détail. La deuxième dimension de navigation est celle du «prototype».

Elle est destinée à montrer l'aspect du problème qui est étudié à chaque moment du processus. Elle se divise en trois types d'aspects qui sont la fonction, le comportement et la structure.

Quant aux catégories d'actions, la première d'entre-elles est celle des «macro stratégies». Elle exprime l'approche globale adoptée par le concepteur vis-à-vis de son problème et elle se divise en cinq macro stratégies différentes. La deuxième catégorie est celle des «micro stratégies» formée d'actions de conception de courte durée classées d'après le modèle global «analyse – synthèse – évaluation» d'Asimow.

A l'opposé de l'approche orientée processus, l'approche orientée contenu, adoptée par ce travail, cherche à découvrir les types d'information, les ressources et les catégories de connaissances manipulées par le concepteur lors du processus de conception (Schön & Wiggins, 1992 ; Goldschmidt, 1991 ; Suwa & Tversky, 1997, Suwa, Gero & Purcell, 1998, Kavakli & Gero, 2003). Cette approche se focalise sur l'étude des contenus cognitifs et informationnels de l'activité de conception. Un bon exemple en est le travail élaboré par Suwa et al. (1998) dans l'objectif de découvrir les interactions cognitives entre concepteurs et esquisses. Les auteurs de ce travail ont

développé quatre catégories d'actions : physiques, perceptives, fonctionnelles et conceptuelles, pour décrire à la fois, les types d'informations et les connaissances manipulées par le concepteur et leur mode de manipulation.

La méthode d'analyse des recueils d'observations se compose de trois grandes phases. a) élaboration du recueil d'observation, b) description et codification et c) traitement des données recueillies.

4.2 Le travail empirique

4.2.1 La situation d'expérimentation

L'expérience, dont il est question ici, a été conduite dans un contexte pédagogique qui a regroupé quinze étudiants de la troisième année du cursus de formation des architectes. Toutefois, seuls les travaux de deux étudiants ont été retenus pour l'analyse. Il s'agit d'un garçon et d'une fille qui ont été choisis au hasard. La limitation du nombre de travaux à retenir a été dictée par deux impératifs pratiques de faisabilité. Le premier est dû au volume de travail que représente l'exploitation des données. Tandis que le second est dû au fait que l'expérimentateur est l'un des deux enseignants du groupe en question. Il ne pouvait donc se permettre de rester en continue situation d'observateur et devait accomplir son travail d'enseignant. L'expérience a porté sur l'observation de six situations de conception. Elles se répartissent en trois exercices de conception différents qui ont été conduits par chacun des deux sujets retenus. Les exercices font partie du programme d'enseignement de l'atelier de troisième année, tel qu'il est pratiqué par l'expérimentateur depuis plusieurs années.

4.2.2 L'expérience

La première situation de conception observée consiste en la conception, par chacun des sujets, d'un enclos de méditation et de retranchement pour un artiste. Cette situation se divise en trois phases. A la première de ces phases, il est demandé aux étudiants de concevoir une composition géométrique abstraite sur la base d'un cube de 125 mètres cubes. A la seconde, il leur est demandé d'intégrer la fonction en question dans la composition obtenue à l'issue de la première phase. Lors de la troisième phase, il leur est demandé de concevoir la constructibilité de l'objet obtenu à l'issue des deux premières phases. La deuxième situation de conception, demande aux sujets de concevoir une maison à partir de deux données de base. Un texte, tiré du « Poème de l'angle droit », dans lequel Le Corbusier donne une description de la « maison des hommes » et un tableau de Salvador Dali intitulé « Dream ». La troisième situation de conception, demande aux sujets concevants de concevoir le nouveau siège du rectorat de l'université de Biskra. Chacune des trois situations de conception est lancée par le biais d'un énoncé et se termine par un affichage individuel.

⁴ La traduction du nom anglais de la méthode « protocol analysis » en « analyse des recueils d'observation » est réalisée par les auteurs de cet article.

La combinaison de trois situations de conception avec deux sujets concevants permet d'enrichir l'observation de l'activité de conception : observer en total six échantillons de conception variant à la fois le sujet concevant et l'objet de la conception.

4.3 Elaboration du recueil d'observation de l'activité de conception

Le sujet concevant conduit son travail de conception sur un document de format A3 baptisé journal du projet. Les pages de ce document sont reliées et numérotées. Chaque page, prise en format paysage, est divisée en trois parties égales, qui sont numérotées dans l'ordre de gauche à droite. En respectant l'ordre de numérotation des pages et celui de gauche à droite de chacune des pages, le sujet reporte tout son travail autant écrit que graphique sur le journal du projet. Il y note ses réflexions, ses pensées, ses recherches bibliographiques, les résultats de ses consultations avec ses enseignants et toutes les idées qui ont pu lui être suggérées par des discussions avec d'autres personnes. Le document obtenu à l'issue de ce travail permet, non seulement de retrouver tout le travail de conception fait par chacun des sujets concevants, mais offre également la possibilité de repérer le développement, dans le temps, du travail de conception (fig.7).

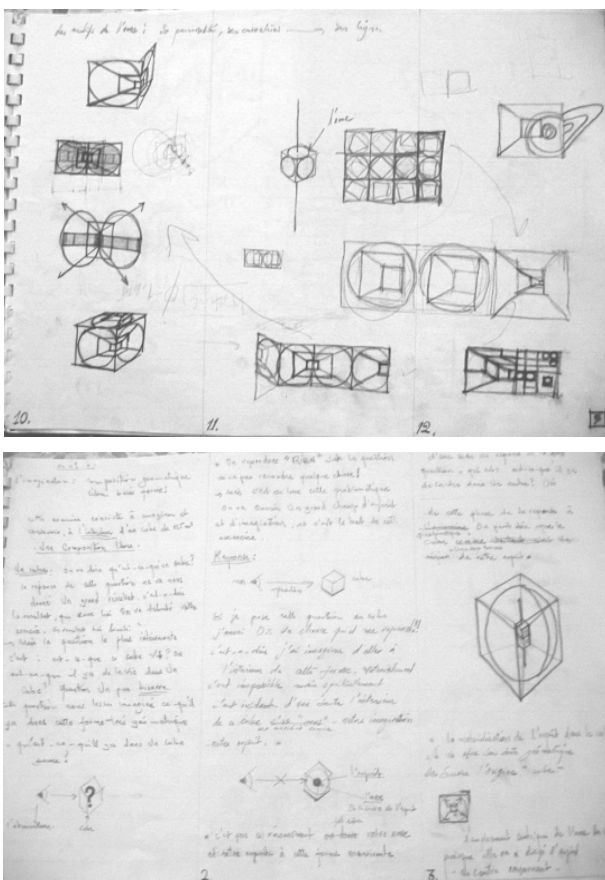


Figure 7 : Deux pages du recueil d'observations de l'une des situations de conception observées.

Le journal de projet constitue la principale source de données utilisée par l'expérimentateur. Ce dernier suit le développement du travail de conception et assiste à chacune des discussions des sujets concevants avec leur enseignant. Il transcrit le contenu de ces consultations afin de décrypter, lors de l'analyse, les éléments ambigus du journal du projet. Il permet à l'expérimentateur de mieux comprendre les informations contenues dans le journal du projet et lui fournit un moyen supplémentaire pour leur exploitation.

Cette technique permet de capturer les traces de l'activité de conception. Capturer non seulement les traces des propositions retenues mais aussi celles qui ne l'ont pas été, ainsi que les cheminements et les processus sous-jacents. Ce recueil permet au sujet de reporter en temps réel ses pensées, sans toutefois être obligé de les mettre sous forme verbale communicable, du moment qu'il ne les destine qu'à lui-même. Cette absence d'obligation de communication présente un avantage par rapport aux protocoles simultanés caractérisés par une perte d'information pendant les moments de silences répétitifs qui ont été observés lors de l'usage de cette technique (Suwa & Tversky, 1998). Par ailleurs, le texte transcrivant les discussions enseignant/étudiant, joue exactement le même rôle que le rapport verbal des protocoles rétrospectifs.

4.4 Méthode de description des recueils d'observation

Suivant la méthode standard de l'analyse des recueils d'observations, les recueils sont soumis à une description qui se compose de deux grands moments : la segmentation et la codification.

4.4.1 La segmentation

Après la collecte de l'information, le journal d'observation est divisé en petites unités appelées segments. Il existe plusieurs techniques de segmentation. Cette étude se base sur une démarche de segmentation orientée-intention (Goldschmidt, 1991 ; Purcell & al., 1994 ; Suwa & Tversky, 1997 ; Tang & Gero, 2002 ; Purcell & Gero, 1998 ; Mc Neill, Gero & Warren, 1998). Un segment y est défini comme « une assertion ou une déclaration cohérente à propos d'un seul élément/espace/sujet » (Suwa & Tversky, 1997). Tout changement dans les intentions du concepteur suggéré par le contenu de ses pensées ou de ses actions marque le commencement d'un nouveau segment (Suwa, Gero & Purcell, 1998 ; Tang & Gero, 2002).

L'analyse standard des recueils d'observation rejette généralement les productions graphiques. Toutes les études se limitent aux protocoles verbaux et se servent des données graphiques comme simple complément pour leur compréhension. Ce travail considère cependant, que les productions graphiques sont porteuses d'information. Elles sont cruciales pour toute activité de conception architecturale. Il fait l'hypothèse que chaque figure produite implique une pensée autour d'un élément/ espace/ sujet donné, d'où sa valeur informationnelle importante. C'est

pourquoi, lors de la segmentation, le présent travail considère chaque élément graphique comme un segment à part entière.

4.4.2 La codification

La codification (coding schemes) permet l'exploitation des recueils d'observation. Elle est une collection de groupes de descripteurs utilisés pour décrire le processus de conception en vue de son analyse. Elle est un modèle qui permet de décrire, comprendre, expliquer et même prévoir les activités cognitives de la conception (Tang et Gero, 2002). Elle est définie en fonction du type d'étude menée et des modèles pré-établis du travail de conception. Plusieurs modèles de codification ont été développés à l'occasion de différentes études du travail de conception.

Pour décrire ses recueils d'observation, la présente étude a élaboré une stratégie de codification qui utilise les découvertes de la science cognitive sur la manière dont les gens voient, pensent et agissent à la fois perceptivement et conceptuellement. Elle se base, dans sa démarche, sur la définition d'un ensemble de catégories d'information qui furent définies à partir de cinq sources (Suwa & Tversky, 1997) :

1. le modèle du système compositionnel, instance conception
2. la littérature qui traite de l'analyse des recueils d'observation,
3. les supports théoriques qui informent sur la manière par laquelle les représentations externes induisent significations, idées et notions,
4. la littérature traitant des processus de conception et suggérant ce à quoi les architectes pensent généralement durant le processus de conception,
5. l'étude intensive des recueils eux-mêmes.

Partant de ces données et des systèmes de codification respectivement développés par Suwa et Tversky (1997), Suwa, Gero & Purcell (1998), Mc Neil et al. (1998), la présente étude a défini un système de codification qui se base sur onze catégories informationnelles appartenant, chacune, à un niveau cognitif donné.

Catégorie de perception externe (PE)

Cette catégorie appartient au niveau cognitif de perception. Elle enregistre les informations se rapportant aux actions du processus qui font jouer les mécanismes de la perception. Elle consigne les actions spécifiques à la perception de la situation de projet et à l'interprétation qui en est faite par le sujet concevant. Elle est formée de trois types d'actions (tab.1).

Catégorie de perception interne (PI)

Cette catégorie appartient également au niveau cognitif de

perception et s'intéresse particulièrement à la perception qui se déroule au sein du processus de conception proprement dit. Elle se divise en deux sous-classes. La première est celle qui consigne les actions de perception des représentations virtuelles du sujet concevant. Elle est une classe d'actions perceptives non-visuelles. La deuxième est celle qui consigne les actions de perception des représentations figuratives du sujet concevant. Elle est une classe d'actions de perception visuelle. La première sous-classe rassemble les actions qui permettent au sujet concevant d'établir des connexions entre ses propres représentations virtuelles. Elle constitue la part conceptuelle de la catégorie perceptive. La seconde sous-classe rassemble les actions de perception à fondement visuel. Elle regroupe les actions perceptives qui permettent le fonctionnement de la pensée visuelle⁵ (tab.2).

Catégorie figurative (F)

La catégorie figurative traite des actions de conception qui produisent des figures. Elle se divise en deux grandes catégories.

Catégorie de figuration du sens (FS)

Elle regroupe les actions de figuration du sens qui produisent soit des figures abstraites, communément appelées figures ambiguës (Boudon, 1992, Suwa & Tversky, 1997) soit des figures qui schématisent autre chose que la forme de l'objet en conception, tels que diagrammes, organigrammes ou tableaux (tab.3).

Catégorie de figuration morphique (FM)

Cette catégorie regroupe à la fois les actions de figuration de l'objet en conception et les actions qui permettent le passage vers cette figuration. Elle regroupe ainsi deux sous-classes d'actions. La première est celle des actions de traduction réalisatrice des idées et notions abstraites produites par l'activité de conception. La deuxième, est celle des actions de figuration proprement dites. Elle regroupe quatre types d'actions. Les actions de représentation morphique abstraite de l'objet en conception, qui servent à représenter des états intermédiaires peu développés de la conformation de l'objet. Les actions de représentation/ visualisation de l'objet, qui permettent au sujet concevant de visualiser les productions morphiques plus élaborées, en vue de les évaluer. Les actions de représentation/ prescription de l'objet, destinées à représenter les choix arrêtés par le sujet concevant, relativement à l'objet de son travail de conception. Les actions de figuration qui servent à représenter et à communiquer l'objet conçu dans sa version finalisée. Ce sont les actions de description/communication figurative de l'objet (tab.4).

⁵ Le concept de pensée visuelle est d'Arnheim (1969).

Tableau 1 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur PE.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de perception externe	PE	perception de la situation de projet		Pa	abstraire les données de la situation de projet en données conceptuelles	données de la situation de projet
				Pi	interpréter les données de la situation de projet de façon spécifique	données de la situation de projet
				Pq	se poser des questions relatives à la situation de projet	données de la situation de projet

Tableau 2 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur PI.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de perception interne	PI	Perception interne du processus de conception	Actions de perception des représentations virtuelles : perception non visuelle	Pecv	percevoir et interpréter des données visuelles (figures) en données abstraites.	- figures, - notions, - stratégies, - buts, - décisions, - choix, - pertinences
				Pnvi	percevoir et interpréter des données abstraites en d'autres données abstraites	- notions, - stratégies, - buts, - décisions, - choix, - pertinences
			Actions de perception des représentations figuratives : perception visuelle	Ppv	percevoir et interpréter des données abstraites en données visuelles (figures)	- figures, - notions, - stratégies, - buts, - décisions, - choix, - pertinences
				Ppvi	Interprétation perceptive visuelle de données visuelles	figures

Tableau 3 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur FS.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de figuration du sens	FS	figuration du sens		Fpa	Produire des figures abstraites, communément appelées figures ambiguës ou d'autres figures non morphiques.	- schémas, - diagrammes, - figures non morphiques

Catégorie de référence aux connaissances préalables (RE)

Les sciences cognitives ont indiqué que toute tâche cognitive entreprise par les êtres humains est conduite par le biais de connaissances précédentes sur le domaine auquel appartient la tâche (Suwa et Tversky, 1997). Elle correspond à la « mémoire continue » (Long-lasting memory) décrite par Gero (2001). Cette catégorie comprend deux grandes classes d'actions qui sont les actions de référence procédurales et les actions de références substantives (Guilherme L., 1998). Elle regroupe les actions de référence aux « connaissances du

domaine », celles de référence aux « standards » admis par le milieu professionnel concerné et enfin celles des « connaissances personnelles » qui découlent de l'expérience, de la formation, de la culture ou encore des croyances du sujet concevant (tab.5).

Tableau 4 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur FM.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de figuration morphique	FM	figuration et manipulation de la forme de l'objet en conception	traduction du sens en formes	Ct	traduire des données abstraites des catégories CA et CAS en notions de réalisation de l'objet recherché	- notions abstraites, - décisions, - choix, - buts, - descriptions, - figures abstraites, - figures morphiques.
			figuration de la conformation de l'objet en conception	Ffa	figurer des états morphiques intermédiaires abstraits ou ambigus de l'objet en conception	figures morphiques intermédiaires
				Frvo	représenter/visualiser des conformations plus élaborées de l'objet en conception.	figures morphiques élaborées
				Frpo	représenter/prescrire la conformation de l'objet	figures morphiques abouties
Fdco	décrire/communiquer de manière figurative la conformation finale de l'objet conçu.	figures morphiques définitives				

Tableau 5 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur RE.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de référence externe	RE	Référenciation à des connaissances préalables	Référenciation substantive	Rsecd	faire référence aux connaissances substantives du domaine	connaissances substantives du domaine
				Rses	faire référence aux standards substantifs admis par la profession	connaissances substantives propres à la profession
				Rsee	faire référence à l'expérience substantive personnelle	connaissances substantives personnelles
			Référenciation procédurale	Rpecd	faire référence aux connaissances procédurales du domaine	connaissances procédurales du domaine
				Rpes	faire référence aux standards procéduraux admis par la profession	connaissances procédurales propres à la profession
				Rpee	faire référence à l'expérience procédurale personnelle	connaissances procédurales personnelles

Catégorie de référence aux connaissances produites par le processus (RI)

Elle est appelée catégorie référentielle interne. Elle appartient au niveau cognitif perceptif. Elle est une catégorie corollaire de la catégorie de perception interne. Elle regroupe les actions du processus de conception qui permettent au sujet concevant de se constituer un réservoir

de connaissances propres à la situation de conception particulière qu'il est en train de traiter et des actions qui permettent l'exploitation de ce réservoir. Elle correspond à « la mémoire temporaire » (short-lasting memory) décrite par Gero (2001). Elle regroupe deux types d'actions (tab.1). L'une crée des références alors que l'autre les utilise (tab.6).

Tableau 6 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur RI.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de référence interne	RI	référenciation interne		Rcr	générer des références internes	- notions abstraites, - décisions, - choix, - buts, - descriptions, - pertinences, - descriptions, - analogies, - stratégies
				Rrr	utiliser des références internes préalablement générées	références générées par le processus

Catégorie des actions de production du sens (CAS)

La catégorie de production du sens appartient au niveau cognitif sémantique. Elle regroupe les actions à caractère conceptuel qui produisent du sens au sein de l'activité de

conception. Elle consigne des actions de conception qui traitent d'informations non morphiques (notions abstraites) et regroupe quatre types d'actions différentes (tab.7).

Tableau 7 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur CAS.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de production du sens	CAS	Genèse et computation du sens		Cncp	Introduire des notions conceptuelles	notions conceptuelles
				Cip	élaborer des interprétations	notions conceptuelles
				Can	élaborer des analogies	notions conceptuelles
				Crcm	recourir à une image mentale en vue d'exprimer une idée	- images mentales - notions conceptuelles

Catégorie des actions de conception abstraite (CA)

Cette catégorie appartient également au niveau sémantique. Elle infère des ordres des autres niveaux sémantiques et perceptifs. Elle consigne six types d'actions qui sont : a) arrêter des buts et des objectifs à atteindre, b) définir des

stratégies de conception en vue d'atteindre ces buts, c) prendre des décisions relatives à l'activité elle-même ou à ses objets, d) faire des choix, e) déceler les pertinences qui émergent au cours du travail de conception, f) décrire de manière synthétique des stratégies, des pertinences, des buts, des décisions ou des sélections préalables (tab.8).

Tableau 8 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur CA.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de conception abstraite	CA	inférence d'ordres des niveaux sémantiques et perceptifs		Cb	établir des objectifs ou des buts à atteindre	buts
				Csp	produire des idées d'actions ou des stratégies de conception	stratégies
				Cd	prendre des décisions	décisions
				Cc	faire des choix	choix
				Cpp	identifier des pertinences abstraites, quelque soit leur type	pertinences
				Dsy	décrire de manière synthétique des stratégies, des pertinences, des décisions, des buts, des sens ou des choix préalables.	descriptions

Catégorie des actions de conception morphique (CM)

Il s'agit des actions qui infèrent des ordres morphiques à la fois des niveaux sémantiques et perceptifs mais aussi

morphiques. Elle regroupe les mêmes actions que la précédente catégorie mais qui sont plutôt appliquées à la conformation morphique de l'objet en conception (tab.9).

Tableau 9 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur CM.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de conception morphique	CM	inférence d'ordres morphiques à la fois des niveaux sémantiques, perceptifs et morphiques.		Cbm	établir des objectifs ou des buts à atteindre pour la configuration et la conformation de l'objet.	buts morphiques
				Cspm	produire des idées d'actions ou des stratégies de conception relatives à l'élaboration de la configuration et de la conformation de l'objet.	stratégies morphiques
				Cdm	prendre des décisions relatives à la configuration et à la conformation de l'objet	décisions morphiques
				Ccm	faire des choix relatifs à la configuration ou à la conformation de l'objet	choix morphiques
				Cppm	identifier des pertinences morphiques, quelque soit leur type	pertinences morphiques
				Dsym	décrire de manière synthétique des stratégies morphiques, des pertinences morphiques, des décisions morphiques, des buts morphiques, des choix morphiques ou des conformations morphiques préalables.	descriptions morphiques

Catégorie des actions de réutilisation de la connaissance interne (RCI)

Cette catégorie est relative au mode de navigation du sujet concevant au sein du processus de conception. Elle

regroupe toutes les actions qui permettent au sujet concevant de revenir en arrière, par rapport au temps du processus, pour réutiliser des informations ou des connaissances qui auraient été préalablement générées. Elle contient une seule action (tab.10).

Tableau 10 : Modèle de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur RCI.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie de réutilisation de la connaissance interne	RCI	réutilisation des connaissances et informations générées par le processus		Crar	retourner en arrière et reprendre un thème, une idée, un élément, une notion, une stratégie, une pertinence, une interprétation ou une analogie préalables.	références

Catégorie des actions d'évaluation (CR)

Cette catégorie regroupe les actions d'évaluation des différentes configurations morphiques élaborées. Elle contient quatre types d'actions. Le premier, est celui des actions d'évaluation comparative des conformations élaborées entre-elles. Les trois autres, sont des actions d'évaluation des configurations et conformations élaborées par rapport aux stratégies élaborées, aux but arrêtés ou relativement aux pertinences identifiées (tab.11).

4.5 La reproductibilité de la codification

Les recueils d'observation sont codifiés par la méthode des deux codifications successives élaborée par Suwa, Gero et Purcell (1998). En vertu de cette méthode, un seul et même codeur codifie les journaux une première fois et refait une deuxième codification dès que la première est terminée. Les deux codifications sont ensuite arbitrées, par le même codeur, pour produire la codification finale. A l'issue des deux passages de codification et de leur arbitrage final, cette étude a produit, pour chacun des six recueils d'observation, les résultats consignés au niveau du tableau 12 ci-dessous.

Tableau 11 : Méthode de codification des recueils d'observation, contenu du descripteur CR.

Catégorie informationnelle	Code catég.	Finalité	Sous-classes	Code actions	Noèses	Noèmes
Catégorie d'évaluation	CR	évaluation des conformations élaborées tout au long du processus		Ceb	évaluer des solutions produites par rapport à des buts préétablis	- figures morphiques - références de buts
				Cec	évaluer des solutions en les comparant entre-elles	figures morphiques
				Ces	évaluer des solutions par rapport à des stratégies préalablement établies.	- figures morphiques - références de stratégies
				Cep	évaluer des solutions par rapport à des pertinences préalablement identifiées	- figures morphiques - références de pertinences

4.6 Modèle de description des recueils d'observation

La description des recueils d'observation a été consignée dans des tableaux qui ont la même configuration que le tableau 13 ci-dessous.

La codification de l'ensemble des segments des recueils d'observation montre que toutes les actions et catégories d'actions élaborées sont nécessaires pour une description exhaustive du travail de conception. Elles ont toutes été

sollicitées et apparues lors de la codification des recueils d'observation. La codification a par ailleurs prouvé que ces mêmes actions et catégories d'actions sont suffisantes pour décrire le travail de conception du moment qu'elles ont pu contenir la totalité des actions de conception déployées par le sujet concevant. Ce constat, signifie que le premier niveau de validation du modèle est positif et que toutes les instances du système compositionnel, instance conception, qui ont été élaborées sont nécessaires et suffisantes pour décrire le processus de conception.

Tableau 12 : Nombre de segments par passage de codification pour chacun des recueils d'observations.

	Le recueil	E11	E12	E13	E21	E22	E23
nombre de segments	premier passage	381	305	309	442	143	91
	deuxième passage	498	389	323	444	209	96
	arbitrage	497	389	308	445	211	95

Tableau 13 : Modèle général de description des recueils d'observation.

N° Seg	Matériau	Noèses	Actant	Temps	Noèmes	Qualif.	Code action	Code catég.	Indic. occurrence	Finalité
01	Un cube : on va dire qu'est-ce qu'un cube ?	questionnement relatif au cube donné	On	-Présent - infinitif	- cube		Pq	PE	n	Questionnement relatif à la situation de conception.
02	La réponse à cette question ne va pas nous donner un grand résultat.	évaluation de la question à travers celle de se réponse	La réponse à la question	-Présent - infinitif	- réponse - question - résultat	- grand	Rpee	RE	n	Evaluation procédurale faite relativement à des connaissances personnelles

4.7 Traitement des données obtenues

4.7.1 Quantification des recueils de description

La codification des segments est enregistrée dans un tableau objets/ attributs. Les segments sont les objets du tableau et les catégories d'actions sont ses attributs. Le tableau enregistre le nombre d'occurrences des actions par segment. Chacune des valeurs obtenues informe sur le nombre d'actions par catégorie d'actions au niveau de chaque segment (tab.14).

4.7.2 Elimination de l'effet de taille et réduction binaire des données

La validation du contenu du système compositionnel, instance conception, suppose l'étude des relations inter catégories d'actions. Chaque instance est un ensemble de catégories d'actions dont la co-occurrence dans le même segment forme un indicateur d'instance. Il s'agit de qualifier les relations inter catégories d'actions afin d'observer la constitution des instances. Autrement dit, il s'agit de qualifier la co-occurrence de toutes les catégories

d'actions tout au long du processus de conception. A ce niveau la présence ou l'absence simultanée de catégories d'actions est suffisant pour constituer une chaîne d'actions d'un segment indépendamment du nombre d'actions par catégorie. Ce nombre constitue un bruit nuisant à l'émergence d'une stabilité structurelle du processus. C'est pourquoi, il est utile d'éliminer l'effet de taille de la codification des catégories d'actions. Le résultat obtenu est

un tableau disjonctif qui informe sur la co-occurrence des différentes catégories d'actions au niveau de chaque segment du processus (tab.15). Chaque chaîne d'actions constituée des onze valeurs binaires (0, 1) est appelée syntagme du segment en question. La fréquence des actions par colonne représente l'occurrence de la catégorie d'action tout au long du processus concerné.

Tableau 14 : Exemple de recueil de description tiré du traitement du recueil E23. La première colonne reprend les numéros des segments. Chacune des autres colonnes correspond à une catégorie d'actions. Les lignes enregistrent le nombre d'actions par catégorie d'actions pour chacun des segments. L'ordre des colonnes est ici arbitraire, tandis que celui des lignes correspond à la chronologie d'apparition des segments.

Segment	PE	RE	PI	RI	CA	CAS	RCI	FS	FM	CM	CR
1	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0
2	2	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0
3	2	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0
4	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0

Tableau 15 : Un exemple de tableau disjonctif obtenu à l'issue de l'élimination de l'effet de taille et de la réduction binaire des tableaux de description préalablement élaborés. Ce tableau constitue la réduction binaire du tableau précédent (tab.14). Il représente les syntagmes des quatre premiers segments de E23 : la co-occurrence des catégories d'actions au niveau de chaque segment.

Segment	PE	RE	PI	RI	CA	CAS	RCI	FS	FM	CM	CR
1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
3	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0

Tableau 16 : Réduction du nombre de segments en structures profondes de conception par recueil d'observations. Le pourcentage relativise le nombre de syntagmes au nombre total des segments.

Le sujet concevant	sujet 1			sujet 2		
	E11	E12	E13	E21	E22	E23
Le recueil	497	389	308	445	211	95
nombre de segments	99	99	65	98	68	49
%	20	25	21	22	32	52

La réduction binaire des différents recueils a permis de déterminer les chaînes d'actions de base pour chaque processus. L'ensemble des chaînes d'actions de base, de chaque recueil est appelé structure profonde du processus. Elle renseigne sur les instances du processus et permet d'en saisir la logique profonde (tab.16).

4.7.3 Fréquences des catégories d'actions

Le calcul et la comparaison des fréquences moyennes d'occurrence de toutes les catégories d'actions au niveau de tous les recueils, a révélé une distribution similaire des catégories d'actions pour chacun d'eux, indiquant ainsi l'existence d'une logique sous-jacente de manipulation de l'information tout au long du processus de conception (fig.8).

4.8 Analyse des chaînes d'actions

4.8.1 Organisation des chaînes d'actions

Afin de mieux comprendre la logique de manipulation de l'information dans le processus de conception, qui a été précédemment décelée, les chaînes d'actions ont été soumises à une analyse basée sur la technique de la

sérialisation selon la théorie du processus d'information (Bensaci, 2000). Cette technique reclasse les segments et les catégories d'actions par ordre croissant de la quantité d'information manipulée dans le processus de conception. Elle permet ainsi de lire, à travers la place donnée à chacun des segments et à chacune des catégories d'actions, l'organisation et l'enchaînement des catégories d'information manipulées et leurs poids informationnels respectifs.

Le résultat de cette analyse conduite par le logiciel «BSK» (Bensaci, 2000), a permis de dégager l'ordre des catégories (tab.17). Cet ordre est conforme à la modélisation faite du système compositionnel, instance conception. Il classe, dans l'ordre, les catégories d'actions appartenant au système de virtualisation suivies par celles appartenant au système de la sémiose suivies par celles du système de navigation et enfin par celles du système de la morphose. Même l'ordre d'apparition des catégories au sein de chacun des sous-systèmes est conforme à leur disposition théorique au sein des sous-systèmes qui constituent le modèle préalablement élaboré (fig.7).

Par ailleurs, cet ordre est confirmé par le descriptomètre de la figure 9, qui montre, non seulement, la même disposition des différentes catégories d'actions que précédemment,

mais aussi l'appartenance de toutes les catégories d'actions d'un même sous-système à un même niveau d'entropie. Ainsi chacun des groupes de catégories d'actions représentant chacun des sous-systèmes du modèle du

système compositionnel : PE et RE (virtualisation) ; CA, CAS et FS (sémiose) ; RI, PI et RCI (navigation) et enfin FM, CM et CR (morphose), possèdent un niveau d'entropie donné.

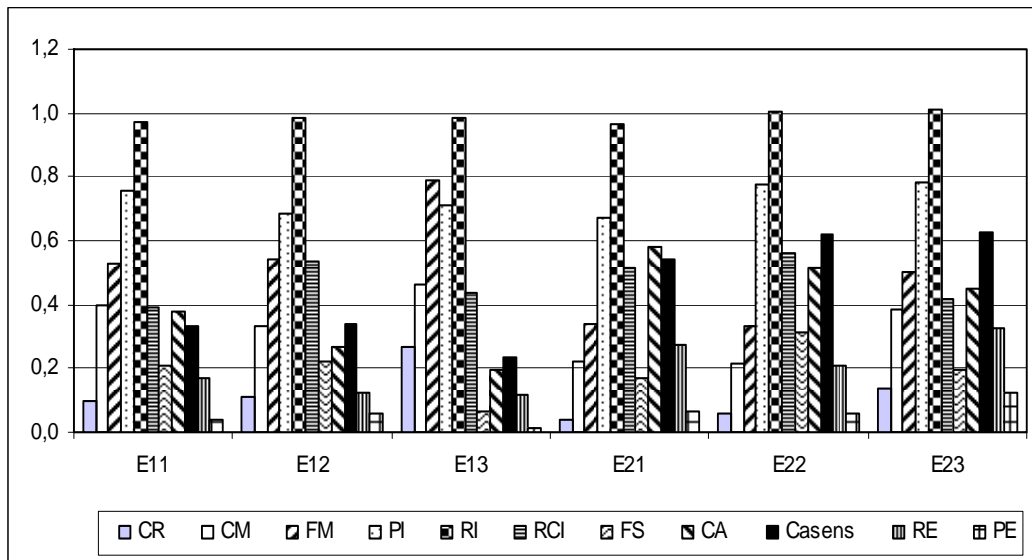


Figure 8 : Distribution des moyennes des fréquences d'occurrence des onze catégories d'actions au niveau de tous les recueils d'observation. E11, E12, E13, ... sont les codes des recueils de description des six journaux.

Tableau 17 : Un extrait du résultat de la sériation du tableau disjonctif du recueil E23. Il montre la validité des positions de chacune des instances et des sous-instances au sein du modèle du système compositionnel

seg.	PE	RE	CA	CAS	FS	RI	PI	RCI	FM	CM	CR	Syntagme 6
19	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	production de sens
4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	production de sens
1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	production de sens
77	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	production morphique
78	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	production de sens et de forme
58	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	production de sens et de forme
	Virtualisation		Sémiose			Navigation			Morphose			

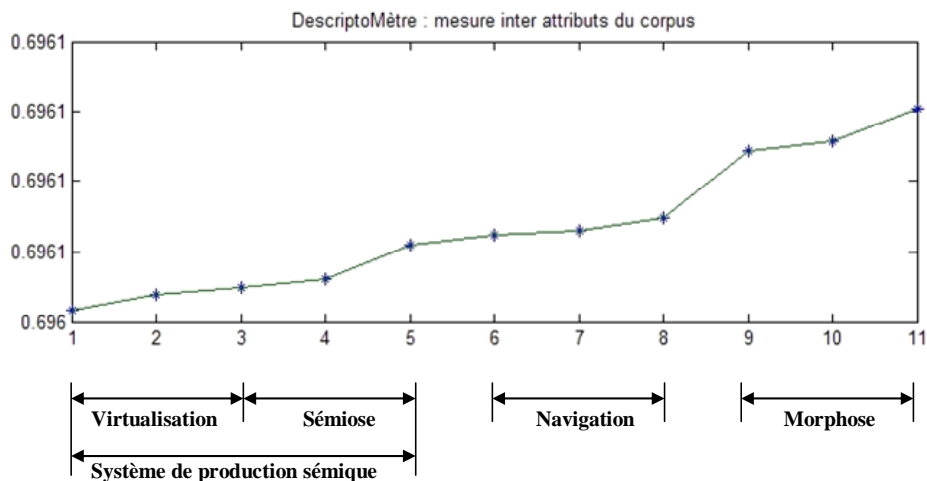


Figure 9 : Le descriptomètre du recueil E23 qui présente en abscisse les différentes catégories d'actions et en ordonnée la mesure de l'entropie. La lecture du descriptomètre permet de voir qu'en plus de leur proximité immédiate, chacun des groupes PE et RE, CA, CAS et FS, RI, PI et RCI et enfin FM, CM et CR possèdent pratiquement un même niveau d'entropie.

6 Le concept syntagme est emprunté à la sémiotique pour désigner un enchaînement d'actions de conception.

4.8.2 Classes des chaînes d'actions

La codification des recueils a été également soumise à l'analyse en composantes principales. Le résultat de cette analyse, conduite par le logiciel « WAD » (Tounissoux, 2002), a permis de dégager, pour chacun des recueils pris à part, pour tous les recueils de chacun des sujets concevants et pour tous les recueils des deux sujets, deux facteurs. Le premier, est celui qui explique « les modalités d'occurrence du travail de conception ». Il oppose la production sémiotique formée de la virtualisation et de la sémiose à la production morphique ou morphose et place la navigation entre les deux (fig.10). Il confirme, à la fois les résultats de la sériation et la projectibilité du modèle théorique.

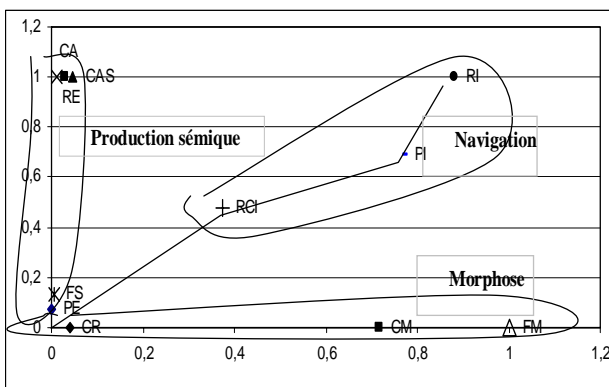


Figure 10 : Le facteur un de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils E21, E22 et E23. Il explicite les modalités d'occurrence du travail de conception. Une ligne qui part de l'origine du repère pour rejoindre les catégories d'actions qui forment le sous-système de navigation (RCL, PI et RI), oppose les catégories d'actions du sous-système de la production sémique (sémiose et virtualisation respectivement représentées par CA, CAS, FS et PE, RE) à celui de la production morphique ou morphose (CR, CM et FM).

Le second facteur de l'analyse factorielle, en composantes principales, explicite « les modalités de référencement interne », propres au processus (fig.11). Il permet de comprendre que la sémiose et la morphose n'ont pas les mêmes procédures de référencement. La première, occure tout au long du processus en opérant une référencement perceptive immédiate relative à des références internes et externes, tandis que la deuxième occure en faisant référence à des connaissances internes précédentes mais qui ont été générées en amont de l'instance. Cet état de fait nous renseigne sur le déroulement temporel du processus de conception. Il signifie que le travail de sémiose précède celui de la morphose et que ce dernier est conditionné par la disponibilité, au niveau du processus, d'un certain niveau de connaissance interne, sans lequel il ne pourrait occure.

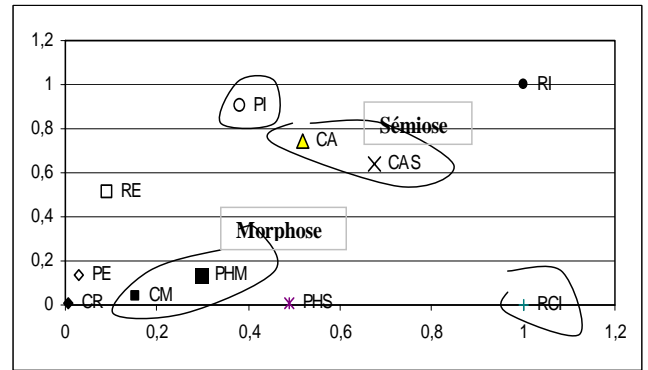


Figure 11 : Le facteur deux de l'analyse factorielle en composantes principales des recueils E21, E22 et E23 explicite les modalités de référencement propres à chacune des instances de la sémiose et de la morphose. La première, représentée par les catégories CA et CAS fait référence à RE (référence externe) et utilise la perception interne PI pour accéder aux références internes immédiates du processus contenues dans RI. La proximité de ces catégories d'actions, au sein du graphique, reflète cet état de fait. La morphose dont les catégories d'actions (CR, CM et FM), sont pratiquement situées sur le même axe que RCI, utilise cette dernière catégorie de références au sein de RI. Ceci signifie que la morphose utilise la connaissance interne produite plus tôt, dans le temps du processus et mémorisée dans l'espace des références internes de ce dernier. La situation de RI sur la diagonale du graphique montre une utilisation équivalente de cette catégorie d'actions par les deux instances de conception.

4.8.3 Temporalités des chaînes d'actions

Le déroulement temporel du processus de conception est également explicité par le scalogramme élaboré par BSK, grâce à la technique de sériation selon la théorie de l'information (fig.12). Il indique en abscisse les catégories d'actions et en ordonnées les numéros des segments du recueil. Les catégories d'actions ici représentées par des chiffres allant de 1 à 11, y sont placées dans le même ordre que celui du tableau 7 précédemment cité. Le scalogramme montre que le travail de conception commence par une phase de production sémique qui fait intervenir les catégories d'actions appartenant respectivement au sous-système de la sémiose (CA, CAS et FS) et à celui de la virtualisation (PE et RE) et se termine par une phase de production morphique (FM, CM et CR). Par ailleurs, ce scalogramme montre que les catégories d'actions propres au système de navigation sont sollicitées tout au long du processus.

Le scalogramme permet également de lire la nature des différents moments du processus de conception et leur mode d'enchaînement. Il montre que le processus de conception se divise en deux types de phases. Un premier type de grande intensité exploratoire qui correspond aux phases allant des segments 1 à 10 ou encore à celles qui vont du segment 55 au segment 70. Ce type sollicite un grand nombre de catégories d'actions et se présente sous une forme moins homogène que celle qui caractérise le deuxième type de phases. Celui-ci est plus uniforme. Il correspond aux phases situées entre les segments 10 et 20 ou encore entre 70 et 90. Il se limite aux actions propres à la production sémique ou à celles propres à la production

morphique sans toutefois solliciter les deux simultanément. Ce type correspond aux moments de conception « normale »⁷. Les deux types de phases se suivent et s'enchaînent avec un début qui est une phase d'exploration.



Figure 12 : Scalogramme du recueil E23. Il est retourné pour une raison de mise en page. Le noir indique l'absence de sollicitation pour les catégories d'actions en question, alors que le blanc signifie que les catégories concernées sont mises en service.

5 CONCLUSION

Cette recherche rend intelligible le processus de conception architecturale dont la validité et la projectibilité ont été empiriquement établies. Partant de la méthode d'analyse des recueils d'observation, elle a développé une nouvelle technique d'observation du travail de conception et une nouvelle méthode de codification des recueils d'observation obtenus. Elle a ainsi prouvé la possibilité d'ériger la conception architecturale comme un objet de connaissance théorique mais aussi comme un objet de connaissance empirique. Ceci a pour conséquence, l'ouverture, au sein des théories scientifiques de la conception architecturale, d'une modélisation qui en élargit à la fois le champ des préoccupations et celui des applications potentielles. A ce titre, le travail ici élaboré ouvre des perspectives fort intéressantes pour la compréhension du travail de conception, pour l'élaboration de programmes et de méthodologies d'enseignement de la conception et à terme, pour l'élaboration d'outils informatiques d'aide à la conception.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] Akin O., Architects' reasoning with structures and functions. *Environment and planning B: planning and design*, Vol. 20, 1993, pp. 273-294.
- [2] Akin, O. *Psychology of Architectural Design*, Pion, London, 1986.
- [3] Alexander Christopher, *De la synthèse de la forme*, Dunod, Paris, 1971.
- [4] Archer Bruce, The Structure of the Design Process, in Geoffrey Broadbent et Anthony Ward, Ed., *Design Methods in Architecture*, AA papers n°4, Londres, 1969.
- [5] Archer Bruce, Whatever Became of Design Methodology, *Design Studies*, 1 (1) (1979), Chichester, 1984.
- [6] Arrouf Abdelmalek et Bensaci Abdelkader, La fonction du temps dans le processus de conception, actes du colloque international «The sense of forms and temporalities of space», Co-organisé par l'association internationale de sémiotique de l'espace (AISE), l'Ecole d'Architecture de Lyon (EAL), l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Strasbourg, l'Université Polytechnique de Catalogne et l'Université de Genève, Lyon, 5 et 6 Juillet 2004.
- [7] Arnheim Rudolf, *Dynamique de la forme architecturale*, Pierre Mardaga, Liège, 1986. (1977 pour la première édition en américain).
- [8] Asimow, M., *Introduction to Design*, Prentice-Hall, New York, 1962.
- [9] Bachelard Gaston, *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie philosophique J. Vrin, Paris, seizième tirage, 1996.
- [10] Bachelard Gaston, *Le nouvel esprit scientifique*, Quadrige/PUF, Paris, cinquième édition, 1995.
- [11] Bensaci Abdelkader, Une théorie générale de l'architecture, morphométrie et modélisation systémique, Thèse de Doctorat nouveau régime, Université Jean Moulin, Lyon3, 2000.
- [12] Boudon Philippe, *Introduction à l'architecture*, Dunod, Paris, 1992.
- [13] Broadbent, Georges, *Design in Architecture, Architecture and the Human Sciences*, Wiley & Sons, London, 1973.
- [14] Buchanan Richard, *Wicked Problems in Design Thinking in Design Issues*, Vol. VIII, n°2, 1992.
- [15] Chan C-S, Cognitive processes in architectural design problem solving, in *Design Studies*, Vol. 11, N°2, 1990, pp. 60-80.
- [16] Coyne, R. D.; Rosenman, M. A.; Radford, A. D.; Balachandran, M.; and Gero, J. S., *Knowledge-Based Design Systems*, Reading: Addison-Wesley, 1990.
- [17] Cross, N., Christiaans, H. and Dorst, K. (eds), *Analysing Design Activity*, JohnWiley, Chichester, 1996.
- [18] Cross, Nigel, *Developments in Design Methodology*, John Wiley, London, 1984.
- [19] Darke J., The Primary Generator and the Design Process. *Environmental Design Research Association*, n°9, 1979, pp. 325-337.
- [20] De Biasi Pierre-Marc, Pour une approche génétique de l'architecture, in *Genesis*, N° 14/2000, Centre canadien d'architecture et Jean Michel Place, Paris, pp.13-66.
- [21] De Biasi Pierre-Marc, Pour une analyse génétique, des techniques de projet et du processus de conception en architecture, étude de genèse des premiers dessins du projet de F. Montès, Paris, direction de l'architecture, 1990.
- [22] Deshayes Philippe, « Modèles a priori et modèles a posteriori du travail de l'architecte », in *La recherche en architecture un bilan international*, Editions Parenthèses, Marseille, 1986, pp.93-96.

⁷ Ce terme est emprunté à Kuhn (1983). Il l'utilise pour désigner les moments de pratique scientifique qui permettent un développement de la science établie sans provoquer des révolutions scientifiques accompagnées de changement de paradigmes.

- [23] Deshayes Philippe, Modélisation de processus de conception. La conception architecturale. Le projet architecturologique. Thèse présentée à l'INPL, en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Nancy, 1994.
- [24] Dorst K. & Cross N., Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution, in *Design Studies*, 2001.
- [25] Dorst K. & Cross Nigel, Protocol analysis as a research technique for analysing design activity, in *Proceedings of 1995 design engineering technical conferences*, Vol.2, ASME, 1995, pp. 563-570.
- [26] Dorst K. & Dijkhuis J., Comparing paradigms for describing design activity, in *Design Studies*, Vol.16, N°2, 1995, pp. 261-274.
- [27] Eastman C. M., On the analysis of intuitive design processes, in *Emerging methods in environmental design and planning* (ed.) by G.T. Moore, MIT Press, Cambridge, 1970, pp. 21-37.
- [28] Ericsson, K. A., & Simon, Herbert A., *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. MIT Press, Cambridge, 1986.
- [29] Gero John S. & Tang H-H, The differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the process-oriented aspects of the design process, in *Design Studies*, Vol.21, 2001.
- [30] Gero John S. & Mc Neill Thomas, An Approach to the Analysis of Design Protocols, in *Design Studies*, Vol.19, 1998, pp. 21-61.
- [31] Gero, John. S., Constructive memory in design thinking, in G.Goldschmidt and W. Porter (eds), *Design Thinking Research Symposium: Design Representation*, MIT, Cambridge, 1999, pp. 1.29-35.
- [32] Gero, John S., Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design, in *AI Magazine* 11 (4), 1990, pp. 26-36.
- [33] Goldschmidt Gabriela, Criteria for design evaluation: a process-oriented paradigm, in *Evaluating and predicting design performance* (ed.) by Y. E. Kalay, John Wiley and Sons, INC., New York, 1992.
- [34] Goldschmidt Gabriela, The Dialectics of sketching, in *Creativity Research Journal*, Vol.4, 1991, pp. 123-143.
- [35] Jones J.C., The State of the Art in Design Methods in Geoffrey Broadbent et Anthony Ward, Ed., *Design Methods in Architecture*, AA papers n°4, Londres, 1969.
- [36] Jones, J. C. and Thornley, D. (eds), *Conference on Design Methods*, Pergamon, Oxford, 1963.
- [37] Koedinger K. R. & Anderson J. R., Abstract planning and perceptual chunks: elements of expertise in geometry. *Cognitive Science*, Vol. 14, 1990, pp. 511-550.
- [38] Kuhn Thomas S., *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 1983.
- [39] Lassance Guilherme, *Analyse du rôle des références dans la conception : éléments pour une dynamique des représentations du projet d'ambiance lumineuse en architecture*, Thèse de doctorat, Université de Nantes – ISITEM, 1998.
- [40] Lawson Brian, *How Designers Think*, W & J Mackay Ltd, Chatham, Kent, 1980.
- [41] Lebahar Jean Charles, *Le dessin d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude*, éditions Parenthèses, Roquevaire, France, 1983.
- [42] Le Moigne Jean-Louis, *La modélisation des systèmes complexes*. 2^{ème} édition, Editions Dunod, série Afcet Systèmes, Paris, 1995.
- [43] Lloyd P., Can concurrent verbalization reveal design cognition?, in *Design Studies*, Vol. 16, N°2, 1995, pp. 237-259.
- [44] Madrazo Leandro, «Durand and the Science of Architecture», in *Journal of Architectural Education*, ACSA Inc, N°48, Vol.1, Septembre 1994, pp. 12-24.
- [45] Mc Neill Thomas, Gero John S. & Warren James, Understanding conceptual electronic design using protocol analysis, in *Research in Engineering Design*, Vol. 10, 1998, pp. 129-140.
- [46] Mitchell, W. J., *Computer-Aided Architectural Design*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1977.
- [47] Morin Edgar, *La méthode 3. La connaissance de la connaissance*, Editions du Seuil, Paris, 1986.
- [48] Newell, Allen J.C. Shaw & Herbert A. Simon, The Process of Creative Thinking, in H. Gruber, G. Terrell & M. Wertheimer, eds., *Contemporary Approaches to Creative Thinking*, pp. 63-119, Atherton Press, New York, 1967.
- [49] Popper Karl R, *La quête inachevée*, Calmann- Lévy, Paris, 1981.
- [50] Pousin Frédéric et Hubert Damisch, *L'architecture mise en scène : essai sur la représentation du modèle grec au XVIIIème siècle*, Arguments, Paris, 1995.
- [51] Quintrand Paul et al., *La conception assistée par ordinateur en architecture*, Hermes, Paris, 1985.
- [52] Schön D. A. & Wiggins G., Kind of seeing and their functions in designing, in *Design Studies*, Vol.13, 1992, pp. 135-156.
- [53] Simon Herbert, *Science des systèmes, Sciences de l'Artificiel*, (traduit de l'américain par Jean Louis Le Moigne, 1990 pour la deuxième édition et 1975 pour la traduction française), Editions Dunod, Paris.
- [54] Suwa Masaki & Motoda H., PCLEARN: a model for learning perceptual-chunks. *Proceedings of the 16th annual conference of the cognitive science society*, LEA, Inc., NJ, 1994, pp. 830-835.
- [55] Suwa Masaki & Tversky Barbara, What do architects and students perceive in their design sketches?: a protocol analysis, in *Design Studies*, 18, 1997, pp.385-403.
- [56] Suwa Masaki, Gero J.S. & Purcell Terry, The roles of sketches in early conceptual design processes, in *Proceedings of Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ., 1998, pp. 1043-1048.
- [57] Suwa Masaki, Gero John S. & Purcell Terry, *Unexpected Discoveries and S-invention of design*

- requirements: A key to creative designs, in J.S. Gero and M. L. Maher (eds.), Computational Models of Creative Design, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, 1999, Sydney.
- [58] Suwa Masaki, Gero John S. & Purcell Terry, Unexpected Discoveries: how designers discover hidden features in sketches, in Gero J. and Tversky B. (eds), Visual and spatial reasoning in design, Key Centre of design computing and cognition, University of Sydney, 1999, Sydney, pp. 145-162.
- [59] Suwa Masaki, Purcell Terry & Gero John S., Macroscopic Analysis of Design processes based on a scheme for coding designer's cognitive actions in Design Studies, Vol.19, 1998, pp. 455-483.
- [60] Suwa Masaki, Tversky Barbara, Gero John S. & Purcell Terry, Seeing into sketches: regrouping parts encourages new interpretations, in
- [61] Tang Hsein-Hui & Gero John S., A cognitive method to measure potential creativity in designing, in Bento C., Cardoso A. and Wiggins G. (eds), Workshop 17 – Creative systems: Approaches to creativity in AI and cognitive science, ECAI-02, 2002, Lyon, pp. 47-54.
- [62] Treisman Anne, L'attention, les traits et la perception des objets, in Andler Daniel (ed.), Introduction aux sciences cognitives, Gallimard, Paris, 1992, pp. 153-195.
- [63] van Someren, M. W., Barnard, Y. F. and Sandberth, J. A. C., The Think Aloud Method: A Practical Guide to Modelling Cognitive Processes, Academic Press, London, 1994.
- [64] Ullman, D.G, Deiterich, T.G and Stauffer, L.. A Model of the Mechanical Design Process Based on Empirical Data, Artificial Intelligence in Engineering, Design and Manufacture, 1988, 2(1), 33-52.
- [65] Zeisel John, Inquiry by Design : Tools for Environmental Behavior Research, Monterey, 1981.